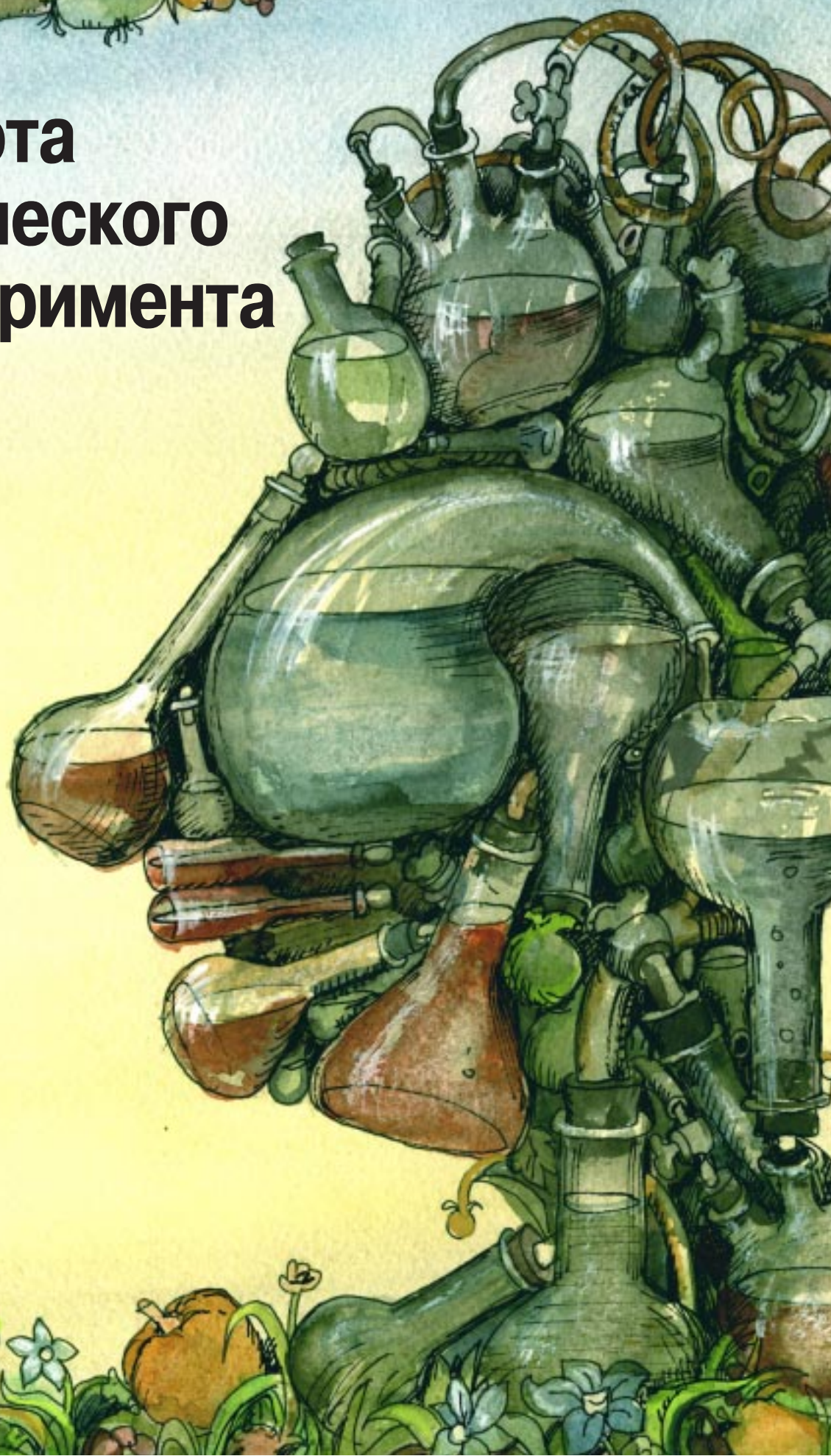



**Красота  
химического  
эксперимента**





Доктор химических наук  
**А.Ю.Рулёв,**  
академик РАН  
**М.Г.Воронков**

Художник Н.Кращин



## РАЗМЫШЛЕНИЯ

*Исследователь занимается наукой не потому, что это полезно, а потому, что он получает от этого удовольствие; а удовольствие от этого он получает потому, что она красива.*

**Н**есколько лет назад в ответ на вопрос, что самое прекрасное подарила человечеству химия, можно было услышать: «Блондинок». Сегодня достаточно взглянуть на ассортимент продукции, выпускаемой всемирно известными косметическими фирмами, или даже на туалетный столик кокетливой дамы, чтобы понять: эта шутка безнадежно устарела. Однако в этой статье речь пойдет не о химии красоты, производящей косметические краски, кремы, шампуни, лосьоны и т. п., а об искусстве химического эксперимента, о создании удивительных молекул, которые, конечно, могут найти применение и в косметологии.

Анри Пуанкаре

В былые времена среди наук только астрономию приравнивали к изящным искусствам. В мифологии Древней Греции ей, как виду искусства, покровительствовала собственная муза Урания. Другие науки в число изящных искусств не попали. Однако само название химической науки тесно с ними связано. Так, согласно одной из гипотез, слово «химия» происходит от древнего названия Египта и означает «египетское искусство». Другая версия связывает его этимологию с греческим *simoz* — сок растения. Следовательно, слово «химия» может означать «искусство выделения соков». В любом случае химическая наука, как любое искусство, имеет свою эстетику.

Один из атрибутов красоты химии заключается в изяществе главного объекта исследований — будь то простенькая молекула  $H_2O$  или сложная молекула ДНК, содержащая около полутора гигабайт генетической информации. Очарование исходит от структуры многих молекул. Но если молекула может быть объектом эстетического наслаждения, то может ли вызывать восхищение профессионалов или дилетантов основной элемент научного познания — эксперимент? Наши коллеги-химики наверняка ответят утвердительно. А вот ответ непрофессионалов будет скорее отрицательным. И это понятно: их представление о труде химика часто основано лишь на опасениях и тревожных предчувствиях очередного пожара, взрыва, выброса токсичных или отвратительно пахнущих веществ. Да и сама химическая лаборатория, в которой создаются молекулярные шедевры, представляется ими отнюдь не величественным храмом науки. Гёте в «Фаусте» изобразил средневековую лабораторию в виде мрачной комнаты, заполненной «громоздкими, нескладными приборами для фантастических целей». Классическим местом ужасов назвал лабораторию Кристиан фон Астер в очередном издании «Словаря ужасов». Этот словарь представляет собой некое подобие антологии художественного изображения ужасов. Ссылку на него мы нашли в научном эссе, опубликованном в *Angew. Chem. (Int. Ed., 2004, 1770)*. Как видно, за прошедшие после Гёте двести с лишним лет немного изменилось в бытующих представлениях о химиках и их ремесле.

Идея выбора самого красивого эксперимента в науке не нова. Недавно подобные конкурсы были проведены в биологии и физике. Вопрос, однако, в том, что именно мы понимаем под красотой эксперимента. Для большинства физиков и биологов эксперимент — процедура, позволяющая получить точный ответ на заданный естествоиспытателем вопрос об окружающем мире. Однако в химии

Идея выбора самого красивого эксперимента в науке не нова. Недавно подобные конкурсы были проведены в биологии и физике. Вопрос, однако, в том, что именно мы понимаем под красотой эксперимента. Для большинства физиков и биологов эксперимент — процедура, позволяющая получить точный ответ на заданный естествоиспытателем вопрос об окружающем мире. Однако в химии

это понятие имеет более широкий смысл. Наряду с классическим определением эксперимента как инструмента познания природы химики рассматривают его как процесс создания нового вещества или материала, ранее не существовавшего. По мнению лауреата Нобелевской премии Роалда Хоффмана, химики отличаются от любых других ученых тем, что собственноручно творят объекты, которые потом и изучают. Кстати, в точности то же самое делают писатели, художники и композиторы. Другой нобелевский лауреат, член Американской академии искусств и наук, физикохимик У.Н.Липскомб, признавался, что при решении непростых загадок химии боранов он использовал методы, более привычные для художника. Таким образом, не только изучаемый объект, но и сам творческий процесс его создания сближает химиков с деятелями искусства и отличает химию от любой другой лабораторной науки.

Приблизительно треть ученых-химиков занимается не экспериментальной проверкой различных теорий, а синтезом ранее не известных соединений. И поскольку процесс создания новых молекул похож на художественное творчество, органический или неорганический синтез как вид искусства имеет свою эстетику.

В конце 2002 года журнал «Chemical and Engineering News», издаваемый Американским химическим обществом, предложил своим читателям назвать самый красивый химический эксперимент в истории химической науки. Группа экспертов-химиков и историков науки рассмотрела все предложения читателей и составила список из 25 главных претендентов.

Три года спустя вышла книга известного английского популяризатора науки Филиппа Болла «Десять самых красивых экспериментов в химии». В ней автор назвал свою «великолепную» десятку и сопоставил ее со списком, предложенным Американским химическим обществом. Какие же эксперименты чаще всего ассоциируются у химиков Старого и Нового Света с понятием красоты и каким основным критериям они должны соответствовать, чтобы попасть в хит-парад «самых-самых»?

По мнению читателей «Chemical and Engineering News», самым красивым в истории химии следует признать разделение рацемической смеси (смеси оптических изомеров) двойной натриево-аммониевой соли виноградной кислоты. Знаменитый французский исследователь Л.Пастер в 1844 году обнаружил два вида кристаллов тартрата натрия-аммония и вручную с помощью пинцета разделил их. Итогом его монотонной и тщательной работы стала опубликованная четыре года спустя статья, в которой Пастер впервые показал, что растворы каждого типа кристаллов вращают плоскость поляризованного света с одинаковой по величине, но противоположной по знаку интенсивностью. Этот эксперимент отличает не только простота: он стал основой рождения стереохимии и в немалой степени способствовал развитию теории химического строения. Возможно, вовсе не случайно это открытие принадлежит именно Пастеру: будучи профессиональным художником-портретистом, он мог легко заметить незначительные элементы асимметрии, характерные как для лица человека, так и для формы кристалла.

Закрывает десятку избранных топ-экспериментов открытие радия. На первый взгляд трудно увидеть красоту в тяжелой, однообразной и скучной работе Марии и Пьера Кюри: из тонны руды, оставшейся после извлечения урана, им удалось получить всего 90 миллиграммов чистого хлорида радия  $\text{RaCl}_2$ . Невольно вспоминаются строки В. Маяковского:

Поэзия —  
та же добыча радия.  
В грамм добыча,  
в год труды.  
Изводишь  
единого слова ради  
тысячи тонн  
словесной руды.

Представьте себе супругов Кюри, которые перерабатывали в лаборатории-сараяе огромное количество горной породы и разглядывали в темноте таинственное свечение, исходящее из бутылей с раствором соли нового металла, не подозревая о вредности радиоактивного излучения. Чем не лаборатория ужасов? Однако эту мрачную картину рассеивают воспоминания Марии Склодовской-Кюри: «Особенно радовались мы, когда обнаружили, что все наши обогащенные радием продукты самопроизвольно светились. Пьер Кюри, мечтавший о том, чтобы они оказались красивого цвета, должен был признать, что эта неожиданная особенность доставила ему радость. Несмотря на тяжелые условия работы, мы чувствовали себя очень счастливыми».

Знакомясь с выбором американских химиков, невольно ловишь себя на мысли, что понятие «эксперимент» зачастую подменяется понятием «открытие». И, как следствие, красивый эксперимент нередко ассоциируется

## ЭКСПОЗИЦИЯ

С 2005 года в Принстонском университете (США) проходит конкурс научных фотографий сотрудников университета. Представленные на нем работы дают неплохое представление о разнообразии и красоте экспериментов в различных областях науки. Мы отобрали несколько интересных фотографий. А остальные можно посмотреть по адресу: <http://www.princeton.edu/artofscience/gallery2006/>

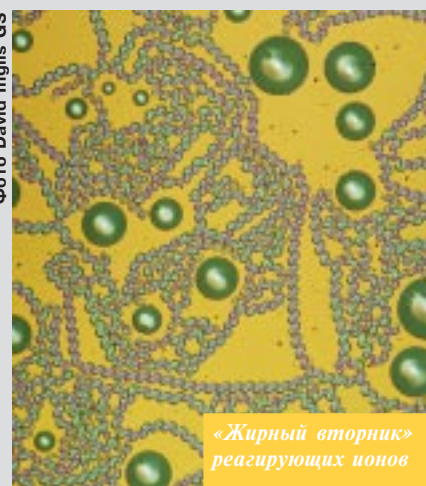
Фото Anton Darhuber, Benjamin Fischer и Sandra Troian



*Движение*

На поверхность кремниевой подложки налили тонкий слой воды и капнули немного масла. Благодаря изменению поверхности натяжения медленный процесс движения жидкости резко ускорился, породив каскад гидродинамической неустойчивости

Фото David Inglis GS



«Жирный вторник» реагирующих ионов

Непроизвольное повторное выпадение фоторезиста во время плазменного травления поверхности микросхемы ионами фтора и кислорода. Области желтого цвета — пленка нитрида кремния



с событием, ставшим заметной вехой в истории развития химической науки. Отсюда понятно, почему среди номинантов оказалось немало открытий химических элементов — щелочных и щелочно-земельных металлов, алюминия, кислорода, фосфора, аргона. Здесь же — реактив, синтезированный В.Гриньяром и названный впоследствии его именем, знаменитое превращение цианата аммония в мочевины, которое осуществил Ф.Велер на заре органической химии, и получение первого анилинового красителя У.Перкином. Безусловно, каждое из этих достижений заметно продвинуло вперед химическую науку.

Однако, на наш взгляд, открытие, каким бы выдающимся оно ни было, не всегда результат яркого эксперимента. Например, тот же искусственный краситель мовеин появился на свет лишь благодаря счастливой случайности. В 1856 году, когда представления о структуре органических соединений еще только зарождались, молодому Уильяму Перкину предложили получить хинин окислением смеси толуидина и аллилбромиды. Однако схема синтеза оказалась ошибочной, и вместо белых кристаллов хинина на дне колбы образовалась сильно пахнущая вязкая масса пурпурного цвета. Так удача улыбнулась Перкину-бизнесмену, который вскоре открыл производство первого анилинового красителя на радость французским модельерам. Сам же химический эксперимент Перкина такого восторга, увы, не вызывает.

Вслед за Филиппом Боллом мы полагаем, что ключевыми критериями красоты химического эксперимента следует считать элегантность, оригинальность и простоту решения зада-

чи, а также искусство экспериментатора, его настойчивость и упорство при достижении цели. Этим критериям в той или иной мере отвечают исследования Пастера и супругов Кюри. Еще более яркие шедевры искусства химического эксперимента можно найти в истории органического и неорганического синтеза.

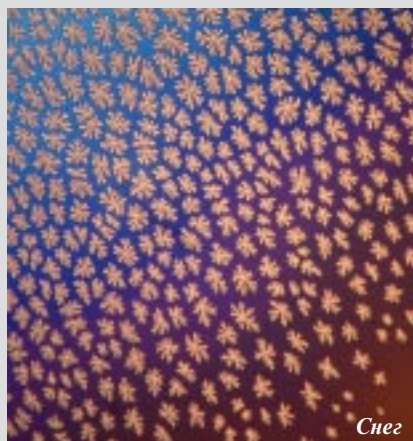
В последние десятилетия были разработаны новые методы, позволяющие получать сложные молекулы с высокой регио-, хемо-, диастерео- и энантиоселективностью. Впечатляет, например, синтез единственного (из  $10^{19}$  возможных!) изомера чрезвычайно токсичного природного соединения палитоксина, молекула которого содержит 64 стереогенных центра.

Одним из величайших примеров классического органического синтеза по праву считается синтез витамина  $B_{12}$ , выполненный сотрудниками Роберта Вудворда и Альберта Эшенмозера. Этот поистине феноменальный проект, продолжавшийся более десяти лет, включал 72 стадии. Искусство, артистичность, удивительный сплав интуиции и точного расчета, отсутствие страха перед структурой молекулы, в возможность получения которой не верит никто, — таким был научный стиль Р. Вудворда. Его кол-

леги даже говорили, что он продал душу дьяволу за право стать гением органического синтеза. Дочь ученого вспоминала, что отец имел четкие представления о молекулярной красоте и получал огромное наслаждение от блестяще проведенных экспериментов. Не случайно искусственное получение витамина  $B_{12}$  до сих пор остается шедевром стратегии органического синтеза, сопоставимым по красоте с выдающейся шахматной партией великого гроссмейстера.

Синтез соединений инертных газов, которые по определению не должны были вступать в какие-либо реакции, признан красивым и в Старом и в Новом Свете. Его прелесть — в дерзком вызове взглядам, устоявшимся в химии середины прошлого века, и в простоте самого синтеза. Сначала сотрудник Колумбийского университета Нейл Барлетт обнаружил способность гексафторида платины взаимодействовать с кислородом. Эта реакция давала необычное ионное соединение, в котором молекула кислорода становилась положительным ионом. Обдумывая результаты, ученый предположил, что в этой реакции аналогично кислороду должен вести себя и ксенон. Эксперимент блестяще подтвердил догадку. Объединив в стек-

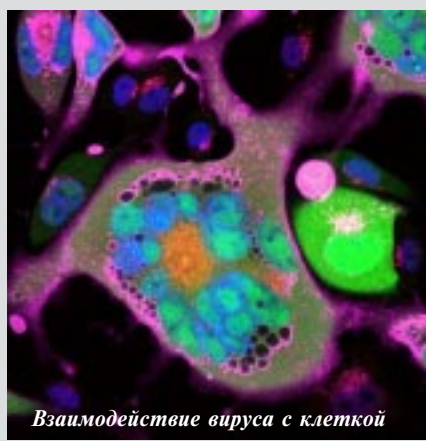
Фото Shufeng Bai GS



Снег

Если полимерную пленку нагреть выше температуры стеклования, а на поверхность наложить маску, то взаимодействие электростатических полей и поверхностного натяжения породит удивительные микроскопические фигуры

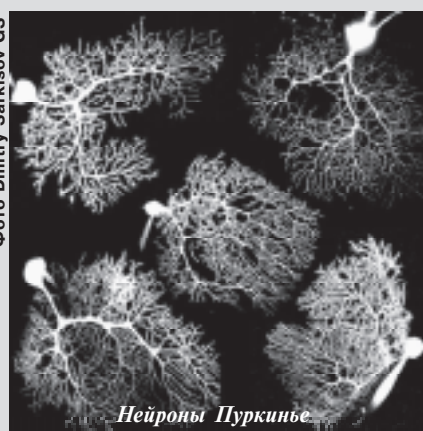
Фото Joerg Schroerer



Взаимодействие вируса с клеткой

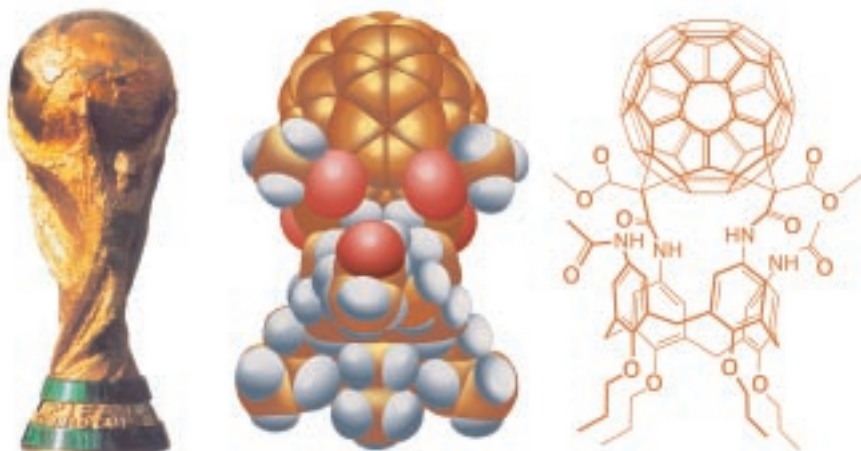
Мегаловирус порастил клетки человеческого эндотелия, и это видно благодаря тому, что флуоресцентный краситель выделил два вирусных белка красным и лиловым цветом. А синим покрашена ДНК клетки

Фото Dmitry Sarkisov GS



Нейроны Пуркинью

Нейроны Пуркинью расположены в мозжечке и обладают огромным числом входных связей, расположенных на дендритах, которые формируют запутанные древовидные структуры



*Молекулярный двойник кубка чемпионата мира по футболу, построенный из молекулы каликсарена и фуллерена. Синтез этого шедевра был завершен за два дня до финального матча и посвящен французской команде — чемпиону мирового первенства 1998 года. (Воспроизведено с разрешения RSC из статьи Soi A., Hirsch A. The molecular world cup: synthesis of a fullerene-calix[4]arene conjugate containing two malonamide substituents within the upper rim // New Journal of Chemistry, 1998, № 22)*

лянном сосуде при комнатной температуре газ Хе и темно-красные кристаллы  $\text{PtF}_6$ , Барлетт получил первое соединение «инертного» газа. Этот синтез позволил преодолеть психологический барьер инертности благородных газов: оказалось, что они не так уж и инертны. Успешный эксперимент, осуществленный Барлеттом в 1962 году, открыл новую страницу химии элементов VIII группы и заставил химиков по-новому взглянуть на теорию химической связи.

В десятке избранных Боллом самых красивых экспериментов упомянуты еще два синтеза. Английский химик и физик Генри Кавендиш в 1781 году получил воду из водорода и кислорода, смешанных в объемном соотношении 2:1. Этот эксперимент не только разрушил представления о воде как о простом веществе (элементе), но и поразил точностью количественных определений. Другой восхитительный синтез принадлежит американскому биохимику Гарольду Ури и его аспиранту Стенли Миллеру (1953). Моделируя в своих знаменитых опытах атмосферу «безжизненной» Земли, они пропустили электрические разряды через нагретую смесь водорода, метана, аммиака и водяных паров. К их великой радости, через неделю в ре-

акционной смеси были обнаружены семь аминокислот, входящих в состав клеточных белков, в том числе глицин, аланин и аспарагиновая кислота. Удивительно простой эксперимент показал, как могли образоваться пребиотические органические молекулы.

Наверное, каждый химик может рассказать о своем самом красивом эксперименте, выстраданном и доведенном до совершенства. По мнению Роланда Хоффмана, синтез элегантен не потому, что он такой на самом деле, а потому, что он получился после долгих неудач и провалов. Не случайно, говоря «красивый», мы нередко понимаем под этим «желанный». Сочетание мастерства ученого с научным ноу-хау рождает шедевры химического искусства. Например, открытие одного из самых мягких методов гидролиза сложных эфиров до свободных кислот доставило сотрудникам профессора Николау, мастера органического синтеза, несказанное наслаждение. Этот метод они использовали в дальнейшем для синтеза антибиотика тиострептона. Однако самой красивой авторы признали ключевую стадию синтеза этого антибиотика — хорошо известную реакцию гетероциклизации по Дильсу–Альдеру.

Неудивительно, что за более чем столетнюю историю химии-синтети-

ки многократно становились лауреатами Нобелевской премии. Пионером оказался Эмиль Фишер, синтезировавший сахара и пуриновые основания в 1902 году. А в 2005 году этой награды были удостоены француз И.Шовен и два американца, Р.Граббс и Р.Шрок, за вклад в развитие метода метатезиса в органическом синтезе. Греческое слово «метатезис», означающее «перестановка или изменение места», — это термин, широко применяемый в химии. Под реакцией метатезиса в широком смысле следует понимать протекающие с помощью катализаторов реакции, в ходе которых различные группы атомов занимают другие положения в молекуле. В пресс-релизе Королевской Шведской академии наук этот процесс сравнивается с танцем, в котором танцующая пара меняет партнеров (см. «Химию и жизнь», 2006, № 1). В сообщении академии наук подчеркивалось, что «лауреаты Нобелевской премии 2005 года по химии открыли фантастические возможности для создания многих новых молекул. Скоро воображение станет единственным пределом, ограничивающим синтез».

«Если бы природа не была красива, она не стоила бы того, чтобы ее познавать». Это высказывание знаменитого математика Анри Пуанкаре мы готовы дополнить следующим утверждением: если бы химики не ощущали прелести поставленной цели и безудержно не стремились овладеть ею, то многие открытия, так изменившие наш мир, возможно, не были бы совершены. Многие известные химики относятся к любимой ими науке как к искусству. Наверное, именно поэтому, по словам немецкого химика Кретса, «химия была и остается для своих поклонников роковой женщиной, при этом нередко губительной, но неизменно манящей волнующими тайнами. Прекрасной госпожой, от которой трудно уйти, даже если это и было бы разумным!».

