



Ж

11

2015

НЗЖ И РИМЖ







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

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

Подписано в печать 22.10.2015

**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.

© АНО Центр «НаукаПресс»



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина

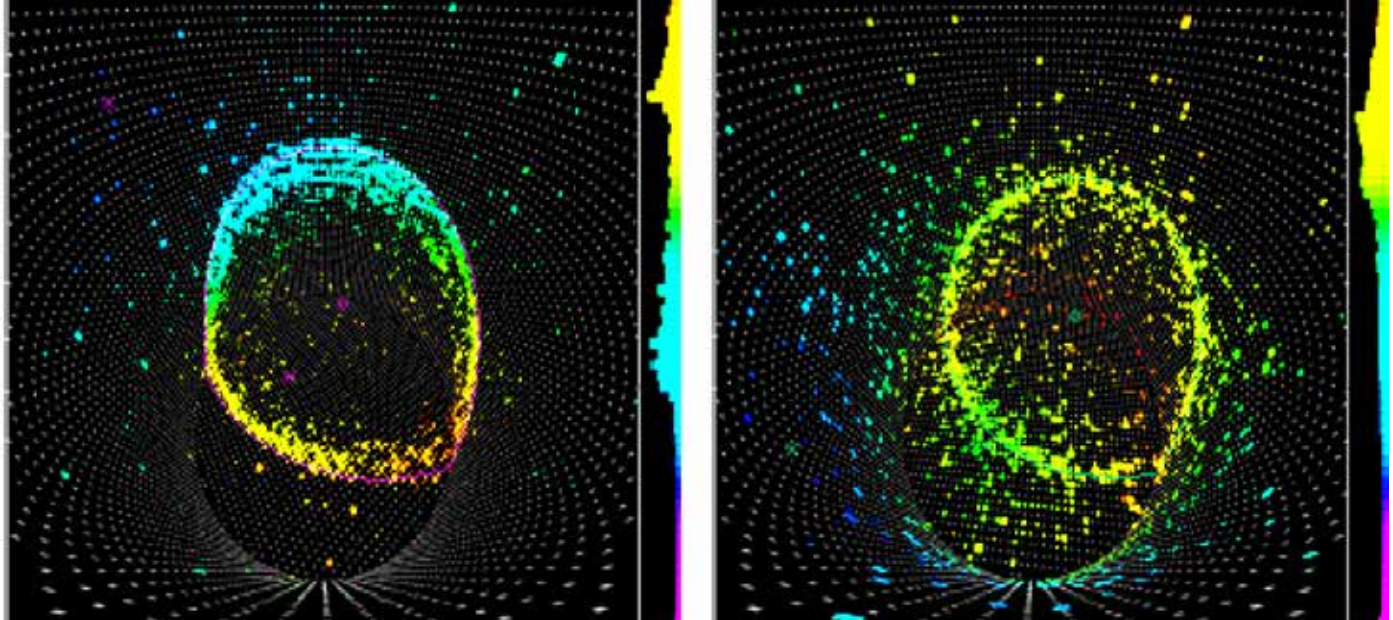
НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —  
работа Йенса Бонке. Возможно, этот  
человек пил кофе вечером, заблокировал  
слишком много аденозиновых рецепторов,  
вот теперь и страдает. Почему не надо  
было этого делать — читайте в статье  
«Кофеиновый сдвиг» .

*Пессимист — это человек,  
который жалуется на шум, когда  
к нему в дверь стучится удача.*

*Оскар Уайльд*

## Содержание

<b>Нобелевская премия</b>			
ТРЕХЛИКОЕ НЕЙТРИНО. С.М.Комаров .....	2		
ПОБЕДИТЕЛИ ПАРАЗИТОВ. Е.Клещенко .....	6		
РАБОТА НАД ОШИБКАМИ. Е.Клещенко .....	12		
<b>Вещи и вещества</b>			
СИЛОВАЯ ОПТИКА. В.В.Аполлонов .....	16		
ЗЕРКАЛО ДЛЯ УЭББА. А.Мотыляев .....	19		
<b>Проблемы и методы науки</b>			
КАК ИЗМЕРИТЬ ПУСТОТУ. И ЗАЧЕМ. Ю.П.Ямпольский .....	20		
<b>Хемоскоп</b>			
ЗАПАХОМ ПО ВРЕДИТЕЛЯМ. СВЕРХСИММЕТРИЧНЫЕ НАНОЗВЕЗДЫ ДЛЯ НАНОСЕНСОРОВ. В.Барановская, М.Голощапов .....	24		
<b>Проблемы и методы науки</b>			
МАГНИТ ПРОТИВ ЭНТРОПИИ. В.В.Семенов .....	28		
<b>Откуда твоё имя?</b>			
ФЕНОЛЫ И ХИНОНЫ. И.А.Леенсон .....	32		
<b>Здоровье</b>			
ПОХВАЛА СТРЕССУ. Д.А.Жуков .....	34		
<b>О веществе по существу</b>			
ЦИКЛОПРОПАН. А.Паевский .....	41		
<b>Научный комментатор</b>			
КОФЕИНОВЫЙ СДВИГ. Н.Л.Резник .....	42		
<b>Земля и ее обитатели</b>			
МЕЗОЗОЙСКАЯ РЕПЕТИЦИЯ МЛЕКОПИТАЮЩИХ . Н.Анина .....	44		
<b>Дискуссии</b>			
ХИМИЯ, ШКОЛА, УЧЕБНИК. Г.В.Лисичкин .....	46		
<b>Нанофантастика</b>			
ЛЕГКОЕ ДЕЛО. Борис Богданов .....	51		
<b>Страницы истории</b>			
КТО ВЫ, ПРОФЕССОР ЛОМОНОСОВ? С.В.Багоцкий .....	52		
<b>Что мы едим</b>			
ПАШТЕТ. Н.Ручкина .....	56		
<b>Фантастика</b>			
ДЕНЬГИ. Ирина Истратова .....	58		
<b>Неизвестный Лем</b>			
ПУТЕВОДНАЯ МЫСЛЬ? СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПЛАНЕТОЛОГИЯ .....	64		
В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	15	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
ВОПРОСЫ — ОТВЕТЫ	30	ПИШУТ, ЧТО...	62
КНИГИ	61	ПЕРЕПИСКА	64



# Трехликое нейтрино

Кандидат физико-математических наук

**С.М. Комаров**

*Нашими жизнями правит Закон восемнадцати. Где собираются восемнадцать, там появляется девятнадцатый. Почему так?*

Роберт Шекли.  
Верный вопрос

Лауреатами Нобелевской премии по физике 2015 года стали Кадзита Такааки и Артур Макдональд за открытие осцилляции нейтрино, то есть их способности по дороге от источника до детектора периодически переходить из одного аромата в другой. Оба лауреата возглавляли крупные научные коллективы. Макдональд с 1989 года по настоящее время работает директором канадской нейтринной обсерватории в Садбери, SNO (которая набирала сигналы с 1999 по 2006 год). Эту обсерваторию в глубочайшей шахте построили по инициативе Эрба Чена из Калифорнийского университета в Ирвине, предложившего использовать детектор на тяжелой воде. Задачей ее было определить причину дефицита солнечных нейтрино. Кадзита начинал эксперименты по изучению атмосферных нейтрино (а они образуются при столкновении космических лучей с атмосферой) на водяном детекторе Камиоканде, где было обнаружено, что их, так же, как и солнечных, аномально мало. Эти исследования продолжились под его руководством на детекторе Супер-Камиоканде, который начал работать в 1996 году.

## Загадка аномалий

Суть проблемы нейтринных аномалий такова. У физиков имеются модели, построенные для описания самых разных явлений. В частности, есть и стандартная модель Солнца (СМС), и модель образования нейтрино в атмосфере. Такие физические модели позволяют, в частности, посчитать поток нейтрино. Если эксперимент дает существенно другой результат, возникает беспокойство: значит, либо детектор нейтрино работает плохо, либо плохо теория. Кроме того, Солнце для нас очень важно, поэтому хотелось бы, чтобы его модель была правильной. В противном случае нет гарантии, что мы можем предсказывать поведение светила и быть уверенными, что оно, образно говоря, не взорвется завтра.

В 1965 году астрофизик Реймонд Дэвис вместе с теоретиком Джоном Бакалом – автором СМС – начал эксперимент по изучению солнечных нейтрино, для чего они установили детектор, заполненный 615 тоннами тетрахлорэтилена, в золотой шахте Хомстейк, Северная Дакота. Нейтрино при столкновении с хлором должно было давать атом радиоактивного аргона. Поскольку вероятность такого столкновения чрезвычайно мала, эксперимент требовал виртуозного мастерства от Дэвиса: ежемесячно он, продувая сквозь детектор гелий, извлекал примерно 20 штук атомов  $^{37}\text{Ar}$ ! (О числе атомов судили по результатам их радиоактивного распада.) Эксперимент шел до 1994 года и выявил поток в 2,56 условных нейтрино вместо 8,1, предсказанных Бакалом. Естественно, Дэвиса сперва хотели обвинить в том, что его детектор работает неправильно.

К счастью, аномалия не было совсем уж неожиданной. Еще до начала подобных экспериментов главный на тот момент специалист по нейтрино Бруно Понтекорво предупреждал, что так может случиться. Однако не из-за плохого детектора (автором идеи которого он как раз и был) или недостатков теории Солнца. А потому, что нейтрино могут совершать невообразимые фокусы — по дороге к Земле превращаться из одного вида в другой, скрываясь от глаз экспериментатора. История закончилась благополучно: новые детекторы подтвердили дефицит солнечных нейтрино и в 2002 году Реймонд Дэвис стал лауреатом Нобелевской премии по физике. Теперь же премию дали за доказательство того, что идея Понтекорво об осцилляциях нейтрино действительно справедлива.

Осцилляции нейтрино требуют существенного изменения теории этих частиц — изначально их считали лишенными массы, осциллировать же могут лишь массивные частицы. При этом не исключена возможность, что наличие массы у нейтрино потребует пересмотра всей Стандартной модели, той самой, что дает описание элементарной основы всего сущего: имеющийся в ней механизм получения массы нейтрино не устраивает многих физиков.

*На фото вверху: при попадании в Супер-Камиоканде мюонного нейтрино получается мюон, который порождает чистый круг излучения (слева). Электрон, вылетающий при столкновении с электронным нейтрино, сопровождается каскадом других частиц (справа)*

## В поисках осцилляций

Бруно Понтекорво, он же Борис Михайлович Понтекорво, — ученик Энрико Ферми, который в 50-х годах переехал в СССР и работал в дубнинском Объединенном институте ядерных исследований, — чрезвычайно значимая фигура в физике нейтрино. Его именем даже названа медаль, которую присуждают ученым за серьезный вклад в изучение этих таинственных частиц. Подробно об истории идеи осцилляций нейтрино и о возможных будущих исследованиях в физике нейтрино он рассказал в обзоре 1983 года, опубликованном в журнале «Успехи физических наук». Посмотрим, что случилось за тридцать с лишним лет после этой публикации.

Действительно, как и предсказывал Бруно Понтекорво, в глубоких шахтах были смонтированы гигантские детекторы нейтрино, заполненные десятками и тысячами тонн различных веществ. У каждого вещества — своя специфика. Так, в опытах Дэвиса в реакции с хлором фиксировались лишь нейтрино, обладающие относительно высокой энергией, более 814 кэВ; их производит только одна из протекающих на Солнце реакций. Для получения данных с учетом нейтрино меньшей энергии были построены два галлиевых детектора: один в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ АН СССР (на нем с 1986 года и до сих пор идет совместный с США эксперимент SAGE — от «Советско-американский галлиевый эксперимент») и GALLEX, то есть просто галлиевый эксперимент, — его в 1991—1997 годах проводили итальянцы в Национальной лаборатории в Гран-Сассо. Электронное нейтрино, попадая в атом галлия, превращает его в радиоактивный атом германия, и энергия нейтрино для такой реакции должна быть ниже, чем в случае хлора, — не менее 233 кэВ. Такие нейтрино рождаются в основной реакции, обеспечивающей горение солнечного вещества.

По состоянию на 2011 год на Баксане получили интенсивность потока  $65,4 \pm 5$  условных нейтрино. У итальянцев же вышло  $77,5 \pm 8$ . Это примерно 0,6 от теоретического значения. А в опытах Дэвиса с нейтрино более высокой энергией гораздо меньше — 0,32. Сейчас галлиевый детектор на Баксане — единственный, который может ловить нейтрино низких энергий, остающийся в работе и продолжающий набирать статистику. Это своего рода подвиг: в конце 90-х его хотели размонтировать, а галлий, которого там 60 тонн, — продать.

Другое широко используемое вещество — вода. Ее преимущество в низкой цене, поэтому детектор можно сделать гигантским. Например, детектор километровой размера строят в озере Байкал (работы закончатся к 2020 году), а во льдах Антарктиды находится работающий детектор объемом в кубический километр — IceCube. Эти детекторы предназначены для изучения нейтрино космического происхождения.



Нобелевские детекторы: очистка фотодетекторов на стенах Супер-Камиоканде (слева); установка SNO в шахте Садбери (справа)



## НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

В воде не получают радиоактивные изотопы, вместо этого фиксируют так называемое излучение Вавилова — Черенкова — оно возникает, когда частицы, образующиеся в результате реакции, вызванной ударом нейтрино, разлетаются со скоростью, большей скорости света в воде. Очевидно, что для таких опытов энергия нейтрино должна быть значительной. То есть, если речь идет о солнечных нейтрино, это будут нейтрино Дэвиса.

Простейшая реакция, изучаемая черенковским детектором, — так называемое упругое рассеяние нейтрино, когда оно выбивает электрон из атома. Зафиксировав свечение электрона, удастся определить и направление полета нейтрино — в целом электрон летит в ту же сторону. Нейтрино взаимодействует с веществом за счет обмена бозонами слабого взаимодействия, которых три: два заряженных W-бозона и один нейтральный Z-бозон. Электронное нейтрино реагирует с помощью всех трех, мюонное и тау-нейтрино — только с помощью Z-бозона. В результате получается расчетная формула, которая приравнивает поток электронов к потоку электронных нейтрино с добавкой в 15% от суммарного потока мюонных и тау-нейтрино.

Первый черенковский детектор нейтрино — Камиоканде — собрали в Японии в одноименной шахте. В нем было 3000 литров воды, и с 1986 по 1995 год он насчитал 0,54 от теоретического потока нейтрино. Модификация этого детектора — Супер-Камиоканде с объемом 50 тысяч литров — за 1996—2001 годы дала 0,47 теоретического потока солнечных нейтрино.

Однако есть у черенковского детектора и другие каналы. Например, если залить тяжелую воду, то будут проходить реакции с участием дейтерия. Так, нейтрино любого аромата разобьет его на протон и нейтрон. Но у электронного нейтрино, и только у него, возможна реакция с образованием двух протонов и электрона. С учетом же электронов от упругих столкновений удастся уверенно отделить поток электронных нейтрино от потока двух других ароматов. Именно это было сделано на канадском детекторе SNO под руководством нынешнего нобелевского лауреата Артура Макдональда. Ловили они нейтрино с высокой энергией — более 2 МэВ, то есть опять-таки дэвисовские. Обработка накопленных за семь лет данных показала, что поток электронных нейтрино по реакции распада дейтерия на два протона — 1,29 условных штук, а поток нейтрино при упругом рассеянии — 2,39. Общий же поток по распаду дейтерия на нейтрон и протон оказался практически равным расчетному — 5,09. Таким образом, подтвердились данные Супер-Камиоканде: 0,46 теоретического потока пришлось на упругое рассеяние, а поток чисто электронных нейтрино оказался равен 0,27 теоретического потока — на 15% меньше, чем у Дэвиса, и в два раза меньше, чем с галлиевым детектором низкоэнергетических нейтрино. Поскольку в реакциях на Солнце рождаются только электронные нейтрино, которые по дороге могут осциллировать в два других аромата — мю и тау, то, что до Земли долетела лишь треть исходного количества показалось вполне логичным следствием осцилляций, что и подтвердил Нобелевский комитет.

То, что в галлиевых экспериментах вышло гораздо больше электронных нейтрино — 0,6 от теоретического значения, — было воспринято как факт. В сообщении Института ядерных исследований РАН просто

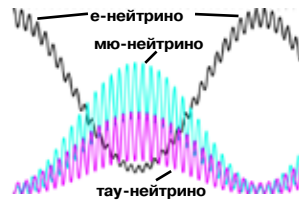
сказано: «Галлиевые солнечные нейтринные эксперименты, таким образом, дали прямое доказательство правильности Стандартной солнечной модели и теории нейтринных осцилляций с большим углом смешивания и показали, что подавляющая часть солнечных нейтрино, приходящих на Землю, — это низкоэнергетические нейтрино от протон-протонной реакции».

Еще одна странность, на которую особого внимания не обратили: и хлорный, и галлиевый детекторы дали корреляцию числа пойманных нейтрино с циклами солнечной активности, причем на одном типе детектора это число росло, а на другом — падало с ростом активности. Некоторые исследователи предположили, что причина в неверной работе детекторов, но большинство физиков списало эффект на естественный разброс значений: для выяснения истины надо ставить эксперимент эдак на четверть века (два солнечных цикла) непрерывных измерений, а это дорого.

## Ливни из атмосферы

Помимо солнечных нейтрино есть и другие, например атмосферные. При столкновении космических лучей с атмосферой возникают ливни частиц. Значительная компонента ливня — пионы. Пион превращается в мюон и мюонное антинейтрино, а мюон, в свою очередь, дает электрон и пару из электронного антинейтрино и мюонного нейтрино (для антипиона наоборот — к паре мюонное нейтрино-антинейтрино добавляются позитрон и электронное нейтрино). Энергия этих нейтрино велика, исчисляется гигаэлектронвольтами, поэтому различить их и солнечные несложно. А главное, можно посчитать соотношение числа электронных и мюонных нейтрино, причем первых должно быть в два раза меньше, чем вторых. Осцилляции, очевидно, будут такое соотношение нарушать. Вот этими-то атмосферными нейтрино и прославился второй лауреат, Кадзита Такааки.

Еще на Камиоканде зафиксировали дефицит отношения числа мюонных нейтрино к электронным: 0,6 от теоретического значения при том, что ошибка опытов была 0,2. Повторение работы на Супер-Камиоканде результат существенно не изменило — 0,675. Но как проверить, в чем суть атмосферной аномалии: нехватка мю-нейтрино? Избыток e-нейтрино? Обе причины? Воспользовались тем, что Супер-Камиоканде позволяет определить направление полета исходного нейтрино. Интерес представляли два случая — нейтрино, падающее сверху, и нейтрино, летящее снизу, то есть с обратной стороны Земли. Образываясь в верхних слоях атмосферы, первые преодолевали 15 км до детектора, а вторые — почти на 13 тысяч км больше. Предполагая, что период осцилляций никак не меньше сотен километров, можно было надеяться, что у первых никаких осцилляций не будет, а у вторых они окажутся заметными. В общем-то так



Осцилляции трех майоранских компонентов периодически складываются в электронное, в мюонное нейтрино и совсем изредка — в тау-нейтрино

и вышло, но с оговорками. Удивительным образом количеством электронных нейтрино совпадало с расчетными значениями по моделям космических лучей и было одним и тем же при падении сверху и при падении снизу. То есть в отличие от солнечных они не осциллировали, во всяком случае, период их осцилляций оказался больше, чем 13 тыс. км. А вот у мю-нейтрино при падении снизу наблюдался заметный дефицит — их было вдвое меньше, чем сверху и чем положено по расчету. Удивительно это потому, что, иллюстрируя идею осцилляций, физики любят рисовать эдакую синусоиду: вот вначале летит электронное нейтрино, вот оно стало мюонным, а вот тут, видите, снова электронное. Пойманные в Супер-Камиоканде мюонные нейтрино этой схеме следовать отказались — если они чем-то и становились, то тау-нейтрино, различить которое нельзя, а в электронное нейтрино переходить не желали. Как бы то ни было, Нобелевский комитет счел, что теория осцилляций блестяще подтвердилась в опытах на Супер-Камиоканде.

## Полет из реактора

Есть в распоряжении физиков и искусственные источники нейтрино — ускорители и реакторы. Они хороши тем, что позволяют получать потоки нейтрино заданного аромата, вполне определенной энергии, а расстояние до детектора известно точно. То есть можно попытаться вычислить два основных параметра теории осцилляций: угол смешивания (его тангенс показывает, в какой пропорции смешиваются состояния частиц при осцилляции) и разность квадратов масс осциллирующих частиц (от нее зависит, после преодоления какого расстояния нейтрино способно приобрести другой аромат). Всего было поставлено несколько таких экспериментов, которые Нобелевский комитет своим вниманием обошел.

В принципе уже из данных Супер-Камиоканде и SNO можно оценить разности квадратов масс в переходах электронного нейтрино в мюонное —  $7 \cdot 10^{-5} \text{ эВ}^2$  и мюонного в тау —  $3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2$ . Из этих значений и энергии ускорительных мюонных нейтрино в 1 ГэВ получалось, что детектор нужно ставить на расстоянии в несколько сотен километров. Точнее, надо ставить два детектора — еще один рядом с ускорителем, чтобы мерить исходный поток нейтрино. В 2005 году эксперимент MINOS начали исследователи из чикагской Лаборатории имени Энрико Ферми (Фермилаб). Они направили пучок нейтрино из своего ускорителя

## Из жизни нейтрино

Нейтрино — разновидность элементарных частиц, младшее поколение лептонов. Старшее поколение составляют электрон, мюон и тау-лептон, два последних — короткоживущие: возникающие на короткое время при превращениях других частиц. Считается, что лептоны в отличие от адронов не состоят из каких-то иных частиц. Найдены нейтрино трех ароматов — электронное, мюонное и тау-нейтрино. Каждое нейтрино имеет античастицу, однако, поскольку электрическим зарядом оно не обладает, для их различения было введено лептонное число, для каждого аромата — свое. Нейтрино входит в число фермионов (то есть в одном состоянии не может быть более одной частицы) и имеет спин 1/2. Нейтрино участвует в гра-

витационном и слабом взаимодействиях с веществом. Поскольку первое очень мало, а второе проявляется лишь на очень малых расстояниях, нейтрино легко пролетают через космические объемы вещества.

Самая главная загадка нейтрино — обладают ли они массами. Долгое время считалось, что масса нейтрино равна нулю, и для описания этой частицы была предложена теория двухкомпонентного (или продольного) нейтрино Ландау, Ли — Янга и Салама. Согласно ей, нейтрино — это продольный, то есть всегда вращающийся влево или вправо, винт (это самая простая аналогия, которую смогли придумать физики для описания явления с учетом того, что спин — достаточно абстрактное квантовое число). Вращения определяют по тому, куда направлен спин частицы, —

по ее движению или в обратную сторону. Экспериментально было доказано, что нейтрино — левые частицы. Антинейтрино — правые частицы. Правого нейтрино либо нет в природе, либо оно не участвует в слабых взаимодействиях, то есть заметить его нельзя. Таким образом, у нас есть только два состояния, а не четыре, как это было бы для настоящего винта (винт левый, винт правый, антивинт левый, антивинт правый). Если у нейтрино есть масса, эта простая аналогия перестает работать: согласно теории относительности, массивная частица движется со скоростью, меньше скорости света. Значит, гипотетический наблюдатель может всегда обогнать какое-то нейтрино, и тогда он увидит вращения в другую сторону.

Масла в огонь добавляет и специфика Стандартной модели, в которой частицы

теля на железный детектор весом 5,4 тыс. тонн, расположенный в миннесотской шахте Соудан, в 735 км от ускорителя. В этом опыте также зафиксировали исчезновение мюонных нейтрино, разность квадратов масс ( $2,34 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2$ ) оказалась близка к той, что намерили с атмосферными нейтрино на Супер-Камиоканде.

Японцы тем временем подготовили свой эксперимент T2K, направив на Супер-Камиоканде поток мюонных нейтрино с ускорителя в городе Токаи, на расстоянии 295 км. Начав получать данные в 2011 году, они снова нашли недостаток мюонных нейтрино, а разность квадратов масс для превращения мюонного нейтрино в тау- оказалась  $2,44 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2$ , то есть в согласии с американскими коллегами. Угол смешивания в обоих экспериментах также удалось выяснить — он оказался около  $45^\circ$ , то есть мюонное и тау-нейтрино смешиваются полностью.

Для изучения перехода электронных нейтрино в мюонные ускорители не годятся: энергия их нейтрино слишком мала. А вот реакторные вполне подходят: они создают мощный поток электронных антинейтрино. Вокруг все той же шахты в Камиоке расположено полсотни атомных электростанций на расстоянии от десятков до тысячи километров. Измерения с помощью специально созданного сцинтилляционного детектора KamLAND (в нем тысяча тонн светящегося вещества на основе минерального масла и бензола) начались в 2002 году. Они зафиксировали недостаток электронных антинейтрино, выявили, что их исчезновение случается на расстоянии примерно 200 км от реактора, и с учетом данных по солнечным нейтрино позволили вычислить параметры этого превращения — разница квадратов масс  $7,65 \cdot 10^{-5} \text{ эВ}^2$ , угол смешивания примерно  $32^\circ$ . А вот смешивание электронного и тау-нейтрино мало, около  $9^\circ$ , что показали другие эксперименты, однако разность квадратов масс такого превращения померить пока не удалось. Поэтому абсолютные значения масс нейтрино нам остаются неизвестны.

## Свежие аномалии

Как ни удивительно, неизвестна и разница масс при превращении мюонного нейтрино в электронное. Казалось бы, и здесь должны быть те же самые ничтожные  $7,65 \cdot 10^{-5} \text{ эВ}^2$ . Однако никто пока что напрямую этот процесс не наблюдал. Эксперимент T2K был специально отлажен для этой цели, удалось даже зафиксировать несколько лишних электронных нейтрино, но до измерений дело не дошло. Зато дошло в других экспериментах, которые дали ошеломляющие результаты. Так, в 1996 году ускорительный эксперимент LSND в Лос-Аламосе, где мюонные антинейтрино рождались непосредственно внутри детектора, показал, что они действительно превращаются в электронные антинейтрино. Но разность квадратов масс оказалась в десять тысяч раз больше: 1 эВ! Эксперимент повторили в Чикаго, и там нашли похожую разницу масс, правда, при

лишены массы как таковой. Масса возникает при взаимодействии с неким полем — полем Хиггса. Впрочем, и заряд возникает не сам по себе, а вследствие взаимодействия с полем. У нейтрино — с полем слабого взаимодействия, олицетворяемого его тремя бозонами. Так в уравнениях для описания этих частиц возникает два, в общем-то независимых множителя, связанных с полем, формирующим заряды, и с полем, отвечающим за массу.

«Осцилляции нейтрино могут иметь место, если существует некоторое (очень слабое) взаимодействие, которое нарушает сохранение лептонных зарядов или смешивает различные нейтрино между собой», — писал Понтекорво в 1976 году. «Теперь мы знаем, что среди бозонов есть "гибридные" частицы, то есть бозоны с не строго сохра-

няющимся зарядом. ...Если существуют такие электрически нейтральные "гибриды" среди фермионов, то мы вправе ожидать, что они не описываются стационарными состояниями и осциллируют, переходя друг в друга. Такие частицы являются суперпозицией частиц с определенными (различными) массами, которые описываются стационарными состояниями и являются истинно нейтральными (или майорановскими) фермионами», — пишет он же в 1983-м. Собственно, в этих двух предположениях и заключена теория осцилляций.

Согласно ей, нейтрино летит в пространстве как суперпозиция массивных состояний незаряженных частиц, которые движутся с разными скоростями, отчего то одна, то другая компонента оказывается доминирующей. Аромат же фактически при-

обретается в момент столкновения с веществом. Складывающихся нейтрино состояний может быть и три, и шесть: второе число получается, если у трех известных ароматов нейтрино имеются свои стерильные партнеры. При этом может произойти так, что именно невидимые стерильные партнеры и обладают нормальной, то есть большой, массой. Тогда нейтрино перестает быть экзотикой среди других элементарных частиц: его кажушаяся малая масса — лишь следствие того, что мы не все знаем.

Из-за введения двух наборов нейтрино: тех, что имеют аромат, который фиксируют в эксперименте благодаря слабому взаимодействию с веществом, и тех, чьи массы стоят в формулах, — такие построения непросты для понимания, но это именно то, что могут сейчас предложить физики.



*Измерить массу нейтрино можно, лишь точно установив, какую минимальную энергию уносит эта частица при бета-распаде. Не исключено, что перспективный детектор KATRIN справится с этой задачей*

других обстоятельствах, не совпадающих с лос-аламосскими. Аналогичный результат дала еще полдюжина экспериментов. На Баксане тем временем зафиксировали новую аномалию: при использовании очень интенсивного источника излучения из произведенных в реакторе изотопов хрома-51 или аргона-37 был обнаружен дефицит 14% нейтрино.

Есть мнение, что все эти результаты связаны друг с другом и физики столкнулись с совершенно новым явлением — стерильными, то есть не участвующими в слабых взаимодействиях, нейтрино. Теми самими, что рассматривал Бруно Понтекорво в 1957 году. Пока что полной ясности нет, но вся совокупность научных данных говорит: если эта гипотеза верна, то стерильных нейтрино должно быть по крайней мере две разновидности. Видимо, их поиски и станут новым этапом развития нейтринной физики, во всяком случае, подобные эксперименты уже готовятся. Так, специалисты Института ядерных исследований РАН предлагают поместить источник из хрома-51 в центр галлиевого детектора, а спустя несколько дней провести послойный анализ образования в нем атомов германия. Если окажется, что на определенном расстоянии действительно имеется пик в его содержании, а еще лучше — если будет выявлено несколько периодически повторяющихся пиков, значит, действительно имеется новый тип осцилляций с высокой разницей масс.

Открытие стерильных нейтрино существенно изменит всю картину мира. Не только будет найден весьма весомый кандидат в число частиц темной материи, той загадочной субстанции, что составляет 85,5% массы всей материи Вселенной, а с веществом взаимодействует лишь гравитационно, но и сама Стандартная модель может претерпеть серьезные изменения.



# Страницы развития нейтринной физики



## Б.М.Понтекорво

«Успехи физических наук», 1983, 141, 4, 675—709.

### Радиохимические методы регистрации нейтрино и хлор-аргонный метод

<...>Теперь я хотел бы дать субъективный отчет о нескольких страницах развития нейтринной физики, к которым я некоторым образом причастен. В 1946 году нейтрино рассматривались, вообще говоря, как недетектируемые частицы. Многие уважаемые физики придерживались того мнения, что даже вопрос о детектировании свободных нейтрино просто бессмыслен <...> так же, как, скажем, бессмыслен вопрос, бывает ли в сосуде давление, меньше чем  $10^{-50}$  атм. <...> Мне пришло в голову, что проблема может быть решена радиохимическим методом, т. е. путем химической концентрации изотопа, образующегося при обратном бета-процессе из очень большой массы вещества, облучаемого нейтрино (получаемых при работе ядерного реактора. — *Примеч. ред.*). После внимательного изучения знаменитой таблицы искусственных изотопов Сиборга были найдены несколько возможных кандидатов на мишени, среди которых наиболее подходящими оказались соединения хлора. Соответствующая реакция выглядит следующим образом:  $\nu + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-$ , где  ${}^{37}\text{Ar}$  распадается с высвобождением 2,8 кэВ энергии в виде рентгеновских лучей и электронов Оже (то есть вылетающих из внутренних оболочек атома. — *Примеч. ред.*) <...> Как-то в 1947 или 1948 г. я проезжал через Цюрих и завтракал с Прайссерком и Паули. Я рассказал Паули о моих планах с хлор-аргонным методом. Сама идея ему очень понравилась... До 1950 г. я продолжал размышлять над этой проблемой, испытывая пропорциональные счетчики

с низким фоном, имея в виду как эту задачу, так и проблему Солнца. <...>

Как мы знаем теперь, после недавних успешных экспериментов Дэвиса, эффективный фон в моих счетчиках был достаточно низок, чтобы можно было регистрировать солнечные нейтрино по распаду  ${}^{37}\text{Ar}$ .

### Осцилляции нейтрино и Солнце

<...> В 1957—1958 гг. я впервые рассмотрел осцилляции типа мюоний-антимюоний (псевдоатом, ядром которого служит антимюон с обращающимся вокруг электроном или мюон с позитроном. — *Примеч. ред.*), и мне стало ясно, что осцилляции в физике частиц могут иметь место не только в случае бозонов <...>, но и в случае электрически нейтральных фермионов. При этом хорошим кандидатом, по моему мнению, были бы осцилляции нейтрино. В то время еще не было известно, что по крайней мере существует два типа нейтрино. Тогда царил теория продольного (двухкомпонентного) безмассового нейтрино, которая не допускает осцилляции. Однако если имеются отклонения от теории продольного нейтрино, то массы нейтрино конечны и осцилляции могут иметь место. В соответствии с этим мною были рассмотрены осцилляции <...> из нейтрино в стерильное нейтрино и соответственно введено понятие стерильности нейтрино. (Стерильное нейтрино — то, которое не участвует в слабых взаимодействиях, и, стало быть, мы его не можем почувствовать иначе, как гравитационно. Стерильны правозакрученное нейтрино или левозакрученное антинейтрино. — *Примеч. ред.*)

<...> К вопросу об осцилляциях нейтрино я возвратился в середине 60-х гг. В то время мне стало совершенно ясно, что возможное явление осцилляции имеет первостепенную важность для постановки опытов по проблеме конечных нейтринных масс и возможного несохранения лептонного заряда, а также для астрофизики. Я не видел принципа, требующего нулевой массы нейтрино, и поэтому малая, но конечная масса нейтрино казалась мне не менее красивой возможностью, чем нулевая масса. Выделено ли нейтрино (нулевая масса!) среди фермионов или нет (конечная масса!) —

вот вопрос, который следовало решить экспериментом. Как раз в 1967 г. меня попросили написать статью для книги, издававшейся в честь 60-летия Джильберто Бернадини; уже будучи «энтузиастом» осцилляций нейтрино, я написал статью по осцилляциям. ... В работе 1967 г. впервые рассматривались вопросы, которые до сих пор не потеряли своей актуальности: 1) исключительно высокая чувствительность метода осцилляций для получения сведений о крайних малых значениях нейтринных масс, 2) постановка опытов по осцилляциям нейтрино на реакторах, ускорителях и космических лучах, 3) условия, при которых осцилляции лептонного числа приводят к осцилляциям ароматов, 4) условная стерильность нейтрино, обусловленная эффектом порога (низкоэнергетические мюонные нейтрино) и, наконец, 5) первостепенная важность осцилляций нейтрино для будущих экспериментов в области нейтринной астрономии Солнца (в присутствии осцилляций половина испускаемых Солнцем нейтрино может превращаться в недетектируемые частицы). <...> Первое количественное (если хотите, серьезное) обсуждение осцилляций нейтрино дано в 1968 году в работе «Нейтринная астрономия и лептонный заряд».

<...> Я хотел бы сказать два слова о нейтрино от Солнца. Измерения интенсивности нейтрино от Солнца — чрезвычайно чувствительный метод поиска осцилляций нейтрино. Это связано с тем, что энергия солнечных нейтрино мала, а расстояние между Землей и Солнцем огромно. Часто говорят, что для интерпретации так называемой загадки солнечных нейтрино, т. е. нехватки измеренной Дэвисом хлор-аргонным методом интенсивности нейтрино от Солнца по сравнению с вычисленной Бакалом <...> мною было дано объяснение *ad hoc* в терминах осцилляций нейтрино. Все произошло немного иначе. В действительности я, поверив в возможную реальность осцилляций нейтрино, предсказал, что может появиться нехватка вплоть до множителя  $1/2$  нейтрино от Солнца в будущих опытах Дэвиса...

В заключение я хотел отметить, что сегодня вопрос об осцилляциях нейтрино стоит очень остро и во всем мире выполняются и готовятся эксперименты по поиску этого явления. Будущее поколение опытов с нейтрино от Солнца — это самая

обещающая перспектива. <...> В Дубне мы по-настоящему поверили в важность осцилляции, в частности докладывали систематически на крупных международных конференциях об осцилляциях, даже когда эта тематика еще не была модной. Мы не меняли нашего мнения<...>

## Из истории нейтрино: Паули

Трудно найти пример, где слово «интуиция» характеризовало бы человеческий подвиг лучше, чем в случае изобретения нейтрино Паули. <...>50 лет тому назад были известны только две элементарные частицы — электрон и протон, и даже мысль, что для понимания вещей необходимо ввести новую частицу, была сама по себе революционной. Какая разница по сравнению с сегодняшним положением, когда масса людей при возникновении малейшей провокации готова изобрести любое число частиц! <...>

Может быть, не все знают, что первая идея о существовании нейтрино появилась в письме Паули группе специалистов по радиоактивности, которые должны были собраться на встречу в Тюбингене. Письмо начинается словами: «Дорогие радиоактивные дамы и господа...» На этом совещании Паули не присутствовал, поскольку большего он ожидал от бала, на котором хотел быть в Цюрихе вечером 6 декабря 1930 г. Однако это письмо содержало не только шутки! В нем были две идеи, которые могли принадлежать только человеку с гениальной интуицией. Эти идеи я сейчас сформулирую в сегодняшней и в паулевской терминологии:

1. В ядрах должны существовать электрически нейтральные частицы — нейтроны (Паули также называл их нейтронами), имеющие спин 1/2.

2. В бета-распаде совместно с электроном должна быть испущена нейтральная частица — нейтрино (Паули и ее назвал нейтроном) таким образом, что полная энергия электрона, нейтрино и ядра отдачи имеет определенное значение.

По существу, Паули, изобрел две частицы одновременно, причем обе они были очень нужны <...>

## Из истории нейтрино: Ферми

Следующий колоссальный шаг был сделан Ферми. Ферми познакомился неофициально с гипотезой Паули в Риме на международном Конгрессе по ядерной физике, на котором обсуждалась проблема бета-распада. Именно здесь Бор высказывался в пользу несохранения энергии. Большое впечатление на Ферми произвела частица Паули, которую он начал называть «нейтрино» <...>

Я хотел бы сообщить здесь некоторые курьезные факты, связанные с появлением этой теории, факты, свидетелем

которых я был сам, поскольку в это время работал в Риме.

1. Журнал «Nature» отказался публиковать статью Ферми, поскольку она выглядела слишком абстрактной для того, чтобы заинтересовать читателей. Я уверен, что издатель всю жизнь раскаивался в этом.

2. Второй курьез относится к трудностям, с которыми столкнулся Ферми при построении своей теории. Это были трудности не математического характера, а физического. Необходимую математику, вторичное квантование он освоил быстро, но самым трудным для него было понимание того факта, что электрон и нейтрино рождаются, когда нейтрон переходит в протон. Конечно, сегодня это знает каждый студент: взаимодействия элементарных частиц объясняются обменом элементарными частицами. Это — квантовая теория поля, которая является неизбежным следствием квантовой теории и теории относительности. Частицы рождаются и уничтожаются. Это и вызвало затруднение у Ферми <...>

Я все еще помню его слова: когда возбужденный атом натрия испускает линию 5890 А, фотон не «сидел» в атоме (он рождался); точно так же, когда нейтрон переходит в протон, рождаются электрон и нейтрино.

<...> Я хотел бы еще раз подчеркнуть, что наши знания с тех пор возросли в огромной степени; однако все (или почти все) новые факты удивительным образом укладываются в картину, нарисованную Ферми <...>

## Из истории нейтрино: Майорана

Я чувствую, что тут уместны несколько слов о третьем гиганте — Этторе Майоране, личность которого может вызвать огромный интерес не только у физиков, но и у писателей.

Когда в 1931 г. студентом третьего курса я пришел в Физический институт Королевского университета в Риме, Майорана, которому в то время было 25 лет, был уже хорошо известен узкому кругу итальянских физиков и зарубежных ученых, которые работали некоторое время в Риме под руководством Ферми. ...Согласно шуточному лексикону, использовавшемуся в римской лаборатории, физики, разыгрывая из себя членов религиозного ордена, дали «непогрешимому» Ферми прозвище Папы, а «устрашающему» Майоране — Великого Инквизитора. На семинарах он обычно молчал, но время от времени — и всегда к месту — вставлял саркастические и парадоксальные замечания. Майорана был постоянно недоволен собой (и не только собой!). Он был пессимистом, но с очень острым чувством юмора. Трудно представить себе людей со столь различными



АРХИВ

характерами, как Ферми и Майорана. В то время как Ферми был очень простым человеком (с небольшой оговоркой: он был гением!) и считал обычный здравый смысл весьма ценным человеческим качеством (которым он, безусловно, был наделен в высшей степени), Майорана руководствовался в жизни очень сложными и абсолютно нетривиальными правилами. Начиная с 1934 г. он все реже стал встречаться с другими физиками и посещать лабораторию. В 1938 г. он исчез в буквальном смысле этого слова. Вероятно, он покончил с собой, но абсолютной уверенности в этом нет <...>

Потому, что он не любил публиковать результаты своих исследований, вклад Майораны в науку гораздо меньше, чем он мог бы быть. Например, публикации знаменитой статьи, относящейся к нейтринной физике, способствовал просто счастливый случай. В 1937 г. Майорана решил принять участие в конкурсе на университетскую кафедру. Статью, о которой идет речь, он написал просто для того, чтобы повысить свои шансы на получение этой кафедры! Не будь этого случая, она, возможно, никогда бы и не появилась в печати. Теперь я вернусь к физике <...>

Специально для молодого читателя, который с самого начала своей деятельности привык слышать не только об электрических, но также и о других типах «зарядов» (барионном, лептонном и т. д.), я хотел бы подчеркнуть, что в 1937 г. было известно только понятие электрического заряда. Именно Майорана первым ввел явно представление об истинно нейтральных фермионах, или частицах Майораны, т. е. фермионах, которые идентичны своим собственным античастицам. Частицы Майораны были названы им «двухкомпонентными» (одна частица с двумя ориентациями спина), в то время как частицы Дирака являются четырехкомпонентными (частица и античастица, каждая с двумя ориентациями спина).

Майорановские частицы — это фермионы, которые не имеют ни электрического, ни какого-либо другого заряда. <...> Заметим, что в явной форме понятия барионного и лептонного зарядов были введены только в 1949 и в 1953 гг. <...>



# Победители паразитов

Е. Клеценко



Otis Historical Archives Natural Museum of Health of Medicine

Нобелевскую премию 2015 года по физиологии или медицине разделили пополам. Одна половина присуждена Уильяму Кэмпбеллу (Ирландия, США) и Сатоси Омура (Япония) за открытие лекарства, эффективного против круглых червей, в частности против возбудителей лимфатического филяриоза и онхоцеркоза. Другая половина — китайской исследовательнице Юю Ту за открытие действенного и безопасного средства против малярии.

## Ивермектин и другие

«Лимфатический филяриоз, это что еще? Ага, слоновая болезнь. А второе, river blindness — речная слепота, так? Посмотрю в Гугле...» Счастливые мы, жители развитых стран.

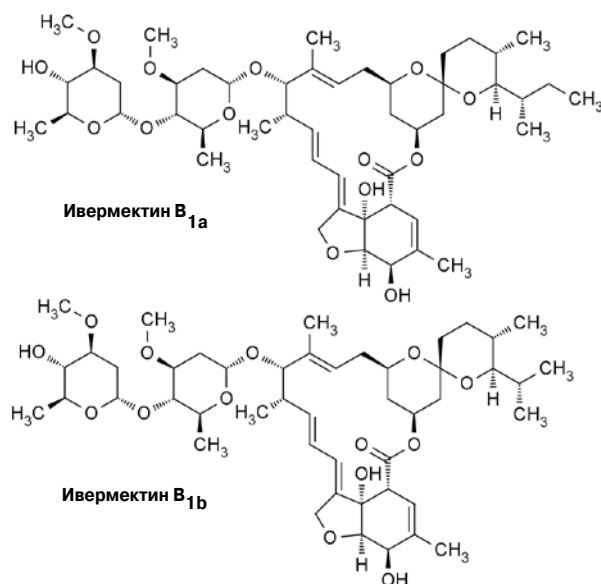
Обе эти болезни распространены главным образом в Африке, но встречаются также в Азии, Центральной и Южной Америке — в странах третьего мира, которые с надеждой именуют развивающимися. Возбудители той и другой болезни — гельминты, круглые черви, а переносят их кровососущие насекомые. Речную слепоту, или онхоцеркоз, вызывает червь *Onchocerca volvulus*. Половозрелые черви в подкожных тканях человека производят огромное количество личинок — до полтора тысяч в день. Те направляются в кожу (откуда их может унести другая мошка к другому человеку) и в глаза. Разнообразные поражения кожи — это полбеда: глазные кровотечения, воспаления роговицы и сетчатки действительно приводят к слепоте. Мошки — переносчицы личинок червя живут по берегам рек, поэтому слепота речная. Вероятно, до 25 миллионов людей в мире инфицированы возбудителем онхоцеркоза, у сотен тысяч возникли проблемы со зрением различной тяжести.

Лимфатический филяриоз чаще всего вызывают черви *Wuchereria bancrofti* и *Brugia malayi*. Инфекция обычно приобретает в детстве — личинка проникает в организм с укусом комара. Заболевание может годами протекать незаметно, однако в конце концов развиваются тяжелое поражение

лимфатической системы, отеки, разрастание тканей конечностей («слоновость»), молочных желез и гениталий. Более 1,4 миллиарда человек в 73 странах подвержены угрозе лимфатического филяриоза, более 120 миллионов инфицированы и около 40 миллионов стали инвалидами.

Чтобы лечить гельминтозы, при которых паразиты глубоко проникают в ткани тела, нужны были особые лекарства: нетоксичные для пациента, а паразита убивающие беспощадно, но нежно. Мертвый червь среди живых клеток — вызов иммунной системе; собственно, именно погибающие личинки в глазу человека вызывают особенно сильное воспаление.

Во второй половине XX века ученые начали активно искать микроорганизмы, производящие лекарственные вещества. Вдохновлял их не только пенициллин Александра Флеминга,





Паразит *Onchocerca volvulus*, возбудитель речной слепоты, высвобождается из антенны насекомого-переносчика — мошки *Simulium yahense*

но и стрептомицин, за открытие которого в 1952 году получил Нобелевскую премию Зельман Ваксман. Почвенных бактерий *Streptomyces*, среди которых был найден продуцент стрептомицина, изучал японский микробиолог Сатоси Омура. Он работал в Институте Китасато, где традиционно уделяли много внимания химии природных соединений. Омуре удалось не только изолировать многие тысячи новых штаммов бактерий, но и культивировать их в лабораторных условиях. Среди них он отобрал около 50, представлявших наиболее перспективными.

В 1971 году Омура отправился в лабораторию Макса Тишлера в Уэслианском университете (США) как приглашенный исследователь. Макс Тишлер, выдающийся химик и в прошлом директор по науке фармацевтической компании «Merck», стал связующим звеном между Омурой и этой компанией. Сотрудником «Merck» был и паразитолог Уильям Кэмпбелл — ирландец по происхождению, переехавший в США. Кэмпбелл исследовал бульон, в котором росли бактерии Омур. Порошок из лиофилизированного бульона он добавлял в пищу мышам, зараженным круглыми червями. Так выяснилось, что один из штаммов *Streptomyces avermitilis* производит вещества, убийственные для паразитов. Вещества назвали авермектинами. Кстати, этот ценный штамм Сатоси Омуре нашел под деревом на территории гольф-клуба в городе Ито.

Позднее Кэмпбелл с коллегами получили химическую модификацию авермектина — ивермектин. (Такие препараты называют полусинтетическими.) И вот это было почти идеальное лекарство: активное против самых разных круглых червей, паразитирующих на самых разных хозяевах, от мыши до человека, с продолжительным действием — его нужно принимать всего два раза в год! — действенное и при этом безвредное для пациента. Против ленточных и плоских червей ивермектин и его производные не помогают, зато эффективны и против членистоногих вредителей — например, блох и клещей.

Механизм действия ивермектина и его производных изучен не до конца. Известно, что он взаимодействует с глутамат-зависимыми и ГАМК-зависимыми хлоридными каналами, специфичными для паразитов (у млекопитающих таких каналов нет). Это приводит к гиперполяризации нервных клеток — парализованный червь умирает медленно, тем самым минимизируя воспаление.

Гражданин цивилизованной страны, если он моет руки перед едой, может за всю жизнь ни разу не воспользоваться нобелевским препаратом. Однако владельцам собак и кошек он хорошо знаком. В борьбе с паразитами, угрожающими любимому питомцу, без ивермектина и его производных не обойтись. Есть таблетки, инъекционные формы, есть даже ошейники с ивермектином, который впитывается животному в кожу. Правда, ивермектин опасен для собак породы колли и родственных им, таких, как шелти. У этих собак рас-

пространена мутация в гене *ABCB1* (он же *MDR1*), который кодирует Р-гликопротеин гематоэнцефалического барьера. Поэтому ивермектин поступает в ткани их головного мозга, там накапливается и хоть слабо, но связывается с рецептами хлоридных каналов; результат — тяжелые неврологические расстройства. Но даже для колли безвреден селамектин, структурно родственный ивермектину; он содержится, например, в каплях «Стронгхолд», которые наносят животному на холку перед выездом на природу. Так что поблагодарить лауреатов 2015 года могут и четырехлапые пациенты, спасенные от опасных болезней.

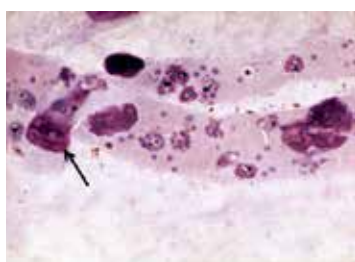
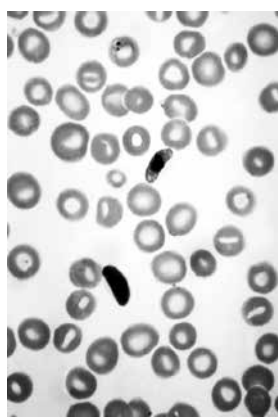
Что касается пользы для человечества — по данным Всемирной организации здравоохранения, к 2012 году лечение ивермектином прошли более 200 миллионов людей. В том числе удалось существенно потеснить с занимаемых позиций онхоцеркоз и лимфатический филяриоз.

## Рецепт китайского мудреца

«У бедного мальчика пальцы, нос и уши стали совсем восковыми, начался озноб, он дрожал так сильно, что у него стучали зубы. Пульс был слабый и неровный, кожа сухая, большого томила жажда. Вдруг поднялся сильный жар, глаза заблестели, покраснелось лицо, пульс участился; затем выступил обильный пот, а после этого жар спал и лихорадка как будто уменьшилась. Приступ длился около пяти часов...» Все, кто читал «Таинственный остров» Жюль Верна, помнят, как Герберт заболел «перемежающейся лихорадкой» — малярией, и как загадочный хозяин острова спас юношу, подбросив колонистам коробочку с «драгоценным алкалоидом коры хинного дерева», сернокислым хинином.

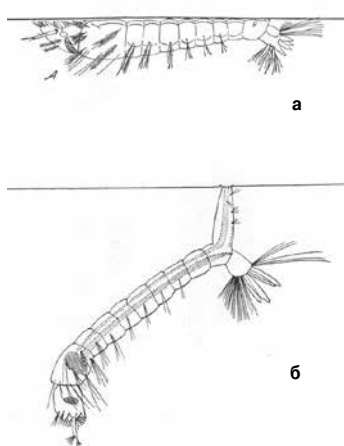
На таинственном острове авторской волей было всего понемногу, чтобы герои и читатели не скучали, — были в том числе и болота, где, очевидно, водились личинки комара рода *Anopheles*. Самки этих комаров — потому что кровь сосут только самки — переносчики и промежуточные хозяева малярийного плазмодия. Это одноклеточный паразит (не бактерия, а эукариот, его клетка имеет ядро). В эритроцитах пациента его впервые обнаружил французский врач Шарль Лаверан, работавший в Алжире (1880, Нобелевская премия 1907 года). Лаверан же показал, что после приема хинина паразиты из крови исчезают. Подробности непростого жизненного цикла малярийного плазмодия оставим студентам биологических и медицинских вузов, ограничимся одним фактом: приступы лихорадки вызваны тем, что клетки плазмодия разрывают зараженные эритроциты и инфицируют новые, а в периоды относительного покоя паразит размножается внутри эритроцитов. Повторения цикла приводят к лавинообразному увеличению численности плазмодиев. В тяжелых случаях возможны поражение мозга и смерть.

Связь между лихорадкой и болотами заметили давно — еще древнеримский писатель Варрон (116—27 гг. до н. э.) утверждал, что в воздухе болотистых мест есть мельчайшие существа, вызы-

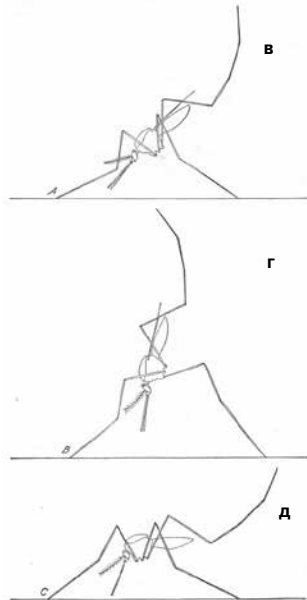


Charles Newton, Kenya  
Medical Research Institute

Малярийный плазмодий  
*Plasmodium falciparum*  
в крови и в тканях мозга



Личинка анофелеса (а) и немаларийного  
комара (б) рода *Culex*;  
посадка взрослых малярийных комаров  
(в, г) и немаларийного (д)



вающие болезнь. Но какую роль в этой истории играют комары, точно выяснили только в конце XIX века. Англичанин Рональд Росс показал, что комары передают малярию птицам (у плазмодия есть родственники, поражающие другие виды, кроме человека). А итальянец Джованни Батиста Грасси в 1898 году сделал то же в опытах на людях: комары кусали добровольцев, включая его самого. Кстати, недавние эксперименты на мышах показали, что плазмодии делают запах инфицированного хозяина особо привлекательным для комаров (PNAS, 2014, 111, 30, 11079—11084, doi: 10.1073/pnas.1405617111).

Со времен открытия Америки малярию в Европе лечили порошком коры хины, потом чистым хинином — алкалоидом, полученным из этого сырья, потом похожим на него, но

более безопасным синтетическим препаратом хлорохином. Боролись, кроме того, с насекомыми-переносчиками: мощный удар по малярии нанесло открытие ДДТ. Лекарственная терапия вместе с уничтожением комаров и осушением болот, казалось, гарантировали скорую победу над болезнью.

Однако в 60-е годы появились комары, устойчивые к ДДТ (да и экологи возражали против его массового использования), а также плазмодии, устойчивые к хлорохино. Стало ясно, что победные рапорты преждевременны. В начале XXI века малярией заболевали ежегодно 350—500 миллионов человек, по большей части — все в той же Африке южнее Сахары, причем 1,3—3 миллиона больных умирали. Ожидалось, что смертность вырастет вдвое на протяжении следующих 20 лет. В том, что прогноз не сбывлся, есть немалая заслуга третьего нобелевского лауреата.

Китайский биохимик Юю Ту начала свою научную карьеру во время культурной революции, когда интеллектуалов провозглашали вредным элементом наряду с контрреволюционерами, шпионами и «идушими по капиталистическому пути». В работе над лекарством от малярии она участвовала по заданию партии и правительства — в рамках секретного «Проекта 523» (он стартовал 23 мая 1967 года, отсюда цифры в названии). Эпидемии малярии, устойчивой к хлорохино, были проблемой и для братского вьетнамского народа, воевавшего с Америкой, и для самого Китая. Ту внесла предложение: поискать потенциальные лекарственные растения в рецептах китайской традиционной медицины (которую она хорошо знала). В первые годы работы проекта Юю Ту послали на остров Хайнань, где свирепствовала эпидемия малярии, а ее мужа в это время, как и многих других образованных молодых людей, отправили в деревню набираться классовой мудрости у простого народа. Маленькую дочку пришлось оставить в Пекине с няней.

Не все народные рецепты одинаково полезны. Фазиль Искандер в одном из своих рассказов вспоминает, как в детстве болел малярией и чегемская знахарка лечила его мочой козы без единого черного волоса. Традиционная медицина явно не помогала, но тут, к счастью для мировой литературы, дядя мальчика привез из города хинные таблетки. Потом, правда, случались рецидивы: у плазмодия есть покоящаяся стадия, способная вызывать вспышки болезни спустя много лет... Однако идея проверить методами XX века растительное лекарственное сырье была вполне рациональной: если есть хинин, почему не найти и другим? Тем более что китайские врачи начали заниматься этим вопросом задолго до самого Гиппократы: именно в китайских летописях, примерно 2700 года до н. э., малярия упоминается впервые.

Исследователей заинтересовала однолетняя полынь *Artemisia annua* — она входила в сотни рецептов, в том числе против «перемежающейся лихорадки». Экстракты полыни испытали на крысах, зараженных малярией. Результаты плохо воспроизводились, и тогда Юю Ту обратила внимание на ре-



Полынь однолетняя

Гэ Хун (283/284—343/363) — даосский философ и ученый, автор трактата «Бао-пу-цзы», теоретик «учения о бессмертии» (сянь-сюэ). Если бы он был жив, мог бы тоже претендовать на Нобелевскую премию...

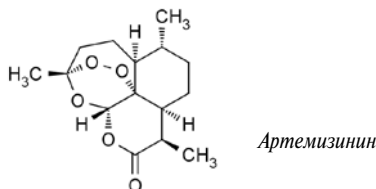


Книга рецептов Гэ Хуна (копия эпохи династии Минь)

цепт, который записал даосский ученый и алхимик Гэ Хун — личность необыкновенная, окруженная самыми фантастическими легендами. В книге 340 года н. э. «Предписания для неотложной помощи» Гэ Хун советовал взять горсть листьев полыни и выдавить из них сок в большом количестве холодной воды, а не в горячей, как это делалось обычно. Ученые попробовали холодную экстракцию и добились стабильных результатов.

В Китае времен Мао не было клинических испытаний новых лекарств в современном смысле. Здоровыми добровольцами, на которых проверяли безвредность экстракта, стали сами исследователи. Затем они отправились на Хайнань и там испытали его на больных, зараженных *Plasmodium vivax* и *P. falciparum*. У больных, получавших экстракт полыни, проходила лихорадка и падало число паразитов в крови, в то время как у пациентов, получавших хлорохин, улучшения не наблюдалось.

В 1972 году Юю Ту с соавторами выделили активное вещество экстракта. Оно убивало 100% паразитов в крови экспериментальных животных. На европейских языках это соединение назвали «артемизинин», а по-китайски — «цинхаосу», от «цинхао» — полынь и «су» — основной элемент. Они же синтезировали три производных артемизинина, еще более эффективные. Так появился принципиально новый класс противомаларийных препаратов.



В начале 80-х артемизинином заинтересовалась ВОЗ. А в 2011 году, в возрасте 81 года, Юю Ту получила премию Ласкера — Дебейки, одну из самых престижных премий в области клинической медицины. С 2000 по 2013 год глобальные показатели смертности от малярии снизились на 47%, в Африканском регионе — на 54 %. Более 100 000 жизней только в Африке ежегодно спасает комбинированная терапия с применением артемизинина. Комбинированная — потому что в 2006 году ВОЗ предписала врачам не полагаться только на него, а использовать вместе с другими препаратами. Иначе естественный отбор рано или поздно подарит нам малярийного плазмодия с мутацией в том белке, через который действует артемизинин, и опять придется все начинать сначала.

Добавим в заключение, что цинхаосу обладает некоторым противораковым действием, не таким блистательным, как противомаларийное, но подтвержденным научными исследованиями. Вот как полезно бывает читать книги мудрых даосов.

## Что впереди?

Возможно, главный урок этой Нобелевской премии: природные соединения полны сюрпризов. Сами лауреаты подчеркивают, что автор авермектина и артемизина — природа, а они лишь поискали в кладовой, куда все положили до них. «Мне помогли микроорганизмы, и я гадаю, заслужил ли я премию», — сказал Сатоси Омура на пресс-конференции в университете Китасато. Уильям Кэмпбелл заметил в телефонном интервью, опубликованном на сайте Нобелевского комитета, что «это изрядное проявление гордыни в людях, когда они думают, что могут сравняться с природой по разнообразию синтезируемых молекул».

Итак, вот рецепт успеха: команда профессионалов, достойное финансирование (без этого никак, это понимали даже идеологи культурной революции!) — и планомерный поиск. Благо современные технологии, прежде всего геномные,



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

дают возможности, о которых нынешние лауреаты в свое время и мечтать не могли. Комментаторы даже говорят о «бактериальной темной материи» — огромном разнообразии природных микроорганизмов, пока еще неизвестных науке, с неизвестными свойствами. В январе 2015 года группа американских и немецких ученых при участии двух фармацевтических компаний опубликовала статью об открытии нового антибиотика, найденного в природе («Nature», 2015, 517, 455—459, doi: 10.1038/nature14098; «Химия и жизнь», 2015, № 2). Он замечателен по двум причинам. Во-первых, новых антибиотиков в природе не находили уже несколько десятилетий. Во-вторых, он очень хорошо убивает возбудителя туберкулеза, а устойчивый к антибиотикам туберкулез сегодня сильно тревожит ученых и медиков.

Конечно, бороться с инфекционными болезнями надо по всем фронтам. Много пользы могла бы принести вакцинация людей в зонах риска. Первая вакцина против малярии, возможно, будет рекомендована ВОЗ в конце 2015 года («The Lancet», 2015, 386, 9988, 31—45, doi: 10.1016/S0140-6736(15)60721-8). Да-да, до сих пор лицензированной вакцины не было.

А если болезнь переносят насекомые, стоит ударить по насекомым. Инсектициды, осушение болот, даже просто раздача населению репеллентов и противокмаринных сеток всегда улучшают эпидемиологическую ситуацию. Исследователи работают и над высокотехнологичными способами. Скажем, если выпустить на волю множество бесплодных трансгенных насекомых, это резко сократит популяцию переносчика. Такие опыты ведутся, например, в окрестностях бразильского города Жуазейры («PLoS Neglected Tropical Disease», 2015, 9, 7, e0003864, doi: 10.1371/journal.pntd.0003864). Численность комаров упала, статистика по заболеваемости лихорадкой денге ожидается...

Одну из стратегических целей борьбы обозначил Уильям Кэмпбелл в том же интервью: дать людям возможность «жить в плодородных областях земли, которые они были вынуждены покинуть из-за болезней». В самом деле, пора бы уже людям XXI века называться не хозяевами паразитов, а хозяевами собственной планеты.

Победит ли человечество инфекционные заболевания, сделает ли всю Землю такой же биобезопасной (хотя бы такой же), как лучшие современные европейские города? Или гонка вооружений между паразитами и учеными никогда не закончится и выигрыши будут сменяться проигрышами? Кстати, поскорее бы нанести удар по туберкулезу и другим устойчивым к антибиотикам инфекциям, которых хватает и в европейских больницах. Заражение метициллин-резистентным золотистым стафилококком ежегодно убивает тысячи людей в развитых странах.

Так или иначе, в эпоху глобализации нельзя считать, что Африка и Азия — это очень далеко и не там, где мы. Успехи Африканского региона в борьбе с инфекционными болезнями должны радовать и нас.



# Работа над ошибками

Е. Клещенко

*Нобелевская премия по химии 2015 года присуждена Томасу Линдалью (Швеция, Великобритания), Полу Модричу (США) и Азису Санджару (Турция, США) за открытие механизмов репарации ДНК.*

Мутация — резкое изменение признаков организма, наследуемое потомками, говорили век назад. Мутация — необратимое изменение в нуклеотидной последовательности генома, говорим мы сейчас. И даже совсем далекие от биологии люди знают, что мутация — это «опечатка в ДНК» (или в РНК, если геном РНКовый, как у некоторых вирусов).

К изменению фенотипических признаков ведет не всякое изменение генотипа. Бывают нейтральные мутации, бывают слабовредные — такая мутация изменяет, скажем, аминокислотную последовательность белка, но белок не перестает выполнять свою функцию, просто он выполняет ее чуть хуже. Таких мутаций больше, чем думают непосвященные. Как отметил А.С. Кондрашов, известный специалист по эволюционной биологии, в генотипе каждого человека присутствует от 900—1100 заменяющих аминокислоту слабовредных мутаций (<http://postnauka.ru/faq/27820>). Так что, со всем уважением, и читатели «Химии и жизни». и, конечно, авторы, — все мы мутанты. Но мутаций в нашем геноме было бы еще больше, если бы не механизмы, которые начали изучать в 70—80-е годы XX века лауреаты Нобелевской премии по химии 2015 года. Точнее, без этих механизмов мы просто не выжили бы.

Опечатки в ДНК, как и в обычном тексте, бывают разные. Большие или маленькие отрывки пропадают или повторяются несколько раз, перескакивают в другое место, совершенно неподходящее. Роль клавиш Shift-Del, Ctrl-C и Ctrl-V могут играть, например, мобильные элементы генома. Фрагмент текста может перевернуться задом наперед (а вот такого, пожалуй, с типографским текстом не случается). Однако нас сейчас интересуют однобуквенные опечатки. Они возникают, когда нуклеотид в старой нити поврежден так, что при репликации распознается с ошибкой. Или когда со старой нитью все в порядке, но фермент ДНК-полимераза, строя новую нить, случайно допускает опisku, ставя вместо комплементарного нуклеотида другой. Фермент настолько умен, что может сам сделать поправку, откусив последний нуклеотид и вставив правильный. И все же ДНК-полимераза, как принято считать, сажает около пяти ошибок на каждые 10 тысяч букв. Это очень много, если помнить, что одна копия генома человека — 3 миллиарда пар нуклеотидных оснований, а копирование ДНК происходит при каждом клеточном делении..

Так что же, ДНК — ненадежное хранилище наследственной информации? Это не совсем так: она, во всяком случае, надежнее РНК, которая играла эту роль на начальных этапах эволюции и которая гораздо менее стабильна. (Подробнее о РНК-мире см. статьи М.А. Никитина в рубрике «Биогенез», «Химия и жизнь», 2013.) Правда, существует гипотеза, согласно которой древние вирусы «внедрили» ДНК вместо РНК не только и не столько ради ее стабильности, сколько для того, чтобы спастись от защитных систем хозяина — древней протоклетки: перешли, так сказать, на альтернативную кодировку. К тому же при небольшом размере генома и до изобретения многоклеточности ошибки репликации не представляли серьезной проблемы и даже приносили

пользу: пусть погибнет клетка или вирус с неудачной мутацией, другие выживут. Нестабильность генома была источником изменчивости, а изменчивость — тот материал, с которым работает естественный отбор.

Не так обстоит дело у многоклеточных организмов: мутации в отдельно взятой клетке — причина рака и старения. Большое число ошибок для многоклеточного организма оказалось бы несовместимым с жизнью. Источником же изменчивости может быть половой процесс, а также другие способы перемешивания генов (о горизонтальном переносе генов и той роли, которую он, согласно современным представлениям, играет в эволюции, см. «Химию и жизнь», 2015, № 9, 10). Даже бактериям, как выяснилось, нужны специальные механизмы, снижающие число ошибок в ДНК. За открытие таких механизмов — систем ДНК-репарации — и были присуждены Нобелевские премии по химии этого года.

## «Урацил — не найдено. Заменить на цитозин?»

Мы расскажем о трех таких системах. Они называются «эксцизионная репарация азотистого основания» (base excision repair, BER), «эксцизионная репарация нуклеотидов» (nucleotide excision repair, NER), и «репарация ошибочно спаренных нуклеотидов» (mismatch repair).

Заметим, что все трое лауреатов работали 60—80-е годы XX века, методами тогдашней молекулярной биологии. Рассказывать сегодняшним студентам, как они получали свои результаты, — не совсем то же самое, что объяснять юноше с GPS в смартфоне про секстант и астролябию, но что-то общее есть. Отсутствие современных способов исследования ДНК и белков они компенсировали изяществом и остроумием экспериментов.

Томас Линдаль работал в Каролинском институте (Стокгольм), что не без удовольствия отмечают представители Нобелевского комитета: в этот раз они награждают земляка. В конце 60-х Линдаль решил проверить, насколько нестабильна ДНК в физиологических условиях. Именно в физиологических, без воздействия канцерогенов и ультрафиолета. Результат был несколько пугающим: в геноме одной клетки человека в течение дня могли бы возникнуть тысячи мутаций. Например, азотистое основание цитозин может потерять аминогруппу. Получится урацил (U) — в ДНК такой буквы нет, но она есть в РНК. Там она заменяет тимин, а комплементарен урацилу, соответственно, аденин, а не гуанин, как исходному цитозину. В новой цепи, построенной на такой испорченной матрице, возникнет ошибка.

Понятно, что наша ДНК не деградирует с такой скоростью. Но если что-то не может не портиться и все же остается исправным, значит, кто-то его чинит.

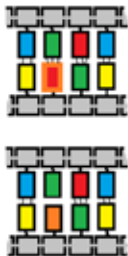
Линдаль в начале 70-х открыл у кишечной палочки самый первый фермент репарации — урацил-ДНК-гликозилазу. Этот фермент выкусывает из цепи ДНК неуместный в ней урацил, отрывая его от дезоксирибозы. (Кстати, excision и означает «удаление, вырезание».) Затем другие ферменты удаляют остатки нуклеотида, и после этого ДНК-полимераза может вставить правильный — цитозин, комплементарный гуанину в другой цепи. Линдаль же установил, что этот фермент специфичен к ДНК, а на РНК не обращает внимания, — и хорошо, что так, иначе



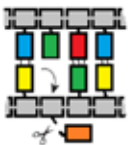
Томас Линдаль

### Эксцизионная репарация (удаление азотистого основания)

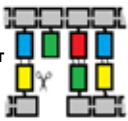
1 Цитозин может превратиться в урацил, комплементарный не гуанину, а аденину.



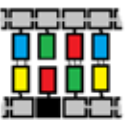
2 Фермент урацил-ДНК-гликозилаза находит дефектное основание и удаляет его.



3 Другие ферменты удаляют остаток нуклеотида.



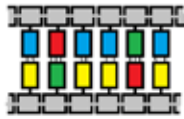
4 ДНК-полимераза вставляет новый нуклеотид, ДНК-лигаза сшивает нить.



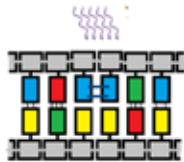
Азиз Санджар

### Эксцизионная репарация (удаление нуклеотида)

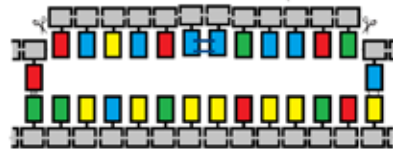
1 Ультрафиолет или канцероген сшивают два тимина.



2 Ферментный комплекс находит повреждение и разрезает нить ДНК в двух местах.



3 ДНК-полимераза заполняет разрыв, ДНК-лигаза сшивает новый и старый участки.



Иногда при копировании ДНК в новую нить ставится неправильный неклетид. Это необходимо исправить.



Пол Модрич

### Репарация ошибочно спаренных нуклеотидов

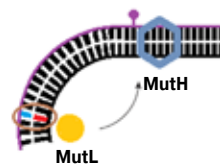
1 MutS и MutL находят ошибку

Старую нить от новой отличают метильные группы

Ошибочное спаривание



2 MutH распознает метильную группу старой нити: удалить надо участок другой нити.



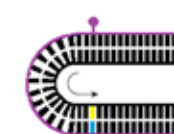
3 Фрагмент, содержащий ошибку, вырезан.



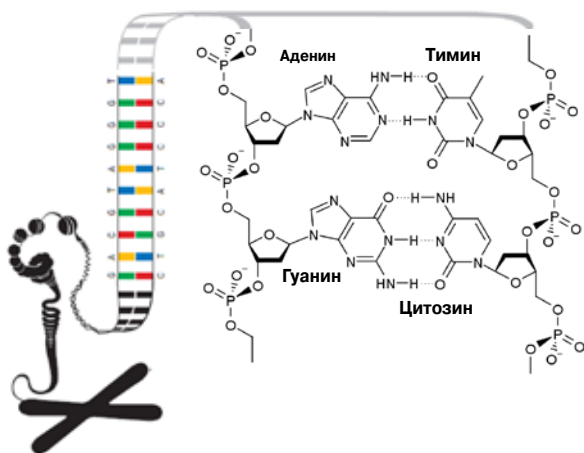
4 И удален.



5 ДНК-полимераза заполняет разрыв, ДНК-лигаза сшивает новый и старый участки.



### Структура ДНК



Спираль ДНК состоит из двух нитей, нити — из нуклеотидов, нуклеотиды содержат азотистые основания. Аденин всегда образует пару с тиминном, гуанин — с цитозином. Согласно этому правилу происходит репликация (копирование) ДНК. Однако иногда правило нарушается, и в новых нитях возникают ошибки. Кроме того, «буквы» ДНК могут быть повреждены ультрафиолетом, канцерогенами, свободными радикалами... Повреждениям противостоит репарация ДНК

### НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

он попортил бы всю РНК, удаляя из нее урацилы.

У млекопитающих есть аналогичные ферменты — целый набор ДНК-гликозилаз, вырезающих из ДНК азотистые основания, по-разному испорченные. Ювелирное, буквально точечное исправление.

### Править или переписывать?

Другой вид репарации, при котором удаляется и заменяется новым небольшой фрагмент нити ДНК, открыл Азиз Санджар. Турецкий лауреат (второй за всю историю Нобелевской премии; первым был писатель Орхан Памук) родился седьмым из восьми детей в небогатой семье. Его родители были не слишком образованными людьми, но считали очень важным, чтобы их дети получили образование. В 1963 году Санджар окончил медицинскую школу в Стамбуле, несколько лет работал врачом в турецкой глубинке, но в 1973 году решил заняться экспериментальной наукой — биохимией. (Оцените отвагу!) В ответ на вопрос, почему он решил поехать в Америку, Санджар привел слова Джона Леннона: дескать, если бы вы жили в Римской империи, вы хотели бы отправиться в Рим, потому что все самое важное происходит там.

В лаборатории Стенли Руперта (Техасский университет, Даллас), где Санджар делал диссертацию, исследовали удивительное явление: фотореактивацию бактерий. Ультрафиолетовое



излучение подавляет их рост, а подсветка обычным светом возвращает к норме. Было известно, что от ультрафиолета страдает ДНК бактерий. Ультрафиолет ковалентно сшивает находящиеся рядом тимины (Т-Т), и это мешает синтезу ДНК. Резонно было предположить, что за исправление этой ошибки отвечает какой-то фермент. Санджар клонировал ген этого фермента кишечной палочки и исследовал его. Фермент назвали фотолиазой. Как выяснилось позднее, он использует фотоны света как источник энергии, чтобы разорвать тиминный димер.

Защитив диссертацию, Санджар продолжил изучение репарации в Йельском университете. Там он занимался не фотолиазой (к которой вернулся позже), а так называемой темновой репарацией — восстановлением бактерий после УФ-облучения в отсутствие подсветки. Ранее было показано, что бактерия при этом вырезает участок ДНК с тиминным димером — этот димер перемещается из фракции ДНК с большим молекулярным весом во фракцию с малым весом. Кроме того, были известны гены, мутации в которых делают бактерий гиперчувствительными к ультрафиолету; они получили названия *uvrA*, *uvrB* и *uvrC*. Были также указания на то, что именно их продукты расщепляют облученную ДНК.

В конце 80-х Санджар получил продукты этих генов (по тем временам это была очень нетривиальная задача) и смог реконструировать весь процесс репарации. Оказалось, что комплекс белков *UvrA*, *UvrB* and *UvrC* (этот комплекс назвали красивым словом «эксцинуклеаза») вырезает фрагмент поврежденной нити. Затем ДНК-хеликаза — фермент, раскручивающий двойную спираль и разделяющий нити — удаляет вырезанный фрагмент, а ДНК-полимераза заполняет прореху.

У человека подобная система репарации тоже есть, только участвуют в ней не три белка, а более пятнадцати. Мутации в генах этих белков вызывают наследственные заболевания, такие как пигментная ксеродерма, для которой характерны высокая чувствительность к ультрафиолету и предрасположенность к раку кожи. Кстати, именно у пациентов с этим заболеванием были впервые идентифицированы многие гены человеческой системы NER.

## Mismatch repair: исправленному верить

Хорошо, у нас есть механизмы, распознающие поврежденные нуклеотиды. Но что делать, если ДНК-полимераза, выстраивая новую нить, поставила не тот нуклеотид, какой надо? Как узнать, в которой нити ошибка? Сам нуклеотид нормальный, без повреждений, только не образует уотсон-криковской пары с нуклеотидом другой нити. Продолжая аналогию с текстами — представьте, что в одном варианте стоит «человеку свойственно ошибаться», в другом «счеловеку свойственно ошиваться», и поди пойми, то ли автор серьезно цитировал латинскую половицу, а потом случилась ошибка при наборе, то ли автор шутил, а ему попался слишком серьезный корректор...

Опытный издательский работник сразу же ответит: надо найти исходный вариант и править по нему. Как установил третий лауреат, Пол Модрич (Университет Дюка), клетка может это сделать: отличить материнскую нить от дочерней — матрицу от копии — и выправить вторую по первой. Важную роль в этом играет метилирование ДНК.

Метилирование еще не так знаменито, как мутации, и все-таки о нем слышаны многие. Например, обратимое присоединение метильных групп к ДНК лежит в основе эпигенетического наследования — оно регулирует активность генов, а, следовательно, и признаки организма, не затрагивая последовательности ДНК. С метилированием связаны и рак, и старение, и воздействие на организм меняющихся условий (так, на узор метилирования у человека воздействуют интенсивные физические упражнения). Метилирование у бактерий во многих отношениях отличается от метилирования у высших организмов, но оно у них тоже есть и тоже важно.

Модрич заинтересовался ферментом метилазой *Dam* кишечной палочки еще в конце 1970-х. У кишечной палочки метилированы обе нити ДНК, но пришиванию  $\text{CH}_3$ -групп к ДНК требует времени, так что в дочерней цепи их, естественно, меньше, чем в материнской. Метью Мезелсон из Гарвардского университета в 1976 году предположил, что именно по метильным группам бактерия определяет, какая из цепей старая. В совместных экспериментах Мезелсон и Модрич подтвердили это напрямую. Метилирование ДНК подсказывало клетке, какую из цепей корректировать, с другой стороны, потеря функции метилазы повышала уровень мутаций.

К концу 80-х годов Модричу удалось реконструировать весь процесс *in vitro*. Белок *MutS* находит «мисмэтч» (*mismatch*) — некомплементарную пару нуклеотидов в ДНК, *MutH* связывается с «полуметилированным» сайтом *GATC* — легко видеть, что эта последовательность одинакова в обеих нитях, но в материнской будет метильная группа, а на дочерней нет. *MutL* связывает два эти белка, и после этого *MutH* разрезает дочернюю нить. Затем опять-таки ДНК-хеликаза помогает удалить фрагмент и ДНК-полимераза синтезирует новый, правильный.

Это все мы рассказывали про бактерию. Уже в XXI веке Модрич с соавторами реконструировал эукариотическую систему с той же функцией. Правда, в геноме человека с метилированием все несколько по-другому, и что у нас направляет репарацию ошибочно спаренных нуклеотидов — еще предстоит выяснить; идеи есть, но они нуждаются в доказательствах. Так или иначе, именно этот механизм уменьшает количество ошибок, оставленных ДНК-полимеразой, с единиц на десятки тысяч нуклеотидов до единиц на сотни миллионов.

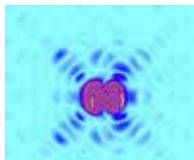
Но как быть с ошибками, которые все же ускользают от контроля систем репарации и накапливаются? Некоторых философов беспокоит, что мы, люди, ослабили давление естественного отбора на наш вид. С одной стороны, конечно, прекрасно, что *Homo sapiens* с незначительно пониженной приспособленностью больше не умирают бездетными, — неумение быстро бегать, возможно, сопровождается у них какими-то ценными качествами, например, математической одаренностью. С другой стороны — как далеко может зайти снижение приспособленности?

Понятно, что мы не можем свернуть с пути, на который ступили еще наши далекие предки, когда начали заботиться о своих больных. Против этого восстанет вся наша этика, которая сама имеет огромную приспособительную ценность. Очевидно, нам следует пройти этот путь до конца, а именно научиться корректировать ошибки в геноме, избегая их опасного накопления — и в личной жизни отдельной особи, и в истории вида.

Идеальный репаративный комплекс как лекарство от старения и рака — пока полная фантастика. Но есть противораковые лекарства, использующие наши знания о репарации и действующие в противоположном направлении, по принципу «падающего толкни». Коль скоро в раковой клетке повреждены механизмы репарации, повредим их еще сильнее, и клетка умрет. Именно так работает, например, олапариб — сравнительно новое лекарство. Несомненно, будут появляться и другие. Фундаментальное знание о том, как хранится и восстанавливается наша наследственная информация, никогда не утратит практической ценности.

**Селенидный фонон**

*Нестабильность кристаллической решетки — секрет успеха при создании термоэлектриков.*



Агентство «NewsWise», 16 октября 2015 года

**Т**ермоэлектрики — материалы, которые превращают тепло в электричество. Для этого нужно, чтобы одна сторона такого материала была существенно теплее, чем другая, то есть он должен плохо проводить тепло, а электричество — хорошо. Обычно эти два свойства связаны: чем выше теплопроводность, тем выше проводимость, и наоборот. Перспективным материалом среди термоэлектриков считают селенид олова: у него оба свойства оказались разьединены. А почему, не ясно.

Для разгадки этой тайны исследователи из Окриджской национальной лаборатории Минэнерго США во главе с Оливером Деларе использовали суперкомпьютер, чтобы строить модели, и нейтронный источник окриджского реактора — по картине рассеяния пропущенных через образец нейтронов можно проследить за колебаниями кристаллической решетки. Они в этом деле главные: именно кванты таких колебаний — фононы — переносят тепло в твердом теле, и на них же рассеиваются электроны.

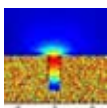
Обычно атомы колеблются гармонически — с равной амплитудой в каждую сторону от узла решетки. Такие гармонические фононы путешествуют без взаимодействия. Но если появляется ангармонизм — в одну сторону при каждом колебании атом отклоняется сильнее, чем в другую, тогда фононы начинают взаимодействовать и вязнуть друг в друга. Как оказалось, у селенида олова при температуре меньше 810°C наблюдается очень сильный ангармонизм колебаний (на фото картина несимметрична): решетка ведет себя подобно мехам аккордеона. Из-за этого фононы быстро вязнут и не могут обеспечить выравнивание температуры.

Термоэлектрики — важнейший материал XXI века: считается, что с их помощью удастся не только создавать бесшумные экономные холодильники или элементы для утилизации тепла Солнца, но и собирать те 60% тепла, которые бессмысленно рассеивают в окружающей среде созданные человеком устройства. Нестабильность решетки селенида олова подсказывает, в каком направлении следует двигаться при оптимизации таких материалов.

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

**Дырчатый энергосборник**

*Лист меди с надрезами поможет собирать тепло.*



Агентство «NewsWise», 8 октября 2015 года

**С**обирать рассеянное тепло можно не только термоэлектриком. Другой способ — преобразовать излучение в постоянный ток подобно тому, как это делает выпрямитель переменного тока. Проблема в том, что частота тока в сети — 50 Гц, а частота теплового электромагнитного излучения в миллиарды раз больше и измеряется сотнями терагерц. Преобразователи существуют — их называют ректеннами, — но их рабочая частота не превышает одного терагерца.

Инженеры из Колорадского университета во главе с Воном Парком решили создать преобразователь частоты. Для этого они использовали идею метаматериала. В нем благодаря определенному микрорельефу можно сначала превратить падающую волну в колебания электронной плотности — возбудить плазмон, а потом снять возбуждение, испустив волну меньшей частоты. Расчет и опыты показали, что для этого надо взять медный лист и проделать в нем узкие надрезы; в таких надрезах и концентрируется энергия (см. фото слева). Рассчитали они и геометрию ректенны: имея форму бабочки, лежащей на медном листе (см. рис. справа), она станет преобразовывать тепло в сто тысяч раз лучше, чем на открытом месте. Теперь дело за изготовлением соответствующего экспериментального устройства и проверки теории.



Таким образом, все ближе к реализации очередной фантастической объект. Помните придуманные братьями Стругацкими звездолеты класса «призрак», которые заряжались энергией, вымораживая окружающее пространство?

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

**Редактор для генома**

*Опробован способ создания новых растений без встраивания ДНК.*

Агентство «AlphasGalileo», 19 октября 2015 года

**Б**лестящая идея пересадки генов наткнулась на столь сильное сопротивление общества, что селекционеры вынуждены искать обходные пути для быстрого создания растений с улучшенными свойствами. Один из них — редактирование генома без использования чужеродных ДНК. Этот способ исследователи из южнокорейского Института фундаментальной науки во главе с Жин-Су Кимом опробовали на клетках салата, табака и риса.

Редактировали с помощью «молекулярных ножниц» CRISPR/Cas9 (см. «Химию и жизнь», 2015, № 6; 2014, № 7). Такая конструкция рассекает ДНК растения в точно выбранном месте, а дальше клетка уже своими силами заделывает повреждение, изымая таким образом отмеченный ген из обращения. То есть, в геном ничего не вставляют — только отключают собственный ген растения. По мнению авторов работы, процедура практически не отличается от обычного мутагенеза, идущего в природе, разве что повреждается не случайный ген, а заранее выбранный. Опыты с отредактированными клетками показали, что операция проходит успешно: никакой мозаики генов в образцах размножившихся клеток не было. Из полученных семян удалось почти в половине случаев вырастить отредактированные растения и во втором поколении. Поскольку в них нет чужеродной ДНК, на них не распространяются ограничения Евросоюза. Более того, методика относительно проста, и ее смогут применять в малых семеноводческих хозяйствах, что снимает серьезную проблему — зависимость от монополиста-производителя трансгенных семян.

Правда, редактирование генома может оказаться не столь безобидным и без всякой чужеродной ДНК. Вот, скажем, у картофеля ядовитые ягоды сопутствуют вполне съедобным клубням. Геном у них один, все дело в регуляции активности генов. И если неаккуратно отредактировать этот самый регулятор, то...

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

**Клетки превращаются**

*Раковая клетка становится лимфоцитом-убийцей*

«Proceeding of the National Academy of Sciences», 2015; doi/10.1073/pnas.1519079112

**О**бычно для превращения клеток из одного типа в другой требуется обработка коктейлем веществ. Похоже, биологам из Скриппсовского исследовательского института во главе с профессором Ричардом Лернером удалось придумать другой способ.

Длительное время его группа сканирует библиотеки антител, чтобы найти способы активации новых клеточных рецепторов. В частности, были обнаружены антитела, активирующие рецепторы клеток костного мозга, причем одно антитело сумело превратить эти клетки, в норме становящиеся клетками крови, во взрослые нейроны. Эта находка породила смелое предположение: а может быть, удастся найти антитело, которое трансформировало бы злокачественные клетки костного мозга, те самые, что порождают переизбыток лейкоцитов, приводящий к лейкозю, то есть лейкозу?

Исследователи испытали двадцать антител, которые уже работали против вызывающих лейкоз клеток, и под воздействием одного из них злокачественные клетки превратились в дендритные клетки — важнейший элемент иммунной системы. Это уже и само по себе успех, но наблюдения продолжились и оказалось, что длительное пребывание в среде с этим антителом ведет к дальнейшим превращениям — стали появляться Т-лимфоциты, клетки-убийцы. Поразительно, что они уничтожали злокачественные клетки костного мозга, однако не трогали похожие на них клетки рака груди. Скорость работы новых Т-лимфоцитов была очень высокой: популяцию злокачественных собратьев они уменьшили на 15% всего за сутки.

Лернер считает, что фармацевтические компании обязаны заинтересоваться этим эффектом, который может привести к появлению принципиально новых средств от рака. Не исключено, что при длительном воздействии все дефектные клетки либо станут Т-лимфоцитами, либо погибнут и раковая ткань исчезнет без следа.

# Силовая оптика

Доктор  
физико-математических наук

**В.В.Аполлонов**

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
отдел мощных лазеров

## Как возникла проблема

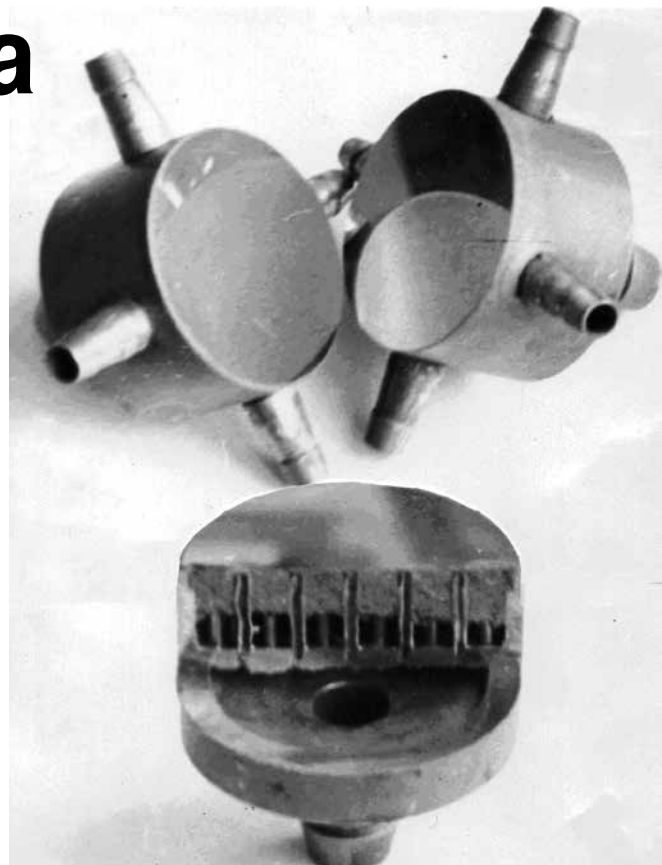
Археологи утверждают, что человечество научилось делать зеркала более пяти тысяч лет назад. Сначала это были полированные бронзовые или серебряные пластинки, и лишь у древних римлян появились стеклянные зеркала с оловянной или свинцовой подложкой. С тех пор технология производства зеркал менялась много раз, но в основе оставались стекло или кварц с нанесенными на них металлическими покрытиями. В древности энергетическое воздействие потоков излучения не было страшно зеркалам — они отражали очень слабый свет: от далеких звезд, от пламени свечи или лучины. Позже ситуация начала меняться, но серьезные проблемы взаимодействия оптических зеркал с мощным излучением появились только после создания лазеров.

В лазерах генерация возникает в резонаторе, который состоит как минимум из пары зеркал, и через одно из них излучение выводится наружу. Поначалу прекрасно обходились традиционными кварцевыми дисками с зеркальным покрытием, но за прошедшие годы мощность лазерных потоков излучения выросла в десятки тысяч раз и более. И проблема создания зеркал, способных работать и сохранять оптические характеристики при воздействии интенсивного излучения, стала одной из ключевых в технике мощных лазеров и высокоэнергетических систем. Эта область получила свое имя: силовая оптика.

Конструктивные, материаловедческие и технологические идеи, возникшие и разработанные при создании силовой оптики, применяются в других областях, например в астрономической и космической оптике и при создании систем на основе лазеродиодных сборок.

## Оптика мощных лазеров

Еще в конце шестидесятых годов ученые обнаружили явление, которое должно было ограничить рост мощности лазерных систем и соответственно интенсивность лазерного луча на поверхности облучаемого объекта. Суть этого явления, изучению которого и решению связанных с ним проблем было посвящено более двадцати лет серьезных фундаментальных и прикладных исследований, заключалась в следующем. Оптическая поверхность даже очень хорошего зеркала не полностью отражает падающее на нее излучение: часть (доли процента, в зависимости от длины волны) поглощается в зеркале и превращается в тепло. По мере роста мощности лазерного излучения даже этой небольшой величины оказывалось достаточно, чтобы в зеркале возникли термические напряжения. Они искажали геометрическую форму отражающей поверхности, что влияло, например, на возможность доставки излучения на большие расстояния и его концентрации в малом объеме. Тепловые деформации зеркал могут не только ухудшить характеристики луча, но и привести к срыву генерации: лазер перестает быть лазером.



1  
*Лазерные зеркала; на разрезанном видны каналы для охлаждающей жидкости*

А можно ли вообще создать зеркала, которым не страшен поток излучения мощностью в несколько мегаватт? Именно этот вопрос и стал главной задачей для мировой лазерной общины начала семидесятых годов.

В Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН и в других организациях страны много лет велись исследования в области лазерной оптики высоких интенсивностей. Для каждого типа лазерной системы в зависимости от применений задается предельно допустимая величина искажения зеркальной поверхности, обычно это  $0,1-0,05$  длины волны лазерного излучения. У  $\text{CO}_2$ -лазера длина волны составляет  $10,6$  мкм, следовательно, упругие искажения не должны превышать долей микрона. Более высокие требования предъявляются к оптике коротковолнового диапазона. Интенсивность светового потока, при которой искажения поверхности зеркала достигают этих пределов, — максимально допустимая. Дальше — нельзя, так как изменится форма пучка излучения, а если и еще увеличить нагрузку, то деформации становятся неупругими, на зеркале образуется необратимый рельеф, его надо заменять. Так вот, надо было сделать зеркала, которые могли бы подолгу выдерживать лучевые нагрузки в несколько киловатт на квадратный сантиметр поверхности. Подобное требование по нагрузке не уникально для техники — в электронно-вакуумных приборах такие плотности мощности бывают, но там никогда не бывает таких требований по сохранению формы рабочей поверхности!

Вот два примера, показывающих, насколько сложна задача. У зеркала, побывавшего в руках экспериментатора всего несколько секунд, из-за неравномерного нагрева теплом руки деформация оптической поверхности уже близка к предельно допустимой величине. Правда, в этом случае, если зеркало оставить в покое, форма его восстановится. Зеркалам же современных мощных лазеров достается тепловой поток

с величиной плотности мощности в несколько киловатт на квадратный сантиметр, он сравним с энергетическим потоком, который излучается в окружающее пространство непосредственно с единицы поверхности Солнца. А отсюда следует, что если мы как-то изловчимся и «положим на Солнце» лазерное зеркало (протянув к нему с Земли трубы для системы охлаждения), то форма его поверхности не должна существенно измениться и в этом случае.

Чтобы решить подобную задачу и создать требуемую для построения мощных излучающих структур силовую оптику, необходимо было распутать целый клубок проблем, относящихся к квантовой электронике, оптике, термоупругости, теплообмену, материаловедению и ко многим другим областям знания.

## Попытки решения

Казалось бы, первый шаг очевиден: заменить полупрозрачный кварцевый диск на металлический и вывести излучение наружу за счет дифракции через отверстие в зеркале или через его край. Металл отлично отражает лазерное излучение, обладает высокой теплопроводностью, а значит, может хорошо отводить тепло из зоны взаимодействия луча с поверхностью зеркала. Однако у чистых металлов высок коэффициент термического расширения и сравнительно низка твердость, их трудно отполировать, как кварц. Есть, конечно, инвар и другие сплавы с очень малым тепловым расширением — но у них низкая теплопроводность, и, опять же, они недостаточно жесткие и твердые.

Вообще, современные достижения в оптической полировке металлов во многом связаны с поисками решения проблем лазерных зеркал. Можно вспомнить давний эпизод, когда мы впервые пришли с куском металла к В.Н.Луканину, возглавлявшему в то время оптический участок института. Просьба отполировать металлический диск в одной комнате с кварцем и исландским шпатом ему показалась дикой: присутствие металлической пыли в мастерской, где окончательно полируют сверхточную оптику, считали недопустимым. Большинство природных или выращенных в институте кристаллов представлялись гораздо более мягким материалом в сравнении с металлами и, следовательно, металлической пылью. Пришлось создавать отдельный участок для полировки металлооптики и, перебрав доступные для массового применения металлы и сплавы, удалось увеличить на порядок порог оптической работоспособности новых зеркал по сравнению с традиционными — кварцевыми. Но этого было явно недостаточно.

Стало понятным, что выдержать значительно большие тепловые нагрузки позволит только интенсивное охлаждение. При охлаждении движущейся жидкостью отводимый тепловой поток увеличивается с ростом температуры нагретого тела, и охлаждение бы справилось, если бы зеркало было нагрето до температуры порядка тысячи градусов. Но это невозможно, и очевидно противоречие: теплоотдача происходит интенсивнее при высоких температурах, а для стабильности геометрической формы и других оптических характеристик зеркала нужны температуры, близкие к комнатной. Разрешить противоречие можно только за счет развития поверхности теплообмена и реализации эффективного теплообмена при комнатной температуре.

Начали эксперименты с фрезеровки на обратной стороне металлического диска крупных каналов, по которым прогоняли обычную водопроводную воду. Их располагали как можно ближе к поверхности, но она дрожала, деформировалась из-за пульсаций давления воды. Стали делать более мелкие каналы и создавать микрокапиллярные структуры, а затем пришли к выводу, что лучше всего использовать специально разработанные для этих целей металлические капиллярно-



пористые структуры, похожие на поролоновую губку для мытья посуды. Широкое применение нашли и так называемые войлочные и порошковые структуры на основе металлов.

Теплообмен в них происходит весьма интенсивно, как за счет большой поверхности, отдающей тепло, так и за счет усиленного перемешивания охлаждающей жидкости, которая движется в микрокапиллярах. Матрица-скелет пористого тела выполняет функцию опор: каждым своим звеном она сцепляется с зеркальной поверхностью и сохраняет ее первоначальную геометрию. Теплоноситель в такой структуре ведет себя как бурная горная речка, пронизывающая разветвленные и извилистые теснины. А матрица подобна ажурной конструкции моста, удерживающей гладкое полотно дороги с помощью множества опор.

На высокопористый теплообменник наносят тонкий и очень твердый слой, который полируют. Этот слой на поверхности теплообменника в дальнейшем и станет зеркалом при условии нанесения на него высокоотражающего многослойного покрытия. Толщина разделяющего излучение и теплоноситель слоя должна быть не более 0,1—0,3 мкм, иначе он будет существенно задерживать тепло. Ныне известно несколько способов нанесения слоев на высокопористый материал, а впервые сделать это было не очень-то просто. Решили проблему с помощью интерметаллидов. Получают интерметаллические покрытия, например, осаждением металлов из газовой фазы. Так можно не только создавать тонкий разделяющий слой, но при необходимости и реставрировать зеркало.

## Губка с покрытием

Интерметаллические покрытия обладают еще одним важным свойством: их структура позволяет получать зеркальные поверхности высокого оптического качества. Если посмотреть в микроскоп на отполированный обычный металл, то его поверхность напоминает апельсиновую корку — она вся покрыта мельчайшими горбиками и впадинами. Для уменьшения микронеровностей принимают дополнительные меры, например легируют металл, чтобы сделать его мелкозернистым. Но все равно окончательные размеры неровностей остаются «значительными»: от 0,01 до 0,1 мкм. У интерметаллических покрытий структура изначально очень мелкая, порядка 0,1 мкм, и после обработки алмазным резцом или оптической полировки можно получить очень хорошие зеркальные поверхности со средним размером неровностей в несколько тысячных долей микрометра.

Итак, зеркало для мощных лазеров, где уровни средней мощности излучения высоки или весьма высоки, — это высокопористый теплообменник и тонкий разделяющий слой с отражающим покрытием. Лазеры с такими зеркалами сейчас успешно применяют для сварки, резки и упрочнения металлов в промышленности, при решении экологических задач и в военной технике.

Но оказалось, что и это еще не все, что есть еще некоторые возможности. Изменяя давление теплоносителя, можно заставить его кипеть при комнатной температуре, то есть при тех же

условиях, при которых будет работать зеркало. А при кипении теплоносителя часть поглощенного тепла расходуется на образование пара, поэтому теплоотдача становится в десятки и сотни раз выше. Однако нужно, чтобы пузырьки пара легко выводились из капиллярно-пористой структуры, то есть размеры капилляров должны быть выбраны соответствующим образом.

Другой путь — заменить воду легкоплавкими сплавами на основе щелочных металлов, которые находятся в жидком состоянии при комнатной температуре. В этом случае тепло не только уносится движущейся жидкостью, но и передается по самому теплоносителю, который, как все металлы, хорошо проводит тепло. Жидкометаллические теплоносители позволили отводить с отражающей поверхности тепловые потоки до десятка киловатт с квадратного сантиметра.

## Этих тоже надо охлаждать

Используя методы охлаждения металлических зеркал мощных лазеров, можно решать другие проблемы, например создание анодов рентгенолиитографических установок для микроэлектроники или охлаждение полупроводниковых приборов. Эти устройства должны выдерживать тепловые нагрузки в несколько десятков и сотен киловатт на квадратный сантиметр. Одно из наиболее перспективных направлений применения идей охлаждаемой силовой оптики — теплоотвод в сборках мощных полупроводниковых лазеров. Они имеют самый высокий на сегодня коэффициент полезного действия (до 80—90%) и срок службы в десятки тысяч часов. Вариация состава полупроводникового материала позволяет получать излучение в диапазоне от ближнего инфракрасного до ультрафиолетового, приборы компакты, надежны и просты в эксплуатации. Для увеличения выходной мощности необходимо задействовать одновременно большое количество лазерных диодов, которые собираются в одномерные или двумерные структуры. Сборка лазерных диодов наследует все замечательные свойства одиночных полупроводниковых лазеров, имеет меньшие размеры и вес в сравнении с другими типами лазеров, не требует высокого напряжения. На сегодня есть три основных направления использования мощных сборок лазерных диодов.

Первое направление — накачка твердотельных кристаллических и керамических лазеров. Эффективность такой системы значительно выше коэффициента полезного действия твердотельных лазеров с ламповой накачкой. Излучение полупроводниковых лазеров не портит рабочую среду кристаллических лазеров, и это существенно продлевает срок службы всей системы.

Вторая важная задача — ввод излучения диодной матрицы в световод для последующей транспортировки к объекту обработки. Потери излучения в системе «сборка лазерных диодов — волоконный световод» составляют около 10—15% и определяются, как ни странно, в основном тем же теплообменом. Недостаточное охлаждение влечет разброс диаграмм излучения отдельных диодов, а это мешает собрать излучение в минимальное пятно.

Третье и, как нам кажется, наиболее интересное направление использования сборок лазерных диодов — это создание фазированной диодной матрицы. Выходное излучение такого лазера представляет собой набор узконаправленных интерференционных пиков (в частном случае один пик) с малой расходимостью. Получается лазер с высоким КПД, присущим полупроводниковым лазерам, и малой расходимостью, характерной для твердотельных кристаллических лазеров. Расходимость излучения в случае фазированных диодных матриц может быть доведена до 0,2 угловой секунды без дорогостоящих телескопических систем. Это способно обеспечить сверхдальнюю связь и передачу энергии на большие расстояния.

Однако на пути всех этих замечательных применений — проблема охлаждения. Стабильность работы сборок лазерных диодов и величина их выходной мощности в значительной



2

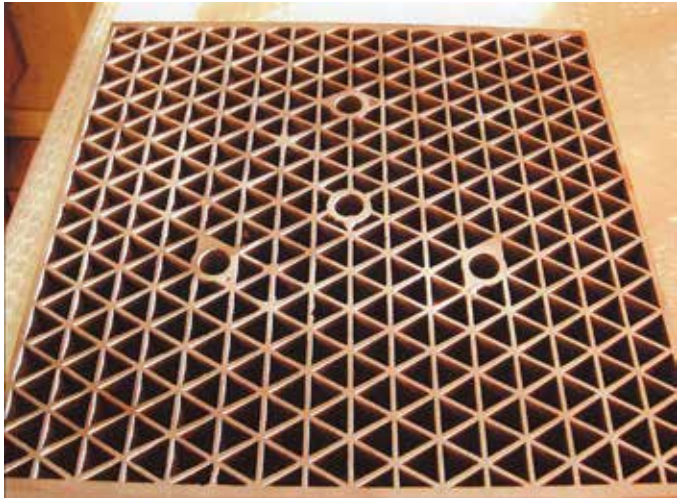
Различные лазерные зеркала

степени определяются эффективностью теплообмена — тепловые потоки уже приблизились к характерным значениям силовой оптики. Рекордная мощность 200 Вт с одной диодной линейки длиной 1 см получена совсем недавно благодаря установке сборки на теплообменник, который сделан по технологии силовой оптики.

## Старый знакомый в новой роли

Вот еще одно новое направление развития техники — оптика нового поколения на основе карбида кремния. Ее история в самом кратком изложении такова. Для крупных наземных и космических телескопов нужны метровые зеркала. Они же требуются для оптической аппаратуры дистанционного зондирования Земли с малых космических аппаратов. Понятно, что для космических применений важны вес и термическая стабильность формы оптического изделия. Впрочем, и для наземной аппаратуры эти характеристики также важны. Поэтому выбор материала зеркал — ключевая задача при создании оптических объектов нового поколения. Сравнительные оценки материалов по критериям оптического качества для решения задач силовой оптики, разработанные нами в начале 70-х годов, показали, что для создания зеркал широкого спектра назначений (в том числе и крупногабаритных) преимущество перед всеми традиционными материалами имеет карбид кремния. Это заключение было позже подтверждено зарубежными специалистами, которые работают в данном направлении. В качестве примера можно привести программу NASA и Министерства обороны США AMSD (Advanced Mirror System Demonstrator), в рамках которой велись масштабные работы по выбору материала и созданию базовых технологий для изготовления силовых и крупногабаритных охлаждаемых облегченных зеркал. В Германии, Франции, Японии и США вели исследования и создали технологию, сегодня ее успешно развивает и Китай. Результаты подтвердили наш вывод о преимуществе карбида кремния для изготовления крупногабаритных, легких, охлаждаемых зеркал, в том числе и для телескопов космического базирования. Были созданы десятки телескопов нового поколения с зеркалами на основе этого удивительного материала. Для уменьшения веса при сохранении жесткости зеркала имеют сотовую структуру.

Крупногабаритное зеркало диаметром более полуметра из карбида кремния весит в пять — семь раз меньше, чем аналогичное зеркало из ситалла (кристаллического стекла), имеет лучшее качество поверхности с точки зрения рассеяния, высокую термическую стабильность и минимальную постоянную времени при смене внешней температуры. Очевидно, что переход к новому поколению космических телескопов и силовых крупногабаритных зеркал мощных лазеров невозможен



3  
Обратная сторона зеркала — сотовая структура

без внедрения карбида кремния в повседневную практику. В России созданием зеркал из карбида кремния для мощных лазеров под руководством нашего института более четверти века занимался коллектив лаборатории керамических материалов НИИ НПО «Луч» (Подольск).

На пути решения задач силовой оптики было предложено, разработано и внедрено много самых разных технических решений. Это, например, алмазное точение и связанное с ним создание большой серии уникальных по точности

ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

и чистоте обработки станков. С их помощью сейчас изготавливают и диски памяти, и барабаны множительных машин, и многое другое. Это и развитие технологии получения широкого спектра капиллярно-пористых структур на основе различных металлов и композитов, технологии нанесения устойчивых к механическим повреждениям и обладающих высокой твердостью покрытий из металлов и интерметаллидов и многое другое. Любая большая научная и инженерная задача тянет за собой много разных проблем и дает много разных эффективных решений. Силовая оптика нужна не только оптикам — она нужна всем, кто работает и создает что-то новое и высокотехнологическое.



Зеркало для Уэбба



Инженер НАСА отправляет собранный фрагмент зеркала на криогенные испытания (слева). Проверка качества золотого покрытия на сегменте зеркала (вверху). Вес этой бериллиевой плиты — всего 20 кг

Телескоп Джеймс Уэбб, названный в честь второго директора НАСА, будет самым совершенным инфракрасным орбитальным телескопом. Его запуск в точку Лагранжа системы Земля — Солнце намечен на октябрь 2018 года. Уэбб должен сменить знаменитый орбитальный телескоп Хаббл, и астрономы надеются сделать с его помощью не менее грандиозные открытия.

Главный элемент телескопа — зеркало. У Уэбба оно будет в три с лишним раз больше, чем у Хаббла, — диаметром 6,5 метров. Это не цельное устройство, а состоящее из 18 шестиугольных сегментов. Такое огромное зеркало не может быть тяжелым. Заказчики из НАСА поставили условие: в расчете на единицу площа-

ди его масса должна быть в десять раз меньше, чем у зеркала Хаббла. Какой же материал поможет выполнить это условие? Четвертый элемент таблицы Менделеева — бериллий.

Этот металл помимо чрезвычайной легкости обладает еще несколькими свойствами, важными для изготовления как зеркал телескопов, так и систем силовой оптики. Прежде всего это высокие значения теплоемкости и теплопроводности. Они обеспечивают снижение деформаций при нагреве-охлаждении зеркала (а постоянство его формы — залог высокого качества наблюдений). После принудительного охлаждения зеркало, изготовленное из бериллия, выходит на рабочий режим за считанные минуты,

тогда как зеркала из кварца — за часы. Наивысшее среди подобных материалов значение модуля упругости означает, что колебания элементов конструкции, например, из-за маневров космического аппарата, гасятся быстрее. Так, частоты собственных колебаний падают в два раза. Поэтому из бериллия выгодно делать не только зеркала, но и другие детали оптических систем — тубусы телескопов (которые выходят легче на 50—70%) и кронштейны. Неудивительно, что специалисты считают бериллий перспективным материалом для изготовления зеркал инфракрасных телескопов как для исследования космоса, так и для дистанционного зондирования Земли.

А. Мотыляев



Фото Виталия Бугырина

# Как измерить пустоту. И зачем

Доктор  
химических наук  
**Ю.П.Ямпольский**

*Он пуст. Он сделан из стекла.  
Он полон пустотой.*

А.Кушнер

Мы живем в мире, заполненном пустотой. Судите сами: атом водорода имеет размер около 1 ангстрема ( $10^{-8}$  см), а ядро атома, протон, —  $10^{-13}$  см, то есть он занимает всего 0,001% объема атома. Можно, конечно, возразить, что протон окружен «размазанным» внутри атома электроном, но, если учесть, что масса электрона примерно в 2000 раз меньше массы протона, пустоту атома ему заполнить явно не удастся. Окру-

жающий нас воздух, как и другие газы при атмосферном давлении, состоит в основном из пустоты. Например, объем одного атома гелия —  $7 \cdot 10^{-24}$  см<sup>3</sup>, в 1 см<sup>3</sup> газа при нормальных условиях содержится  $2,7 \cdot 10^{19}$  молекул (число Лошмидта). Следовательно, сами атомы гелия занимают только  $2 \cdot 10^{-4}$  см<sup>3</sup>, то есть 0,02% объема.

Ситуация меняется, если мы рассмотрим твердые или жидкие вещества.

Самая плотная упаковка получается для модели, в которой неподвижные сферы радиуса  $R$  полностью заполняют объем. Но и в этом случае в каждой кубической ячейке, куда помещена сферическая частица, содержатся пустоты: объем сферы  $4,19 \cdot R^3$ , а объем ячейки  $8 \cdot R^3$  — таким образом, 48% (то есть почти половина) объема приходится на пустоту. В жидкостях доля пустот еще больше, потому что молекулы в жидкой фазе совершают непрерывные движения вокруг положений равновесия. Кроме того, большинство молекул имеют неправильную форму, поэтому ни о какой максимально плотной упаковке не может быть и речи. Все это увеличивает долю пустоты, или свободного объема (вот мы и произнесли этот ключевой термин).

Рассмотрим, например, молекулу воды. Ее вандерваальсов объем, то есть объем ее модели, построенной из жестких сфер  $H$  и  $O$ , составляет  $17 \text{ \AA}^3$ . В  $1 \text{ см}^3$  жидкой воды содержится  $3 \cdot 10^{22}$  молекул. Получается, что их суммарный объем —  $0,5 \text{ см}^3$ , а половина объема жидкой воды — опять же пустота. Но свободный объем очень важен и нужен, поскольку он определяет фундаментальные свойства жидкостей: их вязкость, скорость самодиффузии или диффузии растворенных в них веществ. Без свободного объема жидкости не могли бы даже течь.

А как выглядят с точки зрения свободного объема твердые тела? Этот вопрос особенно интересен для специалистов, занимающихся мембранами и процессами мембранного разделения. Чаще всего для разделения используют полимерные мембраны, о которых, собственно, и пойдет речь.

## Пройти через пленку

Еще в XVIII веке было известно, что газы, пары и жидкости просачиваются через пленки из природных полимеров (синтетических тогда не существовало), например через натуральный каучук. Однако механизм этого явления был непонятен. Предполагали, что в пленках есть невидимые глазом поры, через которые газы проникают на другую сторону мембраны.

В середине XIX века британский ученый Томас Грэм сообразил, что транспорт может происходить и в непористых мембранах. Если создать и поддерживать различное давление газа по обе стороны мембраны, то на входной и выходной поверхностях возникнут разные концентрации растворенного газа, а внутри мембраны появится градиент концентрации. Под действием этого градиента (его иногда называют движущей силой) возникнет

поток в сторону выходной поверхности, контактирующей с газом при более низком давлении.

Движение газа будет тем быстрее, чем выше растворимость газа в полимере (больше движущая сила) и подвижность растворенных молекул (более высокие коэффициенты диффузии). И тому и другому способствует повышенный свободный объем в мембране.

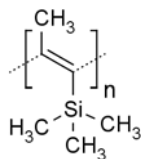
Каждый полимер, включая и полимерные мембранные материалы, устроен неоднородно, можно даже провести аналогию с композитом. Он состоит из наноразмерных пустот (элементов свободного объема) и более плотно упакованной полимерной матрицы (стенок этих пустот). Определить, как именно устроен полимер и какая у него неоднородность, — важнейшая задача мембранной науки.

Какие практические задачи можно решать с помощью полимерных мембран? Разделение компонентов воздуха, кислорода и азота, выделение водорода из разных технологических потоков. Например, выделение водорода из смесей  $H_2/N_2$  (синтез аммиака),  $H_2/CH_4$  (нефтепереработка и нефтехимия),  $CO_2/N_2$  (дымовые газы), разделение смесей углеводородов  $C_1-C_4$  в природных газах. Многие из этих задач уже решены, над другими работают химики.

## Структура влияет на транспорт

Поскольку одно из требований к мембранам — высокая проницаемость для газов, необходимо знать заранее, какие особенности химического строения приведут к желаемому результату.

Сегодня изучены сотни полимеров, и хорошо известно, какие элементы структуры сильнее влияют на свободный объем. Наиболее распространенный прием его увеличения — введение объемистого заместителя, например  $Si(CH_3)_3$  или  $C(CH_3)_3$ . Один из самых проницаемых полимеров — политриметилсилилпропин (ПТМСП):



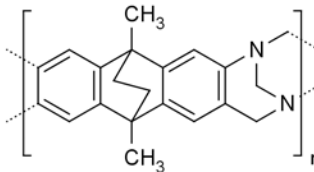
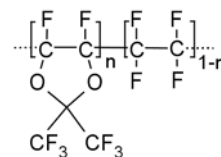
Надо сказать, что группа  $Si(CH_3)_3$  — «ключик от всех дверей». В какой бы полимер ее ни ввели, его проницаемость увеличится. Дело в том, что она отвечает основному условию: заместитель должен быть неполярным. В противном случае те заместители, которые привязаны к разным цепям, будут притягиваться, и полимерные цепи упакуются более плотно — соот-



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

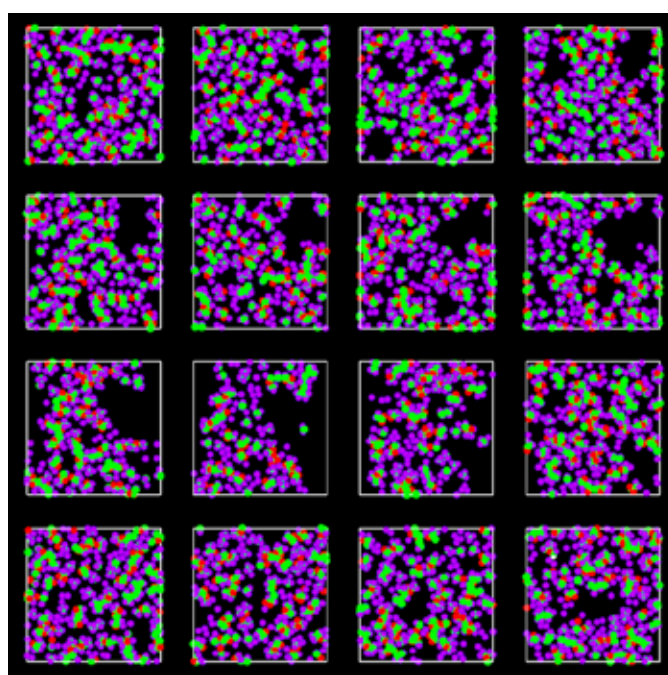
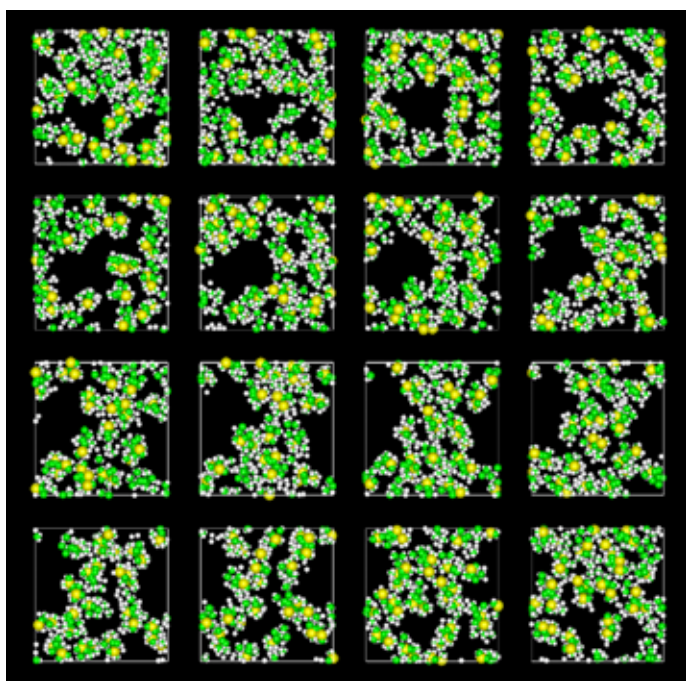
ветственно свободного объема станет меньше и полимер станет менее проницаемым. Кроме того, заместитель должен быть симметричным: если в  $SiR(CH_3)_2$  радикал  $R$  будет крупнее, чем метил, то свободный объем тоже уменьшится.

Еще один способ влиять на свободный объем — изменение жесткости цепей. Какой полимер называется жестким? Тот, у которого цепи не гнутся (ведут себя как палки) из-за того, что в них нет относительно гибких связей  $C-C$  или  $C-O$ , допускающих вращения внутри цепи. И наоборот, мягкий полимер — это, например, полиэтилен, у которого все звенья цепи легко вращаются, поэтому его можно упаковать очень плотно. Жесткие цепи неполярных полимеров не поддаются плотной упаковке, поэтому в матрице образуются пустоты, через которые гораздо быстрее проходят газы. На рисунке мы видим два жесткоцепных полимера, причем в первом из них (аморфном сополимере AF2400), казалось бы, есть нужная связь  $C-C$ , но вращение между соседними циклами настолько затруднено, что образуется много свободного объема, — это один из самых проницаемых полимеров.

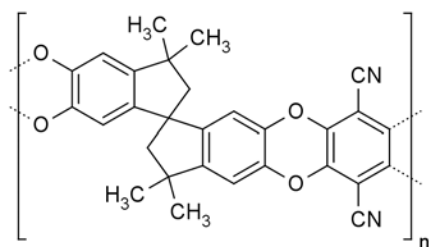


А если в жесткую цепь ввести еще и объемный заместитель, то свободный объем увеличится гораздо существеннее. Манипулируя этими двумя свойствами, можно получить полимерную мембрану с нужными параметрами.

Существуют также жесткоцепные полимеры так называемого лестничного строения, с изломами в основной цепи (полимеры с внутренней микропоры-



стостью). В примере ниже есть излом цепи, созданный двумя пятичленными циклами, а значит, есть и дополнительные элементы свободного объема.

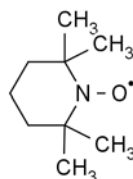


### Измерение пустоты

Сначала свободный объем в полимерах трактовали как абстрактное понятие, не связанное с химической структурой и геометрией полимерных цепей. Потом, по мере того как химики начали моделировать процессы, протекающие в полимерных мембранах, им стало понятно, что надо подробно исследовать именно свободный объем. Оказалось — это реальный физический объект, который можно охарактеризовать средним размером, формой дырки, архитектурой и даже связностью (замкнутой или открытой внутренней пористостью). Иначе говоря, для понимания свойства полимера необходимо дать характеристику так называемому элементу свободного объема (далее по тексту — ЭСО, дырка или микрополость). Для этого были созданы специальные методы изучения свободного объема в полимерах — их называют зондовыми. Объединяет различные зондовые методы то, что в полимер вводят некоторое вещество — зонд, поведение которого зависит от размера элемента свободного объема. Наблюдая за поведением зонда, можно получить информацию о

размере дырки и даже о ее концентрации в полимерной матрице.

Один из первых зондовых методов — метод спинового зонда. Он основан на использовании стабильных нитроксильных радикалов, чаще всего радикала ТЕМПО:



Если снять спектр электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) полимера с введенным в него зондом, то спектр даст частоту его вращения. Быстрое вращение показывает, что радикал находится внутри микрополости, размеры которой больше зонда. Так можно оценить ее размер. Например, в поливинилтриметилсилане (ПВТМС), со строением  $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{SiMe}_3)-$ , зонд ТЕМПО с размером  $170 \text{ \AA}^3$  вращается быстро, а в полистироле  $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-$  медленно. Можно сделать вывод, что дырка в первом полимере больше  $170 \text{ \AA}^3$ , а в полистироле меньше (и действительно, их размеры  $345$  и  $110 \text{ \AA}^3$ ). Соответственно первый полимер лучше пропускает газы. Подобный подход напоминает оценку калибра ружья опусканием в его дуло дробинок (зондов) разного диаметра. Проблема, однако, в том, что набор зондов ограничен.

В другом зондовом методе, обращенной газовой хроматографии, зондов гораздо больше. Ими могут быть гомологические ряды — например, ряд *n*-алканов. Исследуемый полимер

Компьютерное моделирование структуры полимеров. На рисунке показаны срезы кубика с размером ребра  $5 \text{ нм}$ , сделанные с шагом  $0,3 \text{ нм}$ , от верхнего левого угла кубика к нижнему правому. Темные поля — свободный объем

помещают в хроматографическую колонку, а зонды различного размера добавляют в поток газа-носителя. В этом методе измеряют теплоту смешения зонда и полимера, а она зависит от соотношения размера зонда и ЭСО. Пока зондам удается разместиться внутри элемента свободного объема, процесс смешения происходит с выделением тепла (зонду не приходится совершать работу по раздвижению полимерных цепей). Чем ближе размер зонда к размеру дырки, тем более экзотермическим становится процесс — зонд как бы прилипает к ее стенкам. Однако начиная с какого-то размера зонд уже не помещается в ЭСО, и процесс делается эндотермическим: для смешения необходимо раздвигать соседние полимерные цепи. Так обращенная газовая хроматография, оценивая микроскопические свойства полимера (размер ЭСО), позволяет предсказать его макроскопические свойства (газопроницаемость), а значит, и перспективы его применения для разделения газов.

Наиболее популярным оказался еще один зондовый метод — аннигиляция позитронов (АП). В нем используют единственный зонд — атом позитрония (это комбинация электрона и позитрона, то есть положительно заряженного электрона:  $e^- - e^+$ ). При облучении образца (полимера, жидкости, металла, керамики) позитронами они аннигилируют, взаимодействуя с

присутствующими в образце электронами, причем излучается гамма-квант. В этом процессе могут участвовать как свободные позитроны, так и позитроны в связанном состоянии, образовавшие короткоживущий атом позитрония (Ps). В вакууме эта частица живет по масштабам подобных процессов относительно долго — 140 нс. Однако в конденсированной фазе скорость такой аннигиляции возрастает в 50—100 раз, поскольку атом Ps попадает в микрополости и там гибнет. Причем время его жизни внутри ЭСО тем больше, чем больше ее размер. Таким образом, измеряя соответствующие времена жизни, то есть промежуток между попаданием позитрона в полимер и временем аннигиляции, можно оценить размер этих микрополостей.

На сегодняшний день сотни полимеров изучены методом аннигиляции позитронов. Он позволил получить детальную информацию о том, как устроен свободный объем. Оказалось, что в низкопроницаемых полимерах (полиимидах, поликарбонатах и других) радиусы пустот — около 3 Å, тогда как в полимерах с большой газопроницаемостью уже 4—7 Å. Интересно также, что в первых все дырки примерно одной величины, тогда как в высокопроницаемых распределение по размерам более широкое, есть существенно более крупные микрополости. Важно, что объем единичного ЭСО в полимерах сильно меняется (поскольку объем сферы —  $(4\pi/3)R^3$ , то от 40 до  $1300 \text{ \AA}^3$ ), но при этом их концентрация остается почти постоянной и равной  $(5-8) \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Это парадоксально: ведь, как мы только что выяснили, в одних полимерах пустоты по размеру больше, а в других — меньше. Тем не менее концентрация ЭСО изменяется лишь в несколько раз, а не на порядки. При этом проницаемость и коэффициенты диффузии меняются гораздо сильнее, поскольку свободный объем влияет на них экспоненциально.

Метод аннигиляции позитронов подтвердил, что от размера элемента свободного объема зависит способность полимеров пропускать газы. Чем больше размер микрополости, тем больше коэффициенты проницаемости и диффузии. Однако чем больше ее размер, тем менее селективно полимер пропускает газы, поэтому необходимо искать оптимум. Это знание очень важно, поскольку, используя метод аннигиляции позитронов, можно заранее оценить мембранные свойства материала. Кроме того, с помощью этого метода удалось узнать, как меняется свободный объем (а значит, и свойства) при изменении температуры, давления, при деформации образца.

*Пустота не вполне пуста.*

*В ней различные есть места.*

Ольга Рожанская



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

### «Проход или тупик»

Итак, зондовые методы позволяют получить разнообразную информацию о свободном объеме в полимерах и таким образом понять, как он влияет на способность пропускать газы. Кстати, очень важно, что разные зондовые методы дают близкие значения для размеров дырок в полимерах. Правда, ни один из них не позволяет получить информацию о связности свободного объема — о том, образуют ли микрополости открытую систему пор или замкнутые кластеры. Но здесь на помощь приходят методы компьютерного моделирования структуры полимеров.

Например, с их помощью удалось выяснить, что два высокопроницаемых полимера, о которых уже шла речь, — ПТМСП (слева на рисунке) и перфторированный сополимер AF2400 (справа) имеют совершенно разную структуру свободного объема.

Микрополости в этих двух полимерах сравнимого размера, но в ПТМСП поры, образованные свободным объемом, пронизывают всю матрицу, как крошечные норы, — это хорошо видно при сравнении соседних срезов, а в перфторированном материале свободный объем образует замкнутые кластеры. Конечно, это отражается на их мембранных свойствах. Первый полимер плохо пропускает метан, в два раза лучше — этан и еще лучше — пропан. Дело в том, что в этом случае нет барьеров для диффузии и скорость прохождения газа будет определять коэффициент растворимости (а не коэффициент диффузии), а он гораздо больше у бутана. В перфторированном материале цепи, окружающие микрополости, настолько плотно упакованы, что именно это определяет прохождение газов. Соответственно маленькие молекулы метана проходят почти в четыре раза лучше, чем более объемные пропана.

Компьютерное моделирование позволяет решить, какую именно мембрану использовать в каждом конкретном случае. Например, для удаления высших углеводородов из смесей с метаном пригодны ПТМСП и структурно родственные ему полимеры. Это важная техническая задача, поскольку

транспортируемый на большие расстояния газ не должен содержать пропан ( $C_3H_8$ ) и бутан ( $C_4H_{10}$ ), иначе они могут конденсироваться или даже замерзнуть в трубопроводе, затрудняя транспорт.

То, что химики умеют управлять свободным объемом в мембранах, правильно подбирая химическую структуру полимера, — огромный шаг вперед. Но есть и другие пути управления микрополостями. В последние годы интерес исследователей привлекли гибридные полимерные мембраны (по-английски mixed matrix membranes, или MMM). В полимерную матрицу вводят частицы размером от 10 до 200 нм (полые или заполненные сферы, нанотрубки и прочие материалы). В результате либо внутри мембраны возникает дополнительный свободный объем на границе наполнителя с окружающей непрерывной матрицей, либо он содержится во вводимой частице. Полимер становится более пористым, более проницаемым, при этом часто еще и более селективным.

Итак, все вещества в значительной степени состоят из пустоты. Но это важная пустота, поскольку она определяет свойства веществ. В случае полимеров, которые используют в мембранах для разделения газов, от нее зависят и проницаемость, и селективность разделения. Мы уже умеем исследовать пустоту и управлять свойствами пористых мембран, а это очень нужно не только для решения промышленных задач, но и для защиты окружающей среды. В частности, для снижения выбросов углекислого газа и совершенствования химических процессов, в которых много энергии приходится тратить для разделения продуктов.

### Литература

Ю.П. Ямпольский. Методы изучения свободного объема в полимерах. «Успехи химии», 2007, 76, № 1, 66—87.



Британские ученые из университета Кардиффа придумали, как защитить культурные растения от вредителей без пестицидов («*Chemical Communication*», 2015, 51, 7550–7553, doi: 10.1039/c5cc01814e).

Непросто получить нормальный урожай без пестицидов — они давно стали неотъемлемой составляющей сельскохозяйственного производства. Однако всем известно, что пестициды не только полезны, но и вредны. Они снижают биоразнообразие, убивая насекомых, а при неумеренном применении могут нанести вред и человеку. Снижение иммунитета и аллергия — стандартные последствия попадания пестицидов в пищу, но бывают и куда более тяжелые случаи. Не так давно в Непале 6 человек умерли, а 20 тяжело отравились, поев лепешек с пестицидами. Ученые ищут альтернативу опасным ядохимикатам — соединения, которые отпугивали бы прожорливых вредителей и были бы безопасны для всех остальных.

Многие организмы выделяют в воздух особые вещества, которые, например, подсказывают другим особям того же вида, где искать пищу, или отпугивают паразитов. Подобные пахучие соединения, прогоняющие сельскохозяйственных вредителей, могли бы решить проблему, но их синтез, а тем более производство настолько трудны и дороги, что все попытки до сих пор терпели неудачу, к тому же многие из них быстро разрушаются. Поэтому перспективная цель — найти их аналоги, которые были бы не менее активны, но при этом стабильны и не очень сложны в производстве.

В качестве объекта исследований британские ученые выбрали сескви-терпеновые соединения, а именно (S)-гермакрены. Они отпугивают членистоногих вредителей (например, клещей и тлю), и их вырабатывает в некоторых растениях фермент (S)-гермакрен-D-синтаза из субстрата — фарнезилдифосфата (например, гермакрены — одна из составляющих запаха лаванды).

Ученые решили модифицировать фарнезилдифосфат и посмотреть, какие соединения в этом случае будет синтезировать фермент. Предполагалось, что если фермент «примет» мо-



14, 15-диметилгермакрен-D

Преобразование аналогов фарнезилдифосфата в D-гермакрены

дифицированный субстрат, то должны получиться биологически активные соединения, близкие к природным (S)-гермакренам, но с другими свойствами. Поскольку они похожи на природные, рецепторы насекомых должны их распознавать.

Фермент для опытов ученые получили в достаточном количестве с помощью генно-модифицированной кишечной палочки. Затем они синтезировали производные фарнезилдифосфата, провели с каждым из них ферментативную реакцию и получили ряд веществ, которые проверили на биологическую активность. Электрофизиологическую активность оценивали с помощью электроантеннограммы — для этого к усикам большой злаковой тли присоединили два электрода. Для измерения биологической активности использовали ольфактометр — конструкцию, в которой насекомые могут свободно

двигаться, выбирая путь перемещения. Эти методы показали, что некоторые новые соединения действительно отпугивают насекомых.

Самым интересным и, возможно, полезным результатом работы стал продукт под названием (S)-14,15-диметилгермакрен-D. Выяснилось, что он не отпугивает тлю, а, наоборот, вероятно привлекателен для нее. И ученые планируют исследовать его как можно подробнее. Во-первых, надо разобраться, почему в определенных условиях репеллент становится аттрактантом, а во-вторых, такое вещество можно помещать в ловушки как приманку для вредителей.

В любом случае теперь понятно, что новый способ получения биологически активных веществ работает — природные ферменты могут сами их синтезировать, используя те субстраты, которые им предлагают химики.

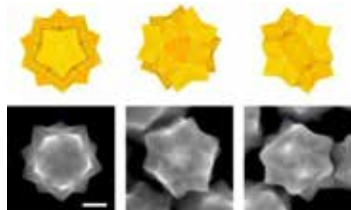
# Сверхсимметричные нанозвезды для наносенсоров



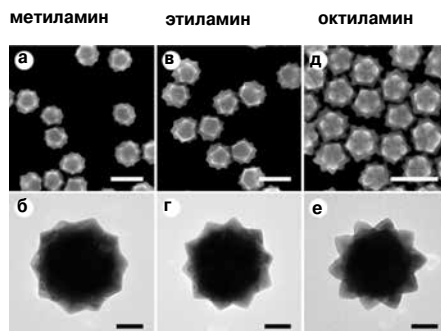
Множество научных лабораторий занимаются синтезом коллоидного золота — частиц размером 5–200 нм. Ученых особенно интересуют высокосимметричные кластеры атомов золота. Каждая такая частица имеет форму звездчатого икосаэдра. Золотые нанозвезды, как и многие другие симметричные структуры, очень красивы. Однако исследователей привлекают прежде всего их замечательные свойства, которые открывают возможности широкого применения в плазмонике, производстве сенсоров, медицине и медицинской нанодиагностике, преобразовании энергии.

Получить высокосимметричный кластер не так просто. Мешает множество факторов — могут иметь погрешности многогранные золотые «семена», крохотные наночастицы, играющие роль кристалликов, из которых выращивают звезды; высокая энергия поверхности граней нарушает симметричный рост, выталкивая атомы золота на периферию грани; активность связывающих агентов бывает недостаточно высокой.

Группа ученых из Сингапурского университета синтезировала идеальные икосаэдры с высоким индексом симметрии («Journal of American Chemical Society», 2015, 137, 33, 10460–10463, doi: 10.1021/jacs.5b05321). В качестве затравки использовали выпуклые икосаэдры — двадцатигранники без лучей, их синтезировать проще, нежели звезды. На каждой грани надо было вырастить шестигранную пирамиду. Этот процесс контролировал адсорбент — вещество, которое связывается с поверхностью золота и обеспечивает симметричный рост, равномерно распределяя атомы. В роли адсорбентов хорошо себя проявил диметиламин, а также другие алкиламины (рис. 2); особенно острые лучи получились при использовании октиламина. Кроме того, исследовате-



1 Икосаэдры из золота, имеющие идеальную симметрию (растровый электронный микроскоп)

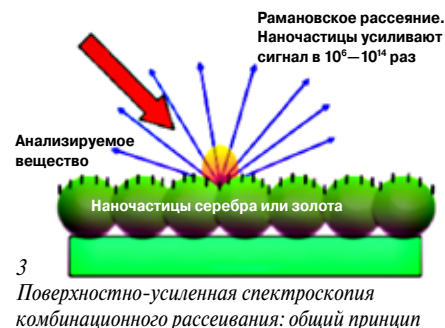


2 Наночастицы, выращенные с разными алкиламинами, при малом (а, в, д) и большом (б, г, е) увеличении

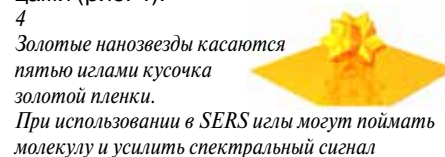
ли использовали готовые нанозвезды для дальнейшего наращивания атомов и создания более крупных икосаэдров (150–200 нм).

В той же статье ученые описали одно из перспективных практических применений золотых нанозвезд. Рамановская спектроскопия, или спектроскопия комбинационного рассеяния, — метод исследования вещества, при котором спектр излучения, рассеянного образцом, сравнивают со спектром исходного, возбуждающего излучения и по новым спектральным линиям узнают, какие функциональные группы содержат молекулы вещества. Развитие нанотехнологий сделало возможной модификацию метода — поверхностно-усиленную спектроскопию комбинационного рассеяния, или SERS (surface enhanced raman scattering). Молекулы, которые надо исследовать (в том числе такие крупные и сложные, как антитела и нуклеиновые кислоты), прикрепляют к наночастицам металлов. При облучении их лазером образуются плазмоны — волны электронной плотности, возникающие при коллективных колебаниях поверхностных электронов металлических частиц. Плазмоны увеличивают электрическое поле вокруг частицы, при этом интенсивность сигнала спектроскопии возрастает на много порядков (рис. 3) — появляется возможность регистрировать спектр даже единичной молекулы! Таким образом, наночастица благородного металла играет роль своего рода антенны.

В чем преимущество золотых икосаэдров перед аморфными наночастицами золота? В острых, симметрично расположенных лучах. Теоретические расчеты показали, что, когда золотые атомы на кончиках лучей находятся в



атомарной близости с подложкой — золотой фольгой, локальное поле может усиливаться еще на несколько порядков по сравнению с аморфными наночастицами (рис. 4).



Благодаря ровному соприкосновению вершин икосаэдра с поверхностью образуются эквивалентные по силе электромагнитные «горячие точки», которые и становятся источником плазмонного резонанса. Направление электромагнитного сигнала предсказуемо, и резонанс электронных колебаний сильнее, чем в аморфных наносистемах.

Чтобы проверить эту гипотезу, исследователи поместили звезды на золотую платформу толщиной в несколько атомов. Затем на поверхность нанесли анализируемое вещество — 4-меркаптобензойную кислоту; ее молекулы находились между пиками икосаэдра и золотой пленкой. При облучении лазером был зарегистрирован сильный плазмонный резонанс в ближней инфракрасной области. В случае же с аморфными наночастицами сигнал был слишком слабым.

Применение высокосимметричных наночастиц разной геометрии и размеров позволяет контролировать силу электромагнитного излучения, что, в свою очередь, дает возможность создания сенсоров разной чувствительности и точности. Чем острее концы у икосаэдров, тем больше площадь поверхности всех нанозвезд на золотой платформе и тем сильнее резонанс.

Выпуск подготовили  
**В. Барановская,**  
**М. Голощاپов**

# Магнит против энтропии

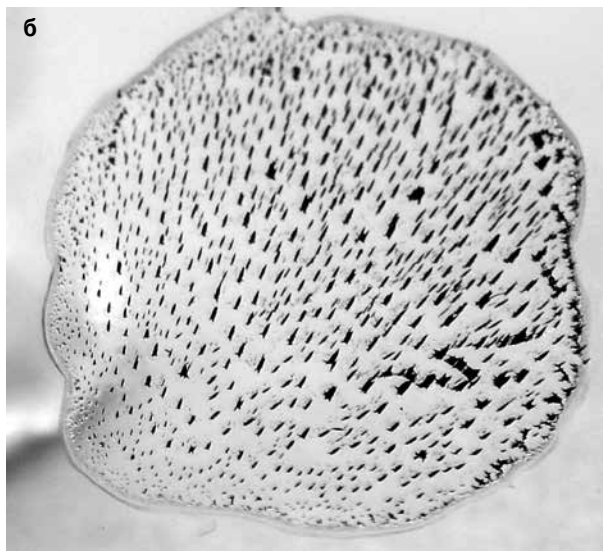
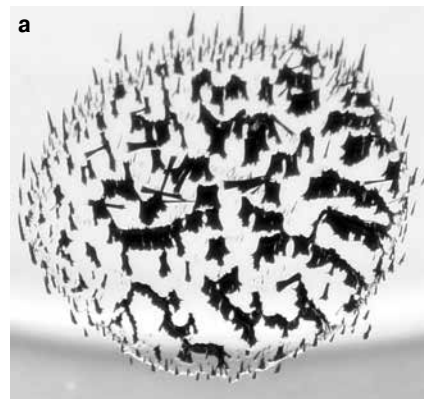
Доктор химических наук  
**В.В.Семенов**

Энтропию ввел в физику Рудольф Клаузиус в 1865 году для того, чтобы дать меру энергии, которая необратимо рассеялась при каком-то процессе, тем самым сделав невозможным обращение этого процесса вспять. То есть возможность сохранить, но такой процесс не пойдет самопроизвольно, а потребует затрат энергии. Например, молекулы водорода и кислорода могут соединиться в молекулу воды без посторонней помощи, и даже со взрывом, а молекула  $H_2O$  самопроизвольно разложиться не может, требуется энергия Солнца, катализатор или электролиз.

Впоследствии энтропия стала еще и мерой неупорядоченности системы, и мерой вероятности осуществления того или иного состояния этой системы. Так, одна из наиболее общих формулировок второго начала термодинамики заключается в том, что все спонтанные процессы в изолированных термодинамических системах идут с увеличением энтропии и ее увеличение сопровождается возрастанием вероятности состояния. Иными словами, каждая предоставленная самой себе система стремится принять наиболее вероятное состояние, и все спонтанные процессы в ней идут в направлении увеличения ее вероятности. Поскольку наиболее вероятное состояние — разупорядоченное, энтропия оказывается врагом любого порядка.

Впрочем, это все справедливо в рамках классической термодинамики, которая рассматривает состояние системы вблизи равновесия. Вдали от равновесной точки происходят превращения, описываемые законами неравновесной термодинамики, основы которой заложены И.Р.Пригожиным. Неравновесные, незамкнутые термодинамические системы при определенных условиях, поглощая вещество и энергию из окружающей среды, могут совершать качественный скачок к усложнению, который не может быть предсказан, исходя из классической термодинамики.

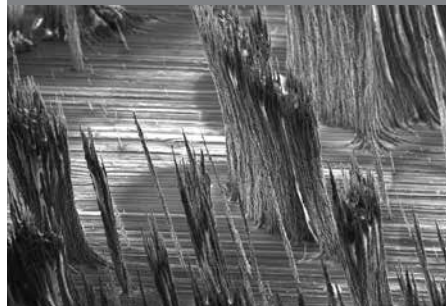
Поставить опыты, демонстрирующие способ обуздания энтропии, совсем несложно. Нам потребуются магнит, лак



(вместо него можно взять олифу или клей), растворитель (ацетон, бензин) и мелкодисперсный порошок какого-либо ферромагнетика — магнетит, карбонильное железо, гамма оксид железа(III) для магнитной записи. Магнитная жидкость, которую продают специализированные магазины, не годится: в отличие от лака, олифы или клея на воздухе она не отверждается, а это нужно для проведения опыта. Проверить на дисперсность магнитный порошок просто: если он сильно пачкается, то подойдет. Если пачкается плохо, тоже подойдет, но картинки будут не столь разнообразны.

Делаем суспензию около 5 мас. % порошка в разбавленном растворителе лаке, встряхиваем, отбираем сверху

Фотографии Е.Н.Разова



## Лукоморье

Иллюстрации магнитного поля к произведениям отечественной литературы



Сначала — А.С Пушкин  
У лукоморья дуб зеленый;



Златая цепь на дубе том:  
И днем, и ночью кот ученый  
Все ходит по цепи кругом;  
Идет направо — песнь заводит,

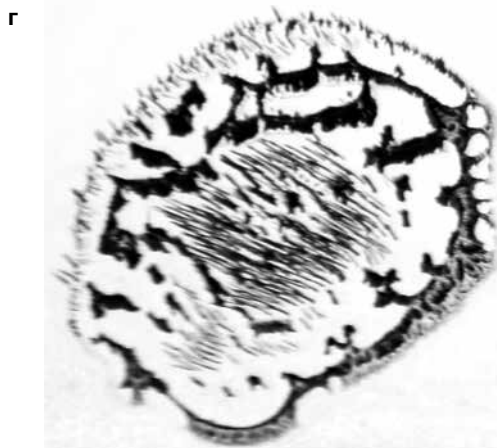


## ЭКСПЕРИМЕНТ

Подложку нужно оставить на поверхности магнита до тех пор, пока лак не подсохнет: после того как магнит уберут, борьбу с энтропией за упорядочение материи продолжают уже химические силы. Лаки и краски бывают разные, одни сохнут быстро (нитролаки), другие дольше (масляные). И вязкость у них различная. Поэтому нужно приспособиться, поэкспериментировать с разбавлением. Следует также иметь в виду, что суспензия ферромагнетика в разбавленном лаке может расслоиться. Особенно это характерно для микрочастиц металлического железа — они тяжелее оксидных. У частично отстоявшейся суспензии сверху меньше твердой фазы, и состоит она из более мелких частичек. Поэтому полезно наносить жидкость на подложку, отбирая ее сверху через равные промежутки времени, например через 1, 2, 4, 8 минут и т. д.: будут получаться разные картинки. В неразбавленном лаке частицы осаждаются медленно, а структуры получаются в виде лент (рис. 1в); время их формирования увеличивается до нескольких минут.

Интересно наблюдать, как тонкие иголки в не вполне отвержденном («подвяленном») лаке изгибаются, если подложку сдвинуть от центра полюса (рис. 1г). Происходит это потому, что на них действует составляющая силы, направленная к центру, то есть в область более сильного поля.

Внешний вид получающихся картин говорит о том, что из беспорядочно и равномерно распределенных в жидкости микрочастиц получились высокоупорядоченные структуры, которые нам удалось зафиксировать с помощью связующего, то есть в результате проведенного процесса энтропия явно уменьшилась. Используя терминологию неравновесной термодинамики, можно утверждать, что в искусственно созданных сильно неравновесных условиях система совершила качественный скачок к усложнению. Происходил этот процесс при интенсивном обмене материей (испарение растворителя) и энергией (магнитного поля) с окружающей средой.



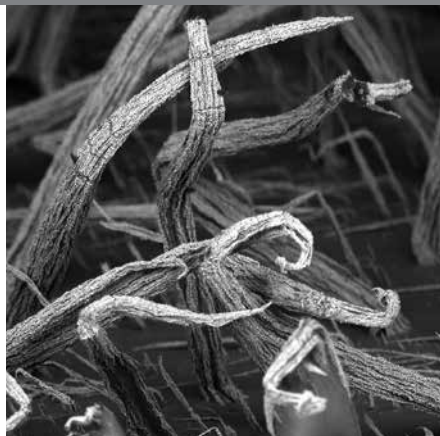
1  
Рисунки магнитного поля

несколько капель, наносим на предметное стекло (можно на другую подложку, например на алюминиевую фольгу) и ставим на магнит, на один из его полюсов (в плоских магнитах прямоугольной или круглой формы полюса находятся сверху и снизу плоскости). Если лак разбавлен сильно, например 1:5 или 1:10, то быстро (через секунду) сформируется тонкая жидкая пленка, при внимательном разглядывании которой можно заметить плотно упакованные тонкие иголки из частиц ферромагнетика. Если суспензия вязкая, то получаются другие картинки — мелкие пирамидки, иголки, стенки, изогнутые ленты (рис. 1).

## УЧЕНЫЕ ДОСУГИ



Налево — сказку говорит.



Там чудеса: там леший бродит,



Русалка на ветвях сидит;

Неравновесные условия для тонкого слоя суспензии появились сразу после того, как подложку поместили на поверхность магнита. До этого на частицы ферромагнетика действовало только сравнительно слабое поле Земли. В магнитном поле частицы суспензии подвергаются более сильным воздействиям, моментально превращаются в магнитные диполи, притягиваются друг к другу (северный плюс к южному), создают цепочки, которые выстраиваются вдоль силовых линий поля ортогонально поверхности подложки. Этот процесс сопровождается удалением растворителя и прилипанием смоченных лаком частичек друг к другу.

Не следует думать, что до сих пор никто не наблюдал такого рода явлений. Коллоидные растворы ферромагнетиков в жидкостях — магнитные жидкости — известны давно, а наука, описывающая их свойства, называется феррогидродинамикой. В качестве дисперсионной среды используют воду, керосин, нефтяные и силиконовые масла, фторорганические жидкости. Однако до наших экспериментов никому не приходило в голову применить какое-либо связующее, нанести тонкий слой суспензии на подложку и поместить ее в магнитное поле. Этот простой прием позволил не только создать, но и надолго зафиксировать образующиеся структуры, чтобы затем изучить их методами микроскопии.

Игольчатые же структуры на поверхности магнитной жидкости, помещенной в вертикальное магнитное поле, очень красивы. Вышедшая в 1983 году на русском языке научно-популярная книга о магнитных жидкостях так и называлась: «"Ёж" в стакане». Вот как ее авторы — Э.Т.Брук и В.Е.Фертман — объясняют появление «ежа».

«Почему же свободная поверхность, которая под действием сил поверхностного натяжения должна сокращать свою площадь, вдруг принимает такую экзотическую форму? Чтобы разобраться в этом, вспомним, что магнитная жидкость создает более благоприятные условия для прохождения магнитного потока, чем воздух (выше магнитная проницаемость, меньше "сопротивление" среды). Магнитные силовые линии стремятся найти путь, который можно пройти с наименьшим сопротивлением, и дружно устремляются в области, заполненные магнитной жидкостью, если на другой дороге их ожидает

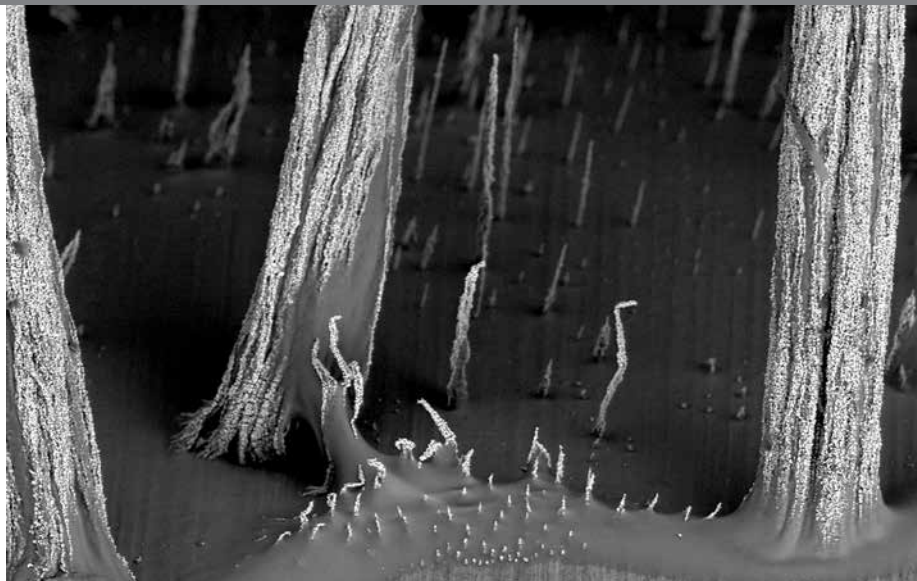
воздух. Что происходит на первоначально горизонтальной свободной поверхности после включения однородного вертикального магнитного поля? В реальных физических условиях на ней неизбежно возникают самые различные случайные возмущения. Равновесная форма поверхности оказывается устойчивой, если все возмущения во времени затухают. Если же одно или несколько возмущений со временем нарастают, то их развитие приведет к тому, что равновесие будет нарушено и произойдет перестройка свободной поверхности, которая "выберет" форму, устойчивую в данных условиях, соответствующую минимальной энергии. Пусть произошло случайное искривление свободной поверхности магнитной жидкости, находящейся в нормальном магнитном поле. Внешнее поле вблизи возвышений увеличивается (силовые линии магнитного поля сгущаются), а на впадинах уменьшается (происходит разрежение силовых линий) по сравнению с постоянным полем над плоской поверхностью. Возникающие неоднородности магнитного поля вытягивают возвышения и, наоборот, опускают впадины по известному принципу: намагниченное тело движется в область увеличивающегося поля. Таким образом, возмущения магнитного поля стремятся развивать возмущения поверхности. Наоборот, силы тяжести и поверхностного натяжения, действующие на жидкость, препятствуют смещению участков поверхности».

Видимые невооруженным взглядом картины магнитного поля любопытны, но впечатляют не очень сильно. Оптическая микроскопия не дает большой глубины резкости, и объемные картины с ее помощью недоступны. Гладкую поверхность и отдельные шары можно наблюдать с помощью атомно-силового микроскопа, закрепив отдельную иголку горизонтально на его платформе. Если зонд пройдет, то получится не гладкая поверхность, а «от дубов простыл и след».

Наилучшим же образом структуры отражает сканирующая электронная микроскопия. Она показывает, что магнитное поле формирует из микрочастиц ферроколлоида фантастические пейзажи, состоящие из участков леса, озер, островов, перешейков. Созерцание таких картин доставляет эстетическое удовольствие и пробуждает смутные воспоминания, навеянные отечественной классической литературой.

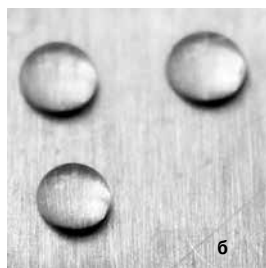
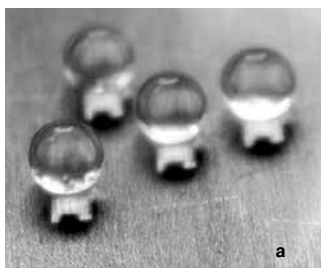


Там на неведомых дорожках  
Следы невиданных зверей;  
Избушка там на курьих ножках  
Стоит без окон, без дверей;



Там лес и дол видений полны;  
Там о заре прихлынут волны  
На брег песчаный и пустой,

И тридцать витязей прекрасных  
Чредой из вод выходят ясных,  
И с ними дядька их морской.



2  
Капли воды на поверхности дюралюминия, обработанной суспензией карбопильного железа в лаке в магнитном поле (а) и без поля (б)

Однако возникает вопрос: зачем тратить столько усилий на пустое, бесполезное, казалось бы, экспериментирование, годное только для представления на Игнобелевскую премию? Да еще в напряженное время, когда от научных работников требуют инноваций? На самом деле инновационная подоплека здесь имеется: строгие научные варианты этой популярной статьи приняли два российских журнала, публикующих результаты прикладных исследований. Суть их такова.

Покрытие, сформированное из разбавленной суспензии микрочастиц ферромагнетика, обладает супергидрофобными свойствами. Капли воды, нанесенные на такую поверхность, практически круглые (рис. 2) и скатываются при малейшем наклоне подложки.

Такие покрытия чрезвычайно нужны для защиты от влаги множества объектов — от технических устройств до обуви, одежды и памятников культуры. Обычно на них наносят гидрофобные покрытия из кремний- и фторорганических соединений, которые создают гладкую лаковую поверхность. Краевой угол смачивания составляет обычно около  $90^\circ$  (фото 2б). Супергидрофобный эффект проявляется только на текстурированных поверхностях, состоящих из плотно упакованных вертикальных образований, как на поверхности листа лотоса. Именно такая поверхность формируется в магнитном поле микрочастицами ферромагнетика, диспергированными во фторорганическом лаке: краевой угол смачивания без осо-

рых технических ухищрений можно довести до  $153^\circ$  (фото 2а). Методы получения высоко- и супергидрофобных покрытий в последние годы интенсивно разрабатываются, поскольку получаемые материалы востребованы в строительной, текстильной и обувной промышленности (самоочищающиеся стекла, ткани и кожа), авиации и электроэнергетике (антиобледенительные покрытия летательных аппаратов и линий электропередач). Отсюда следует, что процессы, происходящие в неравновесных условиях с уменьшением энтропии, могут быть полезными.

#### Что еще можно почитать о структурах с магнитными частицами

Э.Т.Брук, В.Е.Фертман. «Ёж» в стакане. Магнитные материалы: от твердого тела к жидкости. Минск: «Вышейшая школа», 1983.

В.В.Семенов, Е.Н.Разов, В.Е.Котомина. Отверждение покрытий из суспензии микрочастиц железа и магнетита во фтор- и кремнийорганическом лаках в магнитном поле. Лакочерасочные материалы и их применение. 2015, 9, 48—51.

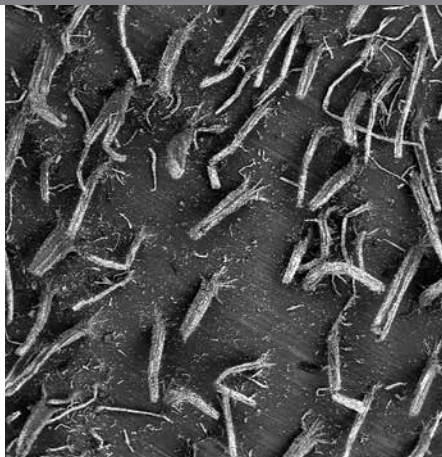
В.В.Семенов, Е.Н.Разов, В.Е.Котомина. Получение супергидрофобных покрытий из лаковой суспензии микрочастиц железа в магнитном поле. Журнал прикладной химии. 2015, 88, 8, 1111—1116.



ЭКСПЕРИМЕНТ

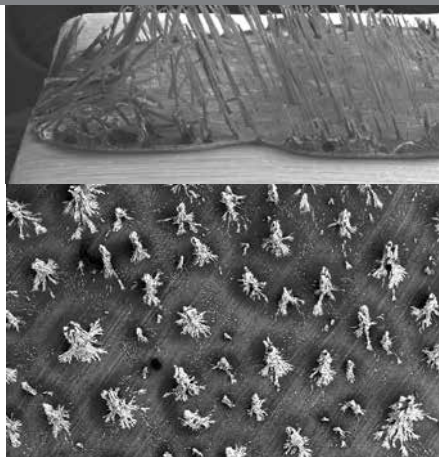


УЧЕНЫЕ ДОСУГИ



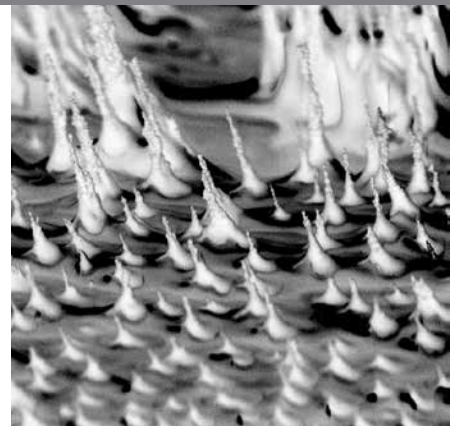
**Встречаются, однако, картины, вызывающие несколько иные ассоциации, связанные с творчеством нашего поэта – В.С.Высоцкого.**

Лукоморья больше нет,  
От дубов простыл и след,  
Дуб годится на паркет,  
В том секрет.



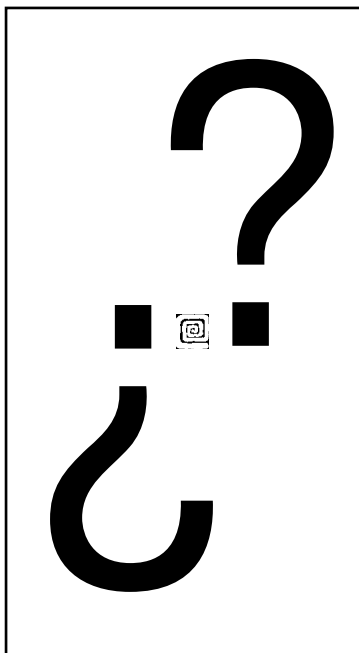
Тридцать три богатыря  
Порешили, что зазря  
Берегли они царя и моря.

Каждый взял себе надел,  
Кур завел и в нем сидел,  
Охраняя свой удел  
Не у дел.



**Художественно-поэтическую часть закончим иллюстрацией магнитного поля, еще раз подтверждающей важность энтропийного фактора.**

Там, где магнитная стихия  
Железных волн вздымает шпильи,  
Там убывает энтропия,  
А не растет, как нас учили.

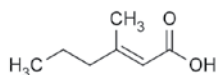


ВОПРОСЫ—ОТВЕТЫ



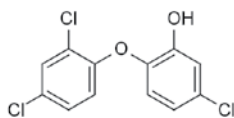
## Дезодоранты и антиперспиранты — в чем разница?

Разница в способе устранения запаха пота. Дезодоранты, содержащие антисептические компоненты, убивают или отключают источник запаха — бактерии, живущие под мышкой. Здесь, в тепле и влаге, комфортно чувствуют себя коринебактерии и другие микроорганизмы. Они питаются потом человека и производят вонючие отходы, например, транс-3-метил-2-гексеновую кислоту:

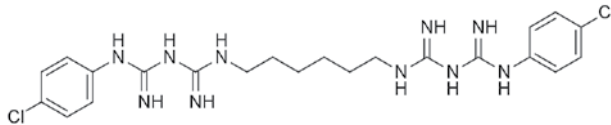


Транс-3-метил-2-гексеновая кислота

Главное оружие дезодорантов в борьбе с микроорганизмами — триклозан (см. рубрику «Вопросы — Ответы», «Химия и жизнь», 2015, № 6) и хлоргексидин:

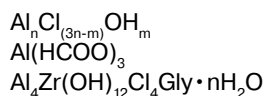


Триклозан



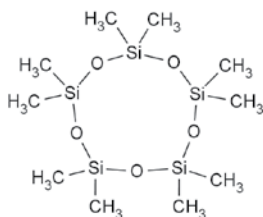
Хлоргексидин

Что касается антиперспирантов, то они блокируют потовые поры и лишают микроорганизмы питания. Нет еды — нет запаха. Основные рабочие вещества в антиперспирантах — это соли алюминия, поначалу — хлорид, а теперь — более сложные варианты:



А бывают и гибридные составы, когда в антиперспирант добавляют антибактериальные вещества.

Активные вещества в дезодорантах и антиперспирантах должны быть в чем-то растворены. Поначалу растворителем служил спирт и даже растворы кислот. Но они медленно высыхали и раздражали кожу. Сегодня в обоих случаях используют растворитель циклометикон (циклометилсилоксан), который высыхает мгновенно, не оставляя липкого и жирного следа:



Циклопентасилоксан

Циклометикон также используют в кремах для рук, кондиционерах для волос, в декоративной косметике, продуктах личной гигиены.

В совсем давние времена люди не умели избавляться от запаха пота и старались заглушить его, обливаясь духами. Дезодоранты появились больше ста лет назад. Первый под названием «Мама» начали продавать в США в 1888 году, его активным компонентом был оксид цинка. Первый антиперспирант «Everdry» с хлоридом алюминия в роли

активного вещества — в 1903 году. Роликовые дезодоранты изобрели в 1940-х годах — по аналогии с шариковой ручкой, а быстрый и сухой циклометикон стали использовать в 70-х годах прошлого века.

Сегодня выручка от продажи дезодорантов и антиперспирантов в мире каждый год составляет около 17 миллиардов долларов. Неприятная новость для производителей духов.



## Правда ли, что сделали съедобную бутылку для воды?

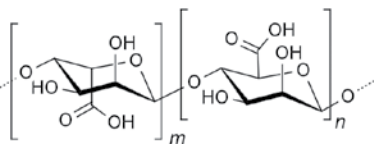
Сделали, но скорее не бутылку, а прозрачный съедобный контейнер в форме сферы или большой капли, внутри которого находится вода. Накусываешь его и выпиваешь воду. Эта капля в оболочке похожа на силиконовый имплантат для груди. Но в отличие от силиконовой формы, оболочка для упаковки воды съедобна, ее можно проглотить.

Съедобные контейнеры для воды создали несколько лет назад трое английских студентов — промышленных дизайнеров. Они использовали в общем-то известную технологию сферификации, придуманную и запатентованную в Великобритании ученым Уильямом Пешардтом, работавшим в компании «Unilever» еще в 40-х годах прошлого века. Как водится, о технологии вспомнили спустя несколько десятилетий — в конце XX века, когда в моду стала входить молекулярная кухня. Повара в испанских ресторанах «El Bulli» с помощью этой технологии стали формировать самые разные продукты и соки в виде небольших съедобных сфер, а кто-то стал использовать ее для изготовления искусственной икры.

Британский студент-дизайнер Родриго Гарсиа Гонсалес и его однокурсники Пьер Паслье и Гийом Куше придумали

и спроектировали Ooho — съедобный контейнер для воды.

Сам контейнер делают из альгината кальция — соли альгиновой кислоты. Этот резиноподобный полисахарид извлекают из красных водорослей, в которых его содержится до 30%. Альгиновая кислота нерастворима в воде, хотя великолепно ее поглощает — до 300 массовых частей.



А вот соли альгиновой кислоты, альгинаты натрия и калия, образуют в воде коллоидные растворы. Если чайную ложку такого коллоидного раствора аккуратно поместить в водный раствор хлорида кальция, то раствор быстро формируется в сферу, покрытую прозрачной оболочкой из нерастворимого альгината кальция. В этом и заключается суть технологии сферификации.

Оболочка проницаема для мелких молекул, то есть для воды. И если получившуюся сферу поместить в чистую воду, то она раздуется буквально на глазах. Получится большая прозрачная капля в мягкой, но очень прочной оболочке.

Авторы утверждают, что она съедобна, но это не совсем корректное утверждение. Альгинаты не перевариваются в наших желудках, а просто выводятся из организма. Так что вреда действительно никакого. Хотя, возможно, для обитателей наших кишечника такая упаковка будет подарком — очень они любят подобного рода субстраты. Более того, в капсулы из альгинатов упаковывают живые бактерии, чтобы доставить их в кишечник. Альгинаты давно используют как пищевые добавки в роли загустителей (Е 401, Е 402, Е 404). Да и хлорид кальция — тоже пищевая добавка, Е 509.

Понятно, что альгинаты, как природные вещества, быстро и легко разлагаются в окружающей среде. И в этом несомненное преимущество альгинатной упаковки для воды в сравнении с ПЭТ-бутылкой. Каждый год в США продают 50 млрд. пластиковых бутылок с водой, и лишь четверть использованных бутылок попадает в переработку. Так что работы по созданию съедобной упаковки продолжают во многих лабораториях мира. В ход идут пектин, хитозан, агар-агар — натуральные вещества, которые образуют великолепные гели.

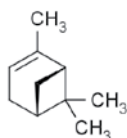


## Деревья охлаждают Землю?

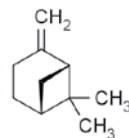
От лесов нам сплошная польза: они не только поглощают углекислый газ и производят кислород, но еще и охлаждают нашу планету. К такому выводу пришли несколько лет назад ученые из университета Лидса (Великобритания) и Франкфуртского университета (Германия), обследовавшие леса в Канаде, России и в Скандинавии. Как же это происходит?

Оказалось, что сосны и ели испускают некие вещества, которые утолщают облака над лесом на высоте до тысячи метров чуть ли не вдвое. В результате более толстые облака лучше отражают солнечный свет и отправляют обратно в космос дополнительные 5% солнечного света. На первый взгляд может показаться, что 5% — совсем немного. Однако исследователи уверены, что этот эффект позволяет уменьшить температуру на довольно больших площадях. Они даже назвали леса «климатическим кондиционером».

Главное действующее вещество такого «кондиционера» — терпены: альфа-пинен и бета-пинен.



Альфа-пинен



Бета-пинен

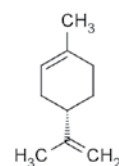
Терпены испускают сосновые породы деревьев, особенно активно — в жаркую погоду. Очутившись в воздухе, терпены образуют аэрозоли. Голубоватая дымка, которую иногда



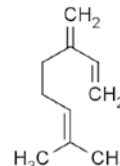
## ВОПРОСЫ — ОТВЕТЫ

можно увидеть над сосновыми и еловыми лесами, — это и есть аэрозольные облака терпенов, рассеивающие свет и дающие в результате голубой оттенок. Частицы аэрозоля поднимаются вверх и становятся центрами конденсации для водяного пара. И облака начинают разрастаться.

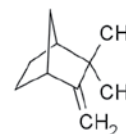
Кроме пинена хвойные деревья выделяют и другие летучие терпены: лимонен, мирцен, камфен и фелландрен:



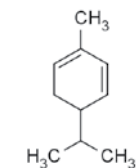
Лимонен



Мирцен



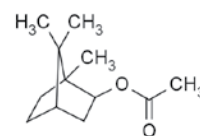
Камфен



Фелландрен

Все эти вещества входят в состав смолы и живицы сосен и елок, именно они ответственны за характерный запах скипидара.

Что же касается аромата новогодней елки и сосны, то здесь первая скрипка в оркестре запахов — эфир борнилацетат.



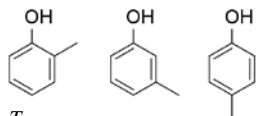
Борнилацетат

Именно его запах ассоциируется у нас с Новым годом. Так что с наступающим вас праздником, дорогие читатели!

На вопросы отвечала  
**Л.Викторова**

# Фенолы и хиноны

Гидроксилпроизводное бензола называется **фенолом**. По-гречески *phainein* — показывать, выявлять. В 1837 году французский химик Огюст Лоран (1807—1853) предложил название «фенол» для маслянистой жидкости, которую в 1825 году Майкл Фарадей выделил из остатка со дна баллонов, в которых держали светильный газ. Однако эту жидкость назвали бензолом, а термин «фенол» закрепился за гидроксibenзолом  $C_6H_5OH$ . Фенол и его водный раствор иногда называют **карболовой кислотой**; в этом названии легко усмотреть лат. *carbo* — уголь.



Три изомерных крезолы

Три изомерных метилфенола — **крезолы**. Они содержатся в креозотовом (древесно-смоляном) масле, которое образуется при пиролизе древесины. Это название происходит от греч. *kreas* — мясо и *sozein* — сохранять. Очищенный **креозот** из буковой смолы ныне применяют как антисептик (но, конечно, не для пищевых продуктов), а каменноугольный креозот — для пропитки шпал, деревянных опор и т. п., чтобы предохранить их от гниения. Введение в молекулу одного из изомеров крезола карбоксильной группы дает изомер **крезотиновой кислоты** (всего таких изомеров может быть 10).

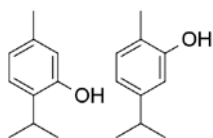
Шесть замещенных диметилфенолов называются **ксиленолами**, от «ксиллол» и «фенол». Слабым антисептическим средством обладает также **тимол** (2-изопропил-5-метилфенол), который не следует путать с цимолом. Тимол содержится в некоторых эфирных маслах, в том числе в тимьяновом (по-латыни *Thymus vulgaris*). Если в молекулу тимола ввести карбоксильную группу, получится **тимотиновая (тимотовая)** кислота. Еще один антисептик, висмутовая соль 2,4,6-трибромфенола, называется **ксероформом**. Название происходит от греч. *xeros* — сухой (тот же корень в термине «ксерокопирование») — сухое копирование) и лат. *forma* — вид.

2-метил-5-изопропилфенол — это **карвакрол**, вещество с характерным острым ароматом, которое присутствует в эфирных маслах ряда растений. Его на-



Французская почтовая марка, посвященная 150-летию открытия хинина, с профилями французских химиков П.Ж.Пеллетье и Ж.Б.Каванту, выделивших это вещество из коры хинного дерева в 1820 году

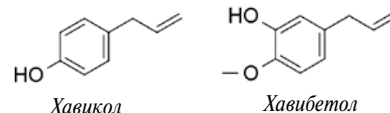
звание происходит от лат. *carvi* — тмин и *acer* — острый, едкий. В названии мезитола (2,4,6-триметилфенола) тот же корень, что и в мезитиле, от греч. *mesos* — средний, срединный: в этой молекуле гидроксил находится между метильными группами.



Тимол (слева) и карвакрол

Метилловый и этиловый эфиры фенола называются **анизолом** и **фенетолом**. Первый термин произошел от греч. *anison* — анис или сладкий укроп. Анизол (именно так читается по-немецки *Anisol*) образуется при перегонке **анисовой** (4-метоксибензойной) **кислоты**, он обладает приятным запахом и используется, как и фенетол, в производстве душистых веществ. Второй же термин, «фенетол» (он же этоксибензол), — просто сокращение от «фенил» и «этил» с «масляным» окончанием -ол. Аналогичным способом этоксианилины получили название **фенетидинов**, с «пиридиновым» окончанием. Если в молекуле анизола в параположении присутствует пропенильный радикал, то трансизомер такого вещества называется **анетолом**. Это ароматическое вещество содержится в эфирных маслах разных растений, в том числе в анисовом, а название получило от греч. *anethon* — укроп. Если в молекуле анетола заменить метоксильную группу гидроксильной, получится **анол** (4-пропенилфенол). Изомер анетола, парааллилизол, называется **эстраголом**, поскольку это основной компонент эфирного масла многолетнего травянистого растения эстрагона. Если же в молекуле анизола в параположении находится аминогруппа, то получается **анизидин** (окончание «идин» в азотсодержащих соединениях используется по аналогии с термином «пиридин», например, в таких названиях, как акридин, бензидин, гуанидин, пиперидин, пиримидин, пирролидин, толуидин, уридин и др.).

Два производных фенола — **хавикол** (4-пропенилфенол) и **хавибетол** (2-метокси-5-пропенилфенол) содержатся в масле, получаемом из листьев бетеля, по-латыни *Piper betle*, или *Chavica betle*. Это растение принадлежит к роду перец, а на санскрите «перец» — *cavika*.



Хавикол

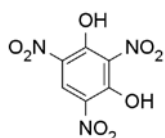
Хавибетол

Этиламинопроизводное фенола  $HO-C_6H_4-CH_2-CH_2-NH_2$  — это алкалоид **тирамин**, влияющий на процессы возбуждения и торможения в нервной системе. Тирамин найден в спорынье, гниющих тканях, сыре. Его название получилось в результате сокращения терминов «тирозин» и «амин». Введение в молекулу тирамина диметиламиногруппы  $HO-C_6H_4-CH_2-CH_2-N(CH_3)_2$  дает алкалоид **гордеин**, который содержится в проростках ячменя (ячмень на латыни *hordeum*).

Из нитропроизводных фенола самое важное — 2,4,6-тринитрофенол, он же **пикриновая кислота**. Такое название ей дал французский химик Жан Батист Андре Дюма (1800—1884), производя его от греч. *pikros* — горький: действительно, водный раствор этой твердой кислоты имеет нестерпимо горький вкус. Как сама кислота, так и ее соли взрывчаты; когда-то эта кислота под названием **мелинит** (от греч. *melinos* — цвета айвы) получила очень широкое распространение в военном деле. Вот как описал действие этой взрывчатки Луи Буссенар в книге «Капитан Сорви-голова»: «Буры навели свою прекрасно замаскированную ветками пушку на большое орудие бронепоезда. Бронированная стена корпуса была снята, словно резцом, а снаряд, начиненный этим дьявольским веществом — мелинитом, взорвался на левой цапфе английского орудия. Страшный удар вдребезги разбил мощный стальной лафет, смял механизм наводки и припаял пушку к башне». Это же вещество называли **лиддитом** — от города Лидда в английском графстве Кент, в окрестностях которого были произведены первые опыты с этим взрывчатым веществом. При действии на пикриновую кислоту хлорной извести происходит полное расщепление ее молекулы, образуется  $CCl_3NO_2$  — трихлорнитрометан, или **хлорпикрин**.

Дополнительный гидроксил между двумя нитрогруппами в молекуле пикриновой кислоты дает **стифниновую кислоту** (тринитрорезорцин); как и многие многоатомные фенолы, это вещество обладает вяжущими свойствами, откуда и получило свое название (от греч. *stryphnos* — вяжущее средство). А если одну нитрогруппу в пикриновой кислоте (которая находится в ортоположении к гидроксильной) восстановить до аминогруппы, получится **пикраминная кислота**.

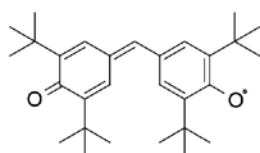
Сульфопопроизводное фенола (группы OH и SO<sub>3</sub>H в ортоположении) обладает сильным дезинфицирующим действием и раньше применялось вместо карболовой и салициловой кислот при хирургических операциях. Отсюда тривиальные названия этого вещества — **асептол** и **соцоловая кислота** (от греч. *sozein* — спасать, извлекать).



Стифниновая кислота

Тривиальные названия имеют многие многоатомные фенолы и их производные. Самый известный 1,4-изомер называется **гидрохиноном**, поскольку он получается при гидрировании **хинона (бензохинона)**. Впервые гидрохинон получили в 1820 году французские химики Пьер Жозеф Пеллетье (1788—1842) и Жозеф Бьенеме Каванту (1795—1877) путем сухой перегонки хинной (1,3,4,5-тетрагидроксициклогексанкарбонной) кислоты, которая впервые была выделена из цинхона — коры хинного дерева (на кечуа, языке перуанских индейцев, — *kinakina*). Тот же корень в словах **хинин**, **хиноидный**, **хинолин** и других. При восстановлении гидрохинона образуется 1,4-циклогександиол, который назвали **хинитолом**.

Специалистам по свободным радикалам хорошо известен **гальвиноксил**, но мало кто знает, что это название дано по имени американского химика Гальвина Коппингера, который синтезировал радикал в 1960 году. А назвать его так предложил в 1960 году Нил Бартлет (1932—2008), прославившийся открытием соединений благородных газов.

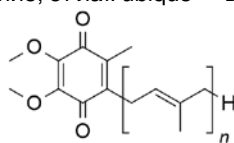


Гальвиноксил

Многие производные хинона (обычно 1,4-бензохинона) найдены в природе. Их названия отражают источник выделения. Так, из грибка *Penicillium spinulosum* был выделен **спинулозин**; из *Penicillium phoeniceum* — **феницин** (он же **фоэницин**); на латыни

*phoeniceus* — пурпурно-красный, а *Phoenicia* — Финикия, где из раковин добывали драгоценную пурпурную краску. Из черных плесневых грибов (их называют дымчатыми) *Aspergillus fumigatus* выделен **фумигатин** — 2-гидрокси-6-метил-3-метоксибензохинон. **Атроментин** получен из толстой свинушки *Paxillus atrotomentosus*; **телефоровая кислота** — из грибов семейства телефоровые, растущих на гнилых деревьях; **волюкриспорин** — из грибов *Volucrispora aurantiaca*. К хинонам относится также очень горькое вещество, выделенное из хмеля обыкновенного *Humulus lupulus*; от латинского названия происходят два синонима этого вещества: **гумулон** и **лупулиновая кислота**. Во многих грибах содержится **полипоровая кислота** (2,5-дигидрокси-3,6-дифенилхинон); она была выделена из гриба *Polyporus nidulans*, паразитирующего на дубе. Дигидроксибензохинон с длинной тридециловой боковой цепью называется **рапаномом**; к моллюсками рапанам он не имеет отношения, а выделен из растения рода рапанея (*Rapanea*). Более короткая ундециловая цепь содержится в родственном рапанону **эмбелине**, выделенном из ягод индийского кустарника эмбелия кислая (*Embelia ribes*). Очень редкий сесквитерпеновый хинон получен из эфирного масла корней мексиканского растения акуртия мелкоголовчатая (*Acourtia microcephala*, другое название *Perezia microcephala*), и потому его назвали **перезоном**. Это растение впервые описал испанский ботаник XVI века Лоренцо Перес. При замыкании в цикл боковой цепи перезона образуется перезинон.

Один из самых известных хинонов — **убихинон**, он же кофермент Q<sub>10</sub> (Q — от англ. *quinon*). Убихинон содержится практически во всех живых клетках, откуда и его название, от лат. *ubique* — везде.



Убихинон

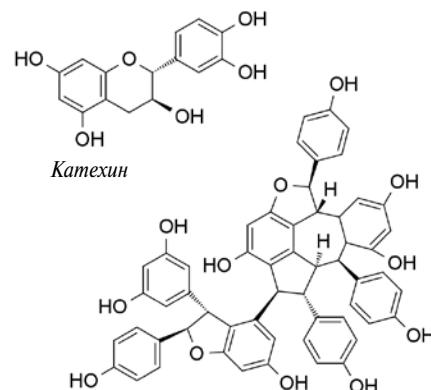
Очень сильный акцептор электронов 2,3,5,6-тетрахлор-п-бензохинон имеет тривиальное название **хлоранил**, он получен действием хлора на анилин. 2,5-диметилбензо-1,4-хинон обнаружили в буковом дегте и назвали **флороном** (по-гречески *phloios* — кора); его гидрированное производное — **гидрофлорон**. Метилбензохинон с эпоксидной и гидроксильной группой в молекуле получил название **терревой кислоты** (хотя это вовсе не кислота) — от патогенных плесневых грибов *Aspergillus terreus*, обитающих также в земле (лат. *terra*).

В хиноне два атома кислорода, поэтому вещество, в котором к шестичленному циклогексановому кольцу присоединено



## ОТКУДА ТВОЕ ИМЯ?

шесть атомов кислорода, получило название **трихиноила**. В 1839 году немецкий химик Гуго Райнш (1809—1884) получил 1,2-дигидроксибензол, который назвали **пирокатехином** (другое название — **катехол**). В этих терминах — греческий корень *руг* (огонь) и малайское название акации катеху (*Acacia catechu*), в экстракте которой есть дубильные вещества. Среди них — несколько изомеров полифенола **катехина** (эти сильные антиоксиданты содержатся в чае, черном шоколаде, многих плодах и ягодах). При сухой перегонке экстракта катеху и был получен пирокатехин. Последний изомер, 1,3-дигидроксибензол, был синтезирован только в 1864 году австрийскими химиками Генрихом Глазивецом (1825—1875) и Людвигом Бартом (1839—1890). Этот изомер называется **резорцином** (от лат. *resina* — смола и *орцин* — орсин, орсейль) — темно-фиолетовый краситель, извлекаемый из некоторых лишайников. Резорцин действительно применяют при изготовлении красителей. **Орсином** (или **орцином**) называется также 3,5-дигидрокси-толуол, который образуется при сухой перегонке орселиновой кислоты. Другое название триметилрезорцина — **мезорцин**, опять-таки от *mesos* — средний, промежуточный: в мезорцине одна метильная группа расположена между двумя гидроксильными.



Катехин

Ватиканол

Из коры дерева *Vatica rassak*, растущего на Филиппинах и в других тропических азиатских странах, группа японских химиков выделила в 2000 году полифенол, который получил необычное название **ватиканол**.

И.А.Леенсон



слоя надпочечников, уменьшение лимфатических структур, появление язв на слизистой оболочке желудка — триада Селье (Selye H.A, «Syndrome Produced by Diverse Noxious Agents», «Nature», 1936, 138, 32). Этот симптомокомплекс Селье назвал генерализованным адаптационным синдромом, а впоследствии — реакцией стресса.

Казалось бы, очевидно: наша реакция зависит от того, что именно воздействует на организм. При жаре усиливается потоотделение, человек старается поменьше двигаться, ищет тень и старается в ней раскинуть пошире руки и ноги — увеличивает поверхность теплоотдачи. На холоде потоотделение уменьшается, человек ищет источники тепла, совершает энергичные движения, а устав, старается уменьшить поверхность тела — сжимается в комок. Физиологические и поведенческие реакции на жару и холод противоположны. Но в то же время что на жару, что на холоде, в нашем организме развивается стрессорная реакция, одинаковая в обоих случаях. Она же возникает и при любых других отклонениях условий существования от привычных.

Именно неспецифичность стала революционной чертой новой концепции. В дальнейшем, когда теория Ганса Селье получила многочисленные подтверждения и повсеместное признание, основное внимание исследователей было направлено на выявление особенностей стрессорной реакции в зависимости от типа стрессора (стимула, вызывающего стресс). Было получено много экспериментальных фактов, подтверждающих существование таких особенностей. Стали говорить о стрессе «холодовом», «радиационном», «глубо-



ководном», «болевым», «психологическом», «социальном»... Однако это терминологически неправильно. Поскольку в реакции организма всегда присутствует и специфический, и неспецифический, то есть стрессорный, компонент, следует говорить о сочетании стресса с реакцией на конкретный раздражитель: холод, радиацию, социальные конфликты и т. д.

Слишком часто любые изменения в нашем организме приписывают стрессу. В большинстве случаев это неверно: наша реакция зависит от того, что именно воздействует на нас, то есть от модальности стимула. Например, нарушения репродуктивной функции у спортсменок, вплоть до прекращения менструаций, связывали со стрессом, который сопровождает нагрузки большого спорта. Оказалось, что это не так. В данном случае на репродуктивную функцию влияет другой фактор: соотношение жировой и мышечной ткани в организме. Это было установлено в результате наблюдений за спортсменками и в экспериментах на животных. Если же соотношение мышечной и жировой ткани поддерживать на определенном уровне, то самые интенсивные физические нагрузки не приведут к нарушениям половой функции.

Долгое время, вплоть до конца XX века, стрессом объясняли такое распространенное заболевание, как язвенную болезнь желудка. Австралийские ученые Робин Уоррен и Барри Маршалл получили Нобелевскую премию в 2005 году за доказательство инфекционной природы язвенной болезни и открытие его возбудителя — *Helicobacter pylori*. Стресс может усиливать процесс язвообразования (к этому мы еще вернемся), но он не является его первопричиной.

Таким образом, правомерно использовать термин «стресс», если реакция, которую мы наблюдаем, мало зависит от модальности стимула.

## Системность стресса

Стрессор вызывает реакцию всех систем организма, и в то же время организм реагирует как целостная система — отдельные его реакции тесно связаны друг с другом. Исключительно для удобства выделяют такие компоненты стресса, как поведенческий, эндокринный, физиологический, иммунный и т. д. В таблице приведены некоторые проявления стрессорной реакции.

Значительную путаницу в представления о том, какие изменения являются стрессом, а какие нет, вносит тот факт, что основной стрессорный гормон человека кортизол (а также некоторые другие) активно секретируется при любой физической нагрузке. Изменение секреции кортизола считают одним из главных показателей стресса. Однако при физической нагрузке (мышечной работе, изменении температуры среды и т. п.) организм нуждается в интенсификации углеводного обмена, этим и обусловлено выделение кортизола. Во время же стресса организму необходимы системные изменения жизнедеятельности, в первую очередь психические реакции. Поэтому повышение концентрации кортизола в крови еще не свидетельствует о том, что развивается именно стрессорная

### Проявления стрессорной реакции

<p><b>Поведение</b></p> <p>Увеличение тревоги Активация сенсорных систем Усиление внимания Активация памяти Изменение двигательной активности (усиление или торможение) Торможение пищевого и полового поведения</p>
<p><b>Эндокринология</b></p> <p>Выброс в кровь адреналина и норадреналина Усиление секреции кортиколиберина и кортикотропина Усиление секреции глюкокортикоидов Усиление секреции эндогенных опиатов Усиление секреции вазопрессина Торможение секреции инсулина, гормона роста, гонадолиберина</p>
<p><b>Физиология</b></p> <p>Пилоэрекция (подъем волос перпендикулярно поверхности кожи) Расширение бронхов Увеличение частоты и глубины дыхания Увеличение частоты сердечных сокращений и минутного выброса крови Расширение сосудов системы «сердце-легкие» и сосудов скелетных мышц Сужение магистральных сосудов головы Сужение сосудов кожи и внутренних органов Поступление крови в основное русло из депо Усиление сокращений утомленных мышц Эвакуация содержимого полостных органов Создание резерва жидкости в организме Торможение моторной и секреторной функции желудочно-кишечного тракта</p>
<p><b>Биохимия</b></p> <p>Увеличение концентрации глюкозы в крови Усиление глюконеогенеза (усиление распада жиров и белков) Увеличение поступления глюкозы в клетки мозга, сердца и скелетных мышц</p>

реакция. Прежде чем говорить о стрессе, необходимо зарегистрировать изменения и в других системах организма.

Итак, использовать термин «стресс» при описании реакции организма вполне корректно, если показано, что в реакцию вовлечены несколько адаптивных систем, например и поведенческая, и физиологическая.

## Адаптивность стресса

«Адаптивность» означает, что биологическое значение стресса состоит в сохранении организма как целого. Ущерб здоровью наносит не стресс, а неблагоприятные изменения условий существования, которых животному или человеку не удалось избежать прежде, чем защитные ресурсы организма оказались исчерпаны. Умеренные по силе стрессы необходимы для нашего развития и существования.

Изменения поведения всегда начинаются с увеличения тревожности. Животное настораживается, почуяв незнакомый запах или услышав хруст ветки. Человек внутренне напрягается, оказавшись в непривычной обстановке. Тревожность сопровождается активацией сенсорных систем: обостряются все чувства, поскольку необходимо собрать как можно больше информации о новой ситуации. Возрастает не только чувствительность зрения, слуха, обоняния и пр. — усиливается внимание. Детали обстановки, на которые животное или человек ранее не обращали внимания, теперь бросаются в глаза. Новую информацию нужно сопоставить с хранящимися в памяти сведениями о схожих ситуациях — активируются процессы извлечения информации. Одновременно улучшается способность к запоминанию: новую информацию следует сохранить, чтобы повторение этой ситуации не оказалось стрессорным. Параллельно изменению состояния сенсорных систем изменяется и состояние моторики. В зависимости от психологического типа животное или человек становится более подвижным или, напротив, скованным. Происходят изменения в мотивационной сфере: подавляются мотивации, не связанные с потенциальной борьбой за сохранение жизни, — пищевая и половая. Соответственно тормозятся пищевое и половое поведение.

Физиологические реакции при стрессе также направлены на оптимизацию приспособления к изменившейся среде.

Каждый, кому доводилось видеть домашнюю кошку в непривычной для нее ситуации, например при весеннем выезде на дачу, знает, насколько увеличиваются видимые размеры тела из-за стоящей дыбом шерсти — пилоэрекции. Годовалых ворон, хотя они не уступают размерами взрослым птицам, легко отличить по крупной голове — перья на ней все время подняты. Для молодой вороны весь мир еще загадка, и она постоянно находится в состоянии стресса. А старую ворону трудно чем-нибудь удивить, поэтому перья лежат гладко, голова кажется меньше и более плоской, чем у молодой.

При стрессе расширяются бронхи, увеличиваются частота и глубина дыхания, поскольку от снабжения кислородом тканей зависит работоспособность организма. Это явление хорошо известно актерам, лекторам и всем, кому приходится выступать публично. Поскольку любое выступление содержит элемент новизны, даже если предстоит произносить хорошо знакомый текст, оно сопровождается пусть и небольшим, но стрессом. Даже если дыхательные пути сужены, например, из-за простуды, бронхи сразу же расширяются, как только человек появляется перед аудиторией.

Усиливается кровоток, направленный к органам, необходимым для борьбы за жизнь, — сердцу, легким и скелетным мышцам. Одновременно сужаются кровеносные сосуды, расположенные близко к поверхности кожи (чтобы уменьшить возможную потерю крови при ранении) и идущие к пищеварительной системе. Прекращаются моторика желудочно-кишечного тракта и его секреторная активность. Для облегчения бега происходит эвакуация содержимого прямой

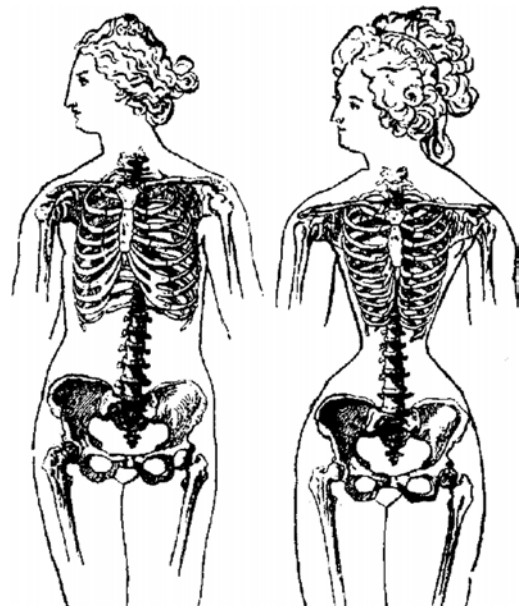
кишки и мочевого пузыря. Хорошо известно, что встревоженный человек испытывает позывы к посещению туалета. С другой стороны, почки перестают вырабатывать мочу — так создается запас жидкости в организме, который пригодится в случае ранения для восстановления объема крови.

Таким образом, стресс мобилизует все системы организма для приспособления к изменившимся условиям.

Отрицательное влияние стресса на здоровье — что порой имеет место — обусловлено тем, что стрессорная реакция формировалась в течение сотен миллионов лет, когда основными стрессорными стимулами были ситуации, представляющие непосредственную угрозу существованию. Это мог быть хищник или представитель своего вида — конкурент в борьбе за еду, место отдыха, самку и т. п. Поэтому большая часть изменений при стрессе повышает готовность организма к схватке, то есть к мышечным нагрузкам и возможному ранению. Стрессы же современного человека редко бывают связаны с опасностью для жизни, и многие проявления стрессорной реакции утратили биологическое значение и даже стали преимущественно вредны. При неожиданном вызове к начальству любой испытывает стресс, и, хотя разговор в кабинете директора редко доходит до кровопролития, организм готовится к возможной кровопотере.

Чтобы предотвратить падение кровяного давления в случае ранения, при стрессе артерии, несущие кровь к головному мозгу, суживаются. Если стресс не сопровождается кровотечением, то сужение этих сосудов пользы не приносит, так как уменьшает кровоснабжение мозга. Дамы XIX века часто падали в обморок не потому, что были чувствительнее наших современниц, а из-за корсетов, стеснявших дыхание. Женщины все время находились в состоянии кислородной недостаточности, и даже слабый стресс — «барышня, вам письмо» — нередко уменьшал снабжение головного мозга кислородом до критического уровня и ниже.

В триаду Селье входит уменьшение тимуса, то есть лимфоидной ткани. С лимфоидной тканью связаны процессы воспаления и иммунитета. Сегодня хорошо известно, что гормоны коры надпочечников, а именно глюкокортикоиды, имеют противовоспалительную и иммуноподавляющую активность. Противовоспалительная активность очень важна, так как очаги воспаления в результате разрушения клеток возникают в организме постоянно. Недаром самое популярное лекарство в мире — это аспирин, нестероидное противо-



*Атрофия грудной клетки вследствие длительного сдавливания корсетом (из книги немецкого антрополога Германа Плосса). Эти люди называли варварством обычай китайцев бинтовать ступни...*

воспалительное средство. Однако при массированном выбросе глюкокортикоидов ослабляется иммунитет, поэтому длительные стрессорные состояния часто сопровождаются инфекционными болезнями.

То, что в повседневной жизни называется «простудой», — как правило, вирусное заболевание. Высыпание герпеса или ОРВИ возникают не из-за того, что вирус попал в организм человека. Вирусы присутствуют в организме постоянно, но их активность подавляется иммунной системой. Если же иммунитет ослаблен после сильного стресса, то вирус активно размножается, что и проявляется в виде болезни. Человек часто заболевает гриппом после переохлаждения, которое вызвало стресс. Но острые респираторные заболевания нередки и в летний период: они провоцируются перегревом, неумеренными купаниями — другими словами, тоже температурными воздействиями. Поскольку и при охлаждении, и при перегреве развивается стресс, простудиться можно и летом. По данным детских поликлиник, количество инфекционных заболеваний увеличивается во время школьных каникул. Возможно, это связано с тем, что многие дети испытывают в это время бурную радость, то есть стресс. Несмотря на его положительную окраску (о «положительных» стрессах мы поговорим дальше), он также сопровождается выбросом глюкокортикоидов, которые подавляют иммунитет, — отсюда грипп, отиты, ветрянка и т. п.

Третий компонент триады Селье — образование язв на слизистой оболочке желудка под действием адреналина (которое ослабляется действием других стрессорных гормонов — глюкокортикоидов). Очевидно адаптивное влияние стресса на подавление пищеварительной активности. Когда нужно убежать от хищника, расточительно тратить энергию на функции, не направленные непосредственно на спасение жизни. Поэтому при стрессе тормозятся секреторная активность желудочно-кишечного тракта и моторика кишечника. Однако при частых стрессах развиваются нарушения пищеварительной функции, которые могут переходить и в болезнь. Не только постоянный, но и однократный стресс может вызвать резкое нарушение пищеварения. Все знают, что после длительного голодания пищу нужно принимать маленькими порциями. Вследствие стресса, вызванного голоданием, секреторная и моторная функции желудочно-кишечного тракта заторможены, так что большая пищевая нагрузка может вызвать смерть.

Кроме того, хорошо известно, что сразу после еды не рекомендуются физические нагрузки, в частности нельзя купаться. Погружение в воду, температура которой всегда ниже температуры тела, и сопряженная с плаванием мышечная работа вызовут стресс. Если желудок при этом заполнен пищей, то из-за нарушения нормальной сократительной активности желудка и кишечника могут возникнуть спазмы, которые причиняют сильную боль и даже способны вызвать рефлекторную остановку сердца.

При стрессе тормозятся процессы роста, дифференцировки и регенерации, а также репродуктивная функция — все эти процессы требуют энергии. Поэтому регулярные стрессорные нагрузки приводят к болезням соответствующих систем, особенно у детей и подростков, у которых процессы роста и дифференцировки тканей еще не завершены.

Итак, хотя стресс может причинять вред здоровью, вообще говоря, стрессорная реакция направлена на увеличение приспособленности организма. Приведем в заключение этого раздела несколько исторических примеров адаптивности стресса.

Генералиссимус Суворов перед штурмом Измаила обратил внимание на огромное количество больных солдат и приказал: «Чтоб не было больных!» Согласно приказу, все больные, кроме умирающих, пошли на штурм. И все, кто остался жив, оказались здоровыми. Когда немцы бомбили Лондон во время Второй мировой войны, в городе резко



уменьшилось количество невротических больных и страдающих разнообразными психосоматическими расстройствами (Джозеф Кемпбелл. Мифы, в которых нам жить. М.: София; М.: ИД «Гелиос», 2002).

## Новизна изменений

Сам Селье определял стресс как «неспецифический ответ организма на возникшую потребность», то есть как реакцию, которая имеет общие черты независимо от типа воздействия. Данное определение не очень удобно, под него подпадают практически любые реакции живых организмов — ведь удовлетворение потребностей происходит постоянно. Однако ни в коем случае нельзя утверждать, что человек или животное постоянно испытывает стресс. Абсолютное большинство потребностей возникает и успешно удовлетворяется без каких-либо его признаков. В определении Селье мы видим обычную логику первооткрывателя — обнаружив некую закономерность, ученый хочет распространить ее на возможно большее количество объектов, ситуаций, областей знания. Это нормально; мы понимаем мэтра и, снимая перед ним шляпу, отнесем такое определение в исторический музей.

Порой стрессом называют реакцию на сильные воздействия. Но стрессом могут сопровождаться и совсем незначительные изменения во внешней среде — если они неприятны, а человек (или животное) не может к ним приспособиться.

Другое распространенное определение сводится к тому, что стресс — это реакция на вредные воздействия. Такое представление тоже оставляет слишком много неясностей. Какое воздействие является вредным? Человек может не осознавать его вред. Человек или животное могут не понимать, что когда-нибудь потом данное воздействие принесет пользу. Наконец, стрессом сопровождаются такие изменения условий существования, которые и приятны, и приносят несомненную пользу. Многие люди (и животные) строят свою жизнь так, чтобы регулярно испытывать стресс.

Поэтому правильнее всего понимать под стрессом реакцию на новизну, на отклонение условий существования от привычных. «Новизна прибавляет много напрасных страхов», — заметил еще Плутарх.

Звон будильника — малоприятный стимул, но он не сопровождается стрессом, так как воздействует на нас регулярно. Если мы будем регулярно подвергать организм одному и тому же воздействию, то специфическая реакция будет постепенно усиливаться. Человек или животное адаптируются к конкретным изменениям среды: организм спортсмена привыкает к мышечным нагрузкам, оленя — к холоду, регулировщика уличного движения — к ядовитой атмосфере. В то же время при повторных предъявлениях одного и того же стимула стрессорная реакция будет уменьшаться.

Сравним переход улицы на нерегулируемом перекрестке, который совершают городской житель и человек, впервые приехавший в город из села. Или ночевку в лесу, которая предстоит таежному охотнику и заблудившемуся туристу-лю-

бителю. Обе ситуации требуют напряжения физических сил и психических способностей, но в обоих случаях первый из субъектов выполняет необходимые действия, не испытывая стресса, поскольку ситуация привычна для него, а для второго субъекта величина стресса очень велика.

При длительных воздействиях, даже требующих значительных усилий, организм человека адаптируется к ним. Землекоп не испытывает стресса, когда работа привычна для него, хотя это самая энергоемкая из всех традиционных активностей человека. Но в организме землекопа разовьется стресс, если он окупнется в ледяную воду. А у «моржа» — при копании траншеи. Жители больших городов страдают различными респираторными болезнями, так как постоянно дышат воздухом с высоким содержанием вредных веществ, однако не испытывают при этом стресса. В то же время деревенский житель, приехавший в город, из-за непривычного воздуха, непривычных зрительных, слуховых, обонятельных раздражителей, непривычного стиля социальных контактов будет стрессирован. Возможно, настолько сильно, что стремление уменьшить новизну обстановки проявится в драматическом изменении стратегии поведения — подобный случай описан в рассказе О.Генри «Квадратура круга», где человек из штата Кентукки, встретив в Нью-Йорке своего кровного врага (и земляка), приветствует его как друга.

### «Тренированный» не означает «устойчивый к стрессу»

Адаптация организма человека и животных к нагрузкам всегда специфична. При постоянном предъявлении одной и той же ситуации организм приспособливается именно к ней, и уровень стресса, первоначально высокий, постепенно снижается. При изменении модальности стимула, то есть типа нагрузки, стрессорная реакция снова станет высокой.

В феврале 2007 года 43-летняя Лиза Мария Новак, замужняя женщина, мать троих детей, была задержана при нападении на любовницу своего любовника. Это заурядное происшествие привлекло внимание всей планеты, потому что задержанная была астронавтом НАСА. Принято считать, что космонавты — это люди из стали, карбона и тефлона. Полагают, что они превосходят обычных людей во всем, в том числе и в способности адекватно действовать при стрессе. Поэтому журналисты, как, впрочем, и делавшие заявления официальные представители НАСА, говорили об ошибках в программе подготовки астронавтов или, в крайнем случае, об ошибке в конкретном случае тестирования Новак. А то, что она испытала стресс, — несомненно. Узнав об измене, Новак взяла пистолет, нож и баллончик с раздражающим газом, надела специальный подгузник для астронавтов, который позволяет долго не посещать туалет (правда, последний факт она в дальнейшем отрицала, но он успел попасть в новости), и проехала за рулем автомобиля без остановок тысячу миль. Все это характеризует ее поведение как неадекватное, лишённое биологического смысла и, следовательно, стрессорное.

В действительности этот инцидент не дает оснований говорить о профессиональной непригодности полковника Новак, имевшей опыт полетов в космос в должности командира корабля. Астронавтов и космонавтов тренируют и тестируют на способность справляться с ситуациями, которые могут возникнуть во время космического полета. Навыки социально приемлемого поведения при житейских невзгодах у будущих покорителей космоса специально не вырабатывают (как, впрочем, и у многих других женщин и мужчин). Впервые оказавшись в такой ситуации, Новак испытала стресс и проявила стрессорное поведение.

Фотография кота на этой странице была сделана во время Сталинградской битвы (17 июля 1942 — 2 февраля 1943).

Животное спокойно сидит на бруствере окопа, среди разрушенных зданий. Между тем боевые действия — один из самых сильных стрессоров для человека. А в Сталинграде шли постоянные бои. Кот непрерывно подвергался действию сильных звуковых, зрительных и, возможно, болевых раздражений. Однако, взглянув на его позу, можно с уверенностью сказать, что это животное не испытывало стресса. У человека, непрерывно пребывающего в условиях боевых действий более шести месяцев, вследствие хронического стресса психические изменения становятся необратимыми. Отсутствие же страха, подавленности у этого кота позволяют предположить, что объективно неблагоприятные условия к стрессу не привели, поскольку сделались привычными для него. Он воспринимал выстрелы и разрывы как неотъемлемые элементы среды существования, потому что не знал другой жизни — возможно, он и родился в зоне боевых действий. Стресс у этого кота возник бы, если бы его поместили в объективно благоприятные, но непривычные условия, например в мирную деревню.

Следует подчеркнуть, что стрессогенность, то есть новизна ситуации, всегда растет при дефиците времени, имеющегося для решения проблемы. Время, иногда достаточно продолжительное, нужно для сбора информации об изменениях во внешней среде, для поиска ключевого стимула, который позволит характеризовать ситуацию как знакомую, и, наконец, для выбора наиболее подходящей программы поведения. Чем больше времени есть у человека или животного, чтобы «осмотреться», тем менее выраженным будет стрессорное поведение. Недостаток же времени, увеличивая субъективную новизну ситуации, повышает уровень стресса. На основании понятия субъективной новизны сформулирована теория «хроностресса» (Чернышева М.П., Ноздрачев А.Д. Гормональный фактор пространства и времени внутренней среды. СПб.: Наука, 2006).

Величина стресса определяется не только формальной новизной ситуации, но и биологической значимостью этой ситуации — уровнем мотивации. Разные уровни стресса отмечаются у человека при служебной переаттестации и у того, кто решает математические задачи (пусть даже очень сложные) в ожидании поезда.

Обратим внимание на близость представления о стрессе как реакции на новизну, с одной стороны, и с другой — на эмоции как результат дефицита информации. Согласно взглядам известного физиолога и психолога П.В.Симонова (1926—2002),



*Кот, выросший при постоянной стрельбе из всех видов оружия, при разрывах снарядов, бомб и гранат, не реагировал на эти стимулы, стрессорные для любого живого существа. Более того, он выполнял обязанности связного — видна бумага, прикрепленная к ошейнику*



сила эмоции пропорциональна величине актуальной потребности и обратно пропорциональна информации о способах эту потребность удовлетворить. Очевидно, что чем сильнее потребность (в еде, безопасности и пр.), тем сильнее эмоция — на это указывал еще П.К.Анохин (1898—1974). То же и с величиной стресса. Но как сила стресса, так и сила эмоции зависит еще и от того, насколько ситуация понятна и привычна для человека или животного, иными словами, от количества полезной информации. Даже очень голодный человек не испытывает ни стресса, ни эмоций, если просыпается утром у себя дома, — он просто идет на кухню и ест. Другое дело, если человек просыпается голодным в незнакомом месте.

Можно сказать, что эмоциональная реакция — непереносимый и обязательный компонент стресса. Стрессорную реакцию от специфических реакций нашего организма отличает наличие эмоций, отрицательных или положительных.

## Положительные эмоции при стрессе

При стрессе, среди прочего, происходит усиленное выделение эндогенных опиатов — энкефалинов и эндорфинов. Эти вещества, подобно их растительным аналогам, вызывают эйфорию. Именно с ростом их секреции связаны положительные эмоции при стрессе. Мы испытываем стресс не только тогда, когда прыгаем в пропасть, обвязав лодыжки резиновой лентой, но и приобщаясь к искусству.

Чтобы произведение искусства вызывало стресс, в нем должно быть достаточно много новизны. Однако радикальное отклонение от традиций в авангардном искусстве вызывает слишком сильный стресс и, как следствие, чаще отрицательные эмоции.

Русский человек при посещении Третьяковской галереи получает, как правило, много больше положительных эмоций, чем при знакомстве с европейским музеем. С одной стороны, реальная картина производит более сильное впечатление, чем самая хорошая репродукция, — от новизны возникает стресс. С другой стороны, новизна в Третьяковке умеренная, многие картины мы знаем с детства. В первом же зале висит портрет Пушкина работы Кипренского — да у меня на букваре был этот портрет! И такое чувство узнавания сопровождает посетителя почти во всех залах. При этом конечно же узнавание дополняется радостью знакомства, как при встрече с симпатичным человеком, с которым был знаком только по фотографии и переписке.

На снижение новизны направлено прокручивание по радио новых песен перед выпуском нового альбома в продажу. Они начинают нам нравиться больше, когда мы понемногу привыкаем к ним. Но как только слушатели выучат наизусть новую песню, ее отправляют в архив и запускают следующий музыкальный проект.

В театре всем известно, что спектакль особенно хорош между десятым и двадцатым представлением. До десятого новизна слишком велика, соответственно волнение актеров мешает им. Потом, после двадцатого показа, новизна исчезает, стресс актеров минимален, игра делается несколько механической, и передача эмоций в зал ухудшается.

Стремление к привычному, то есть к отсутствию новизны и, следовательно, стресса, можно наблюдать у детей, ежедневно требующих буквально дословного воспроизведения хорошо известной им сказки. На маленького человека в течение дня обрушивается лавина новой информации, он устаёт от напряженной психической деятельности и, естественно, стремится свести новизну ситуации к минимуму, а для этого ему надо послушать знакомую сказку.

Точно так же и взрослый человек, выбирая книгу на сон грядущий, предпочитает либо многократно читанную, либо берет книгу из определенной, хорошо ему знакомой серии — крутой детектив или любовный роман. Как писал в своих воспоми-

паниях Д.С.Лихачев, в номере староанглийской гостиницы всегда найдутся Библия, и детективы, чтобы любой постоялец мог выбрать себе подходящее чтение на ночь.

Непреходящая популярность серийной литературы объясняется именно тем, что при чтении очередного романа из знакомой серии ощущение новизны снижено до минимума. Сквозные персонажи ведут себя так, как ожидает читатель, и шутки, и конфликты предсказуемы. Таким образом, главное достоинство романов Стаута, Хмелевской и любой другой серийной литературы — в отсутствии новизны. Серии о Шерлоке Холмсе, Пуаро, Мегрэ, современные «дамские» детективы, сериал о Гарри Поттере или об Эрасте Фандорине — эффективное и доступное средство защиты от стресса реальной жизни, поскольку они погружают читателя в хорошо знакомый, а потому ясный и простой мир.

Отметим, что каждый из успешных авторов серийной литературы изначально привлек внимание новизной созданного им образа: детектива-дженглямена, детектива-старушки, детектива — неунывающей блондинки из проектного бюро... Но потом рынок, учитывая особенности человеческой природы, требует бесконечных продолжений, авторских или эпигонских.

Отсутствия новизны авторы серийных произведений достигают не только за счет воспроизведения сюжетов, характеров и стиля, но и за счет сознательного обеднения лексики. Жорж Сименон объяснял популярность своих романов именно тем, что использует не более полутора тысяч слов. Для сравнения напомним, что Гюстав Флобер и Ги де Мопассан советовали не повторять слово ранее, чем через 200 строк текста. Однако серийные произведения пишутся с противоположной целью — исключить по возможности все, что может вызвать своей новизной стресс у читателя. Впрочем, следует заметить, что благодаря лексической бедности и примитивной грамматике книги Жоржа Сименона и Агаты Кристи полезны для начинающих изучать иностранные языки.

Преобладание голливудских фильмов на мировом рынке обеспечивается стереотипностью, предсказуемостью сюжетов и режиссерских ходов в подавляющем большинстве картин. Еще Ильф и Петров в «Одноэтажной Америке», написанной после путешествия по США в 1935 году, отмечали, что большинство голливудских фильмов можно отнести к одной из четырех категорий: вестерн, гангстерский, история Золушки, костюмно-исторический фильм. Зритель знает, какого типа фильм он будет смотреть, и получает ожидаемый сюжет, ожидаемый тип персонажей, ожидаемый видеоряд и прочее. Зритель вполне удовлетворен, поскольку уровень стресса минимален. Европейское кино более непредсказуемо — сравним фильм «Никита» Люка Бессона и его американскую версию, которая воспроизводит почти все его мизансцены и диалоги, за исключением последнего кадра. Если в американской версии это стандартный счастливый конец — героиня с ясной улыбкой идет навстречу своему, безусловно, светлому будущему, то Люк Бессон не дает зрителю забыть, что Никита — психопатическая личность, и не только ее грядущее счастье, но и просто успешная социальная адаптация вызы-

вают сомнения. Естественно, такой неопределенный финал вызывает стресс и значительно снижает коммерческий успех европейского фильма.

Большой успех в 1990—2010 годы старого советского кинематографа объясняется не столько ностальгией, сколько простотой и ясностью фильмов. Как только герой появляется на экране, сразу понятно, хороший он или плохой. Картины 1970-х гораздо сложнее, «плохой хороший человек» постоянно встречается среди киноперсонажей, особенно в картинах «Ленфильма». А ответить на вопрос «Чему учит этот фильм?» подчас вовсе невозможно. Поэтому поздние советские фильмы не интересуют современных российских зрителей, у которых стресса хватает и в повседневной жизни.

## Когда стресс однозначно вреден

Ганс Селье ввел термины «дистресс» — вредный стресс и «эустресс» — полезный. Эти термины не получили широкого распространения, главным образом из-за того, что различаются они только знаком сопровождающих их эмоций, а физиологическая картина обеих реакций на первых этапах развития одинакова.

Вредный стресс возникает, когда стимул, вызывающий его, обладает одним или несколькими из трех признаков: к нему невозможно приспособиться; его невозможно избежать; невозможно предсказать его появление и/или исчезновение. Все три признака можно объединить понятием «неконтролируемость ситуации». Таким образом, однозначно вреден для здоровья неконтролируемый стресс.

Выше мы говорили, что при последовательных предъявлениях одного и того же стимула происходит уменьшение стрессорной реакции, так как стимул утрачивает новизну. Но это только в том случае, если организм может приспособиться к изменению. Если же нет — то стрессорная реакция не снижается. Например, при регулярном погружении в ледяную воду — «моржевании» — происходит постепенная адаптация организма к переохлаждению. Человек перестает простужаться зимой. Но общего укрепления здоровья не происходит, поскольку к холоду организм человека привыкнуть не может, развивается хронический стресс. Основная причина смерти «моржей», особенно экстремальных, ходящих по снегу босиком, — воспаление легких вследствие подавленного иммунитета. Вскрытие показывает почти полностью исчезнувший корковый слой надпочечников. Другая крайность — увлечение баней, то есть перегревом организма, тоже сопровождается хроническим стрессом. У финских женщин частота расстройств репродуктивной системы среди любительниц сауны, которые посещают ее несколько раз в неделю, значительно выше, чем у тех, кто ходит в сауну раз в неделю и реже.

Пагубность неизбежного стресса тоже очевидна. Мы страдаем особенно сильно, если не можем сделать ничего для прекращения своих страданий или страданий близкого человека. Стресс становится неизбежным, если неприятный стимул действует продолжительное время, — адаптивные возможности организма не беспредельны. И даже задолго до того, как ресурсы будут исчерпаны, организм понесет существенный урон, поскольку при стрессе заторможены функции питания, репродукции и роста.

Но самая тяжелая, губящая наше здоровье, приводящая к депрессии и смерти стрессорная реакция развивается при непредсказуемости изменений во внешней среде. О вреде непредсказуемости социальных отношений и о защитных механизмах, которые при этом использует человек и животные, мы уже писали (см. «Химию и жизнь», 2014, № 8), поэтому сейчас скажем только несколько слов.

Как неприятна непредсказуемость окончания действия стимула, знают все, кто посещал молчаливого дантиста. Он не

предупреждает пациента о том, что ему предстоит. Хороший же дантист всегда говорит, что он собирается делать и сколько еще осталось сидеть с широко раскрытым ртом.

Непредсказуемость ослабляет действие приятных для человека стимулов, вызывающих положительные эмоции. Очень хорошо это объяснил Лис Маленькому Принцу: «Если ты будешь приходить в четыре часа, я уже с трех часов почувствую себя счастливым. И чем ближе к назначенному часу, тем счастливее. (...) А если ты приходишь всякий раз в другое время, я не знаю, к какому часу готовить свое сердце... Нужно соблюдать обряды». Поэтому сюрпризы, которые мы устраиваем своим близким, не всегда радуют так, как хотелось бы.

Итак, даже сильный и неприятный стимул необязательно вызывает неконтролируемый стресс. Возможно, к нему удастся приспособиться или уйти от его воздействия раньше, чем будут исчерпаны ресурсы организма. Также следует стремиться к тому, чтобы начало и окончание действия нежелательного стимула были предсказуемыми.

## Подводя итоги

Не все аспекты проблемы мы затронули в данной статье, фактически только разобрали определение стресса. Повторим еще раз. Стресс — это реакция на новизну. Стресс не зависит от модальности раздражителя. При стрессе работают все системы организма. Стресс направлен на приспособление к меняющимся условиям существования. Стресс сопровождает как приятные, так и неприятные события. Однозначно вреден стресс, возникающий в неконтролируемых условиях.

Поскольку стресс — это реакция на новизну, невозможно повысить свою устойчивость к стрессорным ситуациям, уменьшить чувствительность к ним путем каких-либо специальных упражнений и тренингов. Врут психологи, обещающие сделать это за несколько занятий. Только накопление опыта, житейского и профессионального, ведет к уменьшению числа ситуаций, вызывающих стресс.

Легких способов универсального повышения устойчивости психики в стрессорной ситуации нет, но есть трудный — получение высшего образования. Это установили в США после Второй мировой войны, когда изучали факторы, определяющие формирование постстрессорных расстройств. Врачи обратили внимание, что не все ветераны страдали от переживаний, вызванных участием в боевых действиях, и, более того, сила расстройств далеко не полностью соответствовала риску, которым подвергались люди на войне. Оказалось, в частности, что значительно меньше страдали люди с высшим образованием, чем люди с криминальным прошлым, опытом участия в уличных бандах (Lazarsfeld, 1949, цит. по: Майерс, Д. Дж. Социальная психология. — Санкт-Петербург: Питер, 2002).

Эта противоречащая здравому смыслу закономерность объясняется тем, что в вузах люди не только получают знания и навыки, но еще и обучаются самому процессу обучения — улучшают свою способность приобретать новый опыт, переводить его в конкретные программы поведения, которые позволяют не наступать дважды на одни и те же грабли, приспосабливаться к новым условиям и в результате быстро переводить новую ситуацию в категорию привычных.

Конечно же подобным действием обладает не только вузовское образование. Продолжая самообразование, читая, размышляя, создавая собственные разработки, мы не только совершенствуемся в конкретной области, но и повышаем свою способность избегать неконтролируемых стрессов, оставляя себе только стрессы приятно бодрящие.



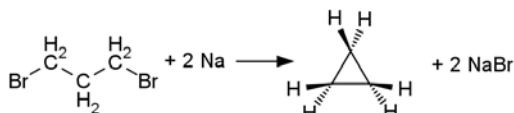
# Циклопропан



О ВЕЩЕСТВЕ ПО СУЩЕСТВУ

**С** точки зрения «обычной» химии обычная химическая связь, особенно между атомами углерода, — прямая. Электронные орбитали, образующие связь, располагаются по линии, которая соединяет центры атомов. Это естественно и понятно на интуитивном уровне. Но есть исключение из правила — давным-давно известное вещество, которое даже используют в медицине. Это циклопропан, в котором три атома углерода соединены в треугольник. Мы помним, что углы у равностороннего треугольника равны 60 градусам. А как нам вдалбливают на первых же уроках органической химии, угол между связями в углероде равен 109 градусам 28 минутам. Получается, в циклопропане связи стянуты, как согнутая в лук ветка дерева... Впрочем, давайте обо всем по порядку.

Само вещество известно химикам уже век с четвертью. Новый газ синтезировал в 1881 году австрийский химик Август Фройнд (1835—1892), родившийся на территории нынешней Польши, а умерший на территории нынешней Украины, во Львове. Именно Фройнд в первой же статье под названием «О триметиле» и предположил правильную структуру циклопропана. Кстати, синтез, обессмертивший имя Фройнда, был проведен во Львовском техническом университете — Фройнд в те годы был профессором этого университета и деканом факультета технической химии. Синтез циклопропана и сейчас проводят этим методом — замыканием цикла 1,3-дибромпропана при помощи металлического натрия.



Синтез циклопропана

Следующий важный этап в биографии нашего вещества связан с именем американского анестезиолога Ральфа Мильтона Уотерса (1883—1979). Статья о нем в Википедии без обиняков утверждает: «...знаменитый тем, что ввел

профессионализм в анестезиологическую практику». И правда, в 1919 году вышла одна из самых важных статей Уотерса «Зачем нужны профессиональные анестезиологи», в которой он очень низко оценил ситуацию с обезбоживанием в медицине того времени и призвал врачей уделять этой проблеме больше внимания.

Пионер в области анестезиологии, автор первого учебного курса по этому предмету, Уотерс догадался использовать циклопропан для ингаляционного наркоза. Начали это делать в 1920-х годах и делают до сих пор (сам автор помнит его запах). Действительно, у этого вещества очень широкий спектр применения. Если его в дыхательной смеси 4%, он вызывает аналгезию, то есть обезбоживание. Чуть побольше — около 6% — отключается сознание, а если еще больше, то наступает общий наркоз.

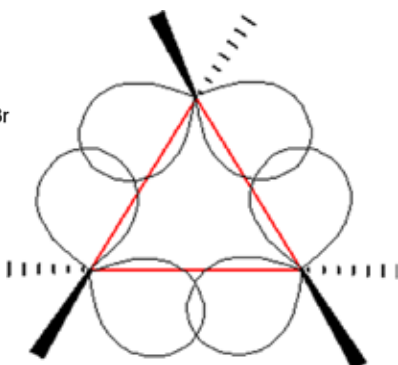
Один минус: мы помним, что обычный пропан — это бытовой газ, тот самый, который перевозят в баллонах. Его циклический собрат тоже чрезвычайно взрывоопасен, а значит, делать наркоз там, где есть опасность искры, не стоит. Зато после прекращения ингаляции циклопропан в неизменном виде выводится из организма. Полностью и без следа.

Но самое интересное в нашей молекуле — не это. Самое интересное — это химические связи циклопропана. Как мы уже говорили, нормальный угол между одинарными связями, которые образует атом углерода, — 109 граду-

сов 28 минут. А угол между сторонами равностороннего треугольника — всего 60. И как быть? Оказывается, в циклопропане одинарные связи не прямые! В обычном пропане связь «углерод-углерод» получается перекрытием длинных сторон неравносторонних «гантелек»  $sp^3$ -гибридизованных орбиталей. И оба атома, и область перекрытия лежат на одной прямой. И расстояние между атомами углерода одинаково — 0,153 нанометра. Здесь же все иначе. Электронные орбитали выгибаются наружу от сторон треугольника, который образуется атомами углерода. Получается натянутый лук. Хотя химики почему-то назвали такие связи банановыми. Фантазии у них нет, что ли? Впрочем, английское название еще более незамысловатое — bent bond, изогнутая связь...

Кстати, такая связь (0,151 нм) короче обычной одинарной и длиннее двойной (0,146 нм). И слабее — циклопропан легко вступает в реакции присоединения, как вещество с обычной двойной связью, только в нашем случае связь между атомами углерода рвется полностью. Например, к нему присоединяются галогеноводороды в полном соответствии с правилом Марковникова (конечно, в случае замещенного циклопропана).

Сейчас это вещество постепенно сходит с подмостков. Конечно, оранжевые баллоны циклопропана можно встретить во многих операционных, однако веселящий газ встречается чаще, севофлюран работает лучше, а другого применения циклопропану пока особо не нашли. И все же, если вы еще увидите оранжевые баллоны, вспомните, что там, внутри, — удивительные крошечные «бананы» длиной чуть более одной десятой нанометра.



Алексей Паевский

# Кофеиновый сдвиг

**Б**одрящее действие кофе хорошо известно: он помогает проснуться, уменьшает чувство усталости и отгоняет сон вечером. Но кофе же и нарушает качество сна, делает его неглубоким и беспокойным.

Люди пьют кофе в огромных количествах и много времени тратят на изучение действия кофеина. Исследователи выяснили, что кофеин удлиняет околосуточные биоритмы гриба *Neurospora crassa*, зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii*, дрозофилы *Drosophila melanogaster*, морской улитки *Bulla goudiana*, крыс и хомяков. Естественно было предположить, что на циркадные ритмы человека кофеин также влияет, но подобные исследования на людях весьма трудоемки, поэтому их немного. Недавно американские и британские ученые под руководством профессора Колорадского университета Кеннета Райта поставили очень чувствительные эксперименты, в которых количественно определили влияние чашечки двойного эспрессо на циркадный ритм («Science Translational Medicine», 2015, 305, ra146, doi: 10.1126/scitranslmed.aac5125).

Циркадный (циркадианный, или околосуточный) ритм — основной биологический ритм животных и человека. Его отсчитывают главные часы организма. Сетчатка глаза содержит ганглиозные клетки, единственная задача которых — реагировать на изменение освещенности. Сигнал от этих клеток поступает в супрахиазматическое ядро гипоталамуса (СХЯ), а оттуда в эпифиз, в котором в темное время суток синтезируется гормон мелатонин, но с восходом солнца его синтез прекращается. Концентрация мелатонина в крови и других жидкостях организма ритмически изменяется в зависимости от освещенности. Регуляторные гены СХЯ и мелатонин контролируют работу периферических часов, которые есть почти в каждой клетке. (Подробнее о внутренних часах человека см. «Химию и жизнь» 2013, № 1 и 2015, № 6.) С циркадными ритмами неразрывно связан цикл сна и бодрствования. Именно начало синтеза мелатонина служит для организма сигналом к наступлению ночи и запускает каскад физиологи-

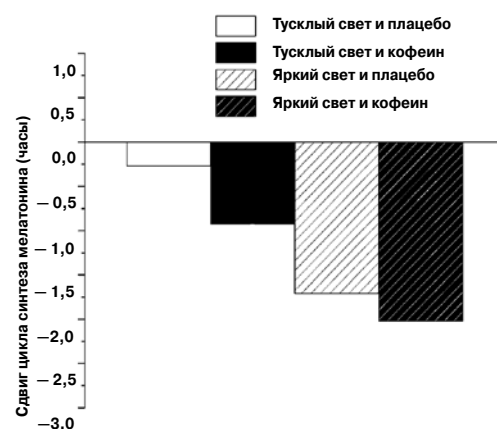
ческих реакций, вызывающих засыпание. Главные циркадные часы можно «перевести», воздействуя внешними факторами: светом, едой, физической активностью, фармакологическими препаратами. Например, если включить яркий свет в то время, когда человек привык ложиться, это нарушит работу циркадных часов и человек спать не захочет.

Кеннет Райт и его сотрудники проверили гипотезу о том, что вечерний кофе взбадривает людей, переводя их часы, то есть сдвигая циркадное время, и сравнили его влияние с эффектом такого сильнодействующего фактора, как яркий свет. В исследовании приняли участие три женщины и двое мужчин 22—26 лет, здоровые люди, не страдающие расстройствами сна или метаболизма. В течение 49 дней они работали в лаборатории сна и хронобиологии Колорадского университета. За две недели до начала эксперимента они не принимали лекарств и кофеина в любой форме, неделю не дремали днем, три дня не делали зарядку, два дня не пили спиртного. От всего этого следовало воздерживаться и во время эксперимента.

В первую неделю ученые наблюдали за испытуемыми амбулаторно и установили характерное для каждого время отхода ко сну. Затем участники эксперимента перебрались в лабораторию, в помещение без окон и часов, освещаемое потолочными люминесцентными лампами солнечного спектра. Время бодрствования люди проводили при тусклом освещении около 1,9 люкс в полулежащем положении, на время сна свет выключали. В промежутках между таким времяпрепровождением каждого испытуемого четырежды тестируют в разных условиях. За три часа до обычного времени отхода ко сну ему давали пилюлю, содержащую рисовую муку (плацебо) или кофеин из расчета 2,9 мг/кг веса, что эквивалентно 200 мг кофеина (двойной эспрессо) для персоны весом 69 кг. Все пилюли выглядели одинаково, ни испытуемые, ни исследователи не знали, что содержит пилюля, пока не приступали к расшифровке результатов. В час отхода ко сну

свет не выключали, еще три часа горела либо прежняя тусклая лампочка, либо яркая (3000 люкс), затем испытуемый спал в темноте оставшиеся пять часов. У людей регулярно брали пробы слюны, в которой определяли уровень мелатонина — его изменение специалисты считают наиболее точным методом измерения циркадного времени у людей. Повышение уровня мелатонина служит сигналом, что для человека началась ночь, а понижение свидетельствует о наступлении дня.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1. Кофеин в сочетании с тусклым светом сдвигает начало синтеза мелатонина и циркадный ритм на 40 мин по сравнению с плацебо, то есть «субъективная ночь» под влиянием кофеина начинается на 40 мин позже. Яркий свет плюс плацебо смещают циркадный ритм на 85 мин по сравнению с плацебо при тусклом свете. Все пять участников реагируют на яркий свет примерно одинаково, в то же время при реакции на кофеин индивидуальные различия весьма значительны. У одного человека он сдвигает циркадный ритм на полчаса, у другого — на час, у третьего почти на два, еще на двоих кофеин практически не подействовал. Исследователи пока не знают, почему так происходит. Возможно, индивидуальный отклик связан с генетическими вариациями фармакокинетики кофеина или чувствительности к нему. Но из-за

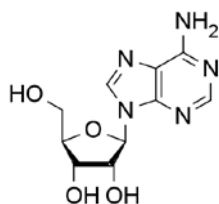
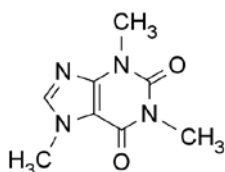


1 Влияние яркого света и кофеина на циркадный ритм

такого разброса индивидуальных значений разница между средними величинами эффектов яркого света плюс плацебо и тусклого света плюс кофеин оказалась недостоверной.

А вот яркий свет плюс кофеин, безусловно, эффективнее одного кофеина — сочетание этих факторов сдвигает циркадный ритм на 105 мин по сравнению с тусклым светом. При этом разница между действием яркого света и яркого света вместе с кофеином недостоверна. Очевидно, яркий свет производит максимально возможное воздействие, и добавление кофеина физически не в состоянии усилить эффект. Эти данные показывают, каково максимальное воздействие различных внешних факторов на внутренние часы человека.

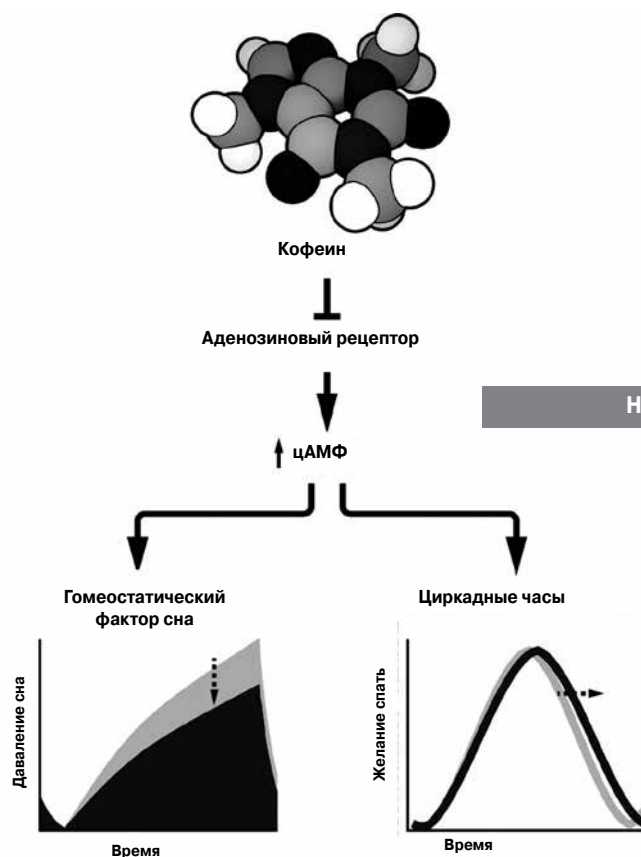
Итак, кофеин сдвигает циркадный ритм человека. Чтобы исследовать клеточный механизм его действия, ученые взяли хорошо изученную линию клеток остеосаркомы человека U2OS. Эти клетки содержат все мишени, с которыми взаимодействует кофеин в нейронах СХЯ — главных часах организма. Прежде всего, он блокирует расположенные на клеточной мембране рецепторы к аденозину, который в норме вызывает сон и подавляет возбуждение (рис. 2). Блокировка аденозиновых рецепторов



2  
Кофеин (вверху) и аденозин

повышает внутриклеточный уровень циклоаденозинмонофосфата (цАМФ), который выполняет в клетке множество разных функций, в том числе переводит циркадные часы, а также играет важную роль в гомеостазе сна.

Цикл сна и бодрствования регулируют не только циркадные ритмы, но и процессы гомеостаза. Во время бодрствования в нейронах мозга накапливаются определенные химические вещества, которые надо удалить. Удаление происходит во сне. Чем больше накопились таких веществ, тем больше необходимость сна, его интенсивность и длительность (давление сна), а вре-



НАУЧНЫЙ КОММЕНТАТОР

3  
*Эффект двойного эспрессо. Блокируя аденозиновые рецепторы нейронов мозга, кофеин повышает внутриклеточный уровень цАМФ, ослабляет наступление гомеостатического желания спать во время бодрствования и переводит циркадные часы*

мя засыпания зависит от циркадного ритма.

Кофеин, кроме того, ингибирует активность фермента фосфодиэстеразы, вызывающего деградацию цАМФ, что также повышает его внутриклеточный уровень. И наконец, кофеин активирует риадолиновые рецепторы, которые регулируют внутриклеточное содержание ионов кальция и участвуют в работе циркадных часов.

Используя методы генной инженерии, иммунохимии и фармакологии, исследователи установили, что сдвигу циркадного ритма приводит именно взаимодействие кофеина с аденозиновыми рецепторами (рис. 3). Впрочем, Кеннет Райт и его коллеги не исключают, что в опытах на животных проявятся и другие мишени для кофеина, не выявленные в опытах с клеточной культурой. Остается также выяснить в экспериментах *in vivo*, управляет ли кофеин суточными ритмами периферических тканей, например печени или нейронов, находящихся вне СХЯ.

Люди, пьющие много кофе, за день блокируют значительное количество аденозиновых рецепторов. Уровень цАМФ в их клетках хронически высок,

их личное время существенно отстает от солнечного, и желание спать возникает глубокой ночью. Неудивительно, что среди закоренелых кофеев преобладают люди-совы, которые поздно ложатся и поздно встают.

Все знают, что кофе бодрит. Однако для лечения расстройств сна этих знаний недостаточно, тут нужна детализация механизма действия. Например, людям, которые хотели бы проводить больше времени при солнечном свете, а не при электрическом, стоит воздерживаться от кофе хотя бы по вечерам, и теперь им можно подробнейшим образом объяснить почему. Но есть случаи, когда применение кофеина оправданно. Прежде всего это касается людей, путешествующих на запад через несколько часовых поясов. Правильный прием кофеина поможет им приспособиться к новым условиям, сдвинуть циркадный ритм и не уснуть, пока не наступит подходящий для этого час. Но чтобы использовать кофеин в таком качестве, нужны клинические испытания, а также наблюдения за нарушениями сна, вызванными кофеином в условиях джет-лага. Таким образом, питье кофе с пользой для здоровья оказалось весьма наукоемким процессом.

**Н.Л.Резник**

# Мезозойская репетиция млекопитающих

# М

езозойская эра (триасовый, юрский и меловой периоды) — время рептилий, в том числе динозавров. Их много, они завоевывают сушу, небо и море, хищные и травоядные, крошечные и громадные — они повсюду. Когда животные осваивают новые места обитания, изменяясь соответственно, — например, наземные существа вдруг начинают плавать, лазать по деревьям и даже планировать с ветки на ветку, — это называется адаптивной радиацией. Иногда различия между родственными группами становятся так велики, что образуются новые виды. Именно это и происходило с рептилиями в мезозое. Однако это славная эпоха ознаменована и другими важными событиями. К примеру, 220 млн лет назад, в триасовом периоде, почти одновременно с динозаврами возникли млекопитающие.

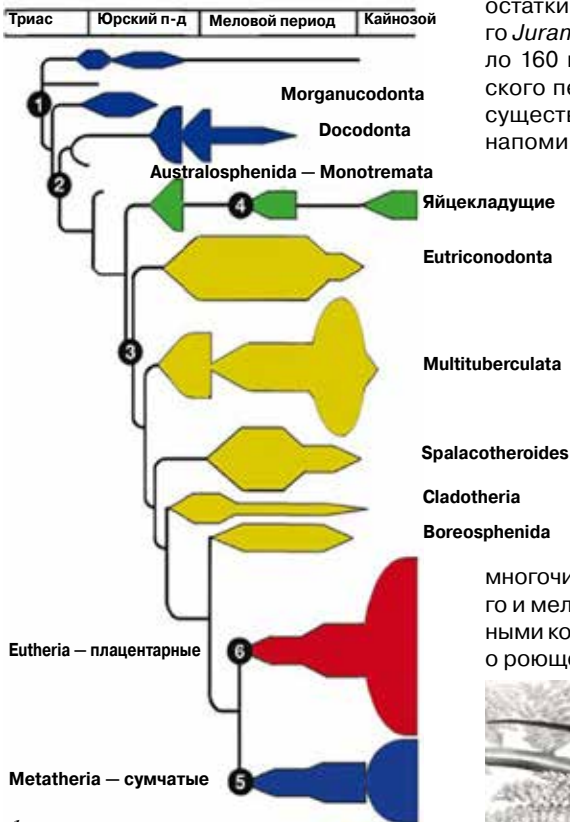
Долгие годы специалисты, а вслед за ними и широкая публика представляли себе млекопитающих мезозоя крошечными существами, напоминающими землеройку, которые вели преимущественно ночной образ жизни и питались корешками-жучками-червячками, страдая от жесточайшей конкуренции с динозаврами и хищничества рептилий. Однако в последние 30 лет было описано много новых видов мезозойских млекопитающих, и оказалось, что в юрском периоде, практически одновременно с динозаврами, они переживали свою адаптивную радиацию. Динозавры и млекопитающие не помещали друг другу, поскольку выступали в разных размерных категориях. Динозавры начала и середины юрского периода были крупными, а мини-рапторы, которые экологически ближе всего к ранним млекопитающим и могли бы с ними конкурировать, тогда были еще редки, их время наступило только в меловом периоде.

Эволюция мезозойских млекопитающих происходила не равномерно, а волнами («Nature», 2007, 450, 1011—1019, doi:10.1038/nature06277). В результате возникло довольно развесистое филогенетическое древо, хотя большинство его ветвей оказались короткими и тупиковыми, за двумя исключениями. Первое — австралосфениды, предки современных яйцекладущих млекопитающих (утконоса и ехидны), второе — звери (Theria), которые объединяют современных живородящих млекопитающих — плацентарных и сумчатых (рис. 1).



Собрание докодонтов. На ветке сидит *Agilodocodon scansorius*, под ним в воде рыбающий *Castorocauda* и роющий *Docofossor brachydactylus* на берегу

В конце триасового — начале юрского периода наблюдается первый всплеск разнообразия млекопитающих. На середину юрского периода пришелся пик адаптивной радиации докодонтов, а в конце его возникло много систематических групп ныне вымерших млекопитающих: эутрикодонтов, мультитуберкулят, кладотериев. В самом начале мелового периода появились однопроходные млекопитающие (Monotremata) и предки современных сумчатых и плацентарных.



1 Эволюция млекопитающих в мезозое. Цифрами обозначено возникновение основных систематических групп. Пояснения в тексте

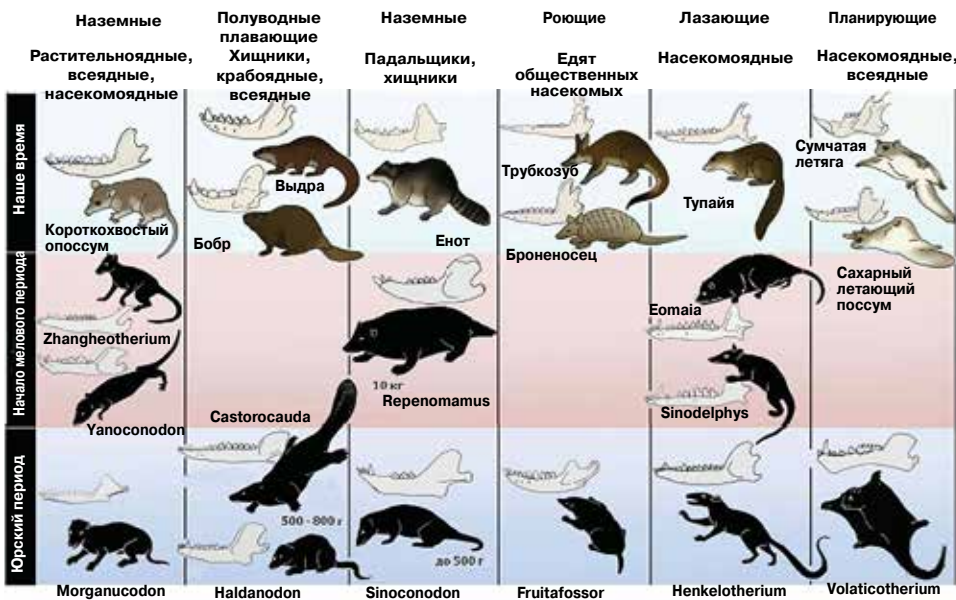
Последние молекулярные данные свидетельствуют о том, что плацентарные и сумчатые появились много раньше, чем полагали палеонтологи, исходя из анализа окаменелостей: все 18 порядков плацентарных и 2 порядка сумчатых образовались в меловом периоде, а старейшие на данное время остатки плацентарного млекопитающего *Juramaia sinensis* имеют возраст около 160 млн лет, это вообще конец юрского периода (рис. 2). Это маленькое существо жило в Китае, действительно напоминало землеройку и питалось насекомыми.

Млекопитающие юрского и мелового периодов занимали те же экологические ниши, что и современные млекопитающие со сходными размерами тела, и были не менее разнообразны и специализированы (рис. 3). Они рыли норы, карабкались по деревьям, планировали и плавали, причем некоторые виды были размером с барсука.

Многие мультитуберкуляты, наиболее распространенная и многочисленная группа позднего юрского и мелового периодов, обладали мощными когтями, которые свидетельствуют о роющем поведении.



*Juramaia sinensis* — старейшее плацентарное млекопитающее



## ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

радиации у них на порядок выше, чем средняя скорость эволюции млекопитающих вообще. Возможно, они изменялись так быстро отчасти из-за того, что были небольшого размера.

Кстати, о размерах. Хотя вес иных млекопитающих мезозоя превышал 10 кг, в большинстве своем это были мелкие животные, не тяжелее 100 г. Таков же средний вес тела современных млекопитающих. У современных, правда, есть и второй размерный пик, около 30 кг, которого мезозойские млекопитающие никогда не достигали.

В меловом периоде скорость эволюции уменьшилась и оставалась очень низкой до конца мезозоя, даже среди зверей.

Итак, адаптивная радиация млекопитающих происходила быстро. С высокой скоростью возникали и другие систематические группы: двоякодышащие, тетраподы, амниоты, архозавры и птицы. Очевидно, новые экологические ниши всегда захватываются стремительно.

Почему всплеск адаптивной радиации млекопитающих пришелся именно на юрский период, пока не удастся объяснить однозначно. Одну из возможностей исследователи связывают с начавшимся в юрском периоде распадом Пангеи. Не исключено также, что к этому времени млекопитающие накопили критическую массу ключевых анатомических или физиологических инноваций. Какова бы ни была причина, всплеск быстрой эволюции в середине юрского периода привел к возникновению большинства основных групп млекопитающих и их распространению в течение оставшегося мезозоя. Сейчас ученым известно 547 родов динозавров и более 310 родов мезозойских млекопитающих. В то время млекопитающие не были распространенными животными, но были разнообразными и специализированными. Они не прозябали в тени динозавров, а сумели занять почти все экологические ниши, доступные современным млекопитающим. Многие вымершие виды образом жизни и адаптациями к нему напоминают млекопитающих кайнозоя (эры, которая началась 66 млн лет назад и продолжается по сей день). Можно сказать, что мезозой стал для млекопитающих генеральной репетицией современной адаптивной радиации.

3

Млекопитающие мезозоя различались размерами, обликом и образом жизни

Большим разнообразием отличались докодонты (рис. в начале статьи). Среди них были полуводные виды. *Castorocauda* — животное середины юрского периода, имело широкий чешуйчатый хвост, напоминавший бобровый, но по образу жизни походило скорее на выдру, поскольку охотилось на рыбу. *Haldanodon* также внешне напоминал современное полуводное животное выхухоль. Совсем недавно описан докодон *Docofossor brachydactylus*, который вел роющий образ жизни и питался под землей, как крот. Длина его тела от носа до основания хвоста была около 9 см, а весил он 13—17 г. Еще один китайский докодон, *Agilodocodon scansorius*, жил в лесах, лазал по деревьям и поедал растительность, изредка разнообразя рацион насекомыми. Судя по строению зубов, он мог прогрызать кору деревьев, слизывать смолу и сок растений. Существо было, по современным меркам, небольшое — длина тельца 14 см, довольно длинный хвост и примерно 27 г веса.

Адаптации к лазанью нередко предшествуют полету. Волатикотерии, которые, возможно, относились к эутрикодонтам, имели удлинённые конечности, к которым крепилась кожаная перепонка для планирования. Подобные перепонки есть сейчас у сахарного летающего поссума и сумчатой летяги.

Современные животные, которые питаются муравьями или термитами (труб-

козуб, панголин, броненосец, ехидна), обладают мощными когтистыми конечностями, необходимыми для разрушения термитников, есть у них и некоторые другие характерные приспособления. Впервые сходный комплекс признаков возник у *Fruitafossor* около 150 млн лет назад, на 100 млн лет раньше, чем у плацентарных.

Определенный образ жизни требует соответствующих размеров тела. Хищники и падальщики должны быть крупнее насекомоядных. Хищные млекопитающие мезозоя весили от 20 до 100 г, а некоторые виды достигали 500—700 г. Однако все рекорды побил китайский млекопитающий рода *Repenomamus* («Nature», 2005, 433, 149—153, doi:10.1038/nature03102). Представители рода, несомненно, ели мясо, хотя в их рацион входили также беспозвоночные животные и растения, а мощные мышцы челюстей свидетельствуют о том, что животные были скорее хищниками, чем падальщиками. Один из видов, *R. robustus*, весил 4—6 кг и охотился на мелких позвоночных, в том числе на детенышей травоядных динозавров *Psittacosaurus* (рис. 4). Длина маленьких динозавриков составляла около 14 см, это примерно треть длины тела *R. robustus* с головой, так что их глотали по кускам. Разжевать добычу *R. robustus* не могли, форма зубов не позволяла. Другой представитель рода, *R. giganticus*, сравним по размерам с тасманийским волком: длина туловища более полуметра, хвост около 35 см и вес 12—14 кг.

Адаптивная радиация млекопитающих в мезозое происходила очень быстро. Пик максимального морфологического и систематического разнообразия пришелся на начало и середину юрского периода (201—164 млн лет назад), именно в это время скорость эволюции была максимальной, примерно вдвое больше, чем в другие периоды мезозоя («Current Biology», 2015, 25, 1—6, doi:10.1016/j.cub.2015.06.047). Быстрее всех эволюционировали млекопитающие подкласса звери (Theria), скорость адаптивной



4

*Repenomamus robustus* — охотник на динозавров



ДИСКУССИИ

# Химия, школа, учебник

Доктор  
химических наук  
**Г.В. Лисичкин**

О причинах хемофобии, охватившей население большинства развитых стран, включая и нашу, написаны десятки статей. Загрязнение среды обитания, аварии, связанные с производством и транспортом химической продукции, агрессивная антихимическая пропаганда в СМИ, вопиющая научная без-

грамотность журналистов — вот основные видимые невооруженным глазом причины негативного отношения к химии. Однако есть еще один важный источник хемофобии — низкий уровень преподавания школьной химии.

Школьная программа по химии за минувшие полвека несколько сократилась, однако не изменилась качественно. А старшеклассники — потребители этой программы — эволюционировали существенно. Если в конце 50-х годов полное среднее образование было массовым, но не всеобщим, то спустя десятилетия средняя школа оказалась вынужденной всех переводить из класса в класс и выпускать с аттестатом — и тех, кто не стремился учиться, тоже. Сегодня к этому можно добавить падение престижа образования, в особенности естественно-научного. Поэтому средний интеллектуальный уровень старшеклассников понизился и мотивация к учению убавилась. Тем не менее информированность нынешних школьников, их коммуникационные возможности неизмеримо выросли по сравнению с молодыми годами их дедов и

даже отцов. Изменился и окружающий мир: применительно к обсуждаемой теме главное изменение состоит в появлении гигантского общедоступного информационного поля, в котором реальные факты перемешаны с вымыслом. А школьный курс химии существенных изменений не претерпел; чтобы не «перегрузить» детей, он стал примерно на треть короче, чем был 50 лет тому назад, но его идеология и конструкция остались прежними.

Все отечественные учебники химии, включая и вышедшие в последние годы, построены принципиально одинаково. Это более или менее удачное изложение систематического курса химии по классической немецкой схеме, принятой еще в довоенные годы. Различия состоят в глубине освещения отдельных тем, порядке расположения разделов, количестве ошибок и погрешностей и других подобных, в общем-то частных вопросах. Лучшие из наших учебников давали и дают возможность мотивированным школьникам получить представление об основах химии и служат добротной базой для дальнейшего инженерного или естественно-научного образования. Вспомним, например, курс органической химии Л.А.Цветкова, который вполне заслуженно был отмечен Государственной премией.

Казалось бы, химия, как и другие точные и естественные науки, в отличие, например, от истории, не подвержена конъюнктурным влияниям, основы ее неколебимы, поэтому и содержание курса может в течение многих лет оставаться стабильным. Однако если полвека назад доля мотивированных старшеклассников была велика и классические учебники выполняли свою задачу, то сегодня ЕГЭ по химии сдают примерно 12% выпускников. Значит, нужны два типа учебников — один нового типа для 90% школьников, другой — для углубленного изучения предмета.

## Учебник для всех — что лишнее?

Действующие учебники химии перегружены теорией, материалом, который не только труден для большинства старшеклассников, но и никогда им не понадобится. Дистанция между учебником и реальной жизнью избыточно велика, а сами учебники скучны. Не это ли одна из причин низкой мотивации к изучению химии у многих школьников?

Ситуация усугубляется еще и тем, что, следуя формальной логике, но вопреки здравому смыслу и многократно подтвержденным положениям возрастной психологии, изучение химии в восьмом классе по одному из наиболее распространенных учебников начинается с достаточно сложных теоретических вопросов строения атома, которые с трудом воспринимают даже одиннадцатиклассники. В другом учебнике еще до рассмотрения свойств химических элементов и многообразия химических реакций вводится понятие энтропии, которое вызывает трудности и у студентов. А вот академик А.Л.Бучаченко даже предлагает на пятой странице учебника химии для восьмого класса привести уравнение Шредингера, из которого должно быть выведено все остальное.

Главный недостаток практически всех, по которым преподают в школах линеек учебников химии для средней школы — а таких не меньше десятка — несоответствие их содержания химической стороне окружающего мира. Зачем бухгалтеру, токарю или гувернантке знать, как гибридизуются орбитали, каков механизм реакции замещения в ароматическом ряду, как правильно в соответствии с номенклатурой назвать изооктан, как подбирать коэффициенты в окислительно-восстановительных реакциях? Это и химики очень редко делают. А тем, кто не станет химиком, достаточно иметь лишь понятие о стехиометрии в химии, то есть фактически о законе сохранения и неумничтожимости атомов. А вот как собрать ртуть из разбившегося градусника и что делать с нею — знать очень полезно. Выпускникам школы неплохо

бы знать свойства основных удобрений и ядохимикатов, препаратов так называемой бытовой химии, продающихся в хозяйственных магазинах. Это не означает, что учебник для массовой школы должен стать пособием по бытовой химии. Формирование системы знаний, пусть даже изложенных на самом элементарном уровне, нуждается в фундаментальном подходе, без надежного фундамента нельзя выстроить стены. Однако должен быть соблюден баланс. Мощный и загадочный фундамент посреди чистого поля — не лучшее решение.

## На другой стороне океана

Значительный интерес и богатую информацию для размышления представляет переводной учебник «Химия и общество» (в оригинале «Chemistry in the Community», дословно — «Химия в нашем округе»). В его авторском коллективе десятки ученых (среди них и нобелевские лауреаты), методистов, преподавателей. Учебник построен на совершенно иных принципах: вначале излагается некоторая загадочная экологическая ситуация (массовая гибель рыбы в местной речке), а затем на протяжении всей довольно объемистой книги рассказывается, какие причины могли ее вызвать (их, оказывается, может быть множество). Попутно, решая эту загадку вместе с местными школьными учителями физики, химии и биологии, а также с приглашенными специалистами, учащиеся узнают массу нового — начиная от способов измерения концентрации веществ в растворах и кончая сведениями по медицине, электрохимии, производству ядерной энергии и так далее. И все это так или иначе привязано к первоначальной проблеме. Американское издание проиллюстрировано большим количеством содержательных цветных фотографий. Важно, что в решении проблемы загрязнения речки принимают участие жители городка: они создают комитеты, решают, кого из экспертов следует пригласить, сколько и на что потратить денег, — школьникам показывают, как работает самоуправление, наглядно объясняют, что каждый гражданин может и должен участвовать в решении местных проблем.

Принципиальная особенность книги в том, что в ней вместо характерного для наших учебников систематического курса химии изложены фрагментарные сюжеты, касающиеся экологического, медицинского, энергетического и других аспектов применения химических знаний. Такой подход в ущерб систематичности позволяет наглядно продемонстрировать многочисленные связи химии с жизнью. Метод и стиль изложения материала в американском учебнике разительно отличаются от отечественных школьных учебников, однако суммарный объем химических знаний примерно тот же.

Этот учебник не может быть использован в нашей массовой школе. Самая очевидная причина — он построен на американских реалиях. Далее, он не соответствует отечественным традициям преподавания химии (и вообще естественных дисциплин) — нет систематического изложения предмета. Наконец, подготовка учителей в педвузах не позволяет большинству учителей работать по этой книге; по-хорошему, для этого требуется широкое и глубокое университетское образование.

Книга «Chemistry in the Community» подготовлена Американским химическим обществом, авторитетной организацией с многомиллиардным годовым бюджетом, которая была озабочена всеобщей хемофобией и низким уровнем естественно-научного образования выпускников американских государственных школ (см. «Химию и жизнь», 2015, № 5, 6).

Химия как самостоятельный предмет изучается примерно в половине государственных школ США. Часть таких школ воспользовалась учебником АмХО, и по прошествии нескольких лет социологический опрос выпускников этих школ, не получающих дальнейшего образования, показал, что учебник возымел определенное действие даже на слабоуспевающих

школьников. Несколько десятков тысяч молодых людей ответили на вопросы анкеты: «1) Каково ваше отношение к химии? 2) Что осталось у вас в памяти из школьного курса химии?» Типичные ответы на вопросы анкеты таковы: «1) Химия – важная, но очень сложная наука. Жаль, что я плохо учил ее в школе, ее знание было бы полезно для меня, она открывает широкие возможности, в том числе в бизнесе. 2) Помню формулы  $H_2O$ ,  $H_2SO_4$ ,  $C_2H_5OH$ ; помню, что работать с реактивами надо в халате, в защитных очках и необходимо строго следовать инструкции».

А вот некоторые результаты исследования так называемых остаточных знаний, проведенного аспиранткой факультета педагогического образования МГУ С.И. Орловой среди студентов-гуманитариев Челябинского государственного педагогического университета, людей, чье химическое образование также закончилось. Две трети студентов сохранили добрую память об учителе химии и относятся к химии с пиететом. Почти все опрошенные могут назвать и записать символы десятка химических элементов и нескольких соединений, включая серную кислоту, воду и спирт. Половина респондентов в состоянии применить свои знания в ответах на стандартные вопросы, хуже обстоит дело в тех случаях, когда надо проявить понимание химического аспекта реальных ситуаций.

*Справедливо ли рекламное утверждение: «Диетическая поваренная соль имеет пониженное содержание хлора по сравнению с обычной каменной солью»?*

*Войдя в квартиру, вы почувствовали запах газа. Чего в этом случае нельзя делать?*

*Согласны ли вы с утверждением: «Легковой автомобиль движется за счет протекания химической реакции?»*

*Бриллианты получают огранкой алмазов. Рвутся ли в процессе огранки химические связи?*

С такими заданиями справляются около 20% студентов. Еще хуже с экспериментальными задачами — лабораторный практикум в большинстве школ отсутствует. Почти все студенты не знают органическую химию, даже в том ее куцем варианте, какой еще сохранился в школьном курсе. Очень плохи дела с решением простейших расчетных задач. «Массовая доля жира в молоке — 3,2%. Вы выпили 0,5 кг молока. Сколько жира вы потребили?» — респонденты в ступоре. И так, студенты-гуманитарии имеют серьезные пробелы не только в химии, но и в элементарной математике.

Судя по данным С.И. Орловой, нынешнее состояние школьного химического образования довольно-таки плачевно, но до американского уровня мы пока не опустились.

На основании анализа довольно многочисленных данных об остаточных знаниях выпускников, которые в своей деятельности не связаны с химией, можно сделать несколько рекомендаций по содержанию учебника для массовой школы. Вот главные: уделить серьезное внимание таким разделам курса, как элементарные расчеты, основы органики и связи с реальной жизнью. Выпускники средней школы должны владеть ключевыми научными идеями курса химии — их примерно два десятка, вот их список.

Атомно-молекулярное учение — основа естествознания. Стехиометрия — это проявление закона сохранения материи.

Химическая связь имеет электронную природу.

Свойства химических веществ обусловлены их строением.

Кислоты, основания и соли — это классы химических соединений.

Периодический закон химических элементов — основной закон химии.

Растворитель — важнейший участник химической реакции.

Электрический ток может быть причиной химической реакции, а химическая реакция источником электрического тока.

Направление химической реакции определяется стремлением реагентов к минимуму энергии и максимуму хаоса.

Время протекания реакции зависит от ее скорости, которая определяется совокупным действием многих факторов (концентрация реагентов, их дисперсность, температура, катализатор и др.).

Электронное строение атома углерода — причина его уникальности.

Функциональная группа — носитель химических свойств органических соединений.

Гомология и изомерия — причины бесконечного многообразия органических соединений.

Высокомолекулярные соединения — основа биополимеров и современных материалов.

Материал — это продукт переработки вещества.

Химическая технология — основа многих отраслей промышленности, а не только химической.

Промышленная деятельность человечества вносит заметный и все увеличивающийся вклад в круговорот химических элементов.

Все вещественные загрязнения природной среды имеют химическую природу, но далеко не все они происходят от химической промышленности.

Невозможны полностью безотходные производства, нельзя произвести экологически чистую энергию.

Химия — ключевая область знания для решения экологических проблем.

Химия — наука естественная, но неточная.

Природа едина, а каждая из естественных наук описывает только одну ее сторону.

Перечисленные идеи не могут оставаться лишь декларациями, учащимся следует ими «проникнуться». Материал курса должен служить опорой этих идей и быть насыщен примерами и ситуациями, взятыми из реальной жизни.

Создание современного учебника химии для массовой общеобразовательной школы — очень непростая работа, она еще ждет своих исполнителей. В методическом плане (и в первом приближении) такая книга будет неким гибридом рассмотренного выше американского пособия и традиционного отечественного учебника.

## **Углубленный учебник: химия для интересующихся**

Создать программу углубленного курса химии и соответственно написать учебник проще, чем подготовить курс для массовой школы. В основу такого учебника могут быть положены уже имеющиеся удачные пособия. Курс должен быть систематическим, линейным, а не концентрическим. Он должен содержать богатый набор химических опытов, а также заданий, как качественных, так и расчетных. Но перед его созданием надо решить по крайней мере четыре принципиальных вопроса. Как сформировать содержание курса на базе научного подхода, а не только на основе опыта и интуиции? Докуда надо углублять знания школьников? Где граница между общим и специальным образованием? Насколько школьный курс должен соответствовать уровню развития современной науки?

Традиционный метод модернизации школьной программы прост. За основу берется старая, как правило, хорошо зарекомендовавшая себя программа, почему-либо нуждающаяся в замене. Далее, в зависимости от исходной установки — расширить, сузить или дополнить — программа модифицируется. При этом зачастую меняется последовательность отдельных разделов курса, скажем, тема «Периодический закон и строение атома» переносится из девятого в восьмой класс. Такой способ шутники называют «методом клея и ножниц». Спрашивается, а нельзя ли придумать более объективный и научно обоснованный метод составления программы? В ка-

честве такого метода отбора содержания автором этой статьи было предложено использовать метод пересечения тезаурусов. Тезаурусом в информатике называют полный систематизированный набор данных (терминов и понятий) о какой-либо области знания, позволяющий человеку или вычислительной машине в ней ориентироваться.

Сначала независимо составляется несколько тезаурусов химических терминов и понятий, которые должны быть усвоены школьниками в процессе изучения курса химии. Далее рассматривается область пересечения полученных тезаурусов — то, что считают важным все. Термины и понятия из этой области группируются в блоки программы. Для реализации метода была сформирована группа из шести экспертов: преподаватель химического вуза, преподаватель педвуза, инженер-химик, научный работник-химик, два учителя химии. Каждый составил два тезауруса: один — для непрофильной массовой школы, второй — для углубленного изучения предмета. Объем области пересечения тезаурусов оказался 400 единиц для курса «для всех» и 600 — для углубленного.

Анализ результатов показал, что состав частных тезаурусов в значительной мере зависит от личности эксперта, который нередко мыслит стереотипно. Например, школьные учителя склонны воспроизводить традиционный программный материал. Поэтому конечный результат в значительной мере зависит от подбора экспертов — авторов тезаурусов. Значит, нужен способ составления списка исходных терминов и понятий, слабо зависящий от личности эксперта.

Наиболее важные термины и понятия находятся в областях пересечения тезаурусов отдельных отраслей химии: неорганической, аналитической, физической, органической, экологической химии и химической технологии. В областях пересечения должны оказаться наиболее общие термины и понятия. По-видимому, их и следует изучать в средней школе. Для практической реализации надо составить списки терминов и понятий из учебников по «частным» химиям, при этом из значительного числа учебников необходимо выбрать хорошие и по возможности одинаковые по глубине изложения и объему. Результатом нашей работы стал перечень (около полутора сотен ключевых терминов), который был затем использован для составления программы по химии.

Слабая связь школьной программы и учебников по химии с реальной жизнью не раз обсуждалась в методической литературе. Одно из возможных действий — включение в программу и учебник, хотя бы на иллюстративном уровне, материалов химического характера, регулярно используемых в СМИ. Удивительно, но этот вопрос слабо изучен педагогической наукой. В единственном исследовании, предпринятом директором московской школы № 1434 «Раменки», кандидатом химических наук А.В.Карпухиным, проанализированы материалы СМИ (газеты, телевидение, радио, Интернет — кроме специальных сайтов) и установлено, что из 240 наиболее часто встречающихся химических терминов 80 отсутствуют в школьном курсе химии. Из материалов это, например, «керамика», «жидкие кристаллы», «композиционные материалы». Еще более широк перечень изгоев в разделе, касающихся химической технологии и экологии: «возобновляемые ресурсы», «топливные элементы», «биотопливо», «взрывчатые вещества», «отравляющие вещества», «аккумуляторы», «предельно допустимая концентрация» и другие. Это совершенно неправильно, тем более что многое из перечисленного имеет прямое отношение к безопасности жизни и активно обсуждается.

В какой мере современные достижения химии должны быть отражены в школьном курсе? Или в более общем виде: на-



## ДИСКУССИИ

сколько школьный курс должен соответствовать уровню развитию современной науки? Ответ на этот вопрос неочевиден, и в любом случае наука развивается быстрее, чем меняются школьные программы, догнать ее невозможно в принципе. При

этом в погоне за «современностью» можно утратить понимание фундаментальных основ науки, разъяснению которых и служит школьный курс.

Вводить «современные» примеры в школьный курс химии следует взвешенно, осторожно и точно. Они должны удовлетворять целому ряду требований. Главное из них — уверенность в том, что данное научное достижение выдержало проверку временем, действительно стало значимым достоянием науки, что это не просто сенсация-однодневка. Ясно, что для такой уверенности необходимо время, поэтому вряд ли стоит рассматривать научные достижения последнего десятилетия.

Доктор химических наук Г.В.Эрлих предлагает следующие критерии отбора научных открытий для включения их в школьный учебник:

- они должны быть понятными школьнику в рамках имеющихся у него знаний;
- не вступать противоречие с другими примерами, содержащимися в курсе;
- иллюстрировать основные принципы и методы химии;
- привлекать внимание школьников к химии;
- способствовать созданию положительного образа химии.

Примерами таких достижений могут быть:

1. Открытие фуллерена, углеродных нанотрубок, графена. В более широком плане — прогресс химии простых соединений, в еще более широком — ренессанс неорганической химии. Открытие графена в 2004 году и Нобелевская премия по химии 2010 года, полученная за это нашими соотечественниками, — именно тот факт, который может поразить воображение школьника.

2. Сверхпроводящие керамики. Еще один пример феноменального прогресса неорганической химии, что уж говорить о впечатлении от объектов, левитирующих в поле сверхпроводящих магнитов.

3. Проводящие органические полимеры.

4. Прогресс микроэлектроники, в более широком плане — прогресс в области получения полупроводниковых материалов и структур.

Изучение химии в школе не может быть эффективным без выполнения каждым учащимся лабораторных работ. Методисты разработали различные, в том числе очень удачные, варианты школьного практикума, проблема только в их неукоснительной практической реализации, которой препятствуют отсутствие в тысячах российских школ химических кабинетов и развал системы снабжения школ реактивами, материалами, химической посудой. Было бы логично максимально насытить практические работы и демонстрационные эксперименты продукцией бытовой химии, веществами, с



которыми человек регулярно сталкивается в повседневной жизни. Надо научить школьника обязательно внимательно читать (и выполнять!) инструкции к бытовым химикатам и лекарствам, при перепакровке четко надписывать банки с ними и так далее.

## Химия все еще в школе?

А теперь давайте посмотрим правде в глаза. Все, что было изложено выше, в действительности представляет интерес только для очень узкого круга специалистов, занимающихся историей отечественного образования. Начавшийся лет десять назад процесс выдавливания химии из учебных планов российских школ интенсивно развивается и вскоре придет к логическому завершению — химия как учебный предмет исчезнет. Уже сегодня в нашей стране есть регионы, в школах которых химию не преподают (см. «Химию и жизнь», 2015, № 2). В соответствии с новым стандартом скоро в старшей школе ученики смогут изучать только два предмета из трех — химии, физики и биологии. В условиях агрессивной хемифобии старшеклассники преимущественно будут выбирать физику и биологию, а химия останется за бортом.

Планируемая Министерством образования и науки профилизация старшей школы предусматривает организацию десятка профилей, в восьми из которых (Физико-математический, информационно-технологический, электротехника/радиоэлектроника, оборонно-спортивный, социально-экономический, социально-гуманитарный, филологический, эстетический) химии попросту нет.

Напомню, что в советское время на химию отводилось два-три часа в неделю, сегодня в тех школах, где ее пока преподают, — один час. А из дидактики известно, что одночасовые курсы неэффективны и имеют тенденцию исчезать из учебного плана: недавний пример — астрономия, более древний — психология.

В несколько лучшем положении физика и биология, но и эти дисциплины под угрозой сильного сокращения. Таким образом, наблюдается отчетливая тенденция на всемерное сокращение естественно-научных предметов в средней школе.

Это находится в остром противоречии с заявлениями высших руководителей страны. Вот цитата из речи Д.А. Медведева: «Сегодня мы должны перейти к непосредственной реализации задачи по преодолению технологического отставания. Необходимо вводить в практику научно-технические инновации, развивать методы углубленной переработки сырья, внедрять энергосберегающие технологии». Интересно, кто будет этим заниматься?

Руководящим центром, разрабатывающим идеологию реформирования, или, как теперь принято говорить, модернизации отечественного образования, является не Министерство образования и науки и не Академия образования, а Высшая школа экономики. Этим учреждением выпущена брошюра, в которой изложены все основные направления модернизации образования, как их видят авторы — руководители ГУ ВШЭ.

Возникает законный вопрос — почему, собственно, программой развития образования поручено заниматься не специалистам в этой области, а экономистам? Ответ здесь может быть только один. Государственную власть интересует главным образом единственный аспект проблемы: как сделать систему образования максимально дешевой, как превратить образование в «образовательные услуги» — и желательно в основном платные.

Упомянем еще об одном чрезвычайно важном обстоятельстве: модернизаторы постоянно ссылаются на рекомендации Международного валютного фонда и Всемирного банка. На титульном листе брошюры (см. рисунок) зафиксировано, что она разработана Высшей школой экономики при участии этих двух учреждений. Получается, что наши доброжелатели — Международный валютный фонд и Всемирный банк — почему-то хотят поднять наше образование, что неизбежно сделает Россию сильной, обороно- и конкурентоспособной. Хотелось бы понять, зачем им это нужно?

Следуя западным, преимущественно американским, образцам, реформаторы внедрили пресловутый ЕГЭ; проводят курс на глобальное сокращение естественно-научных предметов, замену курсов физики, химии и биологии естествознанием.

Один из руководителей ВШЭ в ответ на мой вопрос: «Зачем нам перенимать американский опыт, ведь советская, да и российская система среднего образования много эффективнее?» — ответил вопросом: «Почему же тогда американская наука сильно опережает нашу?» И это действительно так.

Чтобы разобраться в этой ситуации, процитируем фразу нобелевского лауреата по химии американца Роальда Хоффмана из интервью, которое он дал главному редактору «Химии и жизни» Л.Н. Стрельниковой (см. «Химию и жизнь», 2011, № 9): «Система образования в США в начальной и средней школе ужасна, ни в коем случае не надо ее повторять. Если и перенимать американский опыт, то только в части университетского образования и подготовки специалистов высокого класса, которые у нас действительно хороши. В вашем случае я бы всячески сопротивлялся сокращению часов естественнонаучных предметов. Это сильная сторона вашего образования, его основа».

И отметим, что основной контингент студентов естественных факультетов американских университетов — это выпускники негосударственных школ, эмигранты и их дети. А профессорско-преподавательский состав этих факультетов в значительной мере представлен выходцами из Китая, Японии, Индии, стран Западной и Восточной Европы, включая и Россию. Не будем забывать и о несопоставимом с нашим уровне финансирования американской науки. Так что стремление российских модернизаторов копировать американскую систему среднего образования — фатальная ошибка.

Автор благодарит к х.н. И.А.Леенсона и д.х.н. Г.В.Эрлиха за полезные обсуждения.

## Литература

Лисичкин Г.В., Орлова С.И. Вестник МГУ. Серия 20. Педагогическое образование. 2014. № 3. С. 84–91.

Лисичкин Г.В. В кн.: Современные тенденции развития химического образования: от школы к вузу. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2006. С. 30–40.

Программа курса химии для VIII—XI классов средней общеобразовательной школы. В кн.: Программы для средних общеобразовательных учебных заведений. Химия. М., Просвещение, 1993.

Эрлих Г.В. В кн.: Естественно-научное образование: тенденции развития в России и в мире. М., Изд-во Моск. ун-та, 2011, с. 59–87.

Российское образование – 2020. Модель образования для экономики, основанной на знаниях. М., Издательский дом ГУ ВШЭ, 2008



Художник П. Перевезенцев

# Легкое дело



**Борис Богданов**

**НАНОФАНТАСТИКА**

— Шлем можно снять. — Голос адвоката в скрэмблере был сух и бесцветен. — Он не нужен.

Джозеф расстегнул и стащил с головы громоздкую конструкцию с круглыми, непроницаемыми очками-экранами. Вытащил из ушей динамики-затычки, отключил питание.

Внешний мир ослепил цветом и бритвенной четкостью линий.

Адвокат Киленго оказался средних лет мужчиной в скромном костюме и с венчиком ломких волос вокруг загорелой лысины.

— Спасибо, сэр, — Джозеф откашлялся, — что доверили мне свой образ. Клянусь, не zapomню его!

— Господин Поповски! — Адвокат недовольно повысил голос. — Я адвокат. Веду дела «незаконного копирования персонального контента». Почему, как вы думаете?

— Почему? — Джозеф поежился; события последних дней научили его осторожности.

— Мне не нравятся эти законы! Помогая таким, как вы, я борюсь с ними.

— Я не слышал, клянусь, я не слышал. — Джозеф стал натягивать шлем обратно. Не видеть, не слышать, не быть виноватым.

— Прекратите, Поповски! — гаркнул Киленго. — Не валяйте дурака. Вы пришли ко мне за помощью, значит, обвинение против вас бессмысленно, глупо, но серьезно! Я прав?

— Да! — Руки Джозефа дрожали. Чтобы занять их, Поповски скатывал в рулончики и раскатывал обратно липучки шлема.

— Пейте. — Адвокат поставил перед ним стакан. Виски.

— Да, я выпью. — Джозеф сделал глоток.

— Итак?

— Мою дочь похитили.

— Сочувствую, но при чем здесь я?

— Он позвонил мне, — Поповски вытер платком лоб, — сказал, чтобы я перевел деньги туда-то и туда-то, иначе...

— Мистер! Вы зря тратите время!

— Я сделал запись звонка, — Джозеф виновато посмотрел на адвоката, — и пошел с ней в полицию!

— Понятно.

Киленго встал и подошел к окну, взгляделся в паутину линий на проекционном стекле, хмыкнул.

— Привычка сильнее нас, не находите? — Он постучал костяшками пальцев по экрану. — Зачем смотреть в окно, где нет ничего, кроме схемы? Но к делу. Похититель говорил что-нибудь вроде «запомните», «зарубите себе на носу»? Или другие слова, которые можно было принять за разрешение записи?

— Нет, и теперь он...

— Выдвигает против вас встречный иск за незаконное копирование речи, — продолжил адвокат. — Верно?

— Да, сэр.

— Двадцать лет каторжных работ с конфискацией имущества в пользу потерпевшего. Штраф в миллион кредитов. После освобождения — поражение в правах. — Киленго перечислял пункты кодекса равнодушно, и с каждым словом Поповски сжимался в роскошном кресле, словно стараясь стать меньше и незаметнее.

— Подойдите, — попросил адвокат. — Что там?

— Город?

— Увы. Всего лишь дозволенное представление! Внизу, — Киленго кивнул на непрозрачное стекло, — прямо под нами установлен памятник работы известного мастера. Вы видели его?

— Конечно, сэр, — удивился Поповски, — через шлем...

— Нет, — адвокат усмехнулся, — вы читали о памятнике на изнанке очков. Его нельзя видеть без санкции. Рядом ресторан. Вы проходите мимо, заткнув уши. Ведь вы не заплатили за музыку... И так во всем!

— Но какая связь... И что мне делать? Ведь он грозил убить ее!

— Это хорошо, — Киленго кинул на стол одноразовый чип. — Здесь прайс и реквизиты. Расценки высоки, но powerful. Сделаем так...

В зале суда Джозеф Поповски достал игломёт и застрелил похитителя на месте. Ему дали два года условно за убийство в состоянии аффекта и наложили небольшой штраф за стрельбу в официальном учреждении.

Дело о незаконном копировании было прекращено за смертью истца.



# Кто вы, профессор Ломоносов?

Кандидат  
биологических наук  
**С. В. Багоцкий**

В основе научного познания мира лежит представление о причинно-следственных связях. Никакое явление не происходит само по себе — оно должно иметь свою причину. Это справедливо и для физики, и для химии, и для биологии, и для истории.

Для событий, в которых причинно-следственные связи нарушаются, принято употреблять термин «чудо». В истории чудесами можно считать события, намного опережающие свое время.

Однажды выдающегося английского биолога Джона Холдейна (1892—1964) спросили: «Как, по-вашему, уважаемый профессор, какие факты, буде они были бы обнаружены, могли бы опровергнуть теорию эволюции?», — на что Холдейн ответил: «Кролики в докембрии». С тех пор выражение «кролики в докембрии» стало крылатой фразой, обозначающей факты или явления, явно не вписывающиеся в свою эпоху.

Именно такой феномен — Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765), удивительным образом появившийся в нашей стране в те годы, когда науки в ней, по существу, еще не было. Выдающийся исследователь не может возникнуть ниоткуда, для этого мало врожденных талантов. Его формируют интеллектуальная атмосфера, общение с людьми, которые порой уступают ему в одаренности, но живо интересуются теми же проблемами, которые интересны и будущему гению. Кто знает, стал бы Пушкин великим русским поэтом, не учись он в Царскосельском лицее.

Как возникло у мальчика из далекой деревни такое рвение к наукам, желание упорно учиться, тратя ежедневно денежку на хлеб и денежку на квас? Этот вопрос очень четко поставил историк Дмитрий Дмитриевич Галанин (1857—1929), опубликовавший в 1916 году книгу «М. В. Ломоносов как мировой гений русской культуры». На основании косвенных данных Галанин выдвинул гипотезу о том, какая именно социальная среда сформировала личность М. В. Ломоносова. Такой средой, по его мнению, было старообрядчество.

## Немного истории

Почти столетие, с конца XVI до середины XVII века, Россия переживала тяжелый кризис. Сначала на борьбу за власть между разными боярскими группировками наложилась польская интервенция. В ноябре 1612 года народное ополчение, под руководством Минина и Пожарского, освободило от оккупантов Москву. Это была война, которую с полным основанием можно назвать Первой Отечественной.

Однако ополченцы 1612 года и их дети постепенно начали понимать, что победу у них украли. Быстрыми темпами формировалось чиновниче-абсолютистское государство. Оно не только повышало налоги, причем порой очень резко, в разы, как в случае с солью, но и в прямом смысле слова превратило прежде лично свободных арендаторов помещичьих земель



На картине В. Г. Перова показано, с каким ожесточением спорили о вере патриарх Иоаким и защитник старого обряда Никита, прозванный Пустосвятом, во время стрелецкого бунта князя И. А. Хованского 5 июля 1682 года; на троне царевна Софья. На следующий день Никите отрубят голову. Справа — портрет М. В. Ломоносова с гравюры Х.-А. Вортмана 1757 года и портрет Петра I, сделанный Карлом Моором во время пребывания императора на лечении в Гааге в 1717 году

в рабов, навсегда привязав их к этой земле, то есть, по сути дела, закрепостив. В результате при тишайшем царе Алексее Михайловиче страна превратилась в кипящий котел: соляной бунт против налога, медный бунт против обесценивающейся медной монеты и кульминация — грандиозное восстание, которым руководил Степан Разин.

В такой взрывоопасной обстановке патриарх Никон объявил о начале богослужебной реформы. Многие категорически не согласились с предложенными изменениями в богослужебных книгах, и страна раскололась на никониан и старообрядцев. Вскоре начались широкомасштабные преследования старообрядцев, а старые книги и иконы было велено повсеместно изъять и сжечь. Людей, разумеется, преследовали не за приверженность старым обрядам, а за непочтительность к церковной и государственной иерархии.

Старообрядчество жесткой церковной иерархии в целом не сформировало. Проблема была, в частности, в воспроизводстве священнослужителей. Священников в православии поставляют епископы, продолжая непрерывную традицию от апостолов, а епископов — то у старообрядцев и не было. Когда старые священники-раскольники умирали, возникала задача: кто поставит нового? Так появились беспоповцы и поповцы. Первые считали, что в наступившие последние времена прервалась связь с апостолами, святое священство исчезло и каждый должен спасаться сам. Вторые же принимали беглых никонианских священников, и лишь в XIX веке боснийский митрополит Амвросий рукоположил новых епископов так называемой Белокриницкой иерархии — самого массового течения поповцев.

Все это породило много направлений, сторонники которых спорили, а зачастую и враждовали друг с другом, в чем принимали участие не только профессиональные служители



культы, но и рядовые верующие. Дискуссии, сотрясавшие старообрядчество, формировали богатую интеллектуальную атмосферу. Кроме того, не иссякал интерес к поиску и сохранению старых, не испорченных изменениями книг и икон.

Старообрядчество было особенно распространено в районах, куда не проникло крепостное право: на Севере, в Поволжье, в казачьих районах. И здесь начала формироваться своеобразная этика, подобная протестантской, в основе которой лежала привычка к длительному, целенаправленному, упорному труду. Но если у протестантов достаток служит свидетельством того, что твой труд угоден Богу, то у старообрядцев труд был направлен на спасение и возрождение истинной веры, а стало быть, и на спасение души трудящегося. Торговля и предпринимательство считались вполне достойными занятиями, ведь эффективное хозяйствование позволяло лучше и служить Богу, и помогать собратьям по вере. Более того, обладая деньгами, можно было откупаться от царских чиновников — как через взятки, так и за счет выплаты специальных налогов, например на ношение бороды. Если к этому прибавить крепкие связи в старообрядческой общине, верность купеческому слову, ответственность за качество товара, то ничего удивительного нет в том, что к концу XIX века многие русские капиталисты были старообрядцами.

## Модернизация

Длительный кризис привел к тому, что в конце XVII века перед Россией встала проблема технического и военного отставания. Для его преодоления надо было быстро реализовать программу догоняющего развития, чем и занялся Петр I. Кстати, такую же проблему стране пришлось решать спустя два века: аналогичную программу реализовала коммунистическая партия, причем сходными методами. Ведь, в сущности, ГУЛАГ придумали не большевики, а Петр I. Именно ГУЛАГом и был построен прекрасный город Санкт-Петербург.

Была ли в конце XVII века альтернатива петровским преобразованиям? Нет, в противном случае Россия повторила бы судьбу некогда великих государств — Китая, Османской

империи, Персии и других, которые уже в XIX веке сделались игрушками в руках прошедших модернизацию держав. А вот альтернативные кандидаты на роль силы, осуществляющей эти преобразования, были: в большую политическую игру попытались вмешаться старообрядцы. Так, в 1667 году на Дону объявился уроженец Ельца бывший кузнец Кузьма Ларионов (Кузьма Косой).

В отличие от Разина, воевавшего против боярского царя за царя истинного, Кузьма Косой хотел развязать религиозную войну для реализации идей собственного вероучения. Историки предполагают, что оно возникло на основе старинных рукописей, найденных в библиотеке Соловецкого монастыря, где Кузьма провел немало времени. Согласно этому учению, в частности, достижение Царства Божьего, где царят справедливость, мир, равенство, братство, возможно только усилиями людей. А поскольку наступили последние времена, члены общины должны начать очищение земли от захвативших ее «измаильтян» и готовить приход небесного царя Михаила. Измаильтянами Кузьма называл тех, кто принял реформы Никона, и вообще всех, кто отвергает его учение.

Кузьма Косой начал формировать старообрядческую армию, готовя поход на Москву. В крепости на берегу реки Медведицы старообрядческие ополченцы проходили хорошую военную подготовку. Но план не удался. В конце 1689 года Кузьму Косого обманом схватили и убили в тюрьме. Собранная им армия распалась. Старообрядческий сценарий развития России не реализовался.

Своими деловыми качествами Кузьма Косой сильно отличался от импульсивного Степана Разина. Это был очень жесткий, целеустремленный, рационально мыслящий и энергичный человек, во многом напоминавший Оливера Кромвеля. По-видимому, у него были хорошие шансы прийти к власти в России и стать даже более жестоким тираном, чем Петр Великий. Однако от реализации той же программы ему было не уйти.

Не исключено, что Кузьма Косой справился бы со своей исторической задачей лучше, чем Петр, ибо опорной базой старообрядчества были районы, где крестьяне были свободны, а дворянство отсутствовало. Поэтому Кузьма Косой мог получить поддержку значительно более широких слоев населения, особенно при ограничении крепостного права. Полностью отменить его он вряд ли сумел бы: государство не могло платить достойное жалованье всем офицерам, и за ними приходилось закреплять землю с работниками. Надо думать, что при Кузьме Косом высокопродуктивный вольнонаемный труд занял бы более прочные позиции в российской экономике. Старообрядцы вместо строительства Санкт-Петербурга вывели бы российский флот на океанские просторы через Белое и Баренцево моря. Правительство Кузьмы Косого активно внедряло бы технические достижения иностранцев, но вот проникновению западных обычаев поставило бы жесткий заслон.

Была ли старообрядческая альтернатива лучше, чем та, которая реализовалась в действительности? Я не берусь ответить на этот вопрос.



Выговская обитель

## Жизнь на северах

С начала XVIII века главной базой старообрядчества становится Север. И здесь у старообрядцев появляется сильный лидер — Андрей Денисов (1674—1730). Под этим псевдонимом скрывался один из самых знатных людей России — Юрикович, князь Андрей Дионисиевич Мышецкий. После воцарения Романовых прадед Андрея Денисова не захотел подчиняться потомкам Андрея Кобылы, оставил свое имение и уехал на Онегу (большая река, впадающая в Белое море). На севере Мышецкие вели достаточно скромный образ жизни, но возвращаться ко двору не хотели. Честь дороже! В середине XVII века они закономерно перешли в раскол.

В конце 1690-х годов Андрей Денисов вместе с несколькими соратниками создает на востоке Карелии Выговскую обитель — общину полумонастырского типа, которая постепенно становится неофициальной столицей северных старообрядцев. Выговская община налаживает торговые связи со многими районами России. В обители создается уникальное книгохранилище, не уступающее лучшим столичным библиотекам. Наконец, в Выге организовали своего рода «колмогоровскую школу-интернат», в которой учатся способные дети из старообрядческих семей разных районов России. Старообрядцы, среди которых много высококвалифицированных мастеров, помогают осваивать Север. В своих отношениях с властями Андрей Денисов широко использует универсальный российский ключик — взятку и дает эти взятки деятелям самого высокого уровня. Посылает подарки и к царскому двору.

Вот в такой обстановке в северной деревне недалеко от Холмогор у состоятельного крестьянина и рыбака Василия Дорофеевича родился сын Миша. Произошло это, скорее всего, 19 ноября 1711 года (по новому стилю).

Василий Дорофеевич был человеком в высшей степени законопослушным и добропорядочным никонианином. В записях церковной книги аккуратно отмечается, когда он ходил к причастию и на исповедь. А вот про его сына таких записей нет. В биографии М.В.Ломоносова, опубликованной в 1784 году, говорилось: «На двенадцатом году младой его разум уловлен был раскольниками так называемого толка

беспоповщины, держался оно два года, но скоро познал, что заблуждает». Какими-то историческими источниками это утверждение не обосновывалось.

Нетрудно себе представить механизм, с помощью которого разум любознательного мальчика был уловлен старообрядцами. Что сделает такой мальчик, когда узнает, что на другом конце родной деревни живет дядя с длинной бородой, у которого много интересных книжек? Он, конечно, пойдет к нему и попросит что-нибудь почитать. Дядя даст. Сперва одну книжку, потом другую и третью. А затем заведет беседу о прочитанном. По складу своего характера и кругу интересов Миша Ломоносов просто не мог не подружиться со старообрядцами. А люди Андрея Денисова внимательно отслеживали всех перспективных мальчиков и Мишу Ломоносова не могли не заметить.

## Загадочная лапа

Много загадок таит в себе пребывание М.В.Ломоносова в Москве в начале 1730-х годов. В столицу приезжает молодой человек из далекой северной деревни и говорит, что хочет учиться в Славяно-греко-латинской академии. Казалось бы, администрация академии просто не станет разговаривать с таким странным абитуриентом, но Ломоносова подробно расспрашивают, кто он. Миша отвечает: «Дворянин из Холмогор». Это звучит столь же нелепо, как «граф из Жмеринки», но администрация удовлетворяется ответом, и Ломоносова зачисляют в академию. Через некоторое время обман раскрылся и был издан приказ об отчислении. Но последовал «звонок сверху», и приказ отменили. В 1734 году М.В.Ломоносова посылают на стажировку в Киево-Могилянскую академию, в 1735 году — в Академию наук в Санкт-Петербург, а в 1736 году — учиться за границу. Такое впечатление, что у бедного студента, говоря современным языком, где-то имелась «лапа».

Историки и дилетанты неоднократно высказывали предположение, что М.В.Ломоносов был внебрачным сыном Петра I. Подробное обсуждение этой гипотезы выходит за рамки настоящей статьи, отмечу лишь, что мне она представляется неубедительной и не имеющей серьезной опоры в известных историкам фактах. Нужно искать другую лапу.

По мнению Д.Д.Галанина, Ломоносову покровительствовал Феофан Прокопович, главный идеолог режима Петра I и Анны Иоанновны, связанный давней дружбой с лидером северных старообрядцев Андреем Денисовым.

Феофан Прокопович был весьма неординарным человеком. В молодости, обучаясь в Киеве, принял униатство (распространенная на Украине христианская конфессия, сочетающая православные обряды с административным подчинением Римско-католической церкви). Позже некоторое время учился в иезуитской коллегии Святого Афанасия в Риме, созданной для греков и славян. Феофан Прокопович объездил почти всю Европу, был лично знаком со многими выдающимися деятелями науки и культуры, увлекался философскими идеями Бэкона и Декарта, в рамках которых формировалась методология научных исследований. После возвращения в Россию Феофан Прокопович перешел в право-



Патриарх Никон



Андрей и Симеон Денисовы



Феофан Прокопович

славие, преподавал в Киево-Могилянской духовной академии и в 1711 году стал ее ректором. А в 1716 году Петр I пригласил его в столицу, поручив подготовку церковной реформы, ставящей церковь в полную зависимость от государства. Вскоре Феофан Прокопович становится главным идеологом режима. Вот основные его идеи, которые на многие годы определили политику Российской империи.

Первая идея заключалась в том, что наилучшей формой правления для такой страны, как Россия, служит самодержавие, при котором государь отвечает за свои действия не перед представительными органами, а непосредственно перед Богом.

Вторая идея — в России живет не один народ, а много разных народов. Такие страны называют империями. Поэтому главу государства Российского следует именовать не царем, а императором.

Третья идея состоит в том, что русские, украинцы (тогда их называли малороссами) и белорусы — три ветви единого русского народа и поэтому должны развиваться в рамках единого государства. Эта идея возродилась уже в советское время в виде представления о принципиально новой исторической общности — советском народе. Однако после 1991 года она потеряла свою популярность, что, впрочем, не пошло на пользу ни русскому, ни другим народам СССР.

Четвертая идея заключалась в том, что русская православная церковь должна служить светским властям империи, не претендуя на самостоятельную политическую роль. А император — одновременно и глава церкви.

Большую часть православных священнослужителей России Феофан Прокопович глубоко презирал и, будучи руководителем Священного Синода, даже не пытался скрыть этого. Именно он возглавил реформу, превратившую церковь в простой придаток государственной машины. Православные батюшки (и не только рядовые) платили Феофану тем же и даже утверждали, что он неверующий! Феофан Прокопович всячески поддерживал светское образование, зарождающуюся российскую науку и считал своим долгом всеми силами и способами помогать талантливым молодым людям.

В то же время Феофан Прокопович был достаточно жестоким и циничным человеком, беспощадно расправлявшимся со своими политическими противниками. Так, после государственного переворота 1730 года с его подачи были подвергнуты жестоким репрессиям многие высшие церковные иерархи.

По-видимому, Андрей Денисов и Феофан Прокопович подружились в начале 1700-х годов в Киеве, где первый слушал лекции мудрых профессоров в Киево-Могилянской академии. Оба они были людьми молодыми, умными и быстро нашли общий язык. А Феофан Прокопович, несмотря на свой цинизм, оставался верным другом.

Со смертью Петра Великого Феофан потерял свое влияние. Его новый взлет начался только после государственного переворота 26 февраля 1730 года, когда императрица Анна Иоанновна отдала приказ об аресте членов Верховного тайного совета, пытавшихся ограничить самодержавную власть. Но Андрей Денисов не успел узнать об этом: он умер 1 марта 1730 года в Выге после продолжительной болезни. Северное старообрядчество возглавил его младший брат Симеон.

Получив информацию об изменившейся расстановке политических сил, Симеон Денисов начинает реализовывать задуманный его старшим братом план по продвижению молодых и талантливых раскольников в большую жизнь. И как раз в декабре 1730 года Михаил Васильевич Ломоносов выезжает с рыбным обозом в Москву. Можно предположить, что рядом с добытыми не совсем честным путем документами у него в кармане лежало письмо Симеона Денисова ко всевышнему Феофану Прокоповичу, способное открыть все двери в империю Анны Иоанновны. В Москве, по достоверным сведениям, Ломоносова встретил приказчик-старовер, который поселил будущего гения у себя, а на следующий день проводил в

академию. Все дальнейшее можно прочесть в официальных биографиях Ломоносова.

Ломоносов был не единственным мальчиком с севера, приехавшим в столицу с рыбным обозом учиться. Сразу вспоминается великий русский скульптор Федот Иванович Шубин (1740—1805). По-видимому, были и другие такие же мальчики.

По понятным причинам М.В.Ломоносов никогда не показывал свою принадлежность к старообрядчеству: добросовестно ходил в церковь, женился на протестантке. Более того, можно предположить, что в зрелом возрасте он стал относиться критически ко многим особенностям старообрядческого образа жизни. Тем не менее его стихотворение «Борода» содержит крайне непочтительные отзывы о духовенстве официальной церкви, хотя и старообрядцы, выплачивающие налог на бороду, подвергнуты в ней осмеянию. По-видимому, к этому времени Ломоносов отошел от старообрядчества, в котором его привлекала прежде всего возможность вести интеллектуальные дискуссии: войдя в научную среду, он мог удовлетворять эту потребность и другими способами.

## Некоторые выводы

Из всего сказанного следует, что Михаил Васильевич Ломоносов не был «кроликом в докембрии». Не был он и порождением западной культуры, экспортированным в Россию. Начиная с XVII века в недрах официальной России существовала другая Россия, где происходили очень интересные процессы. Это была Россия религиозных меньшинств: старообрядцев и сектантов (духоборов, молокан, бегунов и других), где люди жили напряженной интеллектуальной жизнью, пытаясь осмыслить проблемы, которые ставила перед ними российская действительность. В этой среде начала складываться своя интеллектуальная элита, крупнейшим представителем которой и был М.В.Ломоносов.

Среди широкой общественности прочно укрепился миф о старообрядцах как о замшелых ретроградах, отрицающих науку и научное познание мира. Это совершенно неверно. В Выговской обители (разрушенной в XIX веке по приказу Николая I) была большая библиотека, где хранились научные труды отечественных и зарубежных исследователей, в том числе и М.В.Ломоносова. Предприниматели-старообрядцы (например, Савва Морозов) щедро финансировали научные исследования. Сын богатейшего предпринимателя-старообрядца Д.П.Рябушинский на оставленные ему в наследство деньги создал первый в мире Аэродинамический институт, где вместе с профессором Н.Е.Жуковским разрабатывал проблемы, связанные с развитием авиации.

Малое число исследователей, вышедших из старообрядческой среды, по-видимому, объясняется тем, что в Российской империи представителям религиозных меньшинств был затруднен путь к высшему образованию. И тем не менее среди старообрядцев были крупные исследователи. Вспомним, например, выдающегося физиолога А.А.Ухтомского, перешедшего в старообрядчество в зрелом возрасте, уже после получения образования. Из старообрядческой среды вышли выдающийся отечественный палеонтолог и писатель-фантаст И.А.Ефремов и, по некоторым признакам, его главный оппонент во взглядах на происхождение человека Б.Ф.Поршнева.

Не имея возможности заниматься наукой, старообрядцы блестяще показали себя в предпринимательстве: по оценкам исследователей, накануне 1917 года им принадлежало три четверти российских капиталов.

К сожалению, роль старообрядцев и сектантов в русской истории и культуре XVIII—XX веков исследована слабо. И я не сомневаюсь, что историка, решившего посвятить свою научную деятельность этой тематике, ждут интересные открытия.



# Паштет

**Что такое паштет?** Словари определяют паштет как особым образом приготовленный фарш из печени, жира, мяса, дичи или рыбы или пирог из слоеного теста с начинкой из такого фарша. В зависимости от рецепта к паштету добавляют овощи, специи, травы, грибы, яйца, иногда вино или бренди для аромата. Паштет — калорийное блюдо, потому что жирное: жир (сливочное масло, топленое сало или нутряной жир птицы) делает его эластичным. Второй по частоте ингредиент — печень, придающая паштету своеобразный вкус и аромат.

Паштет — многокомпонентное блюдо, и обойтись с его составляющими можно по-разному. Например, все измельчить, перемешать и запечь. Или сначала печень и мясо потушить или обжарить, а уже потом измельчить и запечь. Или не запекать, а просто остудить это месиво. Готовое блюдо подают горячим или холодным, и холодный вариант, видимо, предпочтительнее, потому что, лишь постояв и остывнув несколько дней (или хотя бы ночь), паштет приобретает наилучший вкус и аромат. На многочисленных пикниках, в которых участвовали знаменитые члены воспетого Диккенсом Пиквикского клуба, всегда присутствовал холодный паштет.

С измельчением тоже не все просто. Некоторые паштеты представляют собой однородную массу, которую намазывают на хлеб. Есть паштеты поплотнее, изготовленные в форме колбасок, их можно резать ломтиками. Такие паштеты часто имеют более грубую текстуру, с вкраплениями кусочков мяса и грибов, с красивым узором на срезе.

**Террины.** Паштет должен иметь какую-то форму. Проще всего, конечно, положить готовую массу в миску, закрыть крышкой и убрать на ночь в холодильник. Иногда паштет формируют, обернув полотенцем. Его можно запечь, завернув в тонкие ломтики жира или бекона, сейчас для этой цели часто используют фольгу. Получается отличная колбаска. Еще один способ — приготовить паштет в огнеупорной форме с плотно прижатой крышкой. По-французски такая посуда называется террин, и паштет, изготовленный в ней, именуют так же.

Террины бывают мясные и рыбные, овощные и сладкие; однородные по структуре и начиненные кусочками мяса, орехами, сухофруктами. Компоненты для террина обычно измельчают крупнее, чем для паштета. Террин помещают в духовку в сосуде с водой, так что блюдо готовится на водяной бане. Затем его охлаждают и подают, нарезанный ломтиками, как правило, в той же посуде, в которой его готовили.

**Жирущая корочка.** Еще один способ придать паштету форму — запечь его в тесте. Тесто простое: лук, масло, яйцо и вода. В нем делают отверстия, через которые влага во время запекания выходит из паштетных глубин. Чтобы тесто при этом не стало влажным, а дырочки не затянулись, в них вставляют трубочки. При запекании фарш сжимается, и под тестом образуется воздушный пузырь. Перед тем, как паштет остынет, в эту полость вводят полужидкий желатин. Изначально корочка не предназначалась для еды, ее задача заключалась в том, чтобы сохранить форму паштета. Но тесто оказалось вкусным. Пожалуй, самый известный паштет, запеченный в тесте, — страсбургский пирог. Иногда говорят, что он начинен паштетом из гусиной печени, но это не простая печень, а фуа-гра.

**Фуа-гра.** Фуа-гра, что в переводе означает «жирная печень», — печень гусей, раскормленных насильно. Это сложная методика, на последнем этапе которой птиц, помещенных в клетки столь тесные, что они почти не могут двигаться, принудительно пичкают через зонд. В результате их печень становится очень жирной, увеличивается раз в десять и весит от одного до полутора килограммов. Смертность среди таких гусей также в десять раз выше, чем у обычных птиц такого же возраста.

Принудительное откармливание гусей было известно еще в Древнем Египте за 2500 лет до нашей эры. Оттуда методика увеличения печени распространилась по всему Средиземноморью. После падения Римской империи секрет деликатеса был утерян, но в Средние века возродился. Сейчас фуа-гра — охраняемое культурное и гастрономическое наследие Франции.

Различают цельную фуа-гра (foie gras entier), приготовленную и нарезанную печень; фуа-гра из прессованных кусочков печени разных птиц (у нее «мраморный» срез); полностью приготовленный формованный паштет, в котором не менее 98% гусиной печени (bloc de foie gras). Закон, охраняющий культурное и кулинарное наследие, требует, чтобы продукт содержал не менее 80% фуа-гра. Однако любой закон можно обойти, поэтому существуют такие продукты, как мусс



фуа-гра и паштет фуа-гра, в которых собственно фуа-гра менее 55%, и другие фуа-гра содержащие продукты.

Готовят фуа-гра на медленном огне, гусиный жир при такой обработке быстро плавится. Нагретый паштет растекается, уж больно он нежен, поэтому подают его только холодным.

**О птичках.** Для производства фуа-гра используют серых гусей *Anser anser* тулузской породы, они крупные и быстро жиреют. Но сейчас на паштет откармливают в основном не гусей, а гибриды самца мускусной утки *Cairina moschata* и самки пекинской утки кряквы *Anas platyrhynchos domestica*. Эта птица называется мулард — от английских слов MUscovy duck (мускусная утка) и maLARD (кряква). В природе эти гибриды не встречаются, поскольку один вид обитает в Южной Америке, а другой в Евразии. Мулардов выводили, чтобы объединить достоинства, присущие обоим видам, искоренить недостатки и получить тихую, чистоплотную, мясистую и нежирную породу. Гибрид получился стерильный, однако не бесплодный. Для получения фуа-гра раскармливают самцов, они крупнее самок.

**Страсбургский пирог.** Появлением этого деликатеса, который для нас столь дорог, потому что Пушкиным помянут, человечество обязано двум людям: Жану-Жозефу Клозу, шеф-повару французского губернатора Эльзаса, и большому охотнику до лакомых блюд Людовику XVI. Клоз не изобрел фуа-гра, его новация заключалась в том, что он стал запекать фуа-гра с рубленой телятиной в тестяной корочке. Позже он добавил в эту смесь трюфели, вино и пряности. За это лакомство Клоз получил от короля 200 пистолей, а 1784 году — патент на паштет из фуа-гра по-страсбургски. Клоз наладил собственное производство, и дело пошло так успешно, что к 1827 году за Страсбургом утвердилась слава мировой столицы фуа-гра.

**Жирная гусиная печень.** Что делать, если гусиной печени хочется, а денег на фуа-гра нет? Или убеждения не позволяют: в мире не утихают протесты против жестокого обращения с гусями. Выход нашли. У гусей и многих видов уток размер печени меняется в зависимости от сезона и осенью увеличивается на 30—50%. Пользуясь этим, производители позволяют птице есть «от пуза», а осенью забивают. Такой продукт называется «жирная гусиная печень», но не имеет права именоваться фуа-гра.

**В магазин за паштетом.** Если у вас разыгрался аппетит и вы решили сходить за паштетом хотя бы в ближайший супермаркет, прочтите еще раз, из чего должен состоять продукт. В наших магазинах чаще всего продают мясные и печеночные паштеты (шпротный оставим за скобками), следовательно, они должны содержать мясо и печень, специи, соль и сахар, овощи — обычно это лук и чеснок, — яйца или сливки как склеивающее вещество. Такие паштеты бывают даже в обычных магазинах, они запаиваются в пластиковую упаковку-коробочку и хранятся 20 дней. Однако большинство паштетов, в коробочках, жестяных и стеклянных банках и колбасных оболочках, содержат консерванты, эмульгаторы, фиксаторы окраски, муку пшеничную или рисовую как связующий материал, соевые и молочные белки и даже подозрительные «белки животного происхождения». Срок хранения таких изделий — 100 дней.

**Почувствуйте себя Клозом.** Раздумали в магазин, хотите сами приготовить? Ничего нет проще. Гусиную печень вполне можно заменить печенью цыпленка. Блюдо, конечно, получится не таким богатым, но вкусным. Нам понадобятся 450 г обжаренной печени, четыре сваренных вкрутую яйца, одна большая сладкая луковичка, долька чеснока среднего размера, треть чашки мягкого маргарина или пять столовых ложек растопленного куриного жира, чайная ложка соли, 20 зерен черного перца и щедрая щепот молотого мускатного ореха.

Лук и чеснок измельчаем и осторожно тушим в жире на медленном огне, пока овощи не подрумянятся. Когда они начнут размягчаться, надо их посолить. Припущенные овощи перекладываем в чашу блендера и смешиваем до однородной массы, добавляем туда три яйца, приготовленную печень, черный перец и мускатный орех и снова перемешиваем. Будущий паштет поместим в подходящую форму или миску, выстланную пластиковой пленкой, накроем другим куском пленки, плотно прижав ее к паштету, и уберем в холодильник на 12 часов, не меньше. Блюдо должно хорошо охладиться, так что его приготовление следует планировать заранее, а не хвататься за печень, когда гости уже на подходе.

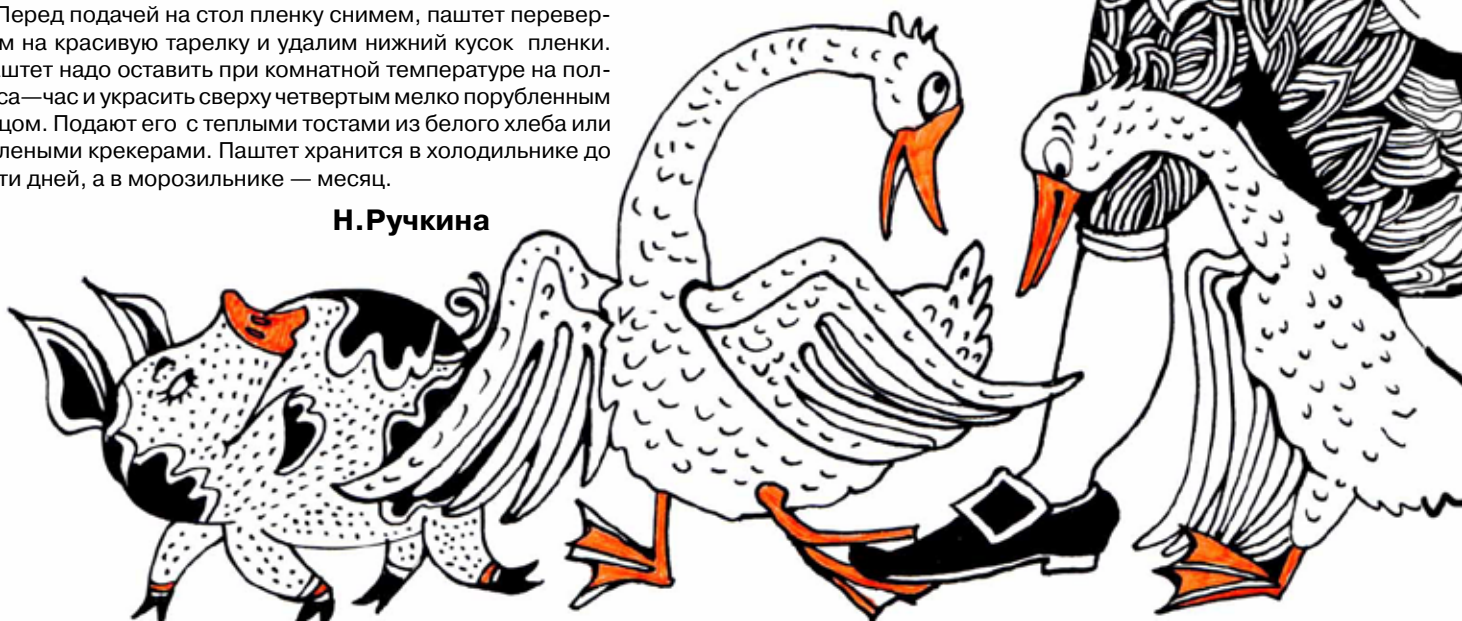
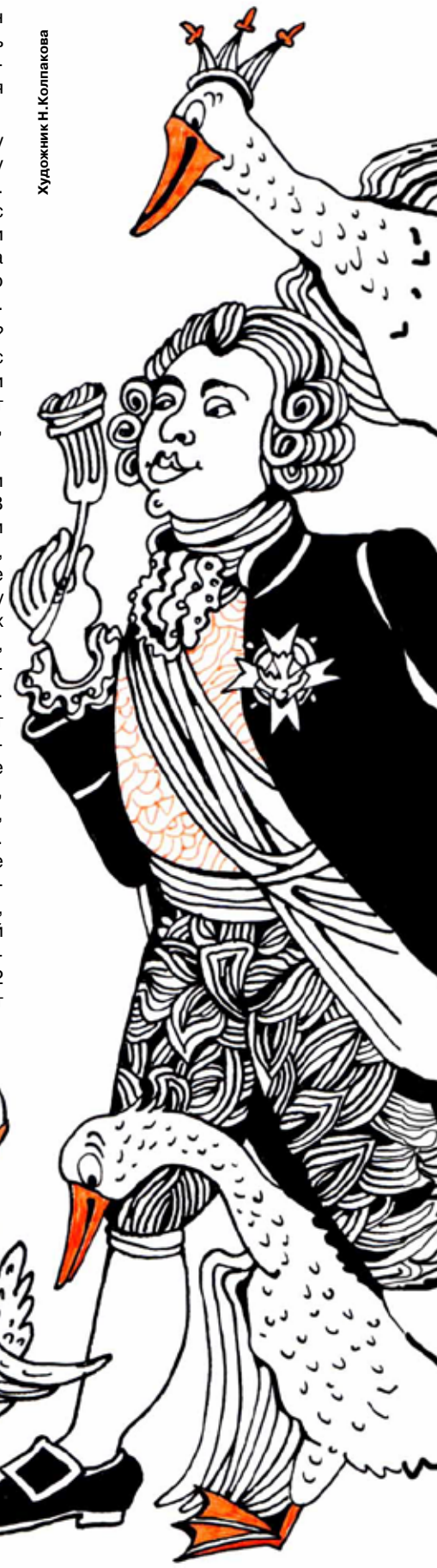
Перед подачей на стол пленку снимем, паштет перевернем на красивую тарелку и удалим нижний кусок пленки. Паштет надо оставить при комнатной температуре на полчаса—час и украсить сверху четвертым мелко порубленным яйцом. Подают его с теплыми тостами из белого хлеба или солеными крекерами. Паштет хранится в холодильнике до пяти дней, а в морозильнике — месяц.

Н. Ручкина



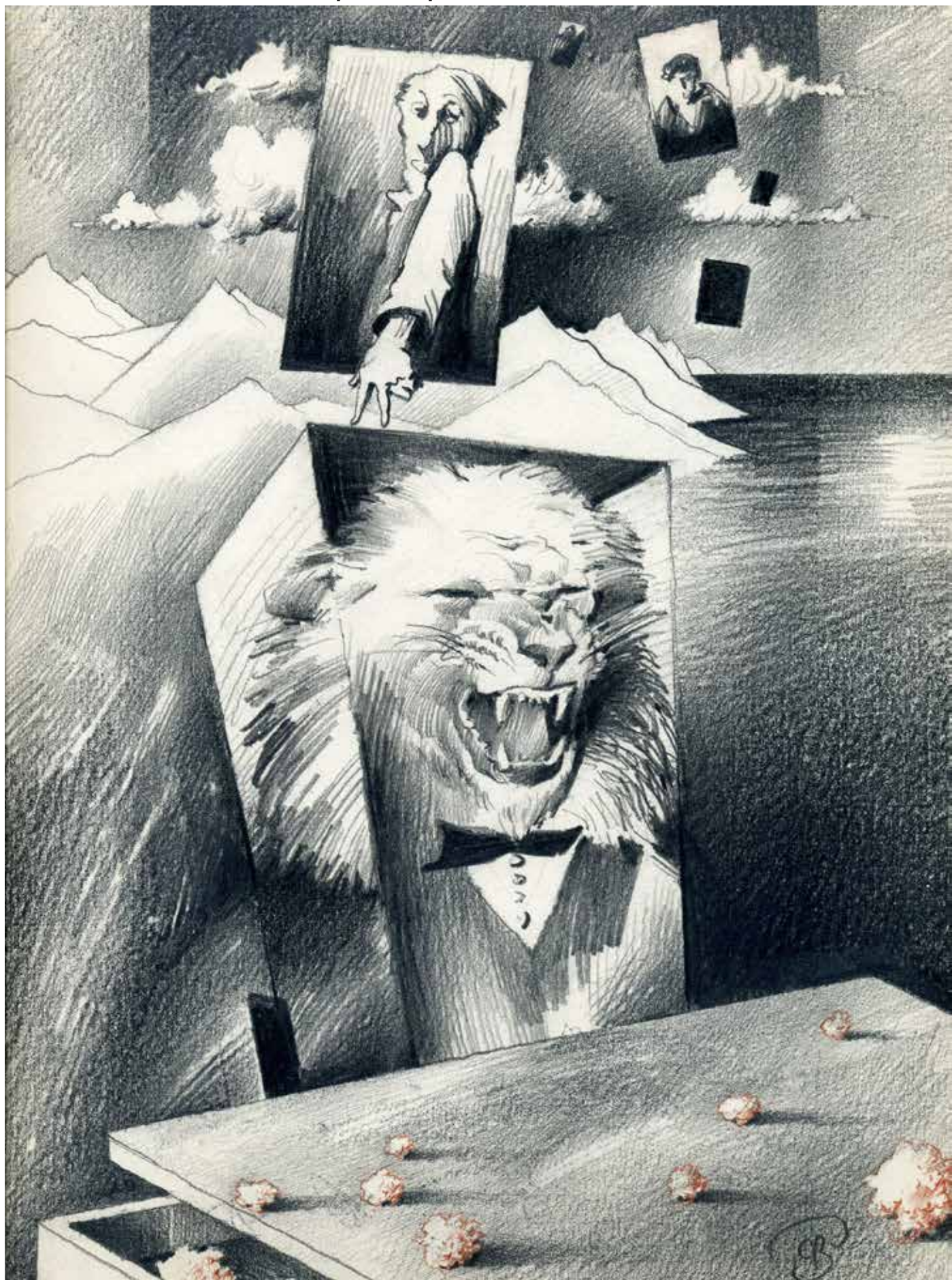
ЧТО МЫ ЕДИМ

Художник Н. Колпакова



# Деньги

Ирина Истратова



— Рад приветствовать вас на Мозамбии, госпожа Нисимова,  
— сказал Гай Эванс, вице-президент компании «Туземные  
товары». — Прошу вас, садитесь.

Его взгляд огладил совершенной формы колени, окунулся  
в вырез блузки и задержался на лице — намного дольше,  
чем позволяли приличия. Впрочем, не так-то просто смутить  
женщину, защищавшую отъявленных негодяев на межпла-  
нетных трибуналах.

— Большая честь, что вы согласились поработать на нашу  
фирму, госпожа Нисимова, — сказал вице-президент Эванс.

Диана Нисимова улыбнулась холодноватой, благожела-  
тельной улыбкой.

— Я хотела бы знать, в чем заключается моя задача.

— Дело касается нового товара, который мы будем экс-  
портировать с Мозамбии на Землю. — Эванс достал из ящика  
стола что-то белое и невесомое и бросил ей на колени. — Это  
шкурка сумчатого тигра.

Нисимова провела рукой по меху.

— Миленько, пушистенько, — оценила она, — ничего осо-  
бенного. Такой дешевле сделать в репликаторе, чем возить с  
другой планеты. Или я что-то упускаю?

— Мозамбийского сумчатого тигра признали разумным  
видом.

— Тогда да, это будет продаваться.

— Ну еще бы! — с энтузиазмом воскликнул Эванс. — Сейчас  
покупатель пресыщен, как вы метко выразились, «миленьким»,  
и даже красивое больше не котируется. Чтобы продать, надо  
удивить, надо шокировать! Да вы и сами это знаете, госпожа  
Нисимова, я сразу понял, едва увидел ваше лицо.

— Господин Эванс, продажи — это хорошо, но «Туземные  
товары» обвинят в геноциде. И даже я не представляю, как  
выиграть процесс.

Вице-президент поднял бровь:

— Разве я говорил, что мы кого-то убиваем? Мозамбийский  
сумчатый тигр сбрасывает шкуру при линьке.

— Bravo, господин Эванс, — Диана одобрительно улыб-  
нулась, — вы меня провели. Думаю, другие тоже купятся, по  
крайней мере, на первых порах.

— Долго и не надо. Мода скоротечна, мы успеем снять  
сливки.

— А чтобы все наверняка решили, что дело пахнет геноцидом,  
— продолжила Нисимова, — вы наняли меня, потому что у меня  
определенная репутация. Так, господин Эванс?

— Э-э, не совсем... На самом деле у нас есть для вас другая  
работа...

— Неужели? Я готова работать, господин Эванс, но мне не  
нравится, когда меня используют. Я разрываю контракт с «Ту-  
земными товарами».

— Пункт шесть четыре, — напомнил вице-президент. — Вам  
придется возместить нам убытки.

— Я подумаю над этим, — пообещала Нисимова. — О какой  
работе вы говорили?

— Сумчатые тигры упорно не желают продавать свои шкурки.  
Надо их заставить, но так, чтобы с точки зрения закона все вы-  
глядело безупречно.

— Это скорее ваш профиль, господин Эванс, а не мой. Как  
я понимаю, аборигены находятся на низкой стадии развития?  
Привейте им товарно-денежные отношения, посадите на  
предметы роскоши... Мне ли вас учить?

— Здесь особый случай, — сказал вице-президент. — Тузем-  
цы действительно дикари, но товарно-денежные отношения у  
них развиты неплохо, отсюда и название.

— Простите, какое название?

— Сумчатые тигры.

Диана Нисимова коснулась мочки уха, отключая переводчик.

— Не могли бы вы повторить, мистер Эванс?

— Кошельковые тигры, мисс Нисимова. Если вам потребу-  
ется помощь — на Мозамбии работает научная экспедиция с  
Ньюксфорда.

— Сэм Пэк? Я Диана Нисимова. Мне сказали, вы мне поможете.  
Ксенобиолог поспешно отвел взгляд от ее лица, сообразил,  
что пялится на колени, и покраснел.

— Угу, — буркнул он, — с радостью.

— У вас есть местные деньги? Хотелось бы взглянуть.

— Смеетесь? Это научная экспедиция, а не какая-нибудь  
там... Деньги нас не интересуют.

— Ладно, — сказала Диана, — тогда помогите мне их достать.

— Это просто. Идите в лес, найдите кошелькового тигра и  
попросите дать вам денег.

— Сэм, — вздохнула Диана, — вы что-то имеете против меня?

— Вы работаете на «Туземные товары», — бросил Сэм, —  
помогаете им пустить этот мир на воротник. Достаточно? А  
вы знали, что кошельковые тигры выстилают шкурками норы,  
чтобы не мерзли детеныши? Нет, вам наплевать, пусть дети  
умрут от холода, лишь бы вы получили прибыль!

— Сэм, — мягко сказала Диана, — никто не собирается от-  
нимать у них шкурки силой.

— Ну конечно, будет так называемая честная сделка. И не  
важно, что глупые дикари не способны оценить последствий.

— Да вы шовинист, Сэм! Либо они разумны и способны, либо  
неразумны и неспособны. Вы и ваши коллеги добились, чтобы  
кошельковых тигров признали разумным видом. Вы понимали,  
к чему это приведет?

Биолог прикусил губу и неохотно сказал:

— Мы хотели их спасти. Чтобы их не перебили ради шкурок,  
как животных. А оказалось, «Туземным товарам» только того  
и надо, этим акулам проще торговать, чем истреблять. И во-  
обще... они дали грант на экспедицию.

— Значит, вы тоже работаете на «Туземные товары», — за-  
ключила Диана. — Пойдемте в лес, попросим денег у кошель-  
кового тигра.

Дорогую Женщину разбудил жар от прихлынувшего молока.  
Она потянулась, насколько позволяла теснота норы, и щелкну-  
ла по полу затекшим хвостом. Пошарила передней лапой под  
шкурами, вытащила толстого слепого котенка.

— А, Нахлебник-Один! — промурлыкала она. — Посмотрим,  
что там у тебя...

Она почесала котенку животик, чтобы расслабить сфинктер  
кошелька.

— Две штуки! Я довольна.

Дорогая Женщина убрала деньги в кошелек и приложила  
сына к переднему соску, где самое вкусное молоко.

— А ты, Нахлебник-Два? — Она вытащила второго котенка,  
маленького и тощего. — Опять одна штука? Не стоило бы тебя  
кормить... Да ладно, кушай.

Дорогая Женщина обвила детей хвостом, умиротворенно  
прикрыла глаз и почти заснула, но тут в нору просунулась  
голова. Из пасти свисала тушка древесного кролика.

— Привет, Успешный! — сказала Дорогая Женщина. —  
Сколько ты хочешь за кролика?

Успешный Добытчик бросил тушку на пол.

— Привет, Дорогая. Для тебя — бесплатно.

Она кокетливо вгрызлась в мясо. Успешный Добытчик  
втянул ее запах и предложил:

— Дорогая, давай спаримся.

— Если дашь мне десять штук.

— Восемь. Это все, что у меня в кошельке.

Дорогая Женщина облинула кровь с усов и сказала:

— Я спарюсь с тем, кто даст десять.

— Это нечестно! — обиженно рыкнул Успешный. — Ведь я ничего не взял с тебя за кролика!

— Ну и что?

— Я думал, что между нами есть что-то такое... очень взаимовыгодное...

— Не понимаю, — сказала Дорогая Женщина. — Но мне нравятся бесплатные кролики. Так и быть, я подожду до завтра. Если завтра ты принесешь мне десять штук, я спарюсь с тобой, Успешный.

— Но где я их возьму?

— Поймай еще кролика и продай какой-нибудь женщине.

— А может быть, мне с ней и спариться?

— Может быть, — ответила Дорогая и отвернулась, чтобы выкусить блоху из шерсти на спине.

— Но я не хочу никого, кроме тебя! — воскликнул Успешный Добытчик. — Ты самая расчетливая на свете!

— Тогда жду тебя завтра, Успешный.

Он выдернул голову из норы, аж земля с потолка посыпалась. Под шумок тощий котенок подполз к недоеденной тушке и стал слизывать кровь.

— Это моя еда! — рассердилась Дорогая Женщина. — Одни убытки от тебя, Нахлебник-Два, и никакой пользы.

Она подцепила его когтем и выкинула из норы. Не стоит тратить силы на убыточного ребенка — завтра она зачнет новый приплод.

Кошелевый тигр раскачивался на задней лапе, словно потревоженная кобра.

— Что это он? — вполголоса спросила Диана. — Злитесь?

— Он нас рассматривает, — шепнул в ответ Сэм. — У него один глаз, но зрение при этом объемное. А настроен он мирно. Видите — хвост обернут вокруг туловища? Вот если станет махать хвостом, значит, нервничает или злится.

Кошелевый тигр зашипел, и Диана включила переводчик.

— Привет! — сказал туземец. — Меня зовут Успешный Добытчик, и это моя охотничья территория. Купите древесного кролика, недорого.

— Привет, — сказала Диана. — Меня зовут Решающая Проблема, и кролик мне не нужен. Я пришла решить твои проблемы, Успешный Добытчик. Недорого.

— Моя проблема в том, что мне нужны деньги. Ты дашь деньги за деньги?

— Именно так, Успешный Добытчик. Дай мне одну монету, и завтра я дам тебе две.

Туземец хлестнул хвостом по траве.

— Не две, а три.

— Договорились.

— Диана, — шепотом спросил биолог, — откуда вы возьмете еще две монеты?

— Он даст одну, а вы скопируете ее в лабораторном репликаторе.

— Что?! — взвился Сэм. — Мы ученые, а не какие-то... фальшивомонетки!

— Можете исследовать образец, — предложила Диана, — для очистки совести.

— Доброе утро, Сэм.

Сэм Пэк поднял руку потереть красные глаза, но передумал. Рука была в перчатке. Он поставил на стол небольшой контейнер; Диана заглянула в прозрачное окошко — внутри лежали несколько бугристых серых комков в розовых прожилках.

— Вы размножили деньги? Спасибо, Сэм.

— Это не деньги, — мрачно сказал биолог. — Это живые организмы, которые паразитируют на кошелевых тиграх. Они выделяют наркотик, подавляющий волю и вызывающий привыкание. Туземцы испытывают эйфорию, когда паразит

размножается в их кошельках, а если благодаря счастливой случайности им удастся от него избавиться, начинается ломка и кошелевый тигр не успокоится, пока не окажется вновь заражен. Вся его деятельность подчинена обслуживанию жизненного цикла паразитов. Например, общение и то, что мы принимали за речь, — лишь средство для их расселения и миграции.

— Хотите сказать, кошелевые тигры неразумны?

— Не больше, чем кассовый аппарат, — с досадой ответил Сэм. — А ведь вы что-то знали... Как вы догадались?

— Я? — Диана пожала плечами. — Я не знала.

— Но вы меня заставили проверить, буквально тянули за руку... Притом, что я ученый, а вы... Это нечестно!

— И кто я, по-вашему?

— Вы обращаете закон в пользу тех, кто платит, — неприязненно сказал Сэм. — Вы обманываете людей.

Диана усмехнулась:

— Бывает. Но и вы вертите наукой, как хотите. Вы сочли, что целесообразно объявить туземцев разумными, — и вы объявили их разумными. Вы обнаружили, что ваш вывод не пойдет им на пользу, — и пожалуйста, они неразумны.

— Это другое дело! Не ради денег, а во имя спасения...

— Это совершенно то же самое. Для вас правда — как разменная монета.

В кошельке Успешного Добытчика лежали десять штук; в пасти покачивалась тушка бесплатного кролика. Дорогая Женщина будет довольна.

Успешный Добытчик бросил кролика возле норы, принялся и озадаченно почесал спину кончиком хвоста. Сказать по правде, он не испытывал прежнего энтузиазма. Другие мысли смущали его рассудок, и виноваты в том были двуглазые.

Успешный Добытчик размышлял, откуда берутся деньги.

Где мужчины достают деньги, это понятно. Они ловят древесных кроликов и продают женщинам. С женщинами тоже все ясно. Они не умеют охотиться на кроликов, поэтому разводят детей и продают им молоко. А кроме того... Да-а! Успешный Добытчик втянул теплый влажный дух, струящийся из норы, и едва не сбился с мысли.

Дети берут деньги из кошелеков. Каждый знает: если ешь от пуза и спишь круглые сутки, то в кошельке прибавляется денег. А дети как раз умеют спать и есть. Вон, посмотрите-ка! Достаточно на минуту отвлечься, как кто-то уже ест твою добычу.

Успешный Добытчик схватил тощего слепого котенка за заднюю лапу и оттащил от кролика.

— Эй! А заплатить?

Он пошарил у котенка в кошельке — там оказалось пусто. В прежние времена тем бы дело и кончилось, но после общения с двуглазыми Успешный Добытчик был сам не свой. В голове крутились странные идеи.

— Ладно, ешь, — сказал он и подтолкнул ребенка к еде. — Ешь сейчас, заплатишь завтра.

Если не торопиться и не жадничать, дети могут принести хорошую прибыль. Успешный Добытчик достал из кошелька одну штуку и вложил в кошелек котенка.

— Буду звать тебя Вклад-Один, — сказал он.

— Госпожа Нисимова, поздравляю! — Вице-президент Эванс встал навстречу с таким видом, будто готов ее обнять-расцеловать. — Прошло всего несколько дней, а вы уже заставили ньюксфордских дармоедов отрабатывать наши инвестиции. Интересно, как вы их мотивировали? Забегали, словно тараканы. Да мы вместе с вами горы свернем!

— Я не буду на вас работать, — сказала Нисимова.

— Пункт шесть четыре вашего контракта, — напомнил Эванс.

— Пункт шесть шесть, — возразила Нисимова. — Обстоятельства непреодолимой силы, а именно: стихийные бедствия, действия властей, эпидемии...

— А, вы о тех паразитах, с которыми носятся биологи? Так заражены туземцы, а нам что за печаль?

— Неизвестно, насколько мозамбийские паразиты опасны для человека. До выяснения этого вопроса будет введен карантин. Вы не сможете торговать с Мозамбией, следовательно, я не смогу исполнить свои обязательства перед «Туземными товарами» и расторгаю контракт.

Эванс молча посмотрел ей в глаза. Затем его лицо дрогнуло — и расплылось в широкой улыбке.

— Я был счастлив работать с вами, госпожа Нисимова, — задушевно сказал вице-президент, — жаль, что так недолго.

Он смотрел, как за ее спиной закрывается дверь, и прикидывал, кому дать на лапу, чтобы уладить формальности с карантинном. Спасибо за совет, госпожа Нисимова, и скатертью дорога. Найдем другой способ продать эти шкурки, без вашего участия. Или не стоит распыляться на шкурки? Похоже, на Мозамбии есть более перспективный предмет экспорта...

Эванс открыл ящик письменного стола и счастливо улыбнулся. На дне лежали несколько бугристых розово-серых комков. Классные штуки!



## Московский Дом Книги

СЕТЬ МАГАЗИНОВ



**Рафаил Нудельман**

Тайные ходы природы:

Как гены-заики и другие чудеса ДНК определяют пути эволюции ЛомоносовЪ, 2013



Эта книга рассказывает о невероятных путях эволюции живого на Земле и отвечает на многие вопросы, общие и частные. Как возникли мужской и женский пол? Почему термиты таракуа при приближении другого вида взрываются, словно камикадзе? Как и зачем рачок-саккулина меняет пол краба, на котором паразитирует? И еще один общий вопрос: какую роль во всех этих странностях и невероятностях играют гены?

**Фрэнк Райан**

Виролуция. Важнейшая книга об эволюции после «Эгоистичного гена» Ричарда Докинза «ЛомоносовЪ», 2014



Основная идея этой книги шокирует. Все живое на планете, в том числе люди, существуют в симбиозе с вирусами, эволюционируют вместе с ними и благодаря им выживают. Вирусы, их производные и тесно связанные с ними структуры составляют как минимум сорок три процента человеческого генома. Но как вирусы встроились в геном? И как естественный отбор работает на уровне «вирус-носитель»?

**Карл Циммер**

Микрокосм: *E. coli* и новая наука о жизни Альпина нон-фикшн, 2013



*E. coli*, или кишечная палочка, — микроорганизм, с которым мы связаны очень тесно, и он же — один из важнейших инструментов биологической науки. Эта бактерия принимала участие во многих крупнейших событиях биологии, от открытия ДНК до новейших достижений геномной инженерии. Автор проводит удивительные и тревожные параллели между жизнью кишечной палочки и нашей собственной жизнью.

КНИГИ

**Шон Кэрролл**

Приспособиться и выжить!  
ДНК как летопись эволюции АСТ, 2015



В своей книге Шон Кэрролл увлекательно и доступно рассказывает о том, как эволюционный процесс отражается в летописи ДНК. Генетические исследования объясняют множество удивительных явлений: например, как у абсолютно разных видов развиваются одни и те же признаки, а у родственных — разные, каким образом эволюция повторяет сама себя, и многое другое. Полностью подтверждая теорию Дарвина, Кэрролл, по его словам, приводит такие доказательства, о которых сам Дарвин не мог и мечтать.

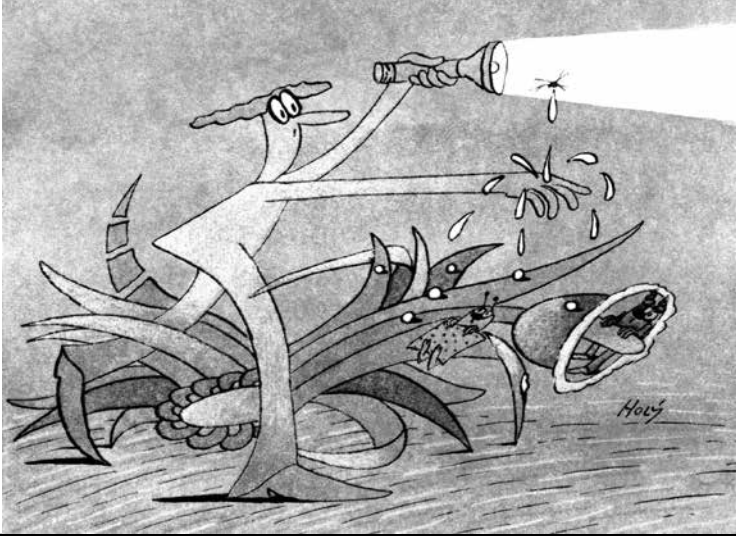
**Ричард Докинз**

Слепой часовщик.  
Как эволюция доказывает отсутствие замысла во Вселенной АСТ, CORPUS, 2014



Как работает естественный отбор? Является ли он достаточным объяснением сложности живых организмов? Возможно ли, чтобы слепая, неуправляемая сила создала столь сложные устройства, как человеческий глаз или эхолокационный аппарат летучих мышей? Книга Ричарда Докинза защищает эволюционный взгляд на мир и развенчивает мифы, существующие вокруг дарвиновской теории.

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



Художник Станислав Холм

## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

### Народная помощь

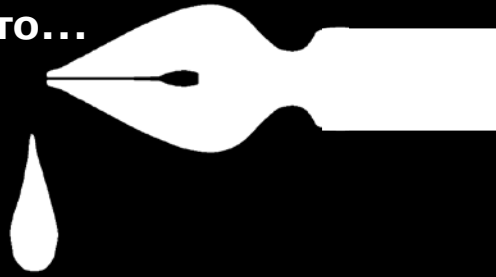
Народ можно условно разделить на две большие группы. Одни жаждут раздвинуть границы познания до вселенских масштабов, мечтают о полетах к звездам, освоении океана, победе над болезнями и вообще о счастье для всех и каждого, причем даром. Другие же предпочитают синицу в руке — хорошую работу с доходом, достаточным для комфортной жизни. Поскольку вторых большинство, правительства демократических стран должны учитывать их интересы и соответствующим образом делить общественные фонды между проектами мечтателей и потребностями практиков. Так было всегда, но цифровой век внес некоторые изменения: теперь можно бросить клич в Сети, который при известном искусстве кличущего услышат миллионы людей и благодаря их народной помощи обеспечит финансирование проекта. В каком-то смысле успех или неуспех проектов по сбору народных денег позволяют судить о том, правильно ли определены настоящие потребности общества. Так, сбор всего за четыре октябрьских дня 2015 года средств на постройку общественного российского аппарата, который сфотографирует следы пребывания американцев на Луне (предполагается, что его отправят к ночному светилу с какой-нибудь ближайшей экспедицией) показывает: потребности российского общества в изучении космоса существенно недооценены руководством.

А вот хирург из Лондонского университета Девиндер Кумар, тридцать лет оперирующий онкологических больных, и инфекционист больницы Святого Георгия Санджив Кришна (агентство «AlphaGalileo», 15 октября 2015 года) решили выяснить, как общество относится к идее предотвращать повторный рак прямой кишки с помощью средства от малярии — артезуната, одного из производных того самого артемизинина, за открытие которого присудили Нобелевскую премию (см. статью в этом же номере). На собранные деньги авторы проекта предполагают провести клинические испытания с участием 140 человек. Вот как они рассуждают.

Надежного средства от рака прямой кишки пока нет — даже после химио-, радиотерапии и хирургии через пять лет в живых остается лишь 60% пациентов. В то же время в предварительных исследованиях с участием двадцати пациентов лишь у одного из принимавших артезунат через 42 месяца был повторный случай рака, в контроле же — у шести («EbioMedicine», 2015, 2, 1, 82—90). Поскольку лекарство давно известно, его безопасность не вызывает сомнений, и провести испытания гораздо проще. В случае же успеха общество в целом (за исключением крупных фармкомпаний) получит немалый выигрыш. Ведь, как говорит профессор Кумар, таблетка полынного средства стоит 70 пенсов, а дневная доза химиотерапии обходится в 20—30 фунтов стерлингов, поэтому добавка этого средства к схеме лечения не разорит национальную систему здравоохранения, а вероятность повторного заболевания снизится.

**С.Анофелес**

Пишут, что...



...команда New Horizons опубликовала первые результаты исследования Плутона, к которому летом этого года был отправлен космический аппарат; получены данные о его поверхности и атмосфере («Science», 2015, 350, 6258, 260—261, и doi: 10.1126/science.aad1815)...

...разработана новая, более точная система для редактирования генома млекопитающих вместо CRISPR-Cas9 — CRISPR-Cpf1; в числе авторов статьи Евгений Кунин («Cell», 2015, doi: 10.1016/j.cell.2015.09.038)...

...предложено использовать сейсмические колебания для организации канала аварийной связи с шахтой при подземной добыче сырьевых ресурсов; возможна передача через толщу породы на расстояние 1050 м («Известия вузов. Горный журнал», 2015, 5, 36—42)...

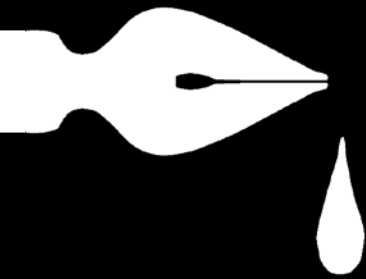
...один из вариантов реконструкции Ленинского проспекта в Москве предполагает прокладку линии метро неглубокого заложения и постройку над ним двухуровневой дороги: первый уровень из центра, второй в центр («Вестник Московского университета. Серия 5. География», 2015, 1, 93—94)...

...по некоторым прогнозам, к концу XXI века уровень моря в Кронштадте поднимется в среднем на 55 см; курортный район Санкт-Петербурга может лишиться пляжей при высоте нагонной волны 4 м, а при высоте 6 м будут затоплены 18 км<sup>2</sup> («Водные ресурсы», 2015, 42, 5, 544—557)...

...в середине этого столетия экосистемы тропических коралловых рифов будут в фазе коллапса более чем на 50% площади своего географического распространения; при самом пессимистичном сценарии им на смену придут сообщества макроводорослей и мягких кораллов, при более оптимистичном — корковые и массивные формы медленно растущих кораллов («Журнал общей биологии», 2015, 76, 5, 390—414)...

...из вредоносных синезеленых водорослей, цветение которых портит питьевую воду, путем их нагрева до 70—1000°C созданы высокоэффективные углеродные электроды, которые обычно делают из нефтяного сырья («Environmental Science & Technology», 2015, 49, 20, 12543—12550, doi: 10.1021/acs.est.5b03882)...

...на основе пяти лет наблюдений выявлена зависимость флуктуирующей асимметрии листа березы повислой от интенсивности



автотранспортного загрязнения, которая усугубляется в период дефицита осадков («Расчетные ресурсы», 2015, 51, 3, 366—383)...

...Куба и США планируют совместный экологический проект, задача которого — изучение и охрана акул в кубинских водах («Nature», 2015, 526, 7574, 488—489)...

...стрессированные самцы мышей, возможно, передают потомству микроРНК, которые присутствуют в сперме и вызывают у потомства связанные со стрессом физиологические изменения («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2015, doi: 10.1073/pnas.1508347112)...

...Агентство по контролю пищевых продуктов и лекарственных препаратов впервые одобрило производство таблеток с помощью 3D-печати; это будет противосудорожный препарат, назначаемый при эпилепсии, повышенная пористость таблетки облегчит глотание («Nature Biotechnology», 2015, 33, 1014)...

...разработан материал для зубных пломб, более устойчивый к разрушению, чем применяемые сегодня; он содержит полимерную смолу с простыми эфирными связями вместо сложнэфирных («Biomacromolecules», 2015, 16, 10, 3381—3388, doi: 10.1021/acs.biomac.5b01069)...

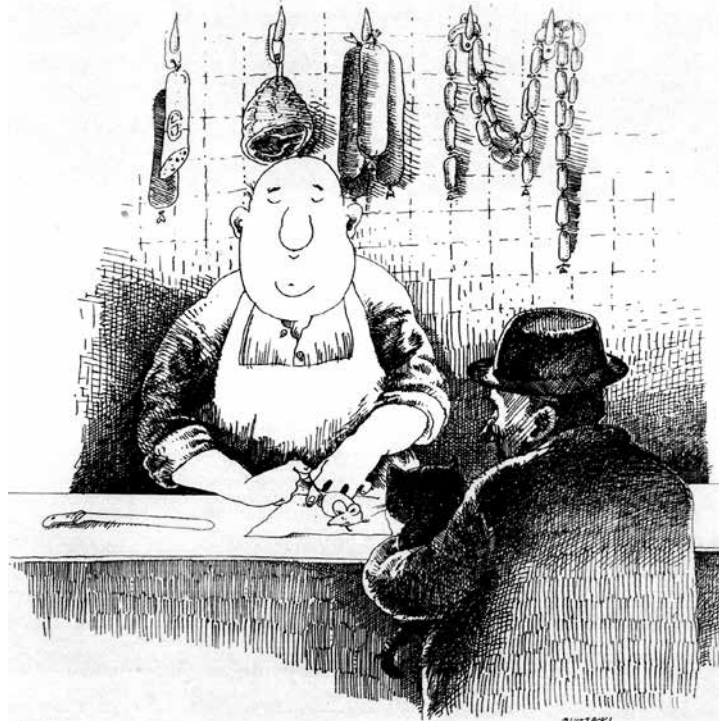
...по особенностям отпечатков пальцев можно определить, с какого континента происходят предки индивида («American Journal of Physical Anthropology», 2015, doi:10.1002/ajpa.22869)...

...многослойные углеродные нанотрубки подавляют исследовательскую активность и способствуют увеличению тревожности у крыс, что, скорее всего, обусловлено развитием воспалительного процесса в организме из-за примесей у нанотрубок, а также волокнистостью их структуры («Доклады Академии наук», 2015, 464, 1, 115—117)...

...исследователи из США разработали одностадийный способ превращения мочи в углеродные квантовые точки («Green Chemistry», 2015, doi: 10.1039/C5GC02032H)...

...содержание личинок хирономид, основного объекта при исследовании водных систем, не на смеси кварцевого песка и глины, а на прозрачном бактоагаре позволяет увеличить продолжительность их жизненного цикла и наблюдать за ними в течение всего их развития («Зоологический журнал», 2015, 9, 94, 1108—1113)...

Художник Якуб Вежацкий



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Депрессивное сало

Все знают, что потребление чрезмерно жирной пищи вызывает проблемы со здоровьем, а именно ожирение, заболевания сосудов и диабет. То, что полные люди часто тревожатся и склонны к депрессии, — также не новость. А вот связаны ли эти два эффекта друг с другом — предмет размышлений физиологов. Не исключено, что точку в споре поставили исследователи из университетов Парижа, Тулузы и Бургундии во главе с Бруно Гюяром («British Journal of Pharmacology», 16 октября 2015; doi: 10.1111/bph.13343). А изучали они влияние жирной пищи на жизнь мышей.

Экспериментальных мышей кормили специальным кормом D12451, предназначенным для исследования ожирения и диабета. В этом корме было очень много сала, точнее лярда — 20% по весу, или более 40%, если мерить по вкладу в энергобаланс. Мышей кормили им от 12 до 16 недель, грызуны толстели, у них развивались все признаки диабета: содержание сахара в крови росло, инсулина — падало. В контроле же были мыши, получавшие или стандартный корм, или высокоэнергетический, но нежирный, 60% которого составляла фруктоза. Мыши этой последней группы не толстели, но у них появились симптомы диабета. При этом исследователи старались, чтобы во всех опытах содержание в корме триптофана — предшественника гормона счастья серотонина — было одинаковым. Мышей было по 10—12 в каждой из шести групп.

Еще один параметр, который оценивали исследователи, — эмоциональность мышей; по ней судили о том, впадают ли животные в депрессию. И вот тут-то получился качественно новый результат. Оказалось, что только у экспериментальных мышей баллы за эмоциональный статус были в несколько раз выше, чем в обоих контролях, то есть именно жирный корм приводил к росту тревожности и развитию депрессии, и чем больше они его ели, тем заметнее. А вот фруктозный корм депрессию не вызывал. Пытаясь понять, в чем дело, проверили химический состав гиппокампа — отдела мозга, ответственного за удовольствие. И действительно, у мышей, питавшихся жирным кормом, оказался нарушен метаболизм серотонина в гиппокампе, причем сильно: постоянный прием антидепрессанта никак не помогал. Интересно, что вскоре после отмены жирной диеты к мышам возвращалось как физическое, так и душевное здоровье.

А. Мотыляев



**В.В.ИСАЕВУ**, Калуга: *Антистатические свойства полимера тем лучше, чем меньше его удельное сопротивление нити, поэтому для улучшения антистатических свойств в полимерную матрицу иногда вводят электропроводящие наполнители, например металлы и их соединения.*

**И.А.ГОЛУБЕВУ**, Пермь: *Название минералов шпинелей происходит от нем. Spinell, а оно, в свою очередь, от латинского spina — шип, терновник; назвали их так из-за остrokонечной формы кристаллов; согласно другой версии, от греческого spinos — зяблик, по сходству цвета красной шпинели с грудкой зяблика-самца.*

**Л.А.АБЛЕСИМОВОЙ**, Москва: *Жвачку для рук «флаббер» можно сделать из поливинилового спирта и бората натрия (он же бура), который сошьет в сеть молекулы полимера; вот, например, ссылка на статью с подробным описанием школьного опыта по ее приготовлению: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed063p57>.*

**А.К.КРАСИЛЬНИКОВОЙ**, Томск: *Ойтисиковое масло, применяемое в производстве мыла и красок, получают из семян бразильского дерева ойтисика, или ликания (Licania arborea); английское название не сильно проще — cachaupanache oil.*

**О.С.ПОПОВОЙ**, Санкт-Петербург: *Булгур — это крупа из твердой пшеницы, прошедшая термическую обработку, в отличие от обыкновенной дробленой пшеницы и от кускуса, который делают из более мелкой манной крупы, сбрызнутой водой и просеянной через сито.*

**Г.Н.ЕРШОВОЙ**, Красногорск: *Если вы замывали пятно на мягкой мебели и на границе влажного пятна осталась темная каемка, ее можно удалить слабым раствором белого стирального порошка.*

**С.**, электронная почта: *Генные варианты, способствующие целлюлиту, ученые, конечно, находили, например некоторые полиморфизмы ангиотензин-превращающего фермента и субъединицы регулятора транскрипции HIF-1; но если учесть, что «апельсиновая корка», по некоторым данным, появляется у 90—98% женщин, — пустьяки это все.*

**ПИСАТЕЛЯМ-ФАНТАСТАМ:** *Сожалею, но прислать в редакцию произведения, которые не подошли по объему на конкурс фантастики «Химии и жизни» или не были поданы в срок, нет смысла, мы не сможем их рассмотреть, давайте подождем следующего года.*

## Путеводная мысль?

В прессе появилась информация о возможности управления механическими устройствами посредством мысли. Можно будет, держа руки не на рулевом колесе, а в карманах, одной только мыслью управлять автомобилем; это очень удобно: не пошевелив даже пальцем, достигашь желаемой цели.

Упомянутое сообщение истинно в том, что ученые уже давно занимаются анализом электрических сигналов, идущих из человеческого мозга, которые равноценны актам моторной воли. О том, что мы, предположим, намереваясь изменить положение тела из сидячего на стоячее, вызываем в определенной части мозговой коры рост потенциала, на несколько десятков тысячных долей секунды опережающий реальное вставание с места, было известно уже много лет. Мы также знаем, что, когда человек расслаблен и ни о чем не думает, в его мозгу появляются так называемые альфа-волны. Зато при возникновении возбуждения или во время решения какой-либо задачи они уступают место более высокочастотным бета-волнам.

Однако надо сделать принципиальную оговорку: у нормального человека обычно имеется намного больше обдуманных замыслов, чем выбранных для фактической реализации. Поэтому утверждение, будто люди, управляющие наземным транспортом или самолетами, смогут заменить реальное вращение рулевого колеса и перемещение руля высоты исключительно помыслами о таких действиях, специалисты считают очень опасным. Зарождающийся в разуме замысел не имеет еще даже формы внутреннего приказа, направленного соответствующим мышечным группам тела. Лично я могу сказать, что ни за что не сел бы в самолет, управляемый только мышлением даже самого лучшего пилота в мире.

Будучи 19 лет назад в Вене, я видел на мониторах в лаборатории профессора Хельмута Петше изображения живых человеческих мозгов индивидов обоих полов, которые решали задачи, требующие умственных усилий, или размышляли на заданную тему. Активные области коры головного мозга во время этих процессов становятся видны благодаря так называемому методу ПЭТ (позитронно-эмиссионной томографии), фиксирующему потребление энергии, то есть возбуждение нейронов. Профессор накапливал целые папки такого рода картин, демонстрирующих довольно существенные различия между мужчинами и женщинами в процессе мышления на определенные темы. Однако он считал, что использование подобных импульсов для управления реальным перемещением каких-либо устройств было бы весьма нежелательно — и не только потому, что преждевременно.

Вся проблема намного сложнее, чем это пытаются представить газетчики. Они хотят убедить нас, что человек сможет управлять мыслью всем, чем ему только захочется. Реальные опыты, в которых принимали участие как обезьяны, так и люди, показывают лишь, что возбуждения, возникающие в коре, могут быть приняты электродами, усилены и в конце концов направлены к соответствующим датчикам. Те, в свою очередь, могут обеспечить такие действия, как, например, движение стрелки прибора или включение и выключение некоего оборудования. Но если мыслью не удастся включить или выключить компьютер, это можно исправить одним нажатием на кнопку. Зато если водитель, желающий проехать перекресток, неожиданно начнет думать о теще, это может — и не только для него — закончиться очень плохо.

В будущем важно будет обеспечить такую дифференциацию мозговых сигналов, чтобы различать мимолетные прихоти и намеренные акты воли. Кроме того, этот вопрос является также своего рода белым пятном в области права. Позволю себе только один пример. Автомобильные паркинги закрываются и открываются благодаря электрическому оборудованию, которое приводит в движение управляющее устройство ворот. Если бы можно было актом воли так управлять этим устройством, чтобы в очереди автомобилей опустить шлагбаум на голову движущемуся перед нами индивиду, которому мы желаем зла, то доказать, что был акт агрессии, было бы практически невозможно.

Скажу в общем, что множество идей и экспериментов, предлагаемых нам как предвестники будущего улучшения жизни, чаще всего могут дать — после осуществления — неприятные рикошеты. Я на самом деле не намерен сравнивать журналистов, жаждущих инновационных сенсаций, со стервятниками, кружащими над ослабевшим животным, но считаю, что неправильно поступает тот, кто делает из мухи слона.

Первоисточник: Lem S., *Myśl przewodna? — Przekrój* (Warszawa), 2002, Nr. 7



НЕИЗВЕСТНЫЙ ЛЕМ

## Сравнительная планетология

Знания о наших космических соседях, Венере и Марсе, ранее были настолько фрагментарными, что ученые не могли реконструировать историю этих небесных тел. Благодаря космическим зондам, посылаемым к обеим планетам, начинает складываться то, что я назвал бы «сравнительной планетологией».

Каких-то четыре миллиарда лет назад в первичной околосолнечной туманности образовались три внутренние планеты. В отличие от огромных газовых шаров, таких как Юпитер или Нептун, они покрылись застывшей коркой. Первоначально судьбы этой троицы складывались похоже. Благодаря бомбардировке обломками льда, появившимися извне Солнечной системы, они получили так много воды, что их поверхности покрылись океанами. Кто бы тогда предположил, принимая во внимание запасы воды на этих трех планетах, что их пути так сильно разойдутся?

Океаны Венеры испарились, нагреваемые в процессе извержения вулканов. Возникшая в результате серных взрывов аэрозольная эмульсия привела к сильному парниковому эффекту, который через 800 миллионов лет разогнал на всех парах. В результате даже следов воды в жидком состоянии на Венере нет, валуны на ее поверхности так разогреты, что могут светиться, а в атмосфере без кислорода, с давлением в сотни раз выше, чем на Земле, льются проливные дожди из серной кислоты. Образовавшуюся совокупность условий астрономы обычно называют «Венерин ад».

С нашей точки зрения, столь же фатальная, но как бы обратная судьба постигла Марс. Планета, когда-то покрытая океанами и видимыми до сих пор высохшими руслами рек, из-за недостаточной силы тяготения почти полностью потеряла атмосферу. Марс превратился в огромную пустыню, в его разреженной атмосфере бушуют песчаные бури, а так называемые полярные шапки на северном и южном полюсах представляют собой мерзлый снег, возникший из остатков воды и двуокиси углерода.

Поскольку специалистам хорошо известна судьба зондов, посланных русскими (еще во времена Советского Союза) на Венеру, — несмотря на самую лучшую тепловую изоляцию, они не смогли работать дольше двух часов, — никто вслед за этими

устройствами туда не собирается. Зато экспедиция на Марс стала в наше время большим и серьезно обсуждаемым искушением, и нет недостатка в желающих принять участие в такой прогулке. В одном из последних номеров издаваемого и у нас ежемесячника «National Geographic» большая статья посвящена чрезвычайно вредным для человека аспектам экспедиции на Марс.

Об опасностях, какие несут для представителей вида *Homo sapiens* космические путешествия, я уже писал в книге под названием «Мгновение» (см. главу «Человек в космосе» в книге: «Лем С., Молох». М.: АСТ, 2005. — Примеч. переводчика), но опасности, подстерегающие человека, значительно больше. Полет на Марс должен продолжаться больше года в одну сторону, и уже это означает множество фатальных недугов, ожидающих космонавтов: остеопороз, грозящий переломом костей, ослабление сердечной мышцы, нарушение чувства равновесия и множество более мелких дефектов тела.

Счастливым несчастливцем, который поставит ногу на Марс, сразу же ее сломает, а может, даже почувствует треск кости ослабленного таза: при этом неизвестно, могут ли кости человека вообще срастаться в тех условиях. Ввиду отсутствия подобия земной атмосферы, которая обеспечивает защиту от непосредственного солнечного воздействия, храбрым путешественникам будет вдвойне досажать солнечный ветер и частицы космического излучения. Я уж не стану подробно описывать неизбежные процессы быстрого старения организма в космическом, внеземном вакууме. Для того чтобы подвергнуть себя стольким опасностям, придется затратить много миллиардов долларов.

Однако я, собственно говоря, не намеревался дезавуировать марсианский проект, а хочу сосредоточить внимание на следующей из нашего теперешнего незнания картине сравнительной планетологии. Венера спеклась в самом прямом значении этого слова, Марс мумифицировался, а уцелела только несущаяся вокруг Солнца между этих двух средняя планета — Земля, на которой возникла жизнь и родился человек, создавший цивилизацию. Однако мы не уверены, останется ли в будущем Земля по-прежнему благоприятной для жизни или, возможно, ее ожидает судьба космических соседей.

Первоисточник: Lem S., *Planetologia porównawcza*. — Przekrój (Warszawa), 2001, Nr. 5..

Перевод с польского Виктора Язневича



# АНАЛИТИКА ЭКСПО

## 14-я Международная выставка ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ

12–14 апреля 2016 года  
МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»



### ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД НА САЙТЕ

[www.analitikaexpo.com](http://www.analitikaexpo.com)



Организатор  
Группа компаний ITE  
Тел: +7 495 935 81 00  
E-mail: [analitikaexpo@ite-expo.ru](mailto:analitikaexpo@ite-expo.ru)

Генеральный инфо-партнер:

