

*Аванта*  
Мир Энциклопедий

И. А. Леенсон

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ

БИБЛИОТЕКА АВАНТЫ +

# ХИМИЯ

для детей и взрослых



Илья Леенсон

**Занимательная химия  
для детей и взрослых**

«Издательство АСТ»

2013

**Леенсон И. А.**

Занимательная химия для детей и взрослых / И. А. Леенсон —  
«Издательство АСТ», 2013

Автор этой книги, доцент химического факультета МГУ, написал ее для всех любознательных людей. "Наука начинается с удивления", — сказал Аристотель. Прочитав сей труд, вы не раз удивитесь. А заодно узнаете, как работают в автомобиле подушки безопасности, из каких металлов делают монеты разных стран, какие бывают в химии рекорды, почему лекарство может оказаться ядом, как химики разоблачают подделки старинных картин, как журнальная шутка лишила победы "знатоков" в известной телевизионной игре "Что? Где? Когда?", а также многое другое. Так что настоящее издание будет интересно и "дилетантам", и профессиональным химикам — каждый найдет в ней для себя что-то новое и интересное.

© Леенсон И. А., 2013

© Издательство АСТ, 2013

# Содержание

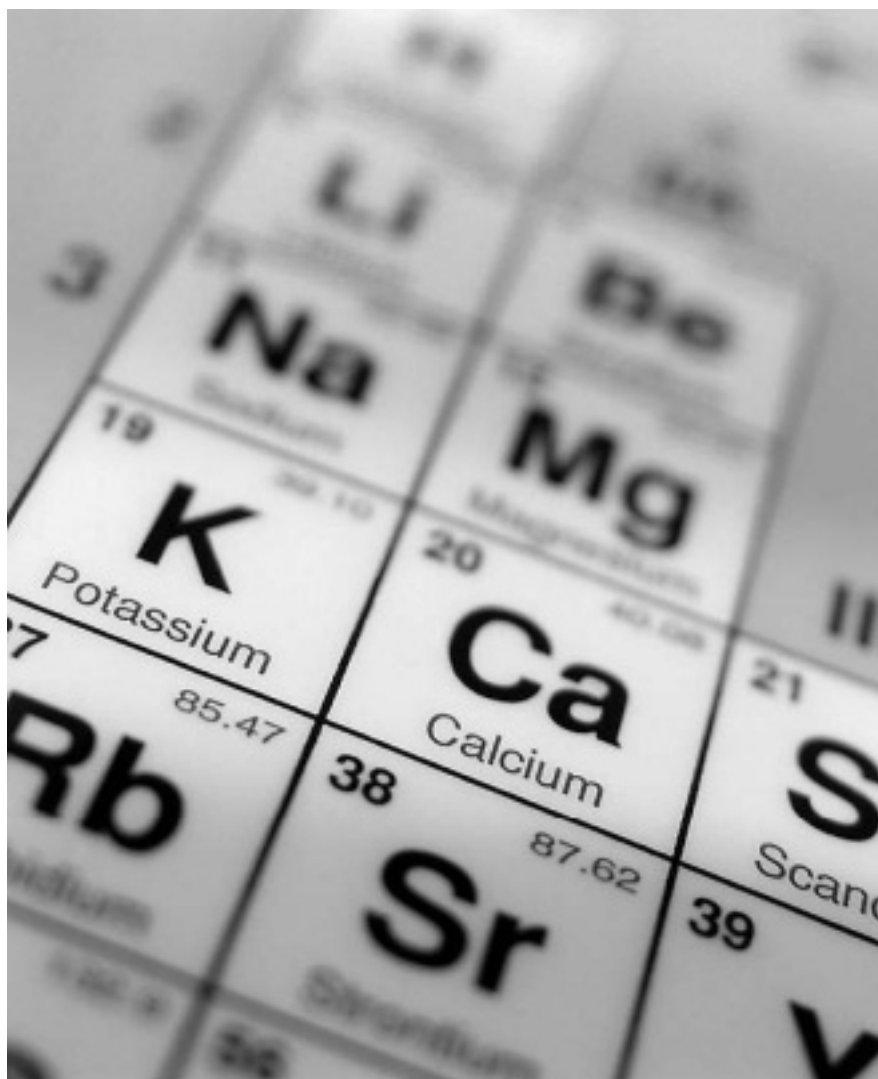
Предисловие	5
Глава 1	7
Азид в мешке	8
Пигменты и красители	11
Магнитом – по опилкам	14
Какого цвета чернила?	17
«Ракета» из баллона	19
Засыплем в баки алюминий?	21
«Резиновая древесина»	23
Экология по-американски и по-советски	25
Химик находит выход	28
«Консервированные кристаллы»	30
В чем растворяется золото?	32
Конец ознакомительного фрагмента.	33

# **Илья Абрамович Леенсон**

## **Занимательная химия для детей и взрослых**

### **Предисловие**

«Наука начинается с удивления», – сказал более двух тысяч лет назад древнегреческий философ Аристотель. Любопытство, способность удивляться непонятному, задавать множество вопросов свойственны детям. И задают они бесчисленные вопросы «что, как и почему» своим родителям. С возрастом эта способность удивляться обычно проходит. А может быть, подростки, а тем более взрослые, просто стесняются задавать разнообразные «глупые» вопросы. Да и кому их задавать, когда вокруг все заняты своими делами. Зачем задумываться над непонятным, когда кругом так много развлечений! Можно целый день смотреть телевизор и через час забыть о том, что показывали. Можно прочитать параграф в школьном (или вузовском) учебнике, ответить на уроке (или сдать зачет либо экзамен) и затем забыть о прочитанном – причем навсегда! К чему приводит такое отношение к окружающему нас миру? К распространению суеверий, например. Когда Нильса Бора спросили, неужели он верит тому, что прибитая над дверями его дома подкова приносит удачу, знаменитый физик ответил: «Конечно, не верю. Но, говорят, подкова приносит удачу даже тем, кто в это не верит». Бор, конечно, пошутил. Но сколько людей действительно верят знахарям и шаманам, верят бесчисленным рекламным объявлениям, обещающим излечение за пять минут от всех возможных и невозможных болезней, верят многим другим сказкам про инопланетян, «барабашек» и другую «современную» нечистую силу, которая пришла на смену лешему да Бабе-яге. А все потому, что с детства не выработан критический и «вопрошающий» взгляд на мир, не выработана привычка находить ответ (или хотя бы попытаться его найти) на возникающие вопросы, находить объяснение непонятному. Цель этой книжки – показать, что, даже не обладая специальными знаниями, можно правильно воспринимать явления, которые нас окружают, пытаться хотя бы в общих чертах узнать, как устроены различные машины и механизмы, почему происходят те или иные процессы, в том числе химические и физические. А главное – постараться самому понять, как устроен окружающий нас мир. Ведь это очень интересно!



## Глава 1

### Вещи и вещества



*Нас окружает множество веществ – в основном это не чистые химические соединения (с таковыми мы встречаемся очень редко, примером могут служить поваренная соль и сахар), а смеси, сплавы, композиты. Еще чаще мы сталкиваемся с тысячами различных вещей – от детских игрушек до автомобилей. И при изготовлении всех этих вещей не обойтись без химии. В этой главе будет рассказано о некоторых малоизвестных применениях химических веществ, облегчающих нам жизнь или даже спасающих ее. Об этом – первый рассказ.*



## Азид в мешке

Известно, что скорость химической реакции пропорциональна концентрации реагентов: чем она выше, тем чаще сталкиваются молекулы и тем быстрее идет реакция. Аналогично частота дорожно-транспортных происшествий при прочих равных условиях пропорциональна концентрации автомобилей на дорогах, которая неуклонно увеличивается. Соответственно растет и число аварий. Самые опасные происходят при лобовом столкновении. Даже если скорость каждого автомобиля не превышает 60 км/ч, суммарная скорость получается такой, что почти не оставляет шансов для находящихся в автомобиле. Можно ли в таких случаях защитить водителя и пассажиров или хотя бы спасти их жизни (о судьбе автомобиля говорить в таких случаях не приходится)? Одно из самых простых и надежных изобретений – ремни безопасности, которые спасли множество жизней. Но если скорость машины при лобовом столкновении велика, не спасают и они – ремень задерживает туловище, а голова по инерции продолжает движение вперед, что приводит к повреждению, нередко смертельному, шейного отдела позвоночника. И тут на помощь автомобилистам пришла химия. В 80-х гг. XX века химики ведущих автомобильных корпораций разработали новый способ защиты автомобилистов – подушку безопасности.

Она изготовлена из прочного полиамидного волокна и в сложенном виде занимает так мало места, что ее можно упрятать в стойку рулевого колеса. В случае лобового столкновения мешок почти мгновенно надувается и мягко принимает на себя поступательное движение как корпуса, так и головы водителя, спасая тем самым ему жизнь. И если к концу 80-х годов лишь один из 15 выпускавшихся в США автомобилей снабжался подушкой безопасности, то к 1995 г. их доля превысила 70 %, а еще через несколько лет ими снабжались практически все автомобили, причем каждый имел по два таких устройства – для водителя и для пассажира. Появились также подушки, расположенные сбоку, причем и для пассажиров, сидящих на заднем сиденье. Как же работает такая подушка? Поскольку счет при аварии идет на тысячные доли секунды (при скорости 108 км/ч машина проходит 10 см всего за 3 миллисекунды), никакие механические компрессоры или баллоны с сжатым газом не успеют надуть мешок за нужное время. Остается лишь одна возможность – взрывное разложение химического соединения с выделением большого объема газа. Химикам нужно было найти такое соединение, а остальное было уже делом техники. Вариантов оказалось немного. Остановились на распаде азиды натрия – соли очень взрывчатой и очень ядовитой азотистоводородной кислоты  $\text{HN}_3$ . Хотя эта кислота слабая (как уксусная), ее водные растворы обладают настолько сильным окислительным действием, что смесь  $\text{HN}_3$  и  $\text{HCl}$  растворяет золото и даже платину. Азиды тяжелых металлов (меди, серебра, ртути, свинца и др.) – весьма неустойчивые кристаллические соединения, которые взрываются при трении, ударе, нагревании, действии света. Взрыв может произойти даже под слоем воды! Азид свинца  $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$  используется как инициирующее взрывчатое вещество, с помощью которого подрывают основную массу взрывчатки. Для этого достаточно всего двух десятков миллиграммов этого вещества. Это соединение более взрывчато, чем нитроглицерин, а скорость распространения взрывной волны (детонации) при взрыве в 10 раз больше, чем у тротила, и достигает 45 км/с! Азид натрия, к счастью, не взрывается, хотя тоже сильно ядовит (его сильно разбавленные водные растворы иногда используют в качестве консерванта биохимических препаратов). При нагревании до 300 °С он очень быстро разлагается с выделением азота и мельчайших частиц натрия:  $2\text{NaN}_3 \rightarrow 2\text{Na} + 3\text{N}_2$ . Из 65 г (1 моль)  $\text{NaN}_3$  получается при обычных условиях около 35 л азота. Чтобы увеличить выход газа, а также связать очень реакционноспособный и легко загорающийся натрий, в смесь добавляют нитрат калия, который реагирует со свободным натрием:  $10\text{Na} + 2\text{KNO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{O} + 5\text{Na}_2\text{O} + \text{N}_2$ . Кстати, реакция



азида щелочного металла с его нитратом давно использовалась химиками для синтеза чистого оксида натрия или калия (которые невозможно получить окислением металлов в кислороде или на воздухе), например:  $5\text{NaN}_3 + \text{NaNO}_3 \rightarrow 3\text{Na}_2\text{O} + 8\text{N}_2$ . Оксиды натрия и калия – тоже не подарок; для их связывания в исходную смесь вводят еще один компонент – мелкораздробленный диоксид кремния. В условиях реакции он связывает оксиды натрия и калия с образованием негорючих и безопасных силикатов:  $\text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Работает вся система так. В случае столкновения чувствительные датчики, установленные в автомобиле, передают сигнал на микропроцессор, который мгновенно оценивает ситуацию; если скорость автомобиля при ударе превышает определенное значение (обычно 35 км/ч), микропроцессор включает электрический запал, который запускает реакцию разложения азидов. В результате перед человеком примерно за 0,04 секунды надувается мешок, содержащий около 70 литров азота, который спасет ему жизнь даже в таких случаях, которые раньше считались безнадежными. В автомобилях последних моделей возможно даже регулирование скорости наполнения мешка азотом в зависимости от массы водителя и его точного расположения в автомобиле.



На этот раз подушка безопасности защитила манекен

Однако не все так просто. Подушки безопасности, хотя и доказали свою эффективность, создают новые экологические проблемы. Ведь большинство автомобилей заканчивает свой век, ни разу не испытав серьезного столкновения. Поэтому на свалках вместо сравнительно безопасных груд ржавеющего металла могут образоваться очаги отравляющих веществ. Один из способов борьбы с этим – использование в подушках безопасности вместо порошка таблеток, которые можно было бы при необходимости извлекать и утилизировать. Другой путь – поиск менее опасных химических соединений, которые могли бы заменить азид натрия. Говоря об азиде натрия, нельзя не вспомнить еще одну историю, связанную с этим веществом. Как отмечалось, его разбавленные водные растворы обладают бактерицидным действием и могут служить консервантом биохимических препаратов. И вот в начале 70-х годов XX в. в некоторых американских и английских клиниках наблюдались странные явления. Время от времени из сливной раковины раздавались звуки, напоминающие пистолетные выстрелы, а в одном случае неожиданно взорвалась сливная трубка. К счастью, никто при этом не пострадал. Расследование показало, что виновником всех взрывов был очень слабый (0,01 %) раствор азидов

натрия, который использовали в качестве консерванта физиологических растворов. Излишки раствора азидов в течение многих месяцев, а то и лет сливали в раковину – иногда до двух литров в день. Оказалось, во всех упомянутых случаях сливные трубы под раковинами были изготовлены из меди или латуни (такие трубы очень прочные, легко гнутся, особенно после предварительного прокаливания, поэтому их удобно устанавливать в сливной системе). Выливаемый в раковину раствор азидов натрия, протекая по таким трубкам, постепенно реагировал с их поверхностью, образуя азид меди, а это вещество уже способно взрываться. Пришлось менять медные трубы на пластмассовые. Когда в одной из клиник проводили такую замену, оказалось, что снятые медные трубы сильно забиты твердым веществом. Специалисты, которые проводили «разминирование» сливной системы, чтобы не рисковать, подорвали эти трубы на месте, поместив их в металлический бак массой 1 т. Взрыв был настолько силен, что сдвинул бак с места на несколько сантиметров! Медиков не очень интересовала сущность химических реакций, приводящих к образованию взрывчатки. Можно предположить, исходя из сильных окислительных свойств азотистоводородной кислоты, что имела место такая реакция: анион  $\text{N}_3^-$ , окисляя медь, восстановился и образовал одну молекулу  $\text{N}_2$  и атом азота, который вошёл в состав аммиака. Остальная часть азид-анионов соединилась с катионами меди. Это соответствует уравнению реакции  $3\text{NaN}_3 + \text{Cu} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{N}_3)_2 + 3\text{NaOH} + \text{N}_2 + \text{NH}_3$ . С опасностью образования «бомбы в раковине» приходится считаться всем имеющим дело с растворимыми азидовыми солями металлов, в том числе и химикам, поскольку азиды используются для получения особо чистого азота, в органических синтезах, в качестве порообразователя – вспенивающего агента для получения газонаполненных материалов: пенопластов, пористой резины и т. п. Во всех подобных случаях надо проследить, чтобы растворы азидов не соприкасались с тяжелыми металлами, а сливные трубы были пластмассовыми.

## Пигменты и красители

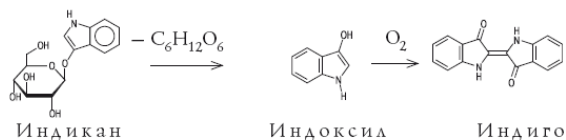
По определению, пигменты (от *лат.* pigmentum – «краска») – это тонкоизмельченные порошкообразные красящие вещества, которые, в отличие от красителей, не растворяются ни в воде, ни в органических растворителях. Пигменты бывают природные (как правило, неорганические) и синтетические. Первым пигментом, который использовал человек, была сажа. Сажа в большем или меньшем количестве появляется везде, где горит огонь, поэтому неудивительно, что сажу начали использовать в декоративных целях примерно 20 тысяч лет назад, вскоре после изобретения способов добывать огонь. Сажу и теперь производят в огромных количествах и используют как наполнитель резины, пластмассы, для изготовления типографских красок. Сажа исключительно устойчива к внешним воздействиям; до сих пор сохранились рисунки человека каменного века, выполненные сажой на стенах пещер. Вероятно, самая знаменитая из них – пещера Ласко во Франции. Ее случайно обнаружили в 1940 г. мальчики под упавшим после бури деревом. На стенах пещеры с помощью сажи, а также красновато-коричневых природных пигментов изображено множество животных: быки, лошади, олени, бараны, медведи, зубры. Теперь в этой пещере – прекрасно оборудованный музей.



Рисунки древнего человека, выполненные природными пигментами

Самыми труднодоступными в течение многих тысячелетий были пигменты синего цвета. Вероятно, первое использование синей природной краски произошло примерно 5 тысяч лет назад. Во время раскопок шумерского города Ура Халдейского были найдены золотые и серебряные фигурки животных, украшенные ляпис-лазурью – полудрагоценным камнем, содержащим пигмент ультрамарин. Сравнительно недавно было показано, что синий цвет этого пигмента связан с присутствием в нем анион-радикала  $[\cdot S_3]^-$ , в котором имеется неспаренный электрон (он изображен точкой). В Европе синие пигменты были настолько дорогими (их продавали буквально на вес золота), что порой специальные комиссии решали, какие именно участки росписи должны быть синего цвета. В античные времена использовали пигмент египетский синий, это был алюмосиликат меди (медное стекло). С VI–VII веков худож-

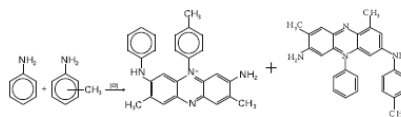
ники начали использовать природный ультрамарин, который готовили из ляпис-лазури, привозимой из Афганистана. По составу ляпис-лазурь – сложная смесь нескольких минералов, синий цвет которой придает гаюин – алюмосиликат, содержащий хлор и серу. Из килограмма лазури получали после длительной обработки всего 30 г синего пигмента. И лишь в 1704 г. был получен первый искусственный синий пигмент. Это была берлинская лазурь – гексацианоферрат железа-калия, содержащий атомы железа в разных степенях окисления:  $\text{KFe}^{+3}[\text{Fe}^{+2}(\text{CN})_6]$ . Синий кобальтовый пигмент – Тенарову синь (алюминат кобальта  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$ ) впервые получили во Франции в 1802 г., и был он в те времена очень дорогим. Однако известные к началу XIX века искусственные синие пигменты по своим качествам не могли заменить природную лазурь. В 1824 г. во Франции была обещана огромная премия в 6000 франков за способ получения искусственной лазури. Уже через четыре года премию получил Ж. Гиме; почти одновременно и независимо от него то же открытие сделал известный немецкий химик Л. Гмелин. Для получения искусственного ультрамарина прокаливали белую глину (каолин) с сульфатом калия и с углем. С тех пор природный камень перестали переводить на краску. Органический синий пигмент – индиго начали добывать еще несколько тысячелетий назад в Индии. Индиго добывали из листьев различных растений. Наибольший выход получался из растения рода *Indigofera*, которое произрастает в странах с тропическим влажным климатом. В Европе до середины XVII века, когда голландцы начали ввозить индиго из южных колоний, этот краситель добывали из листьев местного растения – так называемой красильной вайды. Листья замачивали водой, при этом в раствор переходил бесцветный гликозид (соединение с глюкозой) индикан. Затем водный экстракт сбраживался под действием микроорганизмов. В результате ферментативного процесса образуется глюкоза и 3-гидроксииндол (индоксил) – бесцветное соединение, которое при окислении кислородом воздуха (быстрее на прямом солнечном свете) превращается в индиго, оседающее на дно сосуда в виде синих хлопьев. Вся цепочка превращений показана на схеме.



В начале XIX века Наполеон обратился к французским ученым с предложением найти способ получения индиго из отечественного сырья и предложил за решение этой задачи баснословную по тем временам сумму – 1 млн франков. Но в те времена химики еще не были готовы взяться за эту проблему: органическая химия находилась в зачаточном состоянии. Химическое строение индиго было установлено в 1883 г. немецким химиком Адольфом фон Байером – через 18 лет после того, как он начал исследовать этот краситель и спустя 5000 лет после его открытия человеком. Как заявил Байер, он может доказать экспериментально место каждого атома в молекуле индиго! Байеру удалось также синтезировать индиго, исходя из фенилуксусной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ , однако этот синтез не нашел практического применения. Промышленный синтез индиго начался спустя несколько лет на баденской анилино-содовой фабрике (БАСФ), которая использовала метод, разработанный Карлом Хейманом. К началу XX века индиго синтезировали уже тысячами тонн, что соответствует сотням тысяч гектаров индиговых плантаций. Производству индиго сильно способствовало правительственное распоряжение, по которому синее сукно германской армии обязательно красилось синтетическим индиго. Выпуск индиго достиг максимума к концу 70-х гг. XX века – около 20 000 тонн в год. В конце XIX века БАСФ на разработку промышленного экономически выгодного синтеза индиго затратила 3 млн марок. А фирма «Людвигсхафен» ассигновала на исследования сумму, намного превосходившую стоимость самой фирмы! Этот рекорд, вероятно, никогда не будет

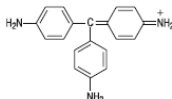
превзойден. Потраченные деньги вернулись сторицей. Достаточно вспомнить гималаи джинсов, выпущенных за прошедшие годы и окрашенных синтетическим индиго.

А какой был первый синтетический краситель, для которого не существует природных аналогов? В книгах по истории химии пишут, что это был мовеин. В 1856 г. английский химик Уильям Генри Перкин, которому было тогда всего 18 лет, окисляя дихроматом калия неочищенный анилин (он содержал толуидины – метилпроизводные анилина), получил вещество красивого фиолетового цвета, пригодное для окрашивания тканей. Он назвал его мовеином (от *англ.* mauve – «мальва», травянистое растение с крупными яркими цветами). Перкин работал в домашней лаборатории, и его цель была совершенно иной – он надеялся получить из каменноугольного дегтя хинин – средство от малярии. Вместо лекарства он получил краситель, в результате чего бросил учебу и на деньги своей семьи построил фабрику, работа которой сделала ее хозяина очень богатым человеком.



#### Мовеин (смесь красителей)

Следует, однако, сказать, что честь открытия первого синтетического красителя из продуктов перегонки каменного угля принадлежит польскому химику Якубу Натансону. Работая в Тарту (в то время – Дерпт, а после 1893 г. – Юрьев) он почти одновременно с Перкином, но все же чуть раньше, получил нагреванием смеси анилина и дихлорэтана в запаянной трубке вещество кроваво-красного цвета, способное окрашивать ткани. Это был краситель фуксин. Последующие исследования показали, что Натансон получил, вероятно, смесь парарозанилина с его моно- и диметилзамещенными. Сейчас фуксин применяют в основном для окрашивания нетекстильных материалов – бумаги, кожи, дерева; для приготовления чернил, цветных карандашей, типографских красок.



#### Паранитрозанилин

В заключение – сведения о красителях, которые к концу XX века производились в наибольшем количестве. Первые два места делят индиго (его используют для окраски тканей) и так называемый дисперсный синий 79 (им красят полиэфирные волокна) – по 15 000 тонн в год. За ними следуют сернистый черный 1 (краситель для хлопка) – 10 000 т/год, активный черный 5 (краситель для хлопка) – 8000 т/год и кислотный черный 194 (краситель для полиамидных волокон, шерсти и кожи) – 7000 т/год.

## Магнитом – по опилкам

Казалось бы, все, что касается игрушек для маленьких детей, уже изобретено и ничего принципиально нового создать невозможно. Однако это не так. Возьмем, например, игры, развивающие способность писать, а также создавать простые рисунки. Техническое задание таково: рисунок должен быть четким, легко стираться, а сама игрушка должна быть безопасной, причем – что немаловажно – безопасной именно для детей. В продаже можно встретить такую конструкцию. В герметичной коробке под пластмассовым прозрачным экраном помещен тонкий алюминиевый порошок (алюминиевая пудра). При встряхивании экран электризуется, и на него налипает слой порошка. С помощью помещенного в коробку штифта и двухкоординатного механизма, управляемого двумя ручками, можно нарисовать довольно сложные фигуры, «процарапывая» слой алюминия, то есть удаляя порошок острием штифта. Встряхивание коробки приводит игрушку в исходное состояние. К ее очевидным недостаткам относятся невозможность оторвать штифт от экрана, то есть прервать линию (поэтому буквы и цифры нарисовать практически нельзя), а также сложность создания кривых: каждая ручка по отдельности позволяет проводить линию либо вправо-влево, либо вверх-вниз. Правда, последнее обстоятельство в какой-то мере может служить и достоинством игрушки, которая хорошо развивает координацию движения. Другой вариант подобной «рисовалки» еще проще. твердый темный лист покрыт гибкой матовой полимерной пленкой. Если с помощью заостренной палочки – стила – провести на пленке черту, то она прилипнет к подложке, и черта станет видна – останется темный след. Так можно нарисовать на пленке все, что угодно. Если же с помощью тонкого стержня, расположенного между пленкой и подложкой, отделить их друг от друга, все изображения исчезнут, и можно начинать с начала.



Игрушка

И вот новая остроумная игрушка (см. рисунок). Под прозрачным экраном – светло-серый порошок, сбоку в специальном углублении – «карандаш». Если его тонким металлическим кончиком провести по экрану, слегка его касаясь, под ним останется черный след. Передвигнув расположенную снизу рукоятку из одного крайнего положения в Игрушка другое, можно стереть написанное или нарисованное и вернуть игрушку в исходное положение. Как же она устроена? Даже не ломая изделие, легко установить, что в его основе – магнитное действие: внутри – тонкий железный порошок, а наконечник «карандаша» – магнетик. В исходном положении более тяжелый железный порошок «тонет», и его не видно под слоем чего-то белого. Когда же магнетик подносят к экрану, он вытягивает железные опилки на поверхность, и они оставляют темный след. Длительное сохранение рисунка доказывает, что железному порошку непросто снова «утонуть» в вязкой массе. Нижняя ручка прикреплена к намагниченному стержню, расположенному за экраном. Проводя этим магнитом вдоль экрана, мы перемещаем все опилки к задней стенке, так что передняя светлеет. Это же можно сделать иначе, просто сильно встряхнув коробку, когда она находится в горизонтальном положении: более тяжелые железные опилки осядут вниз. (Если при этом коробку перевернуть, то опилки осядут на лицевую сторону, так что почернеет эта рабочая сторона.) Если вскрыть герметичный экран, обнаружится вот что. Верхняя и нижняя (она тоже прозрачная) поверхности разделены очень тонкими пластмассовыми перегородками, образующими сетку с ячейками около 1 мм (ее можно заметить на фотографии). Эта сетка разделяет рабочее поле на множество мелких ячеек, и в каждой ячейке перемещается своя небольшая порция магнитного порошка. Попасть из одной ячейки в другую он не может. Порошок смешан вовсе не с мелом или чем-то подобным, как могло показаться вначале; на самом деле он плавает в густой белой жидкости. Жидкость эта негорючая и испаряется очень медленно. Следовательно, это не органический растворитель, а скорее всего, вода. После ее испарения остается немного органического вещества, которое можно сжечь, и негорючий белый порошок, похожий на мел. Но мел можно исключить, потому что белый порошок не растворяется в соляной кислоте. Возможный вариант – диоксид титана,  $\text{TiO}_2$  – белый пигмент, который широко используется для изготовления белил. Что же представляет собой эта густая жидкость? Вероятный ответ таков. Один из способов промышленного производства поливинилхлорида – эмульсионная полимеризация. По этому способу инициатор радикальной полимеризации (например, перекись водорода) растворен в водной фазе, а полимеризация органического мономера идет в мицеллах – крошечных капельках, образованных эмульгатором – каким-либо поверхностно-активным веществом наподобие мыла. В результате получается латекс с размерами частиц полимера 0,03–0,5 мкм. Латекс сушат в распыленном виде, получая мелкий порошок полимера. Добавляя к нему растворитель, изготавливают пасты, вязкие коллоидные растворы. Такие растворы, которые называются пластизолом, можно перерабатывать в самые разнообразные изделия. Методом макания из пластизола можно получить перчатки, которыми пользуются электрики (поливинилхлорид – прекрасный изолятор), изоляционный слой на ручках инструментов, покрытия на стеклянных флаконах с аэрозольной упаковкой медикаментов (например, ингалятора). Заливкой пластизола в формы изготавливают воздушные и масляные фильтры для автомобилей, обувь, уплотнительные прокладки для крышек банок и бутылок, используемых для пищевых продуктов. Напылением пластизола можно получить защитное покрытие для днищ и сварных швов автомобилей. Искусственную кожу или моющиеся обои можно получить методом шпредирования. Что означает это странное слово? По-английски to spread – «распределять по поверхности», «промазывать», в том числе и резиной. Но написание термина показывает, что он пришел в русский язык из немецкого, в котором сочетание *sp* чаще всего читается как «шп» (кстати, по-немецки *Spreadingmaschine* – «машина для прорезинивания тканей»). Наконец, из пластизола можно делать мячи, детские игрушки и т. п. В пластизол часто вводят значительные количества (до



50 % по массе) минеральных наполнителей – мел, каолин, аэросил (мелкодисперсный диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ ), бентонит, диоксид титана и др. Значит, для изготовления нашей игрушки можно было использовать производимый промышленностью, а потому сравнительно недорогой поливинилхлоридный пластизоль. Остается восхититься изобретательностью тех, кто эту игрушку придумал.

## Какого цвета чернила?

Странный вопрос: самого разного! Но ведь само слово «чернила» подразумевает, что они должны быть черными! Действительно, раньше, когда не было ни шариковых ручек, ни синтетических красителей, писали в основном черными чернилами. Как их делали? На нижних сторонах дубовых листьев обычно к концу лета часто встречаются мягкие круглые орешки-галлы. Иногда их бывает так много, что листья тяжело свисают вниз. Сначала галлы зеленые, потом краснеют и выглядят как маленькие яблочки, прилипшие к листу. Самому дубу галлы ни к чему – они образуются на листьях дуба от укуса крохотной мушки – орехотворки. Самка мушки, откладывая яйца, ранит дубовый лист, вызывая образование на нем патологических наростов. Развивающиеся личинки находят внутри этих наростов надежную защиту. Когда орешки-галлы созреют, из них выводятся маленькие крылатые насекомые с четырьмя прозрачными клетчатými крылышками. Галлы интересны тем, что содержат дубящее вещество – танин. Танин есть и в чае, и дубовой коре, но там его в несколько раз меньше. Еще в древности галлы называли чернильными орешками, потому что их использовали для получения чернил.



Орешек-галл

К соку из галлов добавляли железный купорос или другие соли железа. На воздухе полученный раствор приобретал глубокий фиолетово-черный цвет. Реакция эта очень чувствительная: окраска появляется даже с очень малым количеством железа. Если воду, в которой много железа (такая вода имеет обычно специфический запах и оставляет на белой раковине ржавые потеки), налить в стакан и выжать в него сок из нескольких галлов, вода окрасится в темный фиолетово-сиреневый цвет. Еще в XVII веке английский ученый Роберт Бойль установил, что «одна крупинка купороса, растворенная в таком количестве воды, которое в шесть тысяч раз превышает ее вес, способна дать с дубильным орешком пурпурную настойку» (по-английски *purple* означает и пурпурный, и багровый, и фиолетовый цвет). Поэтому с помощью чернильных орешков можно проверить, есть ли в питьевой или минеральной воде железо. Если появится окраска, значит, железо есть. И чем его больше, тем окраска темнее. Когда железа много, раствор получается черным. К полученным чернилам добавляли камедь – густой сок некоторых деревьев, например, вишни. Камедь придавала чернилам из галлов красивый блеск. Вот один из старинных рецептов приготовления черных чернил: камеди – 3 части, железного

купороса – 2 части, чернильных орешков – 3 части, воды – 30 частей. Чернила эти очень устойчивы: сохранились, например, написанные ими средневековые рукописи. В XIX веке химики научились изготавливать синтетические красители, из которых можно было делать чернила всех цветов радуги – красные, зеленые, синие, фиолетовые. Но название у них осталось старинное, напоминающее о том, что первые чернила действительно были черного цвета. Чтобы чернила не стекали с пера, как чистая вода, в их состав вводили (и сейчас вводят – для тех, кто любит писать перьевыми ручками) загустители, например, глицерин или сахар, а чтобы чернила не портились при хранении, к ним добавляют дезинфицирующее средство, например фенол. В конце 40-х гг. XX века появилось и вскоре получило широкое распространение новое изобретение – шариковая ручка. Она очень удобна: вместо вечно пачкающихся и медленно сохнущих жидких чернил – трубочка с густой пастой; вместо клякс и неровных линий – тонкий равномерный след, который оставляет маленький стальной шарик. Сначала чернильную пасту для шариковых ручек делали на основе касторового масла. Это было не очень удобно: буквы сохли медленно и легко стиралась. Сейчас пасту делают из синтетической смолы и стойких красителей; написанное такой пастой не смазывается, быстро высыхает и не боится воды. Претерпел изменения и наконечник шариковой ручки – пишущий узел: шарик теперь часто делают из очень твердого вещества – карбида вольфрама, а наконечник изготавливают не из латуни, а из нержавеющей стали. Такой ручкой можно писать целый год.

## «Ракета» из баллона

Многие газы, используемые в лаборатории, медицине, промышленности, хранят в стальных баллонах. Чтобы в баллон вошло как можно больше вещества, газы закачивают в них под очень высоким давлением. Еще лучше, если газ удастся сделать жидким – тогда его в баллон войдет намного больше. Известно, что вещества в жидком состоянии занимают значительно меньший объем, чем в газообразном (при равной массе). Например, 1 кг жидкого пропана  $C_3H_8$  (при комнатной температуре он сжижается уже при небольшом давлении) занимает объем около 2 л, тогда как объем 1 кг газообразного пропана (при той же температуре и атмосферном давлении) – более 500 л. Однако некоторые газы сжижаются только при очень низких температурах, а при комнатной температуре они не превращаются в жидкость даже при самых высоких давлениях. Когда-то такие газы называли постоянными. Этих газов не так уж много; к ним относятся водород, азот, аргон, водород, гелий, кислород, неон, фтор, оксид азота, оксид углерода (угарный газ), метан и некоторые другие. Температура, выше которой газ не может быть превращен в жидкость, называется критической. Существование такой температуры теоретически открыл Д. И. Менделеев в 1860 г. и экспериментально исследовал ирландский ученый Томас Эндрюс в 1869 г. Например, для метана критическая температура равна минус 82,6 °С, а для пропана – плюс 96,6 °С. Так что пропан при комнатной температуре легко сжижается (при 22 °С – при повышении давления до 9 атм), а метан сделать при такой температуре жидким невозможно. Поэтому в качестве бытового баллонного газа используют не метан, а более дорогой пропан. Пропан – хорошее горючее, а главное – его можно хранить в сжиженном виде при невысоком давлении в сравнительно легких баллонах, и помещается его там намного больше, чем метана под давлением. Такие же газы, как метан, кислород, азот, приходится закачивать в толстостенные тяжелые стальные баллоны при очень высоких давлениях – примерно 15 МПа, или 150 атм (при низких давлениях газа в баллон поместится очень мало). Чтобы различить газы, баллоны окрашивают в определенный цвет: с кислородом – в голубой, с ацетиленом – в белый, с азотом – в черный, с гелием – в коричневый, с водородом – в темно-зеленый и т. д. Окрашенные в голубой цвет баллоны со сжатым кислородом можно увидеть в больницах, во время строительных и ремонтных работ.

Баллоны с газами под высоким давлением представляют определенную опасность, поэтому их хранят в строгом соответствии с правилами техники безопасности. Их нарушение может обернуться крупными неприятностями. Например, для смазывания вентилей баллонов с кислородом ни в коем случае нельзя использовать смазки на основе углеводородов: их реакция с кислородом, находящимся под высоким давлением, может привести к взрыву. Опасность представляет и водород, который используют во многих химических лабораториях. Ведь если вентиль плохо закрыть или он испортится, в помещение может попасть много водорода, который с воздухом образует взрывчатую смесь. Баллоны со сжатым водородом для безопасности прикрепляют с помощью специальных хомутов к стене или даже выносят во двор; в последнем случае газ поступает в лабораторию по тонкой металлической трубке.



Стальные баллоны со сжатым водородом

Что может произойти, если не выполнять строго меры безопасности? Вот какой случай произошел в одной лаборатории в США. Там по халатности баллон с водородом не закрепили, а просто оставили на некоторое время стоять у стены. Проходящий мимо сотрудник случайно задел баллон, и он упал. При падении вентиль на краю тяжелого баллона задел за край стола и отвалился. Из широкого отверстия со свистом стал с огромной скоростью вырываться сжатый газ. К счастью, рядом не было открытого пламени, иначе взрыв был бы неминуем. Но и без этого баллон наделал немало бед. Высокая скорость истечения водорода привела к тому, что лежащий баллон превратился в настоящую ракету. Как тяжелая торпеда, он пробил внутреннюю перегородку лаборатории, затем вторую, с огромной силой ударил во внешнюю кирпичную стену здания, пробил ее и приземлился во дворе в сотне метров от места своего старта!

## Засыплем в баки алюминий?

Ограниченность запасов нефти на планете, неоднократно разражавшиеся «бензиновые кризисы» уже давно поставили перед учеными задачу найти замену традиционному топливу для автомобилей. Первые электромобили появились чуть ли не одновременно с бензиновыми, однако до сих пор подавляющее число водителей заливают в баки своих машин бензин или солярку, намного реже можно встретить автомобили, работающие на газе, а вот электромобилей, вся энергия для которых запасена в аккумуляторах, на улицах до сих пор не видно. Почему так? Все решает экономика: бензин с необыкновенной легкостью побеждает аккумуляторы по количеству энергии, запасенной на единицу массы. Теплота сгорания бензина – около 40 000 кДж/кг (примерно такая же, как у природных горючих газов), т. е. в 1 кг жидкого топлива «содержится» более 10 киловатт-часов энергии, тогда как в аккумуляторах – обычно не более 0,2 кВт-ч на 1 кг их массы; 50-кратное превосходство бензина преодолеть исключительно трудно. Тем не менее появляются все новые, иногда довольно неожиданные предложения. Например, заменить бензин... алюминием! Алюминий – очень активный металл. Если его лишить защитной оксидной пленки (это можно сделать, смочив его поверхность небольшим количеством ртути или галлия), алюминий начнет прямо на глазах окисляться, рассыпаясь в белый порошок:  $2\text{Al} + 3\text{O}_2 = 2\text{Al}_2\text{O}_3$ . Если такой «активированный» алюминий внести в воду, он начнет энергично реагировать с ней, вытесняя водород:  $2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2$ . В щелочной среде реакция идет с образованием растворимого алюмината  $\text{NaAl}(\text{OH})_4$  и сопровождается выделением большого количества энергии. Если просто растворять алюминий в щелочи, энергия выделится в виде теплоты, и тогда ее трудно использовать. Но в так называемых топливных элементах можно заставить химическую реакцию вырабатывать электрический ток. Это свойство и решили использовать американские электрохимики Джон Купер и Эрвин Бэрин из Национальной лаборатории имени Лоуренса при Калифорнийском университете (США). Они создали прибор, в котором электрический ток вырабатывается в результате реакции алюминия с кислородом и водой в присутствии щелочи:  $4\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} + 4\text{NaOH} + 3\text{O}_2 = 4\text{NaAl}(\text{OH})_4$ . Анод в топливном элементе, использующем эту реакцию, изготовлен из алюминиевой пластины с добавкой 0,05 % галлия, катод – из пористого графита с катализатором. Образующийся при работе топливного элемента алюминат натрия несложно регенерировать; при этом образуются  $\text{NaOH}$  и  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Гидроксид натрия возвращается в раствор, а осадок гидроксида алюминия отфильтровывается и через каждые 500–1000 км пробега извлекается из автомобиля и сдается на приемный пункт, откуда его направляют на завод для получения из него алюминия.

Результаты эксплуатации опытных батарей показали, что при движении электромобиля массой 1,3 тонны со скоростью 90 км/ч 1 кг алюминия будет израсходован через 20 км пробега (для сравнения: 1 кг бензина обычно хватает лишь на 15 км). Правда, батарея топливных элементов (их потребуется несколько десятков) займет значительно больше места, чем бензобак, зато в электромобиле не будет карбюратора, цилиндров, трансмиссии и прочих деталей, без которых не может обойтись автомобиль с двигателем внутреннего сгорания: их заменят небольшие электромоторы, расположенные прямо на ведущих колесах. Заменять алюминиевые пластины в батареях тоже придется намного реже, чем заливать в бак бензин. Вроде бы все хорошо, но есть в этом заманчивом предложении один недостаток, который не позволяет широко внедрить его в жизнь. Алюминий на заводах получают с помощью электричества. Процесс этот очень энергоемкий: на 1 кг алюминия расходуется примерно 15 кВт-ч электроэнергии. Число автомобилей в мире исчисляется сотнями миллионов, и простой расчет показывает, что для их исправного снабжения алюминием необходима 10-кратная мощность всех суще-

ствующих электростанций! Значит, даже если бы новые автомобили работали со 100 %-ным КПД (чего не бывает) и человечество отказалось бы от всех других применений электричества (что также маловероятно), все равно лишь один из 10 «бензиновых» автомобилей удалось бы заменить на «алюминиевый». Вот почему во всем мире огромные количества нефти продолжают перерабатывать на бензин.

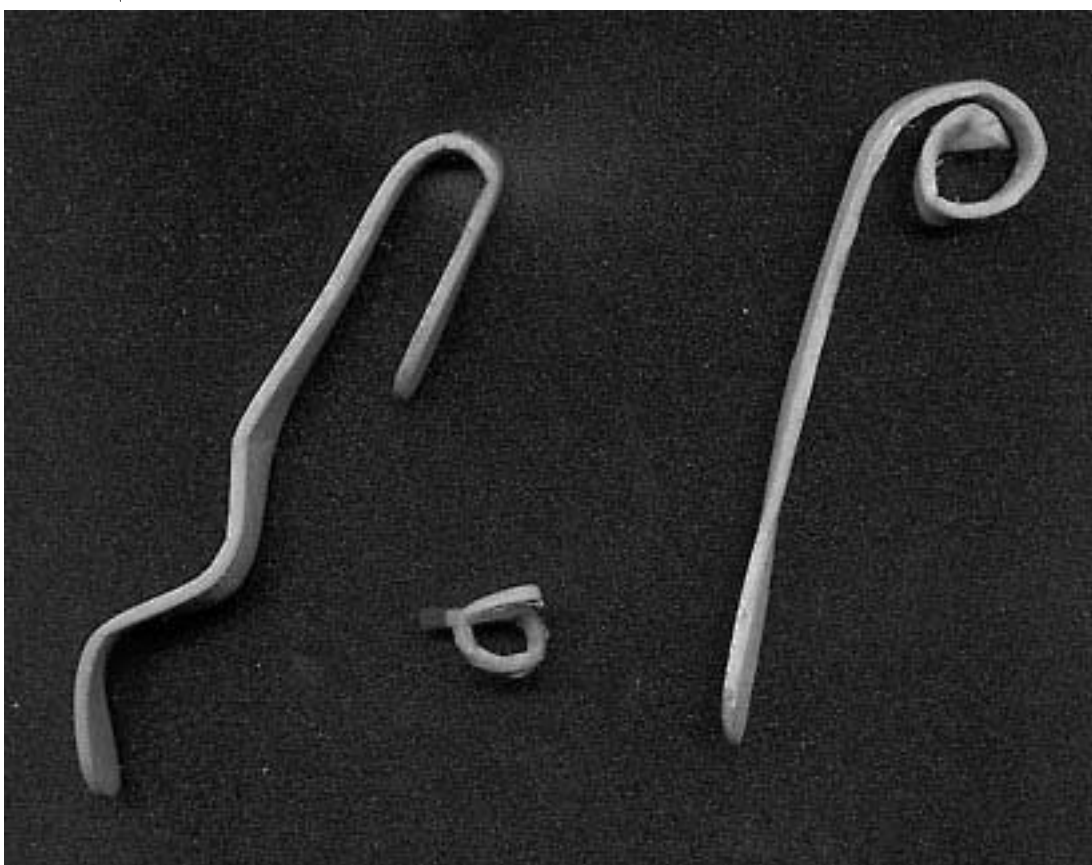
И все же алюминий нашел практическое применение в качестве топлива. Но не автомобильного, а ракетного. Ведь ракета, в отличие от автомобиля, должна нести в себе не только топливо, но и окислитель (жидкий кислород, жидкий тетраоксид азота  $N_2O_4$  и т. п.). Для полного сжигания 1 кг алюминия требуется почти вчетверо меньше кислорода, чем для сжигания 1 кг керосина. Кроме того, алюминий может окисляться не только свободным кислородом, но и связанным, входящим в состав воды или углекислого газа. При «сжигании» алюминия в воде на 1 кг продуктов выделяется 8800 кДж; это в 1,8 раза меньше, чем при сгорании металла в чистом кислороде, но в 1,3 раза больше, чем при его сгорании на воздухе. Значит, в качестве окислителя такого топлива можно использовать вместо опасных и дорогостоящих соединений простую воду. Реакцию алюминия с водой можно осуществлять, например, в двигателях ракеты первой ступени. Расчеты показали, что при этом запас топлива, который требуется для предварительного разгона многоступенчатой ракеты, можно уменьшить в 1,5–2 раза по сравнению с традиционными видами топлива. А на Венере можно было бы вообще не брать на ракету запас окислителя. В атмосфере этой планеты 97 % углекислого газа, в котором алюминий сгорает с выделением 15 000 кДж на 1 кг металла:  $2Al + 3CO_2 = Al_2O_3 + 3CO$ .

Идея использования алюминия в качестве горючего – не новость. Еще в 1924 г. отечественный ученый и изобретатель Ф. А. Цандер предложил использовать алюминиевые элементы космического корабля в качестве дополнительного горючего. Этот смелый проект пока практически не осуществлен, зато большинство известных в настоящее время видов твердого ракетного топлива содержат металлический алюминий в виде тонко измельченного порошка. Добавление 15 % алюминия к топливу может на тысячу градусов повысить температуру продуктов сгорания (с 2200 до 3200 К); заметно возрастает и скорость истечения этих продуктов из сопла двигателя – главный энергетический показатель, определяющий эффективность ракетного топлива. В этом плане конкуренцию алюминию могут составить только литий, бериллий и магний, но все они значительно дороже алюминия.



## «Резиновая древесина»

Дерево в основном состоит из целлюлозы; длинные полимерные цепи молекул целлюлозы (каждая содержит от 2500 до 3100 элементарных звеньев) закручены в спираль, жесткость которой обеспечивают внутримолекулярные водородные связи между гидроксильными группами –ОН. Водородные связи (их еще называют водородными мостиками) скрепляют между собой также соседние цепи целлюлозных молекул. Одна водородная связь довольно слаба по сравнению с другими химическими связями. Но так как мономерных звеньев (глюкозных остатков) в молекуле целлюлозы несколько тысяч, то и водородные связи, образуемые одной длинной молекулой, также исчисляются тысячами. Именно поэтому древесина такая жесткая и прочная. Однако водородные связи, скрепляющие целлюлозные цепи, можно разрушить, например, паром при высокой температуре. Тогда древесина становится гибкой. Именно так загибают, например, концы у деревянных лыж. Особенно легко водородные связи рвутся в жидком аммиаке, который связывает атомы водорода гидроксильных групп в ионы  $\text{NH}_4^+$ . В результате молекулы целлюлозы приобретают способность гнуться, а также скользить относительно друг друга. Такое свойство жидкого аммиака позволяет провести эффектный опыт по размягчению дерева. Для этого деревянную палочку, например от мороженого, нужно опустить на некоторое время в жидкий аммиак (он имеет температуру  $-33,4^\circ\text{C}$  и испаряется из обычного стакана довольно медленно; конечно, опыт можно проводить только в вытяжном шкафу). После того как палочка как следует пропитается жидким аммиаком, ее можно гнуть как угодно в любом направлении и даже свернуть в спираль – как будто она сделана не из дерева, а из мягкого свинца.



Эти спички и палочки от мороженого можно было согнуть не сломав, когда они были погружены в жидкий аммиак

Если теперь палочку вынуть из жидкости, то при комнатной температуре аммиак через несколько минут испарится, и водородные связи снова восстановятся – но уже в других местах. Палочка вновь станет жесткой, сохранив при этом ту форму, которую ей придали.

## Экология по-американски и по-советски

Проблемы защиты окружающей среды от вредного воздействия промышленного производства волновали людей задолго до того, как появилась наука экология. Решались эти проблемы по-разному. Но то, что случилось в середине XIX века в США, видимо, не имеет аналогов. В 1859 г. профессор химии Гарвардского университета Эбен Хорсфорд и текстильный промышленник из города Провиденса (штат Род-Айленд) Джордж Уилсон организовали в Сиконке (штат Массачусетс) химическое предприятие. Среди его основных продуктов были удобрения и изобретенный Хорсфордом пекарский порошок, который взрыхлял тесто при выпечке. С самого начала у нового производства возникли проблемы с законодательством штата, регулировавшим допустимые пределы загрязнения воздуха. Местные жители предъявили владельцам судебный иск, мотивируя его значительными выбросами вредных веществ в атмосферу. В 1861 г. владельцы химического завода решили эту проблему самым необычным способом: им удалось добиться изменения границы между двумя соседними штатами – Массачусетсом и Род-Айлендом! При этом западная часть Сиконка, где располагался завод, отошла к Род-Айленду; в результате этот штат приобрел очень важное для своей экономики предприятие. В то же время законы Род-Айленда были не такими строгими, как в Массачусетсе, так что трубы завода могли теперь дымить на вполне законном основании...

Другая, не менее курьезная история произошла в США в городе Филадельфии, через который протекают реки Делавэр и Скулкилл. Последняя давала городу примерно пятую часть питьевой воды. На берегу этой реки находились различные промышленные предприятия, которые сливали в воду свои отходы. В результате запах и вкус питьевой воды, взятой из реки, даже после хлорирования были настолько отвратительными, что было решено попробовать, не поможет ли тут озонирование воды. Озон, который буквально «сжигает» большинство органических соединений, превращая их в безвредные углекислый газ и воду, сделал свое дело: вода стала пригодной для питья.

Но вот парадокс: уже после обработки озоном воду продолжали хлорировать! Делали это не по глупости и не для перестраховки, а лишь для того, чтобы не нарушать закон. По закону же питьевая вода должна была попадать к потребителю после обязательного хлорирования. Никакой замены хлору законом не предусматривалось. Ничего плохого, кстати, хлорирование не давало: озон уже разрушил органические примеси в воде, а добавленный хлор со временем бесследно улетучивался и не приводил к появлению какого-либо запаха или привкуса. Конец этой истории тоже был «антинаучным». Когда под нажимом властей владельцы различных предприятий вынуждены были прекратить сброс в Скулкилл неочищенных промышленных отходов, станция озонирования была закрыта. Хотя логичнее было бы закрыть станцию хлорирования: как показала практика, озон значительно лучше хлора очищает питьевую воду. В настоящее время озонирование водопроводной воды применяется во все более широких масштабах. Ограничивает применение озона лишь более высокая его стоимость по сравнению с хлором.

А вот такая история произошла в нашей стране. В конце XX века ученые забили тревогу: в земной атмосфере появились и начали расти «дыры» в озоновом слое. Причины этого явления полностью пока не известны. Предполагают, что помимо природных факторов, влияющих на озоновый слой, появились и искусственные. Хорошо известный пример – фреоны. Фреоны – это углеводороды, в которых атомы водорода (некоторые или все) замещены атомами фтора и хлора. Фреоны не ядовиты, многие из них – летучие жидкости или легко сжижающиеся газы. Потому фреоны широко использовали в холодильной технике и для заполнения аэрозольных баллончиков, которые во всем мире выпускаются в огромном количестве: в них заправляют дезодоранты, лаки для волос, освежители воздуха, средства для мытья окон, полировки мебели

и т. д. и т. п. Понятно, что в конечном счете все эти фреоны попадают в воздух; так, только в 1973 г. в атмосферу было выпущено 230 тысяч тонн фреонов! Попавшие в воздух фреоны медленно, в течение многих лет и даже десятилетий, поднимаются с потоками воздуха все выше и выше, достигая наконец озонового слоя. Тут-то они и проявляют свое коварное действие: разлагаясь под действием солнечной радиации, фреоны высвобождают атомы хлора, которые начинают каталитически разлагать озон, что и приводит к снижению его концентрации. Пока не известно в точности, в какой степени именно фреоны повинны в «озоновых дырах», и тем не менее уже давно пытаются принимать меры, причем самые энергичные. Например, с 15 декабря 1978 г. в США было запрещено производство практически всех аэрозольных баллончиков, содержащих фреоны.

Казалось бы, надо делать все возможное, чтобы снизить выбросы фреонов в атмосферу. Но вот какая история произошла в конце 1980-х гг. в Особом конструкторском бюро одного московского института. Там в лаборатории использовали газообразный фреон. Его хранили в стальных баллонах под большим давлением. Регулярно, раз в два месяца, эти баллоны заменяли новыми. Как это было принято, для получения с завода шести новых, полностью заполненных баллонов с фреоном, необходимо было сдать шесть пустых. Однако случалось так, что к моменту замены (это могло случиться, например, после летних отпусков) был использован не весь фреон. Казалось бы, что за беда – сдай часть баллонов или перенеси обмен еще на два месяца. Но в условиях плановой социалистической экономики это грозило серьезными последствиями: раз весь фреон за два месяца не использовали, значит, он в таких количествах предприятию не нужен! Многим советским снабженцам эта ситуация была хорошо знакома: если к сроку не использовать выделенные фонды (деньги, реактивы, оборудование и т. п.), то в следующий раз можно их получить в сильно урезанном количестве или даже не получить вовсе! Так плановой экономике работать проще. Отсюда – огромные запасы сверхнормативного оборудования, материалов, реактивов на советских предприятиях: они появлялись по принципу «бери, когда дают» – на всякий случай, про запас, и чем больше, тем лучше.

Руководитель лаборатории, чтобы выйти из положения, отдал распоряжение рабочим выкатить баллоны во двор и открыть вентили. И целый день сотрудники слышали легкое шипение улетающего в атмосферу фреона. Что поделать – производственная необходимость! Успокаивали себя тем, что шесть баллонов сжатого фреона – не так много по сравнению с целой атмосферой. Как тут было не вспомнить чеховский рассказ «Злоумышленник», герой которого откручивал гайки с железнодорожного полотна.

Случались и значительно более печальные (и опасные) примеры вопиющей экологической безграмотности. Рабочий одного электролампового завода вынес с территории довольно много ртути; сделал он это в несколько приемов, так как ведро, заполненное до краев ртутью, весит около 150 кг! Причин для кражи было две. Во-первых, больше с завода вынести было нечего. Во-вторых, ртуть стоит дорого (в десятки раз дороже меди), так что была надежда выгодно ее продать. Однако охотников купить несколько десятков килограммов отравы не нашлось. И тогда какой-то «знаток» посоветовал рабочему использовать тяжелую жидкость на своем приусадебном участке – в то время он как раз устанавливал столбы для ограды. Ему сказали, что если выкопать в земле небольшую ямку, а потом залить в нее ртуть, то она своей тяжестью «продавит землю». Понятно, что земля никак не продавилась, но в результате вся округа была отравлена ртутью, вероятно на много веков вперед: ртуть в земле очень медленно превращается в растворимые соединения, а подземные воды разносят их на большие расстояния. Хуже того: металлическая ртуть может превращаться в земле в органические соединения, которые значительно более токсичны. Об этой опасности следует рассказать чуть подробнее. Чрезвычайно ядовитые производные ртути образуются в результате так называемого биологического метилирования. Этот процесс происходит под действием микроорганизмов и характерен не только для ртути, но и для мышьяка, селена, теллура. Ртуть и ее неорганические соеди-

нения, которые широко используются на многих производствах, со сточными водами могут попасть на дно водоемов. Обитающие там микроорганизмы превращают их в диметилртуть  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ , которая относится к числу наиболее ядовитых веществ. Диметилртуть далее легко переходит в водорастворимый катион  $\text{HgCH}_3^+$ . Оба вещества поглощаются водными организмами и попадают в пищевую цепочку: сначала они накапливаются в растениях и мельчайших организмах, затем – в рыбах. Метилированная ртуть очень медленно выводится из организма – месяцами у людей и годами у рыб. Поэтому концентрация ртути в биологической цепочке непрерывно увеличивается, так что в рыбах-хищниках, которые питаются другими рыбами, ртути может оказаться в тысячи раз больше, чем в воде, из которой она выловлена. Именно этим объясняется так называемая болезнь Минамата – по названию приморского города в Японии, в котором за несколько лет от отравления ртутью умерли 50 человек и многие родившиеся дети имели врожденные уродства. Опасность оказалась так велика, что в некоторых водоемах пришлось приостановить лов рыбы – настолько она оказалась «нашпигованной» ртутью. Страдают от поедания отравленной рыбы не только люди, но и рыбы, тюлени.

## Химик находит выход

С еще одной, причем довольно неожиданной, экологической проблемой столкнулся сотрудник Центра научного образования Кейптаунского университета (ЮАР) П. Э. Спаро. Одна из задач Центра состоит в помощи местным школам, которым требуется избавиться от старых химикатов. Такая работа может быть связано с серьезной опасностью; например, в некоторых давно хранящихся реактивах (диэтиловом эфире и др.) могут накапливаться взрывчатые вещества. Непросто утилизировать также запасы калия и других очень активных щелочных металлов. В данном случае опасность была связана не со взрывом, а с отравлением, но Спаро нашел остроумный выход из положения. Что же произошло?

Сотрудники Центра были несколько ошеломлены, когда получили для утилизации наполовину заполненную алюминиевую канистру с жидким сернистым газом. Как следовало из этикетки, она и содержала первоначально 500 г вещества. Ее металлическая закручивающаяся крышка сильно проржавела и «примерзла» к канистре намертво. Было такое ощущение, что им подсунили для обезвреживания настоящую бомбу! Действительно, при атмосферном давлении  $\text{SO}_2$  кипит при температуре минус 10 °С. Но в Южной Африке жарко (Кейптаун находится примерно на широте Багдада, только в Южном полушарии), поэтому давление в канистре вполне могло превысить 5 атм (такое давление над жидким  $\text{SO}_2$  достигается при 32 °С). Начали думать, что можно предпринять. Предложения были самые интересные. Например, поставить канистру посреди футбольного поля и метким выстрелом пробить в ней дыру. Но ЮАР – не американский Дикий Запад середины XIX века, да и пускать тяжелый ядовитый газ в городскую атмосферу тоже не годится. Предельно допустимая концентрация  $\text{SO}_2$  в атмосферном воздухе составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>, следовательно, содержимое канистры могло отравить около миллиона кубометров воздуха!

И тут Спаро вспомнил, что сернистый газ хорошо растворяется в воде (115 г в литре воды при 20 °С), образуя сернистую кислоту. В то же время воду в бассейнах (домашние бассейны в Кейптауне – не очень большая редкость) предписано обрабатывать для дезинфекции порошком гипохлорита кальция, который содержит так называемый активный хлор (гипохлорит кальция – один из компонентов хлорной извести). Чтобы вещество медленно выделяло хлор и было активным, необходимо, чтобы вода была чуть подкислена, то есть нужно поддерживать в ней достаточно низкий уровень pH. В кислой среде гипохлорит разлагается:  $\text{Ca}(\text{OCl})_2 + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{Cl}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ . Оксид  $\text{Cl}_2\text{O}$ , подобно хлору, обладает бактерицидным действием.

Итак, автор принес канистру домой, надел купальный костюм и маску и, держа в одной руке канистру, а в другой – тяжелый гаечный ключ, прыгнул в свой бассейн. Находясь под водой, он безуспешно пытался отвернуть пробку. При этом, как он вспоминает, за ним наблюдали двое: жена – очень волнуясь, а собака – с искренним интересом.

Отвернуть пробку так и не удалось. Но оказалось, что пустого места в канистре достаточно, чтобы она плавала на воде, и тут же возникла новая идея. Сернистый газ замерзает при температуре ниже –75,5 °С. Почему бы не заморозить канистру (для этого можно использовать жидкий азот, температура которого равна –196 °С), продырявить ее и бросить в воду – тогда жидкий сернистый газ, нагреваясь и испаряясь, будет постепенно растворяться в воде бассейна. Чтобы снизить расход жидкого азота, Спаро поставил канистру в домашний морозильник, температура в котором была около –20 °С. (При этом опасения жены несколько изменили свою направленность – она стала волноваться уже за сохранность холодильника и продуктов в нем.)

На следующий день автор принес из университета сосуд Дьюара с двумя литрами жидкого азота. Этого количества оказалось достаточно, чтобы за 5 минут канистра охладилась

значительно ниже, чем в морозильнике, а ее содержимое затвердело. Попросив жену отойти подальше (собака на эту просьбу не отреагировала) и сделав глубокий вдох, отважный химик, вооружившись большой отверткой, погрузил канистру в воду и пробил в ней дыру. Его мысли при этом вертелись вокруг вопроса, насколько обоснованны законы физической химии; оказывается, даже профессиональные ученые в определенных ситуациях могут в этом сомневаться... К счастью, законы сработали отменно: из отверстия не вышло ни миллиграмма замороженного ядовитого газа. Действительно, уже при температуре плавления ( $-75,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) давление паров  $\text{SO}_2$  снижается в 80 раз по сравнению с атмосферным, а при  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – в тысячу раз и составляет менее 1 мм рт. ст. Так что с понижением давления не ядовитый газ должен был выходить наружу, а наоборот – в пробитое отверстие должен был сразу зайти воздух (а в условиях «эксперимента» – вода). Удивительно другое: как канистра выдержала такое снижение давления в ней и не сплюснулась в процессе охлаждения! Возможно, в ней, кроме жидкого  $\text{SO}_2$  и его паров, был также воздух.

Некоторое время холодная канистра не представляла опасности. Так что можно было спокойно привязать к ней кирпич и бросить в бассейн. Кирпич лег на дно, а канистра висела между дном и поверхностью воды. Вскоре ее содержимое достаточно разогрелось, давление паров  $\text{SO}_2$  превысило атмосферное (плюс небольшое давление столба воды), и из отверстия начали выделяться пузырьки газа. В чистой воде было видно, что, поднимаясь, они успевали растворяться, пройдя всего четверть метра, и потому не достигали поверхности. Через 10 минут весь сернистый газ оказался растворенным в воде; никаких следов его запаха в воздухе не чувствовалось, а на опущенном в воду рН-индикаторе надпись «Добавить кислоту» сменилась на «Нормально». Так химику удалось справиться с задачей, и при этом получить моральное удовлетворение от применения на практике своих знаний. Все это он описал в заметке «Грандиозный эксперимент с канистрой, или Как обезвредить бомбу и перестать беспокоиться» – очевидная ассоциация с книгой Дейла Карнеги. Статья была опубликована в «Журнале химического образования», издающемся Американским химическим обществом – в назидание другим химикам.

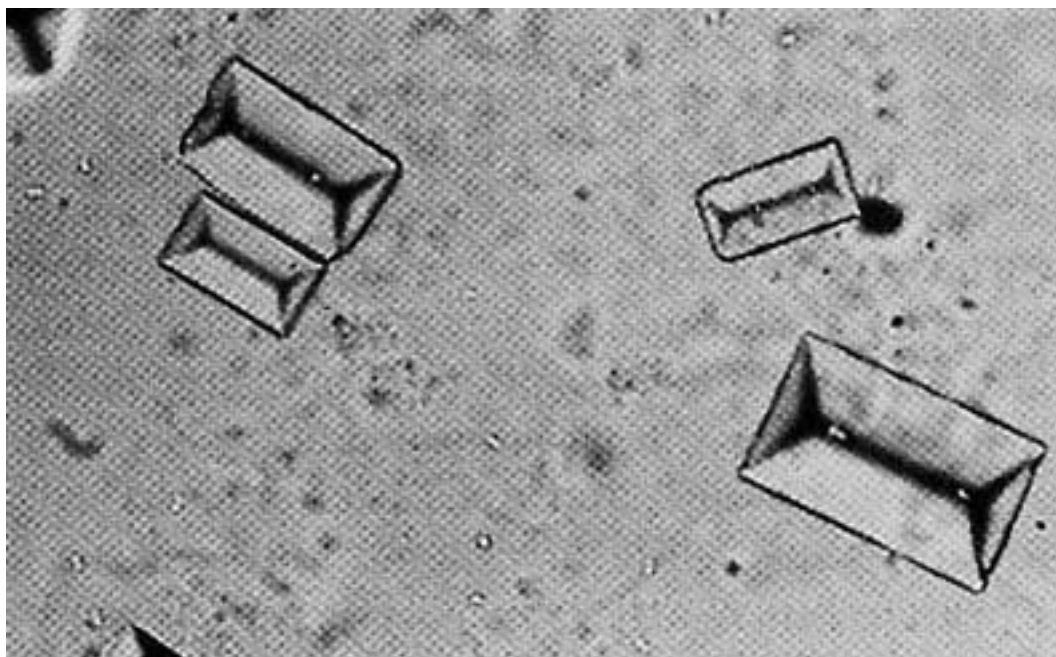
Интересно подсчитать концентрацию сернистой кислоты в воде. Домашние бассейны обычно невелики. Пусть его площадь составляет  $25\text{ м}^2$ , а глубина 2 м, тогда объем воды равен  $50\text{ м}^3$ . Если в канистре было 320 г  $\text{SO}_2$  (5 моль), то концентрация его в воде составила бы всего  $10^{-4}$  моль/л (6,4 мг/л). Сернистая кислота относится к кислотам средней силы. При таком разбавлении ее диссоциация по первой ступени  $\text{H}_2\text{SO}_3 = \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$  проходит практически полностью. Поэтому концентрация ионов водорода в растворе также будет составлять  $10^{-4}$  моль/л, что дает слабокислую среду с  $\text{pH} = 4$ .



## «Консервированные кристаллы»

В 1989 г. химик из Ленинграда (ныне Петербург) Н. А. Петрова, открыв консервы с дальневосточной треской, обнаружила на рыбьих костях странные комочки. Под сильной лупой эти комочки оказались твердыми прозрачными кристалликами. Испытания показали, что это минерал струвит – двойной фосфат магния и аммония, содержащий кристаллизационную воду:  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Минерал был назван в честь русского дипломата Генриха Струве (1772–1851).

В природе струвит встречается редко, но вещество этого состава хорошо известно химикам-аналитикам. Осаждение двойного фосфата аммония – магния используют как качественную реакцию на фосфат-анионы или на катионы магния. Реакцию проводят в слабощелочной среде, при которой фосфаты находятся в растворе в виде гидрофосфата:  $\text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{OH} + 5\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$ . Получается белый мелкокристаллический осадок, который практически нерастворим в воде, но растворяется в разбавленных кислотах. Образование осадка может происходить не сразу; чтобы ускорить кристаллизацию, стенку пробирки надо потереть стеклянной палочкой. Этот старинный прием создает на стенках центры кристаллизации, и дальше выпадение осадка идет легко. При сильном увеличении в осадке видны кристаллы характерной формы. С помощью этой простой реакции можно обнаружить фосфат-анионы в удобрениях и даже в напитках типа «Пепси» или «Фанта» (в небольших концентрациях в них добавляют свободную фосфорную кислоту). Фосфат магния – аммония имеет довольно редкую особенность: его растворимость в воде уменьшается при повышении температуры – от 0,52 г/л при 20 °С до 0,19 г/л при 80 °С. Как же появился струвит в консервах? То, что в рыбьих костях много фосфора, общеизвестно. Богатую фосфором рыбную муку используют как пищевую добавку к корму сельскохозяйственных животных и птиц. Ну а магний в небольших количествах мог попасть в консервы с морской водой. Вот при длительном хранении и выросли в банке мелкие кристаллики. Кстати, для человека они совершенно безвредны.



Кристаллы струвита под микроскопом

Не исключено, однако, что кристаллы фосфата выросли на костях еще при жизни рыбы. Ведь кристаллы струвита встречаются при мочекаменной болезни у собак и кошек, а также у людей – в почках и в мочевом пузыре. У рыб мочевого пузыря нет, так что если отложение струвита на костях произошло еще в живой рыбе, то это можно рассматривать как некий аналог подагры – болезни, которую в народе называют отложением солей.

## В чем растворяется золото?

Самородное золото, вероятно, было первым металлом, с которым познакомился человек. С древнейших времен блеск золота сопоставлялся с блеском солнца, на латыни – sol; отсюда и русское название этого металла. Английское gold, немецкое Gold, голландское goud, шведское и датское guld (отсюда, кстати, гульдены) в европейских языках связаны с индоевропейским корнем ghel и даже с греческим богом солнца Гелиосом. Латинское название золота aurum означает «желтое» и родственно с Авророй (Aurora) – утренней зарей. Яркий желтый цвет ассоциируется с золотом и в поэтических произведениях: «В багрец и золото одетые леса...» (А. С. Пушкин). У алхимиков золото считалось царем металлов, его символом было лучезарное солнце, а символом серебра – луна (в этой связи интересно, что отношение цены золота и серебра в Древнем Египте соответствовало отношению солнечного года к лунному месяцу). Когда алхимики открыли царскую водку – смесь соляной и азотной кислот, они с удивлением обнаружили, что она растворяет золото! Так появился символический средневековый рисунок: лев (царская водка), пожирающий солнце (золото). В современных обозначениях процесс растворения золота в царской водке выглядит несколько иначе: 
$$\text{Au} + 4\text{HCl} + \text{HNO}_3 = \text{HAuCl}_4$$

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.