

С обыкновенной электрической лампой связана одна из самых драматических историй в изобретательстве. Чтобы улучшить качество излучения, сделать свет лампы более похожим на солнечный, нужно повысить температуру нити накала. Но чем выше температура, тем быстрее идет испарение металла: нить становится тоньше, перегорает. В тисках этого противоречия (надо повышать температуру нити и нельзя этого делать) погибли сотни хитроумных проектов. Задачу пытались взять «в лоб» — с помощью комбинаторики, физики. И только совершенно неожиданный обходной маневр принес успех: испарение нити было уравновешено химической транспортной реакцией. «Дрессированные» молекулы газа стали послушно ловить и возвращать каждую испарившуюся частицу металла. Задача, казалось бы, никак не связанная с химией, была блестяще решена чисто химическим путем...

Химия позволяет получать поистине удивительные решения самых различных технических задач. Можно, например, хранить сжатый газ в бумажном кульке. Можно сделать воду сухой. Простое и дешевое вещество может заменить сложнейший высокочувствительный прибор. В принципе «дрессированные» молекулы могут все. Однако реально дела обстоят значительно скромнее. Прежде всего по вине самих новаторов, очень слабо использующих безграничные возможности химии. Статистика свидетельствует: химические эффекты, приемы, методы используются (за пределами самой химической технологии) всего лишь в одном изобретении из тысячи... Существует психологический барьер, заставляющий упорно перебирать громоздкие механические решения задачи, даже если изобретателю прекрасно известен — еще из школьной химии — эффект, дающий красивое химическое решение нехимической задачи.

Цель этой части книги: помочь молодому новатору увидеть в химии инструменты творчества — доступные, сильные, изящные. По сути, это первая книжная публикация об изобретательском применении химии, химических эффектов, химических веществ. На конкретных примерах здесь показаны химические пути решения изобретательских задач, раскрыты некоторые «секреты», связанные с «дрессировкой» молекул.

*А. Б. Селюцкий*

## І. ИЗ АРСЕНАЛА ХИМИИ

### 1.1. ХИМИЯ — ВОТ ГДЕ ВЫХОД!

1.1.1. Фантасты любят писать о синтезаторах — портативных машинах, производящих все, что угодно, по желанию их владельцев. Имея такую машину, легче жить и работать, например, в космосе. «Зачем,— убеждает своего компаньона герой рассказа Р. Шекли «Необходимая вещь»\*, — тащить с собой 2305 наименований запасных частей и деталей. Гораздо проще и логичнее получать необходимое в нужный момент». И вот такой момент наступил. При неудачном приземлении на далекую дождливую планету Деннет-4 корабль получил повреждения. Потребовалось заменить четыре одинаковых элемента. Но синтезатор выдал только один — оказывается, он настроен на создание новых вещей, а любая вещь бывает новой лишь однажды. Как быть? Герои рассказа после многих проб и ошибок решают эту задачу — они заказывают синтезатору произвести самого себя. Второй синтезатор выдает им еще один требуемый элемент и... третий синтезатор и т. д.

В похожей ситуации оказался и герой рассказа Г. Темкина «Костер»\*\* — косморазведчик Андрей, которого высадили на Четвертой планете. Впереди был месяц работы в одиночестве. С собой в экспедицию вместо снаряжения он взял только психосинтезатор: требовалось лишь сосредоточить внимание, зримо представить образ (а Андрей был признанным мастером психосинтеза) и... открывай дверцу и бери «жареного гуся, багровые помидоры, мягкий каравай...». Но вдруг с синтезатором что-то случилось, и он перешел на «химически чистый» режим работы — стал выдавать любой заказ в виде набора химических элементов. К тому же планета оказалась неожиданно холодной. Надо как-то выжить этот месяц. «Нужен костер, стуча зубами, сообщает Андрей,— срочно!» Дрова есть, но как их зажечь? Задача: нужен огонь, но для его получения можно использовать только то, что имеется на планете, плюс то, что дает синтезатор. Перепробовав все известные ему механические (физические) способы добывания огня (высекание искр, трение), он постепенно приходит к простой мысли: единственное спасение в использо-

\* Юный техник, 1981, № 1.—С. 30—37.

\*\* Юный техник, 1985, № 9.— С. 27—33.

вании школьных знаний по химии. Надо что-то соединить с чем-то так, чтобы реакция прошла с пламенем. В его распоряжении вся таблица Д. И. Менделеева. И даже вспомнился вдруг простейший опыт — опускаем кусочек натрия в пробирку с водой... Но вся хитрость в том, как представить себе чистый элемент, этот самый натрий, ведь в памяти Андрея школьный опыт оставил лишь смутное воспоминание о вырвавшемся из пробирки пламени. (Заметим, что имея Андрей прочные знания по химии, он смог бы получить из элементов десятки более эффективных «огнетворящих» соединений, например фосфорных.) Андрея спасает его находчивость и развитое «бытовое» воображение — вспомнив формулу поваренной соли, он концентрирует все свое внимание на образе огромного кристалла хлорида натрия. И синтезатор его не подводит: выдает отдельно хлор, отдельно натрий — «химическая» зажигалка готова.

1.1.2. Нет сомнений в том, что наши потомки учтут этот случай и улучшат систему подготовки косморазведчиков в области химических эффектов и явлений. А может быть, и нам стоит извлечь урок? Фантастика живет земными заботами, и писатель изобретает «космическую» ситуацию зачастую лишь для того, чтобы ярче и парадоксальнее высветить наши сегодняшние проблемы. Косморазведчики — редкая профессия, даже в будущем, а изобретателей — сегодняшних разведчиков будущего — миллионы. И если от знания химии в будущем будет зависеть (предположительно) жизнь косморазведчика, то сегодня «судьбы» многих изобретательских задач зависят (наверняка!) от вовремя примененного химэффекта.

*Задача об алмазе.* Предположим, возникла потребность делать точные отверстия в алмазе или изготовить шестеренку, микрофрезу и т. п. целиком из алмаза. Потребность вполне реальная: в клинике известного окулиста Федорова давно возник заказ на алмазные скальпели для микрохирургии глаза. Как надежно и производительно обрабатывать самый твердый из материалов? У задачи многовековая история. Известные методы обработки основаны на использовании того же алмаза: 1) царапанье одного кристалла другим (на надписи на знаменитом алмазе «Шах» ушли годы каторжного труда ювелиров древности), 2) шлифование или пиление с применением алмазного порошка и ультразвука (на что уходят часы, а то и дни кропотливого труда, в зависимости от величины алмаза). Были также попытки использовать луч мощного лазера для прожигания отверстия. Но отверстия получались неровные, требовалась дополнительная обработка, кристалл мутнел, растрескивался. Как быть?

1.1.3. *Задача об алмазе* явно неразрешима с использованием тактики штурма твердости «в лоб», той тактики, которая все еще, к сожалению, распространена среди изобретателей. Инерция мышления услужливо подсказывает изобретателю общеизвестные физические свойства алмаза и тут же ставит его в тупик: алмаз самый твердый (где взять более твердый инструмент для его обработки?); прозрачный (в том числе и для луча лазера, но тогда как сделать луч

еще мощнее и при этом избежать температурных напряжений в кристалле?) и т. д. Главная же сущность алмаза при решении задачи долго остается в тени: его химическая природа та же, что и у его «родных братьев» — графита и сажи. Алмаз — лишь видоизмененная форма углерода. Химия — вот где выход! Но и эта мысль часто остается без продолжения. Причина — незнание возможностей химии, ее хитростей.

Химические «фокусы» (технические применения химэффектов) непривычны инженеру, воспитанному на традиционной механике и физике. Вот отрывок из интервью с заслуженным изобретателем УзССР, членом ЦС ВОИР Кимом:

«Самоуверен.

— Я всегда решал задачи, за которые брался.

— А есть такие, за которые Вы бы не взялись?

Подумал немного.

— За химию не возьмусь. Не чувствую ее»\*.

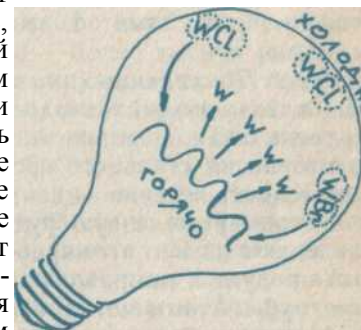
«Не чувствую» здесь значит «не знаю»... Что же получается? Логика решения задачи часто приводит изобретателя к столкновению с незыблемыми физическими законами. Это ловушка, из которой годами ищут выход, пытаюсь примирить непримиримое и совместить несовместимое. А рядом — химия, арсенал мощнейших инструментов, как бы специально созданных для «обмана» физических законов. Многие эффекты и явления могут десятилетиями лежать в запасниках химии, не находя технического применения. Нужен мостик между двумя отраслями знаний — химией и техникой. Строить этот мостик в первую очередь должны новаторы, на этом пути их ждут счастливые находки. Инженеров часто ошеломляет простота «химического» решения задачи, над которой они бились многие годы.

1.1.4. Одна из самых драматических историй в изобретательстве связана с обыкновенной электрической лампой. Неразрешимое, казалось бы, противоречие надолго затормозило развитие этого технического устройства. Чтобы улучшить качество излучения, сделать свет лампы более похожим на солнечный, нужно повысить температуру нити накала. Но чем выше температура нити, тем быстрее идет испарение металла: нить становится тоньше, перегорает. Любые попытки найти «оптимальное» решение отбрасывали инженеров назад: на внутренней поверхности колбы быстро образовывался темный налет испарившегося вольфрама, преграждавшего путь свету; лампа еще больше разогревалась, светимость ее быстро падала и нить перегорала. В тисках этого противоречия (надо повышать температуру и нельзя этого делать) погибли сотни хитроумных планов штурма задачи «в лоб». Каких только сплавов и легирующих

добавок к вольфраму не перепробовали, как только не меняли характеристики тока и температурный режим!

Что происходит в лампе? Под действием высокой температуры атомы вольфрама настолько сильно начинают раскачиваться в кристаллической решетке, что отрываются от нити и улетают. Куда? Все идет по законам физики: теплота переносится от более нагретого тела (нити) к менее нагретому (колба). Физические законы «страшнее» юридических, их невозможно нарушить даже при очень сильном желании. А нарушать и не надо, пусть все идет как положено по физике. Проблема в другом: как заставить атомы вольфрама вернуться назад и «приземлиться» на старое место? При этом желательно, чтобы атомы садились на нить не где попало, а именно там, откуда их больше всего вылетает, то есть нужно организовать замкнутый цикл по вольфраму внутри колбы. Одну половину цикла обеспечивает физика. Другая половина — перенос вольфрама из холодной зоны в горячую и точная «посадка» на нить накала — противоречит физическому закону. Значит, надо «обмануть» его, и поможет в этом химия.

В разработанной у нас в стране мощной ртутной лампе использовали бром — добавленный внутрь лампы, он взаимодействует с осевшим на колбу вольфрамом, образует бромид вольфрама, который, испаряясь, устремляется в зону с высокой температурой, разлагается, и вольфрам оседает туда, откуда он испарился. При этом даже частично разрушенная нить самовосстанавливается в процессе работы, как хвост у ящерицы. Самое замечательное то, что процесс этот не потребляет энергии извне, не требует никаких дополнительных обслуживающих систем — все обеспечивается безупречным поведением



«дрессированных» молекул. Сможете ли вы привести пример более идеальной системы?

## 1.2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

1.2.1. Кроме брома, в новой лампе накаливания в роли «извозчиков» могут работать, как оказалось, и другие элементы — хлор, йод и даже вода. Капля воды в колбе лампы — вот и все решение этой «неприступной» задачи! Что же это за химический эффект, с помощью которого так красиво и просто усмиряют непослушные атомы и молекулы?

Изобретатель и рационализатор, 1981, № 7.— С. 27.

Это так называемые химические транспортные реакции: твердые или жидкие вещества, взаимодействуя с газообразными, образуют сначала только газообразные продукты, которые после переноса в другую часть системы при повышении температуры разлагаются с выделением исходного вещества. Причем перенос может происходить как из холодной зоны в зону с более высокой температурой, так и в обратном направлении.

Так, легко образует газы соединения никель. Газообразную фазу, содержащую этот элемент, получают из тонкоизмельченной руды, воздействуя на нее окисью углерода при температуре 50° С и атмосферном давлении. После ее транспортировки по трубам в назначенное место температуру повышают до 200° С, и из газообразной фазы (карбонила никеля) выделяется мелкозернистый чистый никель. Это единственный известный науке метод получения сверхчистого никеля (99,99 процента).

На основе таких реакций созданы способы разделения и очистки многих веществ, перевода аморфных веществ (или веществ с дефектами в решетках) в хорошо организованные кристаллы. Например, очистка титана (англ. пат. 722 901), алюминия (пат. США 2 470 305), кремния (пат. ФРГ 966 471), железа (франц. пат. 1 136 699).

Применение подобного способа взамен гальванического при изготовлении литейных форм повысило производительность труда в 10 раз.

1.2.2. *Применение химически активных веществ позволяет упростить механическую технологию или вовсе отказаться от нее*, предельно увеличивая идеальность технических систем (ТС). Например, для изготовления стального проката совсем не обязательна традиционная цепочка «домна — конвертер — прокатный стан». Есть способ, по которому железную руду обрабатывают хлористым водородом, извлекают из нее атомарное железо, превращают его в газообразный продукт и направляют в камеру с затравкой, допустим, отрезком трубы. Атомы металла оседают на затравке, в точности повторяя ее форму и структуру. В результате из камеры непрерывно ползет новенькая труба с идеальной поверхностью.

Еще в 1852 году немецкий химик Р.-В. Бунзен, изучая вулканические газы, содержащие хлористый водород, упомянул о возможности переноса оксида железа в потоке этого газа. В 1889 году английскому ученому Л. Монду (основателю химической промышленности в Англии) удалось разрешить загадку, мучившую долгое время естествоиспытателей: в уличных газовых фонарях часто забивался красно-бурым порошком сетчатый колпачок, который перегораживал трубу в месте ее соединения с фонарем (чтобы пламя не распространялось по трубе). Колпачки то и дело приходилось менять. Станный порошок оказался окисью железа. Как он мог образоваться из горючего газа, с которым только и соприкасался

колпачок? Л. Монд установил, что железо переносилось со стенок труб окисью углерода, которая всегда присутствует в горючем газе. Прошло каких-то сто лет, и этот эффект один к одному использовали инженеры в разрабатываемой технологии добычи лунного железа (путем пропускания окиси углерода через шихту с последующим оседанием железа прямо на ленту транспортера). Журналисты тут же назвали эту идею смелой и необычной...

1.2.3. Классическим примером замены механической технологии химической может служить производство металлизированной ткани, являющейся пока единственным надежным средством борьбы со статическим электричеством (например, на нефтеналивных судах все канаты имеют металлические нити, брезентовые накидки армированы, в матросское белье добавлено около 1 процента хромо-никелевого волокна). До последнего времени отдельные волокна покрывали металлической пленкой, а затем на обычных ткацких станках перерабатывали в ткань. Сейчас предложена новая технология: вводить металл с помощью транспортных реакций прямо в готовую ткань, перематывая ее с барабана на барабан.

### 1.3. ПРИСЫЛАЙТЕ АЛМАЗЫ И ЗАКАЗЫ — ФИРМА СДЕЛАЕТ!

1.3.1. Когда-то академик А. Я. Ферсман составил библиографию художественных произведений об алмазе — более тысячи романов, рассказов, пьес, поэм. Алмаз — узел и пружина драматических конфликтов: короли и пираты, нищие и миллионеры, скитальцы и дельцы, романтики и сыщики, кровь, пот и слезы... Бесконечная череда приключений сопровождает всю беспокойную «жизнь» алмаза. Бывает, что эта блестящая светская «жизнь» трагически заканчивается. Типичный пример описан в одном из номеров миланского журнала «Эуропо»\*. На выставке-аукционе в Женеве один из посетителей заинтересовался алмазом, выставленным для продажи. Осмотр, как и положено, происходил не только в присутствии экспертов и стражи, но и под внимательным взором директора фирмы. Обследовав драгоценность, посетитель положил ее назад, на бархатную подушку. Но тридцать секунд спустя заметили, что камень потускнел.левой рукой незнакомец на место алмаза положил точную копию из стекла. Была поднята тревога. Оставшихся в помещении обыскали, но алмаз так и не нашли. Впоследствии его, как предполагают, распилили на части, которые уже невозможно опознать.

Как этот «фокусник» распилил алмаз — неизвестно. Одно можно утверждать с абсолютной уверенностью: только не с помощью химического «фокуса», изобретенного в Института геологии Якутского

\* Знание — сила, 1981, № 8. — С. 40.

филиала СО АН СССР. Эта сенсационная новинка запатентована совсем недавно. Она широко не рекламировалась, поэтому мало кто знает о ней, кроме специалистов.

Сенсация, как это часто бывает, началась с парадокса. Алмазный резец отлично справляется с любыми твердыми материалами. С любыми, кроме... стали. Еще хуже — с мягким железом. Алмаз сразу тупится о железо! Факт этот был известен с начала промышленного применения алмазного инструмента (а еще точнее, с 1799 года, когда во Франции были проведены первые опыты). Но факт никого не заинтересовал. Было только установлено, что алмазный углерод растворялся в железе (а также в кобальте, никеле и платине), причем лучше всего этот процесс шел при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Сенсации не было бы, если бы при исследовании проблемы происхождения алмаза якутские ученые не решили попробовать обратить вред в пользу. Железную пластинку положили на кристалл, который требовалось обработать, и нагрели до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Пластина потонула в алмазе! Но по мере насыщения железа углеродом процесс растворения быстро замедлялся. Вот если бы постоянно удалять углерод из железа! Тогда процесс удалось бы сделать непрерывным. Значит, нужна тонкая пластинка, в которой углерод быстро бы доходил до верхней плоскости и куда-то удалялся. Куда и как?

Этот эффект на транспорт вещества нам уже хорошо знаком: если твердое вещество (углерод) соединить с газом (водород, углекислый газ, водяной пар), то образуется газообразный продукт (метан, окислы углерода). В этом вся сущность термохимического способа размерной обработки алмаза, больше ничего не требуется. Затраты на внедрение минимальны и сводятся к стоимости устройства для нагрева требуемого количества алмазов (скажем, 1000 алмазов за один прием!) в атмосфере газа-реагента. Скорость обработки, достигнутая в лабораторных опытах, —  $0,3$  мм в час, может быть значительно увеличена. Изготавливать можно волокна, фильтры, шестерни и любые сложнопрофильные детали (например, подложки для интегральных схем). Надписи на алмазе сделать еще проще: типографским способом наносится рисунок из никеля, нагревается, и через 15 минут можете забирать свой алмаз с автографом!

Тут же может возникнуть вопрос: а нельзя ли сделать наоборот? Не растворять алмаз, а наращивать его. Да, такой эффект открыт членом-корреспондентом АН СССР Б. В. Дерягиным. В основе эффекта синтеза алмазов из углеродсодержащих газов (например, метана) лежит та же транспортная реакция. Метан поставляет атомы углерода, которые оседают на затравочный кристалл не беспорядочно, а под действием поверхностных сил кристалла-затравки продолжают его атомную кладку. Затравка здесь вроде программы, образца для строительства.



1.3.2. При «механическом» подходе к решению изобретательских задач трудно получить хорошее решение. Примером неудачного решения задачи о зданиях, которые должны сами себя гасить при пожаре, может служить английский патент 2 136 687: предлагается делать стенки из керамических блоков, наполненных под давлением азотом или углекислотой. Предполагается, что при нагревании блоки будут растрескиваться, и струи инертного газа погасят огонь. А теперь представьте, что вы вбиваете в такую стенку гвоздь или кронштейн...

Типичный химический эффект — возможность хранения газов в химически связанном виде, а затем, в нужное время, их выделение. Так, вместо хранения кислорода в сжатом виде в баллоне, его можно «хранить», например, в перекиси водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ . В Рижском политехническом институте предложено хранить кислород в порошке из смеси солей и неорганических перекисей. При нагреве 100 граммов порошка выделяется более 40 литров газа. Этого вполне хватит для поддержания в течение нескольких часов дыхания человека в экстремальных условиях.

1.3.3. Интересен и такой химический эффект: многие газы и летучие органические жидкости (эфир, хлороформ, фреоны и т. д.) способны образовывать с водой так называемые газовые гидраты — твердые кристаллические

вещества, напоминающие снег или рыхлый лед. Например, один кубометр гидрата содержит около 200 кубометров природного газа (такой гидратный лед можно поджечь на морозе и вскипятить воду). Даже такие газы, как водород и неон, сами по себе не образующие гидраты, удерживаются гидратами других газов в количествах значительно больших (водород — в 34, неон — в 220 раз), чем при обычном физиче-



ском растворении в жидкой воде. Условия образования газогидратов для разных газов различны и зависят от исходной температуры (чем выше температура, тем выше требуемое давление, степень сжатия). Так, например, метан при 0° С образует гидрат при давлении в 27 атм., а при —80° С — в 1 атм.; пропану при 0° С требуется давление всего 1,8 атм., углекислому газу — 30 атм., кислороду — 125 атм. и т. д. Подсчитано, что природного газа в гидратном состоянии в виде белого порошка содержится в илах на дне морей в десятки раз больше учтенных запасов на суше. Это богатейший и пока нетронутый энергохимический резерв будущего.

Этот химэффект находит все большее практическое применение в технике.



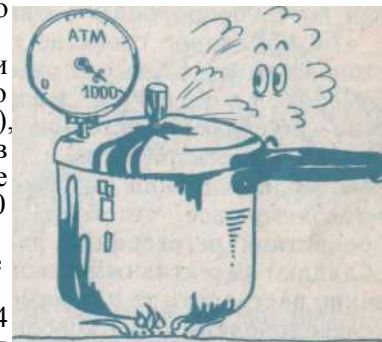
Наиболее простое применение — хранение газов в гидратном состоянии (а. с. 270 641, пат. США 2 375 559, 2 356 407, 2 270 016, 3 217 505 и др.). В основе такого способа лежит свойство газов резко уменьшать свой объем при переходе в гидратное состояние. На один объем воды в гидрате приходится от 70 до 300 объемов газа в нормальном состоянии. Например, водород можно хранить в гидрате хлороформа: при нормальном давлении и температуре ниже 0° С один объем гидратного льда содержит 34 объема водорода.

На различии условий гидратообразования для разных газов основан способ разделения газовых смесей (пат. США 2 633 529, англ. пат. 568 290, 568 292 и др.), например, в патенте США 2 399 723 предложено разделять этан и водород. Особое значение в промышленности имеют гидратные методы выделения гелия из природных газов (а. с. 342 655, пат. США 3 097 924), а также извлечение из природных газов сероводорода и углекислого газа (а. с. 303 485, 368 773). Технология добычи некоторых руд связана с необходимостью удаления больших объемов вод, насыщенных сероводородом, — предложен способ очистки воды от сероводорода гидратным способом. Для подготовки газа к дальнему транспорту требуется удалить из него углеводородный конденсат, насыщенный тяжелыми (не образующими гидратов) и легкими углеводородами. Способ удаления последних — а. с. 293 835, 376 432. Для транспорта конденсата можно использовать давление, получаемое при разложении этих же гидратов (а. с. 237 770).

Снижение влагосодержания газа. При пониженных температурах газа для его осушки можно эффективно использовать процесс связы-

вания влаги в гидрат с последующим выводом образующегося гидрата. Осушка производится путем ввода противотоком в газовый поток при температуре гидратообразования влажных веществ, мелких капель воды или сжиженных газов. Например, если в туман или облако ввести мелкие капельки сжиженного газа, способного к образованию гидрата, то вокруг каждой капли образуется зона с резко пониженной температурой. В этих зонах происходит конденсация паров воды и образуются микрокристаллы гидрата. Давление паров воды за счет образования твердой фазы — гидрата — еще больше понижается. Идет интенсивное «перекачивание» влаги с жидких микрокапель на поверхность растущих кристаллов гидрата.

При разложении гидратов путем подогрева в замкнутом объеме давление можно повысить в сотни раз, то есть при переводе газов через гидратное состояние можно повысить их давление (например, а. с. 802 604). Так, при разложении гидрата этана, полученного при 0° С и давлении 520 кПа (5,5 атм.), и повышении температуры в замкнутом объеме до 97° С давление составит 4 000 000 кПа (более 4000 атм.).



Первый патент на опреснение воды гидратным способом получен в 1959 году (пат. США 2 904 511). Этот способ опреснения считается одним из наиболее

перспективных. Общий принцип: при образовании газового гидрата из рассола извлекаются только молекулы воды, а соли остаются в растворе. Выделенный гидрат отмывается от рассола и разлагается на воду и газ. В качестве гидратообразователя используются различные углеводороды или фреоны.

Разложение гидрата путем понижения давления происходит с поглощением тепла (от 58 до 134 кДж/моль), что сопровождается значительным понижением температуры. Впервые кристаллогидратный способ получения холода описан в а. с. 355 459. В качестве гидратообразователя использован хлор. Гидратные установки энергетически выгоднее сорбционно-компрессионных. Модификации способа: а. с. 376 432, 452 726. В а. с. 1013 709 предложено «льдохранилище, содержащее корпус из теплоизоляционного материала, отличающееся тем, что с целью предотвращения загрязнения воды при размораживании льда в качестве теплоизоляционного материала используют искусственный нетоксичный тугоплавкий лед, получаемый из смеси воды с метаном».

При опреснении одновременно с извлечением чистой воды идет повышение концентрации рассола. Этот принцип используется для повышения концентрации растворов: получения концентрированного дейтерия (англ. пат. 1 113 215), концентрирования пищевых соков, патов, минеральных кислот и т. д. (пат. США 3 058 832).

Предложено использовать газогидраты в качестве своеобразного цемента при упрочнении гидротехнических сооружений (стенки каналов, основания плотин), а также для создания изолирующих экранов, непроницаемых для свободного газа, нефти, воды. Водонепроницаемость гидратов близка к глинам.

Разрабатываются и способы межконтинентального транспорта газа в гидратном состоянии в емкостях при небольшом давлении или по трубопроводам в контейнерах.

1.3.4. Главное свойство газов — «разлетаться» в свободном состоянии на отдельные атомы и молекулы — использовано в методе растворения веществ в сжатых газах. При сжатии газа (в условиях постоянной температуры) он становится все более сильным растворителем и наоборот — при снижении давления до некоторой величины газ уже не является растворителем, и из него выделяется все, что было растворено. Необычна легкость 100-процентной регенерации растворителя. Кроме того, сжатые газы обладают селективными свойствами, то есть способны преимущественно растворять те или иные группы соединений. Например, сжатые углеводородные газы хорошо растворяют углеводороды и плохо их кислородные производные.

В технике явления растворимости веществ в газах встречаются в процессах очистки, осушки и конденсации газов под высоким давлением. При сжатии в компрессоре газ растворяет масло, применяемое для смазки машин. Известно, что сжатый водяной пар уносит с собой из паровых котлов соли в растворенном состоянии, которые затем выделяются на лопатках турбин.

В настоящее время газовые растворы интенсивно изучаются. Все потенциальные возможности сжатых газов как растворителей пока не ясны. Появляются патенты на проведение различных технологических процессов с их использованием: экстракция ланолина (ценное жировое вещество) при мойке овечьей шерсти, растительных масел из масличных семян и т. д.

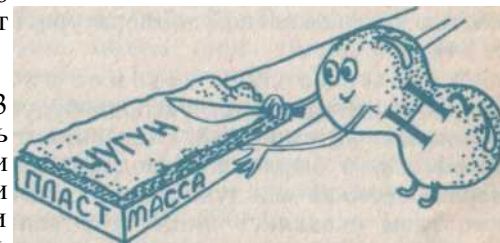
#### 1.4. ТЕХНОЛОГИЯ — «ПЛЮС-МИНУС» ВОДОРОД

1.4.1. Водород — первый элемент вселенной — становится все более популярным в технике и химической технологии. Гидрирование веществ, то есть присоединение водорода, давно применяется для производства маргарина, аммиака, синтетических

горючих, полимеров. В последнее время резко возрос интерес к водороду как эффективному энергоаккумулирующему веществу.

Ресурсы водорода в природе практически неисчерпаемы, поэтому заманчиво использовать его в качестве экологически чистого источника энергии. Преимущества водорода перед ископаемыми видами топлива очевидны: теплота сгорания в 3 раза выше, чем у бензина, энергии для воспламенения требуется в 15 раз меньше, а скорость распространения фронта пламени в 8 раз больше.

1.4.2. Еще недавно у специалистов по трению и износу вызывало удивление загадочное явление «намазывания» закаленной стали на бронзовую втулку в узлах трения или чугуна (у колесных ободов вагонов), на пластмассовые тормозные колодки. Причина — водородный износ, разупрочнение металла при насыщении его водородом. Теперь это «вредное» явление используют с пользой. Так, для облегчения резания легированной стали (а. с. 773 157) на ее поверхность воздействуют в присутствии меди водо-родсодержащими веществами — парами аммиака и воды, то есть обыкновенным нашатырным спиртом. В геттерных (вакуумных) водородных насосах откачивающее действие основано на поглощении газа металлом-геттером (а. с. 918 510).



При обработке металлов резанием используют также смазочно-охлаждающие жидкости с добавками полимеров. Под действием температуры полимерные молекулы разлагаются на углерод и водород. Углерод проникает в металл тем лучше, чем выше температура. При резании наиболее нагрета кромка инструмента — туда и устремляется углерод, упрочняя инструмент (цементация стали — известный процесс). Водород, напротив, лучше растворяется в холодных металлах: проникая в деталь, он разупрочняет верхний слой обрабатываемого металла.

При водородном износе особенно активен ион водорода (протон), его размер в 100 000 раз меньше, чем у ионов других элементов. Отсутствие электронной оболочки сильно облегчает взаимодействие протона с любыми молекулами. Образующиеся соединения разрушают связи, разупрочняют материалы. Как бороться с этим явлением?

Вспомним, что протон имеет положительный заряд. Если в узле трения обеспечить условия непрерывного (например, трибоэлектрического) образования положительного электрического потенциала на

защищаемой поверхности, то задача решается просто: в узел вводится вещество (например, пластмассовая деталь) с требуемыми свойствами.

'«Вредные» свойства протона (иона водорода) нашли парадоксальное применение в новой отрасли науки и техники — ионике. Здесь все наоборот: в веществах, названных суперионными кристаллами (твердыми электролитами), носителями электричества являются не электроны, а протоны, то есть по проводам из таких материалов можно передавать протоны. Тогда в «приемнике» будут получать ионы водорода, которые соединившись с электронами, смогут образовать атомарный и далее молекулярный водород. Пока этот проект не осуществлен из-за невозможности получать достаточно длинные кристаллические нити, но уже появились первые сообщения о синтезе полимеров, обладающих протонной проводимостью при комнатной температуре («Химия и жизнь», 1986, № 6, с. 94).

1.4.3. Способность металлов поглощать водород — надежда конструкторов будущих экологически чистых «водородных» автомобилей. Экспериментальные модели поражают чистотой своего выхлопа. У водородного «Фольксвагена», занявшего первое место на международных сравнительных испытаниях, выхлопные газы оказались чище, чем всасываемый двигателем воздух. Особенно чувствителен к водороду титан и его сплавы. Например, один грамм титаномарганцевого сплава способен при давлении  $30 \text{ кг/см}^2$  поглотить  $185 \text{ см}^3$  водорода, при сбросе давления водород из сплава выделяется. Аналогичный эффект наблюдается у сплавов титана с железом и ванадием (а. с. 894 984), никелем и ванадием (а. с. 849 706).

Для хранения водорода предлагают также использовать аморфный кремний (заявка ФРГ 3 110 290), калий и его сплавы (пат. США 4 327 071), скандий, цирконий, иттрий и другие (а. с. 958 317). Наиболее емкими (от  $160$  до  $230 \text{ см}^3$  на один грамм гидрида) являются литий, кальций, скандий, титан, иттрий, цирконий. По степени объемного поглощения уникальным свойством обладает палладий — в одном объеме палладия при комнатной температуре растворяется 850 объемов водорода (в одном объеме воды —  $0,02$  объема водорода).

Объемное содержание водорода в гидридах металлов выше, чем в жидком водороде. При этом для зарядки гидридов не нужны низкие температуры и компрессоры высокого давления.

Выделяющийся водород особо чистый — три девятки после запятой, даже в том случае, если в гидриде аккумуляровался баллонный водород с примесью кислорода, азота и влаги.

Тонкие ( $0,1 \text{ мм}$ ) пластины из палладия свободно пропускают водород. На этом эффекте основан промышленный способ очистки

по

водорода: газ пропускают под небольшим давлением через закрытые с одной стороны палладиевые трубки, очищая от примесей.

1.4.4. При насыщении металлов водородом изменяются их физические свойства. Прежде всего увеличивается объем и уменьшается удельный вес. В романе Б. Пруса «Кукла» описаны опыты знаменитого химика Берцелиуса с наводороживанием магния. Он пытался получить слиток магния легче воздуха — летающий металл.



Хотя летающие металлы и не удалось получить, но эффект «разбухания» металла нашел применение в технике. Его используют, например, при соединении деталей из разнородных материалов, которые невозможно соединить пайкой или сваркой (вольфрам и алюминий, сталь и керамика и т. д.). Титан и его сплавы увеличивают объем при гидрировании на 20 процентов — в нужном месте деталь из такого сплава образует плотное соединение. В а. с. 1 030 542 предложен способ изоляции водопри-тока в скважину, по которому в пласт вводят сплав титана с железом и закачивают водород при температуре  $100\text{--}200^\circ \text{C}$ .

Разбухание металла начинается с поверхностных слоев, поэтому в нем возникают неравномерные механические напряжения, например: если палладиевую пластину, покрытую с одной стороны лаком, поместить в водородную среду — она изогнется, как биметаллическая пластина от нагревания. А если эту пластину использовать в качестве одного из электродов для получения водорода путем электролиза воды, то получится пульсирующий генератор водорода.

При пересыщении водородом металлы разрушаются в мельчайший порошок — без шаровых мельниц и прочей механики.

Гидрирование металлов изменяет и их электрические и магнитные свойства: увеличивается электропроводность, меняется в широких пределах магнитная проницаемость. Эти свойства можно использовать для контроля расхода водорода из гидридных аккумуляторов, индикации водорода (а. с. 1 024 816). Та же идея положена в основу быстродействующего датчика водорода в воздухе — водород изменяет сопротивление в палладиевом затворе канального пленочного транзистора («Техника и наука», 1985, № 9, с. 14).

Наводороживание поверхностей материалов расширяет область применения акустико-эмиссионного способа контроля качества различных материалов (а. с. 1 022 045).

1.4.5. Способность гидридов металлов поглощать водород при охлаждении и выделять при нагрева-



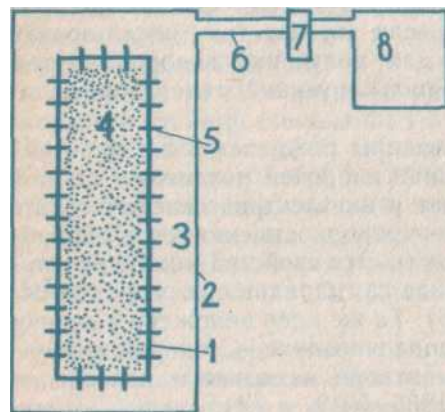
н и и выгодно использовать там, где идут циклические или обратимые тепловые процессы.

Простота и высокая надежность системы гидридного охлаждения (нет ни одной механически движущейся части) привлекла специалистов НАСА (США), разработавших систему охлаждения космических летательных аппаратов. Использована смесь металлов (интерметаллид), поглощающая в больших количествах водород при комнатной температуре. Система работает непосредственно на солнечном тепле, без преобразования его в электричество. Предполагается применять подобные системы для охлаждения в компьютерах, автомобилях, самолетных двигателях, кондиционерах воздуха.

Принцип действия таких систем основан на совместном использовании двух свойств водорода: высокой теплопроводности и способности поглощаться гидридами (или выделяться из них). Представьте себе термос, между стенками которого глубокий вакуум, а на дне — горсть гидрида. Вакуум — отличный теплоизолятор, теплопередачи между стенками нет. Теперь, если немного нагреть гидрид, то выделившийся водород станет проводником тепла между стенками. Выключим нагрев, и водород полностью поглотится гидридом, восстановится вакуум. Внутри термоса может быть аккумулятор тепла или холода. Тепловой поток может идти в любую сторону — изнутри или внутрь из внешней среды (например,

летом аккумулировать тепло, зимой — отдавать). Нагревать или охлаждать гидрид (включать или выключать теплопроводность) можно принудительно (электронагрев) или за счет внешней среды (самоуправление). По энергоемкости водородные термосы в 20 раз превосходят электробатареи.

В устройстве для аккумуляции холода (а. с. 903 670), работающем по тому же принципу, резко снижена инерционность теплопередачи, при накоплении холода и отдаче его в охлаждаемую среду обеспечено длительное сохранение холода, имеется возможность регулирования расхода холода в широких пределах.



Устройство для аккумуляции холода (а. с. 903 670):

1, 2 — стенки герметичной емкости; 3 — полость; 4 — аккумулирующее холод вещество; 5 — ребра теплообменника; 6 — трубопровод; 7 — регулирующее приспособление; 8 — камера с гидридом

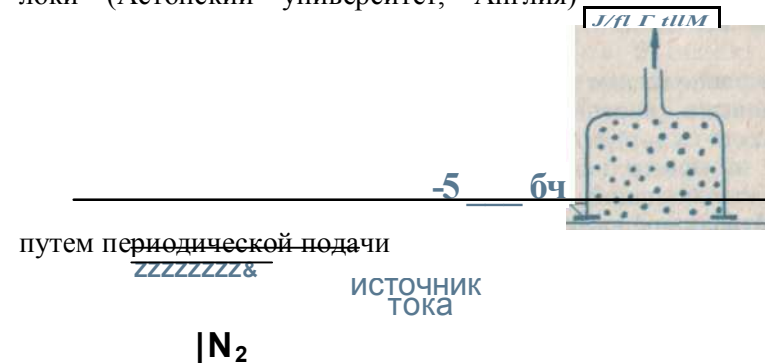
1.4.6. Еще в школьном курсе химии каждый изобретатель знакомился с главным свойством водорода — **восстановливать металлы из их оксидов**. Изобретения, основанные на этой способности водорода, поражают своей простотой — используется всегда один и тот же прием: если нужно получить чистый металл из его окиси, то обработай окись водородом. В новых изобретениях меняются лишь названия металлов и технологических процессов, где они используются. Впрочем, это несколько не смущает патентных экспертов, каждый раз они находят новизну. Вот несколько примеров.

Печь для археологов: для восстановления железных проржавевших изделий печь заполняют водородом и выдерживают в ней изделие при температуре 100° С.

Способ получения пористых металлических материалов (пат. ПНР 128 096): порошок металла смешивают с порошком оксида того же или другого металла, прессуют заготовку требуемой формы и затем восстанавливают оксид водородом при нагревании.

Способ улучшения качества отливок из металлов (пат. ФРГ 1265 356): поверхность песчаной литейной формы и литниковой системы покрывают гидридом кальция, при контакте с заливаемым металлом выделяется водород, который тут же восстанавливает возникающие на поверхности отливки окисные пленки.

Способ восстановления окислившихся частиц меди в порошковом контакте установки для непрерывного отжига стальной проволоки (Астонский университет, Англия)



Установка для непрерывного отжига стальной проволоки: протягивание проволоки; 2 — пористая перегородка; 3 — частицы меди; 4 — на рециркуляцию; 5 — труба, заполненная инертным газом; 6 — уплотнители

<sup>1</sup>Зак 137

в камеру небольших доз водорода. Пояснение: при больших скоростях подачи проволоки и больших величинах электрического тока (0,1—20 кА) не годятся угольные или металлические щетки (искрят и портят поверхность проволоки), поэтому щетки превратились в псевдожидкий слой медного порошка в камере, продуваемой азотом.

1.4.7. Из простейших безопасных способов получения водорода можно указать следующие:

— смесь порошков алюминия и каустической соды (1:2) плюс вода, выход—1 м<sup>3</sup> водорода на 1 кг алюминия и 2 кг каустической соды;

— гидрид лития плюс вода, выход—2,81 м<sup>3</sup> водорода на 1 кг гидрида;

— гидрид кальция плюс вода, выход—1,06 м<sup>3</sup> водорода на 1 кг гидрида;

гидрокарбонат натрия плюс вода, выход—2,38 м<sup>3</sup> на 1 кг гидрида.

## 1.5. ТЕПЛОВЫЕ КОНСЕРВЫ В ТЕХНИКЕ

1.5.1. В химических соединениях можно хранить не только вещества, но и энергию, например тепловую. Во многих технических системах используют тепловое поле — одно из самых распространенных и простых в применении. Физические структуры с тепловым полем имеют в ТРИЗ даже специальное название — тепполи.

Химики располагают большим числом веществ, способных выделять, поглощать, переносить или аккумулировать тепло. В связи с разработкой альтернативных источников энергии патентуются все новые и новые вещества, обладающие такими свойствами.

1.5.2. Есть большой класс энергоемких веществ, которые при химической реакции выделяют тепловую энергию. Они могут отдавать ее мгновенно или с регулируемой скоростью.

Для протекания реакции нужны, как правило, два компонента— горючее и окислитель. Примеры горючего: водород (1), метан (2), гидразин (3), гидридоалюминат лития (4). В качестве окислителя можно использовать фтор (5), кислород (6), перекись водорода (7), пентафторид хлора (8), пентаоксид азота (9) и другие вещества. Тепловыделение при взаимодействии (1) и (5) достигает 3265 ккал/кг, (2) и (5) —2776 ккал/кг, (4) и (9) —2936 ккал/кг.

1.5.3. Большой интерес представляют способы аккумуляции и рования тепла. Сюда относятся эндо- и экзотермические реакции, фазовые переходы, процессы растворения, адсорбции и т. д. Все они позволяют преобразовывать тепловую энергию в хими-

ческую и наоборот. Причем эти процессы могут быть многостадийными, дополнять друг друга.

Поглощать тепло и выделять его в нужное время и в нужном месте — разве не заманчиво использовать эти эффекты при решении технических задач?

В СССР разработан термохимический способ преобразования солнечной энергии: в реактор, нагреваемый сконцентрированными солнечными лучами, подаются метан и углекислый газ, которые в присутствии катализаторов превращаются в синтез-газ с поглощением теплоты. Затем синтез-газ сжигается в газотурбинной установке, отдавая запасенное тепло.

В качестве примера можно привести и способ превращения тепловой энергии в химически связанную (предложен в заявке ФРГ 2 950 251). Он основан на разложении метилового спирта при температуре 250° С на окись углерода и водород. При обратной реакции в присутствии катализатора выделяется тепло, затраченное на первоначальную реакцию разложения.

Подобный же процесс можно получить разложением сульфурита ( $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ) на двуокись серы и хлор (заявка ФРГ 2 944 926).

Во многих случаях достигается более высокая плотность накапливаемой энергии, чем в механических, водяных и свинцовых электрических аккумуляторах.

В Польше изобретен метод спасения терпящих кораблекрушение: если человек выпивает горячую жидкость, то он дольше держится на воде. Консервная банка с водой подогревается теплом, выделяющимся в ходе реакции между окисями кальция и алюминия, смешанными с водой («Советская Россия», 1984, 21 июля).

На способности солей кальция аккумулировать тепло основана разработанная в Швеции система теплоснабжения индивидуального дома («Техника и наука», 1985, № 5, с. 37). Летом с помощью солнечного коллектора тепло запасается в контейнере с запасом соли, а зимой при подаче небольших доз воды в контейнер тепло выделяется в ходе экзотермической реакции. Срок службы системы —25 лет.

1.5.4. Разработаны дешевые и доступные легкоплавкие тепло-аккумуляторные смеси, сохраняющие свои свойства при многократном изменении фазового состояния (плавление — затвердевание). Среди них смеси на основе хлорида кальция с температурой плавления 29° С (заявки Японии 55-82182, 55-84386), гидрофосфата натрия, имеющего несколько точек фазовых переходов (заявка ФРГ 2 952 166), ксилита, плавящегося при температуре 94° С и выделяющего энергию 258 Дж/г при кристаллизации (патент США 4 295 517), гидратов солей (патент США 4 237 023) и многие другие.

Английскими специалистами создан тепловой аккумулятор «Термогель» (состав теплоаккумулирующих веществ не раскры-

вается), работающий на фазовом переходе: пересыщенный жидкий раствор — кристаллизация. Жидкость остается холодной до тех пор, пока в нее не введут микродозу активатора. Тут же начнется кристаллизация с активным выделением тепла. Пакет весом 0,5 кг греет 6 часов. За это время он отдает все запасенное тепло, раствор затвердевает. Для зарядки его надо снова нагреть, при этом вещество вновь становится жидким — его можно хранить очень долго без потерь энергии. Цикл «зарядка — разрядка» можно повторять сотни тысяч раз, так как в аккумуляторе нечему портиться («Социалистическая индустрия», 1985, 21 ноября).

Впрочем, английский «фирменный» секрет может оказаться секретом только для взрослых, забывших школьную химию. В «Клубе



юный химик» («Химия и жизнь», 1978, № 7, с. 73—74) подробно рассказано об опыте, который каждый может проделать в домашних условиях: берется уксусно-кислый натрий (его получают из уксуса и пищевой соды) и нагревается до 58° С. При этом он плавится и остается жидким (остывая до комнатной температуры) неограниченное время. Для того чтобы вызвать кристаллизацию, в жидкость достаточно опустить маленький кристаллик той же соли. При

кристаллизации выделяется запасенное тепло. Опыт можно многократно повторять. Так что английский «Термогель» скорее всего является промышленной модификацией детского химического опыта.

Различные тепловые аккумуляторы получают широкое использование в быту. Например, для небольших теплиц за рубежом выпускаются аккумуляторы в виде двухлитровых коробок из черного полиэтилена, хорошо поглощающего солнечные лучи. Смесь солей в коробке плавится, запасая тепло, а при опускании температуры ниже 15° С затвердевает и медленно отдает тепло («Химия и жизнь», 1983, № 3, с. 19).

В Канаде предложено размещать тепловые аккумуляторы прямо в жилой комнате — совмещать их с мебелью, стенами и т. д. («Химия и жизнь», 1978, № 6). В качестве теплоаккумулирующих веществ используются серно-кислый натрий или эфиры стеариновой кислоты (температура плавления обоих веществ близка к комнатной: 25—35° С). Веществами лучше всего пропитать пористые материалы — тогда они не будут вытекать при расплавлении.

Еще дальше пошли американские химики — ими создана одежда из волокон, включающих особые пластинчатые кристаллы. Накоп-

ление и высвобождение тепла происходит при перестройке структуры кристаллов — в зависимости от колебаний температуры окружающей среды («Юный техник», 1985, № 10, с. 37).

1.5.5. В японской заявке 56-136872 для быстрого охлаждения выловленной рыбы предлагается использовать эффект охлаждения воды при растворении в ней гранулированной аммиачной селитры. Температуру в этом случае удастся понизить до — 5° С.

Но растворять азотное удобрение — не самый лучший способ получения эффекта одноразового охлаждения. Есть вещества, которые при растворении поглощают намного больше тепла. Например, хлорид серебра (—14,8 ккал/г-моль) или хромпик (—16,7 ккал/г-моль).

1.5.6.-Название открытия № 267 выглядит для нехимика устрашающе непонятным: «Явление волновой локализации автотормозящих твердофазных реакций». Но сущность открытого явления проста и парадоксальна — найдены условия и подобраны вещества для бескислородного саморегулирующегося горения твердых веществ, при котором нет отходов горения (газов, дыма, пепла). Это и другие новые химические явления и эффекты открыты при разработке нового метода получения тугоплавких соединений и материалов, названного самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС).

При безгазовом горении в качестве горючего используют металлы (титан, цирконий, гафний, ниобий, тантал и др.), в качестве окислителя — неметаллы (бор, углерод, кремний и др.). Смесь порошков прессуют в виде нужной детали и поджигают — по детали бежит тонкое ярко светящееся колечко (фронт волны горения). Скорость волны — несколько сантиметров в секунду. Волна доходит до противоположного края и деталь готова. В зоне горения развиваются очень высокие температуры (до 4000° К). Преимущества новой технологии (не «плавить — отлить в форму — обрабатывать», а «сжигать детали») очевидны: незначительный подвод энергии извне, простота оборудования, быстрота процесса, большая производительность, чистота продуктов.

Главная особенность процесса СВС — это быстрый внутренний саморазогрев за счет высвобождения химической энергии (экзотермическая реакция). Уже изобретено свыше 200 способов получения соединений. Разработаны технологии «самовыпечки» изделий и машиностроительных деталей с заданным составом, определенной формы и размеров с нужными потребителю свойствами; технологии сварки несоединимых ранее материалов, таких, как пары графит — графит, графит — ниобий, молибден — нержавеющая сталь и т. д. Но это только начало. Открытие зарегистрировано в 1984 году (приоритет а. с. СССР 255 221 от 1967 года), но уже открыты и другие эффекты СВС: поверхностное и послонное горение,

автоколебательное и спиновое (вращающееся) горение, эффекты расщепления и отражения волн горения, волновое расслоение среды.

#### 1.6. ФИРМЕННЫЕ СЕКРЕТЫ ШКОЛЬНОЙ ХИМИИ

1.6.1. В рассказе А. Азимова «Возьмите спичку...»\* сверхсветовой звездолет, совершивший прыжок через пространство тахионов, неожиданно для астронавтов «вынырнул» в плотном, густом как каша, газовой-пылевой облаке. Команда космического корабля оказывается в трудном положении: невозможно сориентироваться и нет никакой надежды заправиться межзвездным газом (водородом) для нового прыжка — пыль забьет все фильтры. Анализы забортной среды приводят астронавтов в уныние — приборы показывают мизерное содержание водорода и очень много каких-то гид-роксила и формальдегида. А вокруг, куда ни глянь — сплошная чернота, не видно ни единой звезды...



вещества с целью... Эта

1.6.2. Соединить два вещества с целью... Эта формула довольно точно отражает смысл многих технических решений, основанных на химических эффектах.

Для контроля процесса изготовления зубчатых колес нужно периодически проверять точность соприкосновения поверхностей зубьев в паре работающих колес. Существует много способов контроля «по отпечатку» — одно из колес смазывают каким-либо веществом и по контактному пятну определяют площадь и форму поверхности соприкосновения. Большинство из этих методов малоэффективны — сухие или жидкие красящие составы расплавляются, осыпаются, не дают четкого пятна. Физические методы точны (например, напыление люминофора с последующим осмотром отпечатка в УФ-свете), но требуют дорогой и сложной аппаратуры. Идеальное вещество должно «содержать» в себе всю эту аппаратуру, то есть давать яркий и четкий отпечаток, быть доступным и дешевым. Например, это может быть пара химически активных по отношению друг к другу веществ, таких, как хлорид кобальта и вода (а. с. 796 641).

\* Знание — сила, 1981, № 1. — С. 45—47.

Их наносят на разные колеса и в месте контакта хлорид кобальта меняет свой цвет с голубого на ярко-красный. Таких веществ множество, часть из них (тот же хлорид кобальта) используется в занимательных опытах на уроках химии.

Изобретения, основанные на использовании пары реагирующих друг с другом веществ, можно найти в любом подклассе патентной информации. Причем чаще всего эти изобретения именуются способами, то есть изобретениями более высокого ранга, чем устройства и вещества. Вот лишь некоторые из них: а. с. 730 335 — способ консервации яиц (перекись водорода плюс окись кальция), а. с. 854 713 — способ металлизации древесины (двуокись азота плюс муравьино-кислая медь), а. с. 893 964 — способ получения пористых изделий из углерода (хлор плюс кремний), а. с. 894 020 — способ нанесения медных покрытий (хлор плюс медь), а. с. 920 422 — способ обнаружения утечки из изделий (целлюлозная пленка плюс активный газ).

Получаемые с помощью соединения двух активных веществ химические эффекты применяются не только в технике.

Грозное оружие жука-бомбардира, защищающее его от многочисленных врагов, действует на смеси перекиси водорода и гидрохинона. Оба вещества вырабатываются специальными железами и при угрозе нападения выпрыскиваются в «реакционную» камеру. Образуются бензохиноны (ядовитые вещества с сильным запахом) и кислород, который выбрасывает струю из «форсунки» брюшка. Эта реакция дает много тепла, температура струи 100° С. Скорострельность как у пулемета — 1000 выстрелов в минуту.

Даже простейшие манипуляции с химическими эффектами окутаны тайной и магией для непосвященных. «Чудодейственные» способности филиппинских врачей (хилеров), будто бы делающих операции без скальпеля, объясняются ловкостью рук и элементарными химическими знаниями: кокосовое масло, которым они смазывают операционное поле, смешиваясь с сортом одного им известного растения, дает кровавую окраску («Литературная газета», 1985, 30 января, с. 13). А вот как описывается в журнале «Шахматы» (1971, № 11, с. 19) жеребьевка на матче претенденток на звание чемпионки мира между Наной Александрией и Милункой Лазаревич в Голландии: «Здесь жеребьевка была проведена с помощью графинов и мензурок. Жидкость, которую налила Нана из графина в мензурку, окрасилась в черный цвет. Но повезло Милунке — ее мензурка после идентичной манипуляции осталась прозрачной, и первую партию ей «вылилось» играть белыми. Изобретателем новинки оказался главный врач фабрики медикаментов, которая финансировала проведение матча...»

Понятно, что для того, чтобы эффектно применять даже школьные химэффекты, их нужно знать. За незнание же часто приходится

## V

расплачиваться — как тем астронавтам из рассказа А. Азимова. Кстати, спас их пассажир звездолета — школьный учитель, который должен был знать понемногу обо всем на свете, потому что ребята вечно задают вопросы и легко распознают липу. Он рассказал суперфизикам, что гидроксил и формальдегид — готовая горючая смесь, стоит немного сжать ее, как пойдет обычная экзотермическая реакция с выделением тепла.

Не выходит за рамки школьного курса химии и изобретение по а. с. 857 356, поданное читателям журнала «Изобретатель и рационализатор» (1983, № 2, с. 19) в несколько сенсационном духе: «впервые... чистый и экономичный... неисчерпаемые запасы...» Да, следует признать, что «химические» изобретения пока еще редки, экзотичны в массе «механофизических» изобретений. По подсчетам кандидата химических наук В. А. Михайлова, эти изобретения (вне самой химии) составляют менее 0,01 процента от общего количества изобретений в мировом патентном фонде.

Решение, предложенное в а. с. 857 356, близко к идеальному. Рассмотрим исходную ситуацию. В глубинах Черного моря содержится несколько миллиардов тонн серы высокой чистоты. Как их получить? Все способы выделения сероводорода из морской воды имели недостатки, главный из них — как поднять огромную массу воды из глубин и прогнать ее через химические установки, размещенные на добычном судне? Идеал — вода сама поднимается с глубины 260 метров. Так и сделали. Предложено поднимать сероводородную воду силой самого сероводорода: у нижнего торца трубы создают условия, при которых часть сероводорода выделяется в виде газа; газ замещает часть воды в трубе, отчего давление в ней становится меньше, чем снаружи; вода засасывается в трубу и газоводная смесь движется вверх (эрлифтный эффект). Но как заставить сероводород выделяться из воды в слое, находящемся под огромным гидростатическим давлением? Тут-то и применили химэффект. Известно, что сероводород плохо растворяется в воде, и держится-то он в мертвой глубинной зоне Черного моря в основном благодаря давлению. Какой показатель химического равновесия сдвинуть? Проще всего кислотность, поскольку сероводородная вода имеет слабокислую реакцию. Если еще немножко подкислить раствор, то газ «не захочет» в нем оставаться. Роль спускового крючка сыграл сухой лед (твердый углекислый газ), который при подаче в нижнюю часть трубы хорошо растворяется в воде с образованием угольной кислоты. Приведенное решение, конечно, не единственное. Равновесие можно сдвинуть и по другому показателю, да и подкислять можно иначе.

1.6.3. Разбор *типичной задачи*. В технологических процессах часто требуется использовать какой-либо газ со строго заданной влажностью. Но как гарантировать заданную влажность на входе в технологи-

ческую установку, если газ предварительно проходит долгий путь по трубопроводам?

Идеальный конечный результат (ИКР) задачи ясен: заданная влажность должна сама возникать непосредственно перед установкой. Но что такое влажность? Это молекулы воды, состоящие из водорода и кислорода. Значит, одно из возможных решений может быть таким: к газовому потоку заранее подмешать некоторую дозу водорода, а непосредственно перед установкой пропустить поток через оксид металла (например, оксид меди) при повышенной температуре. Тогда... (а. с. 882 928).

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Автомобили непрерывно совершенствуются. Главная черта этих изменений — перевод подсистем автомобиля на самообслуживание и саморегулирование. Самоподкачивающиеся шины, самосмазывающиеся узлы и т. д. Аккумулятор — подсистема, которая не меняется десятилетиями. Что можно перевести в нем на режим «само...»? Начнем с малого — освободим автолюбителя от необходимости периодически доливать дистиллированную воду. Как это сделать? Нужен «вечный» аккумулятор.

**П о я с н е н и е .** Аккумулятор обычный, электролитический, его не надо менять. Для получения идеи решения достаточно иметь элементарные сведения о его работе.

2. Проникая в стекло, водород изменяет его структуру. А это, как оказалось, может привести к затуханию световых волн в световодах оптических кабелей. Особая опасность грозит подводным кабелям: при коррозии стальных кабельных оболочек в морской воде образуется водород в достаточных концентрациях. Как предотвратить порчу световодов?

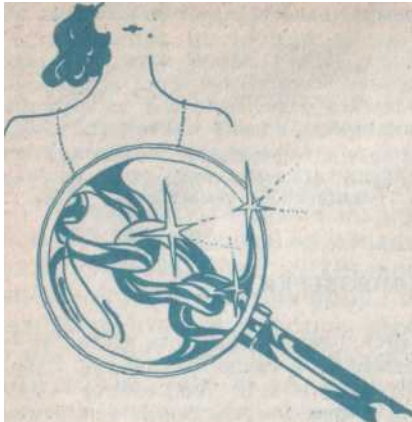
**П о я с н е н и е .** Специалисты столкнулись с этой проблемой совсем недавно (см. «Химия и жизнь», 1984, № 5, с. 25) и она не имеет пока «патентного» решения. Такое обоснованное решение потребует, по-видимому, специальных исследований. Но идею вы найти сможете.

3. При строительстве на вечной мерзлоте все сооружения ставят на сваи или опоры, забиваемые в мерзлоту, и том числе ЛЭП, нефтепроводы и другие линейно-протяженные сооружения. Большая часть сооружений прокладывается в труднодоступных и удаленных от населенных пунктов районах. Устойчивость этих сооружений зависит от глубины летнего оттаивания верхнего слоя грунта. В жаркие годы часто случаются аварии, поэтому опоры сооружений находятся под постоянным контролем. Патрульный вертолет зависает над очередной «точкой», а рабочий быстро спустившись по лестнице па землю со своим контрольно-измерительным «прибором» — заостренным стальным стержнем — быстро определяет глубину оттаивания.

Предложите простой способ, позволяющий экипажу вертолета, не приземляясь, определить — находится ли опора в аварийном состоянии.

**П о я с н е н и е .** Задача имеет несколько «физических» решений, но почти все они требуют источников электроэнергии, периодического осмотра аппаратуры и г. д. А превышение предельной глубины оттаивания, то есть аварийное состояние опоры, может наступить, допустим, один раз в 10 лет. Предложите простое и надежное «химическое» решение.





4. Автомат на ювелирной фабрике делает из золотой проволоки звенья и тут же сцепляет их между собой. Остается лишь соединить кончики проволоки в звеньях — и цепочка готова. Соединять концы надо сплошным золотым «мостиком» того же диаметра, что и проволока, то есть переход должен быть незаметен и прочен. Одно из решений было такое: цепочку окунают в ванну с горячим веществом, стряхивают излишки, в зазорах под действием капиллярных сил задерживаются капельки горячего вещества. Затем следует сильный разогрев в месте разрыва, вещество горит и заплавляет концы. Но способ плохо «работает» на цепочках с размером звеньев менее 1—2 мм — горячее вещество задерживается не только между концами. Как быть?

Пояснение. Нет смысла модернизировать термитный способ сварки, поскольку возможность ошибки

(капиллярного удерживания горячей смеси не в том месте, где надо) останется. Идеальное решение должно быть примерно таким: оба конца вырастают навстречу друг другу и прочно соединяются.

5. При разработке среднеазиатских месторождений природного газа, содержащего примесь сероводорода в 20—30 раз больше обычного, специалисты столкнулись с необычным явлением: одновременно на всех скважинах начались катастрофически частые обрывы обсадных труб буровых колонн, затем разрушение насосно-компрессорных труб и оборудования. В столь крупномасштабный брак стальных труб и деталей трудно было поверить. Начались тщательные исследования причин аварий. Первые же простейшие опыты потрясли очевидцев: вынутые из скважин трубы, не имеющие изъянов и признаков коррозии, рассыпались при ударе на множество осколков, как стеклянные. Заключение специалистов гласило: химический состав материала труб отвечает ГОСТу. Результаты анализа условий производственной эксплуатации труб также были парадоксальны: чем прочнее сталь, тем быстрее она разрушается, чем ниже температура и давление (то есть чем мягче условия работы), тем быстрее разрушение...

Виновником аварий, как вы уже догадались, оказался водород. Радиус его атомов столь мал, что водород свободно проходит сквозь кристаллическую решетку металла, накапливается под большим давлением в местах границ зерен и микротрещинах. Металл распирается изнутри. Некоторые легирующие добавки растворяют водород лучше железа. Причем, чем ниже температура, тем лучше растворяется водород. Использование непроницаемых для водорода твердых (эмалевых, эпоксидных) и жидких (постоянно обновляемых) покрытий не дает радикальных результатов. Кроме того, технология покрытий сложна и неэкономична.

Две задачи (мини- и макси-задача) на выбор:

а) предложите промышленникам метод прогнозирования аварий — как определить срок службы труб и оборудования, чтобы вовремя сделать замену; б) предложите эффективный способ защиты металла от проникновения водорода внутрь.

6. Эта задача напрямую не относится к тематике главы. Один из возможных ответов вы найдете в дальнейшем рассказе о химэффектах. Хотя, если подумать..., то одну-две идеи можно получить и на основе уже известных вам эффектов (или их сочетаний).

Итак, за всю историю Земли на ее поверхность не упали две одинаковые снежинки. Какое бы несметное количество их ни выпадало, все они различаются формой, размерами, деталями. Представим себе, что возник новый вид коллекционирования — собирание снежинок. Причем собирать нужно не фотографии (любой

уважающий себя коллекционер собирает только подлинники), а именно снежинки или, на худой конец, их точные слепки. Коллекционеры, назовем их гляцио-нистами, самозабвенно охотятся за необычайно красивой, вычисленной пока только теоретически, снежинкой «~ Снежной Королевой». Как помочь коллекционерам?

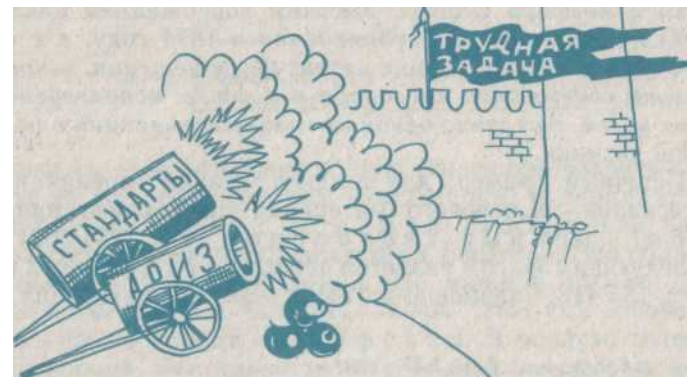
*Примечание к задачам этой главы и всех последующих:* есть задачи, которые решаются прямым применением эффекта или в две-три попытки. Все нормально, если на этом процесс решения задачи заканчивается (при наличии уверенности «попадания в цель»).



**Внимание!**

Ни в коем случае не продолжайте перебор вариантов! Это значит, что вам попалась задача не в один ход или вы недостаточно полно усвоили химэффекты. Будет неплохо, если вы еще раз просмотрите прочитанное. Можно также обратиться к Указателю химэффектов в конце раздела.

Но есть и такие задачи, которые не имеют однозначного ответа или пока не решены. В этом случае требуется применение более «тяжелой артиллерии» — стандартов или АРИЗа.



## 2. АГЕНТ 000

### 2.1. ОКС + ИГЕН = ОКСИГЕН

Не ищите на картах Кикандон. Этот маленький городок на юге Франции существует только в повести Жюль Верна «Фантазия доктора Окса»\*. В сонный, захолустный Кикандон (население 2 393 человека) приезжают доктор Оке и его помощник Иген. Доктор неслышанно щедр: он берется построить городскую систему газового освещения. Прокладываются трубы, сооружается газовый завод. И в тишайшем Кикандоне происходят невероятные события. Чудовищно разрастаются овощи и фрукты. Появляются колоссальные цветы. Кошки, собаки, лошади непонятно почему проявляют буйную энергию. Наконец, сами кикандонцы, кроткие и флегматичные, превращаются в забияк, драчунов, дуэлянтов. Всеобщее возбуждение достигает такого накала, что Кикандон объявляет войну соседнему городу... А потом взрывается газовый завод — и мгновенно наступает успокоение. Оказывается, завод вырабатывал кислород и насыщал им атмосферу города, а Оке и Иген исследовали влияние кислорода («оксигенума») на людей, животных, растения...

### 2.2. КИСЛОРОДНЕЕ КИСЛОРОДА

2.2.1. Земля — «воздушная» планета. И неудивительно, что земная техника тоже «воздушная»: воздух используют в самых различных технологических процессах, прежде всего — в процессах горения и окисления. Но воздух, как известно, на  ${}^4\text{D}$  состоит из пассивного азота и лишь на  $1/5$  — из активного кислорода. Поэтому фантазия доктора Окса — подобно идеям многих других героев Жюль Верна — оказалась реальным техническим предвидением: должно было наступить время, когда для увеличения мощности и производительности «технических организмов» потребовалась искусственная атмосфера с более высоким содержанием кислорода. Повесть Жюль Верна была опубликована в 1874 году, а с начала двадцатого века все чаще и чаще патентуются решения, основанные на увеличении содержания кислорода в воздухе, используемом для технических целей. Это стало одной из главных тенденций в развитии современной техники.

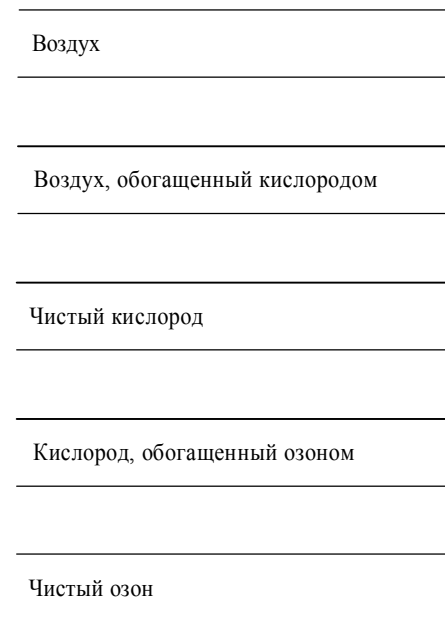
2.2.2. Типичный пример: для интенсификации горения при обжиге и спекании дисперсного материала предложено применять воздух, обогащенный кислородом (а. с. 254 536). Естественно, следующим шагом является переход к чистому кислороду. А. с. 185 418: плазменно-дуговую резку нержавеющей сталей

ведут (для повышения качества и производительности) в чистом кислороде.

Закономерный вопрос: а что дальше? Что может быть «кислороднее кислорода»?

2.2.3. Молекула кислорода состоит из двух атомов. «Кислороднее кислорода» — озон, молекула которого построена из трех кислородных атомов. Вслед за применением кислорода начинается полоса технических решений, основанных на использовании озона. Примеры: обработка питательной воды энергетических установок кислородно-озонной смесью (а. с. 771 026), окисление озоном при химическом анализе металлоорганических примесей (а. с. 792 095).

2.2.4. Итак, логику развития технических систем, использующих кислород, можно представить схемой:



Линия «а — д» отражает общую тенденцию развития техники — переход ко все более сильным окислителям. В терминах ТРИЗ это принцип (или цепь приемов). «Остановки» на линии — структуры, формы используемого вещества. Это область химии, в частности, физической химии. На каждом уровне существуют боковые ответвления, боковые линии. Это уже сфера действия физики — физические эффекты. В воздухе только 21 процент кислорода, но активность воздуха можно повысить ионизацией.

\* Берн Ж. Собр. соч. Т. 12.—М., 1957.

В чистом кислороде «только» 100 процентов кислорода, активность его можно повысить дроблением кислородных молекул, переходом к атомарному кислороду.

### 2.3. ЩИТ И МЕЧ

2.3.1. Озон, замыкающий цепь «а — д», очень сильный окислитель. Есть, правда, окислители еще более сильные — фтор, нестабильные радикалы. Но озон можно получить прямо из воздуха — самого доступного сырья. В этом его принципиальное преимущество.

Воздух и коронный разряд — вот все, что нужно для получения озона. Современное мировое промышленное производство озона составляет около 500 тонн в сутки. В лабораторных условиях используют и другие способы получения озона: радиоактивное излучение, электронную бомбардировку кислорода (пат. США 4 095 115), фотохимические реакции (заявка Японии 51-77432), электролиз воды (пат. Австрии 293 295, европейская заявка 0 068 522, заявка Японии 56-45806), СВЧ-излучение (а. с. 874 603).

Для производства озона в особо больших количествах (прогноз на конец двадцатого века) коронный электрический разряд не подходит — низкий энергетический выход. Поэтому особое внимание уделяется разработке более экономичных способов с использованием радиоактивного излучения — радиоизотопного и хемоядерного. Например, способ массового производства озона из жидкого кислорода (заявка ФРГ 2 659 702). В США существуют проекты хемоядерного реактора на 420 тонн озона в сутки с использованием отходов АЭС и небольших установок на изотопах (1 т/сут).

Использование изотопов выгодно и для озонирования малыми дозами больших объемов воздуха — не требуется обеспыливание и осушка воздуха как в электроозонаторах. Такой способ разработан, например, для обработки воздуха овощехранилищ («Техника и наука», 1983, № 11, с. 11).

2.3.2. Критическая температура озона — 12° С (для сравнения: критическая температура кислорода — 118° С). Жидкий озон — при умеренном давлении — можно без потерь хранить в обычном холодильнике. Возможность весьма заманчивая, но пока нереализуемая. Дело в том, что озон неустойчив и легко разлагается с выделением большого количества тепла:



Считается, что устойчива лишь кислородно-озонная смесь, содержащая не более 20 процентов озона. Впрочем, совсем недавно в учебниках химии писали, что перекись водорода (тоже сильный окислитель) уже при концентрации в 60—70 процентов становится опаснее гремучей ртути. Но когда промышленности потребовалось в больших

количествах получать и хранить высококонцентрированную перекись водорода, без особых трудностей удалось найти условия, обеспечивающие ее стабильность. Наверное, так будет и с озоном. Научимся хранить чистый сжиженный озон — и уйдут в прошлое тяжелые стальные баллоны для сжатого кислорода и громоздкие сосуды Дьюара, из которых непрерывно испаряется жидкий кислород.

А пока сжиженный озон хранят и перевозят в виде раствора во фреоне (пат. Франции 1344 944) или «в паре» с адсорбентами — цеолитом (пат. США 3 006 156), силикагелем (пат. США 3 514 963).

2.3.3. Как «у природы нет плохой погоды», так и у химических веществ нет плохих свойств. Все зависит от того, как использовать то или иное свойство. Может оказаться полезной и способность озона легко разлагаться с выделением большого количества тепла.

В горной технике применяют оксиликвит — взрывчатое вещество (ВВ), состоящее из угольного порошка и жидкого кислорода. Аналогичное и притом значительно мощное ВВ (его следовало бы назвать озоликвитом) возможно и на основе жидкого озона. Пока такое ВВ существует только на бумаге — в экзотическом аргентинском патенте, выданном еще в 1916 году. Но «пиротехнические способности» кислородно-озонных смесей уже используют на практике. Так, по а. с. 332 959 производительность газокислородной резки повышают подачей озонированного кислорода.

### 2.4. С ПРАВОМ НА УБИЙСТВО...

2.4.1. Интенсификация процессов горения — завтрашняя специальность озона. Сегодня озон применяют главным образом в процессах окисления, то есть того же горения, но только «тихого».

У «тихого» горения свои преимущества. Можно, например, получить свет без пламени — это явление называется хемилюминесценцией. Известны десятки веществ, способных светиться при смешивании с озоном. Прежде всего к таким веществам относится этилен — дешевый и доступный газ. Возникновение свечения при смешивании озона с этиленом открывает ряд интереснейших изобретательских возможностей...

2.4.2. Знаменитый Джеймс Бонд, как известно, был агентом 007, нули перед семеркой означали, что агент имел право на убийство. Кодовое обозначение (то есть химическая формула) озона грознее — 000 (или O-O-O, или Oz). Озон — агент с «правом на массовое убийство»... бактерий и всевозможных вредных примесей.

Это ценнейшее свойство озона используют, прежде всего, для очистки воды. Построено свыше тысячи станций для озонирования питьевой воды (наиболее крупные — во Франции, СССР,



анаде). Озон не только обеззараживает воду, но и обесцвечивает ее, устраняет посторонние запахи и привкусы (а. с. 785 212, пат. Франции 1 112 378, пат. США 3 685 656 и др.). Обработанная озонм вода по качеству близка к родниковой.

2.4.3. Особое значение имеет использование озона при очистке сточных вод, например, от нефтепродуктов (а. с. 513 013 и др.), поверхностно-активных веществ (а. с. 607 785), цианидов (а. с. 592 761), органических примесей (а. с. 718 376), фенолов (заявка Франции 2 267 985), гидразина (заявка ФРГ 1 517 634)... Практически все классы органических соединений искусственного и естественного происхождения реагируют с озоном.

2.4.4. Бактерицидные свойства «агента 000» позволяют очищать воздух, консервировать овощи (а. с. 829 484, 934 994), фрукты (а. с. 923 505), зерно (а. с. 718 072), стерилизовать жидкости (а. с. 1 007 678) и т. д. Озон — экологически безопасный стерилизатор, при его использовании не образуются вредные газовые выбросы (при условии, что сам озон полностью расходуется в реакциях). Вообще, сильное биологическое действие озона (и продуктов его распада) может быть широко использовано для активации или подавления биопроцессов. Примеры: борьба с обрастанием подводной части судна (а. с. 413 664), активизация яиц ракообразных (а. с. 712 065), улучшение хлебопекарных свойств муки (а. с. 839 462), активизация семян зерновых культур перед посевом (а. с. 718 033), обработка почвы с одновременной интенсификацией роста растений (а. с. 917 760). По способу очистки подводной поверхности корпуса судна от обрастаний (а. с. 887355) предлагается подавать озон в прилегающий к корпусу слой воды и одновременно воздействовать ультразвуком. Озон используется даже для повышения качества икры рыб — ее обеззараживания и обесклеивания (а. с. 1 009 358).

Американские исследователи испытали действие озона на клетки опухолей, при этом рост клеток тормозился. Ученые считают возможным использовать этот метод (один или в сочетании с другими методами) для лечения рака легких.

В 70-е годы страницы многих журналов облетела сенсационная фотография: обыкновенный лабораторный стакан, прозрачная жидкость, а на дне — живая белая мышка с привязанной к хвосту гирькой. Подпись гласила, что длительное пребывание мышки в стакане не принесло ей никакого вреда.

Эта жидкость — фторуглерод (фреон), хорошо растворяющий кислород (и все его производные). Фторуглероды оказались совершенно безвредными для человека. Фреоново-кислородным «коктейлем» можно заменить часть крови человека (впервые этот опыт проделал на себе японский врач Р. Найто). Аналогично «озонная кровь» (концентрат озона) может быть использована в промышлен-

ности. Так, по патенту США 3 781 200 озоном насыщают тяжелый фреон (температура испарения 28° С) и вводят его в сточную воду. Об опытах по озонированию (малыми дозами Оз) крови человека при переливании (происходит активация эритроцитов) сообщила газета «Социалистическая индустрия» (1984, 22 марта).

Следует помнить, что озон, как и любое другое биоактивное вещество, полезен только в определенных (очень малых) концентрациях. Повышение содержания озона выше предельно допустимой нормы становится опасным для живых организмов. Они начинают защищаться от озона, применяя внешние или выделяя собственные антиозонанты (вещества, поглощающие или связывающие озон). Особенно это заметно перед грозой: насекомые скапливаются в тонком (40—60 см) слое воздуха над водой (вода хорошо поглощает озон), на длинных усах пшеницы выделяются капли влаги, все растения усиленно благоухают (душистые вещества — хорошие антиозонанты), воробьи купаются в пыли, хвоя сосен настолько сильно выделяет влагу, что в лесу может выпасть подобие дождя при ясном небе.

Таким же образом, кстати, решена и проблема «Озонной усталости» (разрушения) полимерных деталей высотных самолетов — в них вводят добавки-антиозонанты.

Еще раз напомним, что планета наша «воздушная», а не «кислородная» и тем более не «озонная». Сильные окислители нужны технике, но не нам с вами. Раз они сильные, то и использовать их надо в малых дозах, в идеале — совсем чуть-чуть, не превышая естественного природного фона. Там, где требуются большие дозы озона, необходимо обеспечить условия для его разложения перед выросом в атмосферу (например, по а. с. 895 923).

Органы обоняния человека очень чувствительны, и мы безошибочно определяем отклонения от нормы в чистоте воздуха. Нам приятен запах свежего воздуха, но что это такое — свежий воздух, — физическая или субъективная характеристика? Казалось бы, абсолютно чистый воздух должен быть свежим. Но это не так, чистый воздух ничем не пахнет (так же и дистиллированная вода безвкусна). Только недавно установлены условия, при которых в воздухе всегда явственно ощущается запах свежести — слабое радиоактивное облучение (близкое по интенсивности к природному фону).

Стало ясно, что главным действующим на обоняние химическим агентом оказался озон, а также окислы азота и ионы кислорода. В зависимости от соотношения этих веществ можно вызвать запах зелени, свежих фруктов, талого снега и т. д. Где можно использовать этот химический эффект с таким тонким физиологическим воздействием?

Одно из эффективных применений свежести уже нашли американские промышленники: в США запатентована смесь веществ,

придающих одежде запах свежего воздуха (пат. США 4 434 086). Почти ничего, один только запах, а товар стал намного привлекательнее. Уловка почти по Насреддину, помните? — Подержав над жарившимся мясом кусок хлеба, дав ему пропитаться запахом, он «заплатил» за это звоном монет. Только здесь совсем наоборот...

## 2.5. РАБОЧИЕ ПРОФЕССИИ ОЗОНА

2.5.1. В химической промышленности озон позволяет и н т е н с и ф и ц и р о в а т ь многие процессы, например получение кислот: фталиевой (а. с. 240 700), глиоксалевой (а. с. 235 759), глутаминовой (пат. США 2 833 786) и других. В промышленном масштабе применяется окисление метана озон до формальдегида. Озон используется также в способах получения: гормонов (пат. США 2 575 350), альдегидов (пат. ФРГ 88 901), сульфатов (а. с. 350 752), окисей аминов (англ. пат. 437 566), сульфата окиси железа (а. с. 715 483), высших жирных спиртов (а. с. 497 276) и многих других веществ.

При обычной температуре большинство металлов о к и с л я е т - с я озон. Серебро чернеет в воздухе, содержащем озон, с ртутью он образует окись. Озон способен образовывать озониды щелочных металлов, из которых известнее других озониды калия и аммония (используются для обеспечения жизнедеятельности замкнутого цикла, регенерации воздуха). Озониды имеют красный цвет и пара-магниты. На основе реакции озона с гидроокисью никеля и щелочными металлами разработана технология изготовления химических источников тока повышенной емкости (европейская заявка 0 057 783).

2.5.2. Впервые озон был обнаружен в 1785 году Ван-Марумом по характерному запаху и окислительным свойствам, которые приобретает воздух после пропускания через него электрических искр. Ван-Марум приписал эти свойства «электрической материи». В 1840 году Шенбейн сопоставил изменение свойств кислорода при пропускании через электрический заряд и при электрохимическом выделении и объяснил эти изменения образованием особого газа, который он назвал «озон» (от греч. пахну). Позже Мариньяк и де ля Рив показали, что озон является видоизменением кислорода («Краткая химическая энциклопедия»).

Если «колыбелью» озона был химический анализ, а «очагом», откуда началось его распространение,— химическая промышленность, то нынешнее «поле деятельности» озона трудно обозримо. Он все шире и шире захватывает различные отрасли промышленности, техники и сельского хозяйства.

В *целлюлозно-бумажной промышленности* разрабатываются новые технологические процессы с использованием  $O_2$  и  $O_3$ : варка

целлюлозы, обработка древесной массы озон без варки для выработки газетной бумаги, отбелка целлюлозы, обработка отходов, очистка сточных вод и газовых выбросов.

В *промышленном птицеводстве* озон используется для санитарной обработки зерна и кормов, в инкубации яиц — для стимуляции эмбрионального развития и дезинфекции, для санации воздуха в птичниках, профилактики заболеваний, консервирования трав.

В *пищевой промышленности* озон применяют в холодильниках-хранилищах для торможения образования плесени и бактерий. Концентрации от 1 до 3 мг озона на один кубометр воздуха достаточно для хранения яиц, мяса, овощей и фруктов.

Озон хорошо *окисляет* красящие вещества и потому *отбеливает* воск, масло, хлопок.

*Воздействие озона на поверхность различных веществ* позволяет создавать оксидные пленки, ускоряет сушку лаков и красок, устраняет электростатические заряды.

*Окислительные свойства озона* используются для обезвреживания пульпы (а. с. 385 621), получения ферритов (а. с. 261 859), в способе газокислородной резки (а. с. 332 959), при продувке жидкой стали в конверторах (а. с. 312 880), в качестве окислителя в ракетном топливе (пат. США 2 704 274), для окисления выхлопных газов автомобилей (а. с. 791 819).

Металлоорганические примеси в воздухе — одни из самых вредных и трудноопределимых обычным химическим анализом. Предложено поступать следующим образом: пробу воздуха смешивают с озон, примеси окисляются и приобретают электрический заряд. Заряженные частицы становятся ядрами конденсации, на них оседают частицы воды, укрупняя и «проявляя» их (а. с. 792 095).

2.5.3. Боковые ответвления на линии «а — д» (см. схему на с. 125) не показаны по простой причине: и кислород, и озон хорошо сочетаются со многими физическими и химическими эффектами. Области совместного (двойного, тройного и т. д.) применения этих эффектов могут быть самыми разнообразными — они зависят от хода решения конкретной изобретательской задачи.

Остановимся пока на эффектах, которые содействуют процессу озонирования, помогают максимально реализовать окислительный потенциал озона. Цель применения эффектов — к а т а л и - з и р о в а т ь (ускорить, улучшить) процесс. Причем установлено, что действие всех катализаторов озона основано на одном и том же механизме — быстром распаде озона (чтобы его молекула не успела вступить в реакцию) с образованием гидроксильных радикалов. Гидроксильный радикал, который по величине окислительного потенциала уступает только атомарному фтору, еще быстрее вступает в реакции, чем молекулярный озон.

Таким катализатором являются, в первую очередь, ОН-ионы, то есть щелочная среда. Проще говоря, озон действует в несколько раз лучше в жидкости, если в нее добавлена щелочь. В нейтральных и кислых средах, а также при реакциях с газами и твердыми веществами нужны другие катализаторы. Примеры: кавитация, вызываемая ультразвуком (пат. США 4 003 832) или специальным ротором (а. с. 223 642), УФ-свет (заявка Японии 43-6714, заявка Франции 2 167 782), электрическое поле (а. с. 802 196), электромагнитное поле или рентгеновские лучи (заявка Франции 2 162 239). Это все физические воздействия, а вот примеры применения химических веществ, ускоряющих процесс озонирования: окислы марганца, железа, никеля, меди (пат. США 4 007 118), окислы азота фосген, хлор, перекись водорода, соединения фосфора (пат. США 3 505 213), соединения брома (пат. ФРГ 2 450 731), соединения фтора и йода (пат. США 2 771 416), окись алюминия (заявка Франции 2 432 483).

2.5.4. Существует множество цветных реакций озона. Многие вещества, например: фуксин, флуоресцеин, о-толуидин, индигокармин и т. д., изменяют цвет, реагируя с озоном. Например, раствор йодистого калия из бесцветного меняет цвет от розового до бордового в зависимости от количества озона, пропущенного через раствор (распространенный метод определения концентрации озона в газе). По патенту ФРГ 1 262 638 предложен способ определения озона по цветной реакции с сульфоталеином.

2.5.5. О хемиллюминесцентной реакции озона с этиленом уже говорилось (2.4.1). Среди других 40 веществ, которые флюоресцируют при наличии озона в воздухе, можно назвать родамин, эозин, феносафранин, рибофлавин, эйхрозин. Часть из них используется в быстрых анализаторах атмосферного озона (например, пат. США 4 232 225). Хемиллюминесценция может быть и в ультрафиолетовой области спектра. Так, при озонировании сульфидов наблюдается излучение в полосе 275—340 нм.

Для определения наличия озона в газах и атмосфере могут быть использованы и другие физико-химические свойства озона: магнитная восприимчивость (в  $5 \cdot 10^4$  раз меньше, чем у кислорода), способность озона изменять проводимость некоторых кристаллов (пат. США 4 240 799), поглощение света в интервале 550—610 нм (эффект Шаппюи). Кстати, эффектом Шаппюи объясняется такое природное явление: при заходе Солнца за горизонт на противоположной стороне небосвода наблюдается серовато-синяя граница земной тени.

Озон «виноват» еще в одном загадочном природном явлении — шаровых молниях. Дело в том, что статистический анализ шаровых молний показал: только 20 процентов их образуется при вспышках линейных молний, а все остальные появляются над промышленными

городами и при ясной погоде. Типичный случай произошел в Петрозаводске 20 сентября 1977 года в 4 часа утра. На темном небе вспыхнула огромная пульсирующая «звезда», испускавшая на землю снопы света. «Звезда» перемещалась над городом, а затем рассеялась над Онежским озером. В это время в воздухе резко запахло озоном. Ученые объясняют это хемиллюминесцентным свечением примесей озона, окислов азота и загрязнений, которые вступают в реакции под действием космических лучей. Недавно эту гипотезу подтвердили теплофизики: построена модель и рассчитаны параметры шаровой молнии, «работающей» на смеси древесно-угольной пыли и озона («Доклады АН СССР», 1985, т. 283, № 2, с. 361). Экзотический озониквит (3.3) все же нашел свое применение...

2.5.6. Разбор *титичной задачи*. Фабрика выпускает маленькие сувенирные самовары. Каждый самовар нужно проверить — нет ли где-нибудь течи. Необходим простой, дешевый, надежный способ контроля. Ваше предложение?

Прежде всего по правилам ТРИЗ сформируем идеальный конечный результат: внешняя среда должна сама обнаружить отверстия в самоваре. Выгодно использовать ту внешнюю среду, которая уже есть, то есть воздух. Правда, воздух никак не реагирует на отверстия в корпусе самовара. Но воздух можно превратить в воздушно-озонную смесь. Задача резко упрощается: как обнаружить озон, выходящий из отверстия в корпусе самовара? Проблемы нет, надо использовать хемиллюминесценцию. Ответ: для контроля герметичности сосудов сложной формы предложено заполнять сосуды воздушно-озонной смесью и помещать в камеру с этиленом: дырки, если они есть, сразу начнут светиться (а. с. 807 098).



## 2.6. ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ...

2.6.1. Открытие озона было вторым и, как оказалось, не последним актом в истории кислорода. Этот удивительный газ, без которого мы жить не можем, еще далеко не полностью изучен.

Только в последние годы открыты (хотя они теоретически «существовали» и раньше) несколько модификаций кислорода — еще более активных, чем озон, — например, супероксид и синглет-ный кислород. Линия «а — д» (см. схему на с. 125) может быть продолжена.

Супероксид — сверхокись кислорода, молекула которого содержит лишний электрон. Забирая у окисляемого вещества, например металла, один электрон, кислород превращается в анион-радикал. А радикалы — самые сильные окислители. Поэтому, не успев

образоваться, они тут же вступают в реакцию. Отсюда и вытекает единственно возможный (и довольно простой) способ получения супероксида — путем пропускания электрического тока через неводный раствор окисляемого вещества. Уже разработаны способы обезвреживания особо ядовитых хлорированных углеводов, которые заменяют дорогостоящие захоронения в грунт. Супероксид участвует также и в биохимических процессах: окислительным разрушении токсичных веществ в печени и в образовании коллагена при заживлении ран.

Объяснить, что такое синглетный кислород труднее... Вот пояснение из научно-популярного (!) журнала: «Обычный кислород — триплетный. Молекулярный кислород содержит два не-спаренных электрона, тогда как в синглетном, более богатом энергией кислороде, спины этих двух электронов антипараллельны (спарены)»\*. В общем, возбужденное состояние (синглетное) приобретает кислородом при поглощении энергии. Синглетный кислород — крайне реакционноспособный, он мгновенно передает свое возбуждение (энергию) встретившимся атомам и молекулам, излучает свет (хемилуминесценция). Как его получают? Существует несколько физических и химических способов. К физическим относятся, прежде всего, фотоокисгенация — облучение вольфрамовыми лампами реактива с романтическим названием «бенгальская роза» в присутствии кислорода; фотолиз озона — разложение озона УФ-светом; облучение кислорода ИК-светом в присутствии фотосенсибилизаторов. Самый производительный метод — СВЧ-разряд (разряд Ноксона) в потоке кислорода — позволяет получать до 10 процентов синглетного кислорода в смеси с озоном. К химическим методам относятся: разложение перекиси водорода, разложение озонидов и фотоокисленных углеводов. На химическом способе основана работа генератора сухого синглетного кислорода (пат. США 4 342 116).

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

7. Известен способ получения сульфата окиси железа путем окисления закиси железа воздухом. Спрогнозируйте следующее изобретение.

8. При производстве сыра рассол быстро приобретает неприятный вкус и за пах, приходится выливать рассол. Ваше предложение?

9. А теперь задача потруднее. Пусть вас не смущают химические термины, задача — логическая. В мокрых золоуловителях котлов образуется раствор кальциевой соли сернистой кислоты — сульфит кальция. Сульфит плохо растворяется в воде. Образуются отложения, золоуловитель приходится ремонтировать. Ваше предложение?

10. В электромагнитных полях силовых кабелей и других электрических устройств образуется озон, разрушающий полимерные диэлектрики. Как бороться

\* Химия и жизнь, 1980, № 10.— С. 29.

С «озонной коррозией»? Даже частичное решение >n> п мм.пи имсп пилмое ипродни хозяйственное значение.

11. На высоте 25—30 км расположен природный слой озона, образовавшегося под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Слой этот защищает биосферу от жесткой ультрафиолетовой радиации: жизнь на Земле возможна только благодаря озонному «щиту». Однако в последние годы возникли серьезные опасения за судьбу «щита»: увеличивается содержание окиси азота, поступающей в атмосферу с выхлопными газами реактивных самолетов, растет количество фторуглеродов, выбрасываемых в воздух холодильной промышленностью и бытовыми аэрозольными приборами. Окись азота и фторуглероды вступают в реакцию с озоном, постепенно разъедая озонный «щит». Отсюда интересная и перспективная техническая задача: как обеспечить стабильное существование «щита» при высокой концентрации веществ, разрушающих озон?

Примечание. Примером неудачного решения этой задачи может служить изобретение по а. с. 869 776 «Способ для озонирования воздуха окружающей среды и устройство для его осуществления», по которому предлагается с помощью аэрозоля поднимать баллон с озоном и выпускать озон на высоте малыми дозами. Что здесь плохо? Способ малопроизводителен, требуется специальная техническая система для подъема озона... Идеальнее было бы решение, по которому полученный на земле озон сам поднимался бы в высокие слои атмосферы. А еще лучше — нужное количество озона образовывалось бы по желанию человека в самой атмосфере.

## 3. ЦВЕТНАЯ ПАМЯТЬ ВЕЩЕСТВА

### 3.1. ВОЕННЫЕ ХИТРОСТИ И ФОТОХРОМЫ

3.1.1. Многотысячная армия Александра Македонского одерживала победу за победой. Удивительная синхронность действий отличала его иногда разрозненные отряды. Как удавалось им одновременно начинать военные действия, не видя и не слыша друг друга? Представьте те далекие времена, когда самым быстрым «носителем информации» был марафонец. Сигналы костром можно было подавать только ночью, да и то опасаясь быть рассекреченным, а из приборов времени известны были лишь солнечные часы, пользоваться которыми в походах было весьма затруднительно. И все-таки именно солнце, солнечный свет помогали солдатам Македонского узнать время начала атаки — для этого они носили нарукавные повязки, пропитанные красящим веществом из корней растения марены. Под действием ультрафиолетового излучения содержащийся в марене пурпурин приобретал яркую красно-желтую окраску. Рассказывают также, что забрызганные этой краской (по приказу полководца) туники воинов ввели в заблуждение превосходящую по численности персидскую армию. Персы, предположив, что противник изранен в предыдущих сражениях, пошли в наступление без соответствующих предосторожностей и были разбиты...

3.1.2. По-видимому, это было первое практическое применение фотохромного эффекта.

Явление фотохромизма, присущее десяткам сотен веществ неорганического и органического происхождения, характеризуется возмож-

ностью появления или изменения окраски веществ под действием света. Фотохромизм обусловлен обратимыми перестройками веществ на молекулярном уровне. "Различают физический и химический фотохромизм.

Физический фотохромизм объясняется способностью атомов и молекул переходить в электронно-возбужденное состояние, характеризующееся новыми спектрами поглощения (то есть изменением окраски).

Химический фотохромизм связан с глубокими внутримолекулярными перестройками вещества под действием света, приводящими к временному образованию новых нестабильных химических соединений другого цвета.

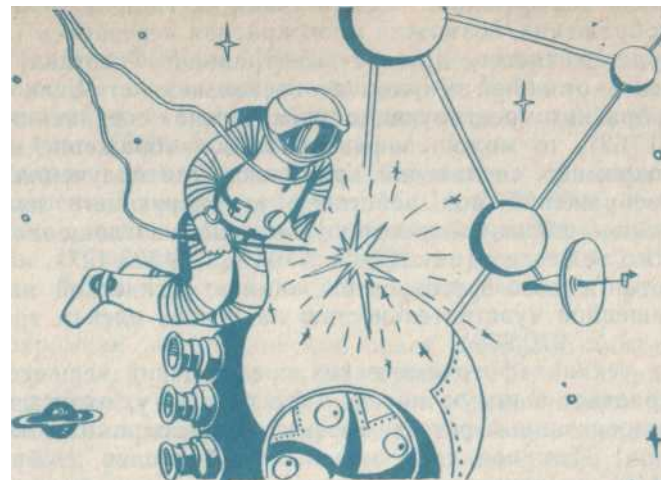
При фотохромизме, таким образом, происходит запасание энергии в фотохромном веществе под действием света, которая после прекращения облучения затрачивается на возвращение этого вещества в исходное состояние.

### 3.2. «ЦВЕТНАЯ» ГАММА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

3.2.1. Попытки применить фотохромные материалы (ФХМ) в военных целях продолжают во всем мире. Разрабатываются ФХМ для маскировки военнослужащих под цвет окружающего ландшафта, а также защиты их одежды от возгорания, а кожи от ожогов в условиях ядерного взрыва. Так, фотохромный нейлон изменяет окраску (в зависимости от интенсивности освещения, температуры и влажности) от оранжевой через серую к голубой примерно за 11 минут и полуобесцвечивается в темноте за 14 минут. Как видите, изменение окраски идет довольно долго и не всегда получается нужный цвет, поэтому в военной камуфляжной технике использование ФХМ ограничено пока маскировкой лишь тех объектов, которые неподвижны или перемещаются по однообразному ландшафту.

3.2.2. Менее требовательна (но более экстравагантна!) мода: предполагается, что могут стать модными фотохромные парики, пудра, помада, маникюрный лак и лак для волос, а заодно и не обычные по свойствам ткани (платья, костюмы, галстуки, ковры, шторы, драпировка и т. д.), строительные материалы, способные обеспечить тепловой баланс здания (краска, штукатурка, кафель и др.), и предметы домашнего обихода (например, «загорающая» кукла по патенту США 2 921 407).

3.2.3. Давно известны бытовые солнцезащитные очки с фотохромными стеклами. Однако уникальная способность ФХМ автоматически изменять свое светопропускание (со скоростью до  $10^{-6}$  с) в зависимости от интенсивности активирующего излучения можно использовать более широко:



В космосе не откинешь шлем со светофильтром, чтобы проверить, хорош ли свариваемый шов. Как быть?

- в устройствах для защиты зрения и электронно-оптических приборов от интенсивных излучений (солнце, ядерный взрыв, лазер), например солнцезащитное ограждение из алюмоборосиликатного стекла (а. с. 1 063 793);
- в динамических светофильтрах телевизионных устройств при съемке сцен, в которых имеются хорошо освещенные и находящиеся в тени предметы (пат. США 3 270 638);
- для регулирования светового потока на фотоэлементе в системе включения вечернего освещения (англ. пат. 1 254 964);
- в зеркалах задней обзора автомобилей для облегчения работы водителя в условиях резкого перепада освещенности (пат. США 3 280 701);
- в устройстве временной задержки (пат. США 3 654 474), состоящем из лампы и фоторезистора, разделенных фотохромной линзой с заданным временем обесцвечивания;
- в немеханическом затворе фотокамеры (пат. США 3 584 934), который открыт только в момент переокрашивания двух стекол с разными свойствами;
- в оптических световодах для устройств интегральной оптики вычислительных машин следующего поколения и т. д.

3.2.4. Регистрация и фиксация оптической информации с помощью ФХМ в чем-то похожи на обычный фотографический процесс, но лишены его недостатков. Разрешающая способность пленочных ФХМ уступает только голографическому

способу записи информации: под действием света сразу появляется видимое изображение, возможна многократная перезапись (изображение стирается светом другого спектрального состава). Стойкость записи — от долей секунды до нескольких лет. Если использовать необратимо реагирующие химические соединения (пат. США 3 810 762), то можно зафиксировать изображение навечно. Смесь фотохромных соединений применяют для получения многоцветных изображений под действием активирующего излучения различной длины волны, соответствующей полосе поглощения каждого отдельного вещества (пат. США 3 704 127, 3 825 427).

Разработан способ фотохромной записи оптической информации с повышенной чувствительностью на основе пленки трехоксида вольфрама (а. с. 970 989).

Химия и техника фотохимических превращений веществ постепенно перерастает в новую науку — фотонику, охватывающую группу взаимосвязанных фото-химических эффектов (фотохромизм, люминесценция и др.). Так появился новый способ записи изображения (а. с. 442 449) на органических люминофорах, способных к фотохимическим реакциям: на пленку антрацена проектируется изображение в видимом свете, при этом в пленке происходит фотохромная химическая реакция. При подсветке слабым УФ-светом получается светящееся изображение («Природа», 1982, № 12, с. 29—33).

3.2.5. ФХМ в виде бумажных и пленочных актинометров используются для измерения интенсивности и распределения УФ-излучения (пат. США 1845 835, 3 121 012), при настройке оптических приборов, фокусировке излучения и т. п. ФХМ вообще чутко реагируют на спектральный состав света. Так, раствор  $K_2Cr(C_2O_4)_3$ , имеющий зеленый цвет в дневном свете, становится красным при освещении лампами накаливания.

По патенту ГДР 133 500 предложено применять фотохромное азосоединение с интенсивной флуоресценцией в качестве рабочих сред лазеров.

3.2.6. Как и на любой химический процесс, на фотохимические реакции влияют температура, влажность, рН среды. Такие влияния могут быть необратимыми, что, например, случилось с картиной Леонардо да Винчи «Тайная вечеря». Художник при ее написании экспериментировал с новыми составами красок и ему на протяжении всей жизни пришлось исправлять медленно проявляющиеся дефекты.

В технике следует использовать легко управляемые обратимые воздействия — электрический ток и тепловое поле.

Для сокращения времени релаксации фотохромных стекол, используемых в больших световых проемах, на их поверхность наносят прозрачное электропроводящее покрытие из окислов металлов (пат. США 3 252 374). Регулировкой электрического тока в таком слое можно обеспечить различную степень нагревания стекла и,

следовательно, принудительное изменение скорости его обесцвечивания.

Для защиты ФХМ от ИК-излучения, повышающего температуру и снижающего светочувствительность, на стекло наносят пленки металлов или их окислов (золото, двуокись титана), отражающих ИК-свет (пат. США 3 591 248).

Предложен метод записи изображения на органических ФХМ при повышенной температуре (пат. США 3 421 894): фотохромные соединения вводят в воск, затвердевающий при 20° С и переходящий в жидкое состояние при температурах более 40° С. В твердом состоянии процессы термического обесцвечивания резко замедляются.

Фотохромизм неорганических солей металлов используется в гидрофотографическом процессе. Эти материалы окрашиваются на свету в присутствии влаги и обесцвечиваются в темноте, что можно использовать при физиологических исследованиях, в криминалистике, сельском хозяйстве, при измерении водонепроницаемости материалов, определении следов воды в различных средах и т. д.

Свойство ФХМ изменять свои характеристики при взаимодействии с другими веществами, используется для физико-химического анализа веществ. Например, скорость термического обесцвечивания водорастворимых нитробензилпроизводных (пат. США 3 649 549) зависит от рН среды (индикация рН).

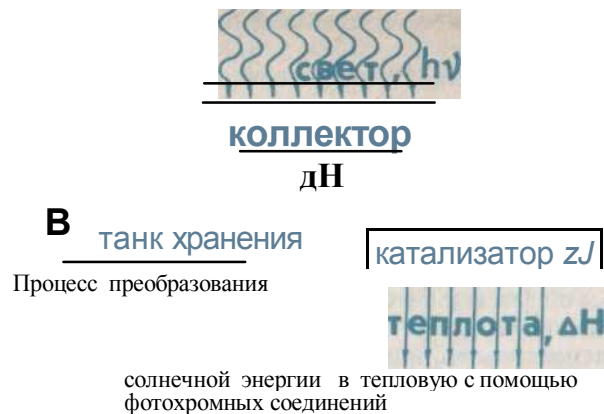
3.2.7. ФХМ могут быть в жидком, твердом, газообразном (в виде аэрозолей) или гелеобразном состоянии. Часто ФХМ используются в микрокапсулированном виде: микрокапсулы наклеиваются на любую основу, для подготовки к действию их можно раздавить или, заранее введя в них газообразующие при нагревании вещества, нагреть для разрушения капсул.

Полимерные пленки толщиной 5—100 мкм наносят на жесткую (кварц, стекло) или гибкую (лавсановая, триацетатная пленки и т. п.), прозрачную или непрозрачную основу.

Жидкие ФХМ могут быть использованы в исследовании гидродинамики потоков, процессов массопередачи, газожидкостных смесей и т. п.

3.2.8. Первые патенты на ФХМ относятся к началу 20-х годов (Германия), но только в последнее десятилетие в связи с развитием химии фотохромных соединений область их практического применения резко расширилась.

Синтезирована большая группа ФХМ, способных преобразовывать солнечную энергию в тепловую (пат. США 4 004 572). Так, это преобразование можно получить с помощью фотохромных соединений. Раствор ФХМ циркулирует в замкнутой системе через коллектор, танк хранения и катализатор.



В коллекторе фотохромное соединение в форме А запасает солнечную энергию и превращается в форму В. Продавливание раствора В из танка через катализатор инициирует реакцию В-----у А и освобождает теплоту ДН. Скорость протекания реакции зависит от интенсивности солнечной радиации. Вместо катализатора можно подвести извне небольшое количество тепла для инициирования обратной реакции, после этого реакция идет сама (пат. США 4 004 573).

### 3.3. ТЕПЛОВЫЕ ХАМЕЛЕОНЫ

3.3.1. Гёте так выразил свое отношение к цвету: «Цвета воздействуют на душу, вызывают ощущения и эмоции, пробуждают в нас скрытые идеи и служат причиной радостных и печальных мыслей». Расширить возможности «пробуждения» новых технических идей помогут термохромные вещества, меняющие свой цвет при изменении температуры.

Термоиндикация с помощью таких веществ может быть обратной и необратимой, поскольку существуют термохромы одно- и многоцветного действия.

3.3.2. Примером использования однократных термохромов может служить разработанный в Японии способ цветной сверхплотной записи оптической информации («Природа», 1984, № 3, с. 102). Тонкая композитная пластинка, состоящая из нескольких слоев термохромных веществ (дающих при нагревании черный, зеленый, красный, голубой цвета) подвергается воздействию луча

лазера. Луч можно фокусировать в любом из слоев в пятнышко микронного размера — в этом месте термохром меняет цвет и тут же связывается другим веществом. Для окрашивания точки достаточно микросекундных длительностей лазерного импульса. Управляет лучом стандартное сканирующее устройство с приспособлением для изменения точки фокусирования луча. В результате на пластинке появляется многоцветная запись. Запись можно «прочитать» и отдельно по каждому цвету, используя монохроматический источник света.

Довольно широко применяются индикаторы температурного режима хранения продуктов и изделий в холодильных камерах: при случайном размораживании нанесенное на упаковку термохромное вещество обесцвечивается, а при охлаждении окраситься не может (пат. США 3 038 812, англ. пат. 1 099 880). В Швеции в упаковку продуктов, особенно рыбных, помещают полоску желтой бумаги, которая при изменении температуры становится фиолетовой (необратимо).

3.3.3. Обратимое изменение окраски при нагревании позволяет использовать термохромы для измерения температуры. Так, термохромные слои йодистых соединений серебра и ртути изменяют окраску от желтой через оранжевую, красную, коричневую до пурпурно-черной при повышении температуры от 27 до 218° С (пат. США 3 352 724). В устройстве для измерения температуры (дисплее) в интервале 20... 120° С используются термохромные полиацетилены (пат. США 4 339 951).

За рубежом (Швейцария, Италия) используют термохромные пленки для покрытия предупредительных знаков (типа «кошачий глаз») на дорогах. Стоит температуре воздуха понизиться до 1,5° С, как пленка становится прозрачной и водители видят предупреждение о возможности гололеда.

Широкое распространение в мире получили термометры, работающие по принципу «измерил температуру — термометр выбросил». Например, термометр для больниц представляет собой полоску алюминиевой фольги с нанесенными на нее точками термохромов. Точки меняют цвет в зависимости от температуры с точностью до десятых долей градуса. Время измерения—15 секунд. Из гигиенических соображений полоску тут же выбрасывают. Фирма-изготовитель (США) даже не патентует свое изобретение, чтобы не сообщать состав вещества. Известно только, что оно безвредно и давно применяется в пищевой промышленности («Изобретатель и рационализатор», 1972, № 2, с. 34).

В ФРГ выпускают бумажные термометры — достаточно прилепить такую самоклеющуюся полоску с термохромом к нагретой поверхности, как через несколько секунд можно судить о ее температуре с точностью до 5° С («Техника молодежи», 1983, №5, с. 48).

3.3.4. Знаменитый химик и врач шестнадцатого века Парацельс показывал гостям написанную им самим «чудесную» картину. На ней был изображен зимний пейзаж — деревья, пригорки, покрытые снегом. При легком подогреве пейзаж тут же менялся на летний — пригорки покрывались травой, а деревья — зеленой листвой...

Не верящие в чудеса современные школьники, узнав из публикации «Юного техника» о существовании термохромных красок, предложили множество технических применений этого эффекта: предупредительные надписи при перегреве узлов самолета, контроль состояния двигателя мопеда, демонстрационный опыт по определению удельной теплоемкости веществ, контроль температуры радиоэлектронных приборов и т. д. («Юный техник», 1984, № 12, с. 78—80).

Некоторые термочувствительные составы несложно получить в домашней или школьной лаборатории. Например, иодид ртути — вещество, меняющее окраску с ярко-желтой на красную («Химия и жизнь», 1979, № 4, с. 71), термохромный состав для покрытия отражателей лампочек новогодних гирлянд («Химия и жизнь», 1982, № 2, с. 77), а также различные по температуре перехода краски («Юный техник», 1984, № 12, с. 78—80).

#### 3.4. РАДИОХРОМНАЯ ДИЗШМЕТРИЯ

3.4.1. К р а д и о х р о м а м (веществам, изменяющим цвет под действием радиоактивного излучения) и к а т о д х р о м а м (веществам, изменяющим цвет под действием электронного луча) относится большая группа неорганических и органических веществ (кристаллы галогенидов щелочных металлов, титанат стронция, фторид кальция, полимеры и т. д.).

3.4.2. Дозиметры на основе радиохромных полимерных пленок, разработанные в США, имеют толщину 0,005—1 мм и могут быть использованы в интервале доз  $10^{-5}$ — $10^5$  Грей. Они отличаются механической прочностью и устойчивостью, удобством обращения и калибровки, выдерживают мощность излучения до  $10^{12}$  Гр/с, могут применяться для регистрации фотонов с энергией до 10 МэВ, электронов и протонов. Области применения: дозиметрия при стерилизации медицинского оборудования, при радиационной обработке полимеров, изоляции кабелей, обработке городских и промышленных отходов и т. д.

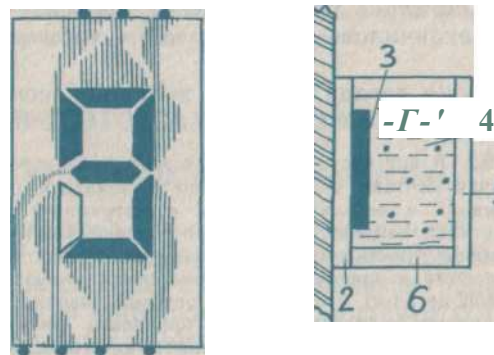
Растворы радиохромных красителей в диметилсульфоксиде, который по своим радиационным характеристикам близок к крови и биологическим тканям, предложено применять в исследовательских целях для дозиметрии сельскохозяйственных, биологических и медицинских объектов.

#### 3.5. КОНКУРЕНТ ЖИДКИМ КРИСТАЛЛАМ

3.5.1. Стремительные темпы вторжения жидкокристаллических индикаторов в технику и быт в последнее десятилетие (мы так при выкли к ним — в часах, микрокалькуляторах, табло...) начинают замедляться. Основная причина — тусклое изображение из-за поляризации света при закручивании нематической фазы. Специалисты предсказывают резкое сужение области применения жидких кристаллов в системах индикации уже в ближайшее время — они будут вытесняться электрохромными материалами. И хотя электрохромы пока еще находятся в начальной стадии разработки и внедрения (примерно в такой же, в какой находились жидкие кристаллы чуть больше 10 лет назад — давно ли?), их преимущества несомненно выше, чем у электрофорезных, электролюминесцентных, светодиодных и, в особенности, у жидкокристаллических индикаторов. Чем замечательны электрохромы? — Они внешне привлекательны, обладают независимостью контраста от угла наблюдения, превосходной читаемостью, потребляют мало мощности, требуют низких управляющих напряжений и способны запоминать изображение.

3.5.2. Первые электрохромы были жидкостными, на основе кислотных электролитов и пленки трехокиси вольфрама. При напряжении около  $\pm 2$  В ионы электролита осаждались на пленке, придавая ей темно-синюю окраску (при перемене знака — обесцвечивалась). Чтобы получить контрастный фон, в электролит вводился краситель. Из-за малого срока службы (коррозия электрохромной пленки) они не нашли широкого применения.

3.5.3. Современные электрохромы на твердых электролитах с электродами внедрения (различные соли лития) толщиной в не-



Электрохромное устройство на основе трехокиси вольфрама:

1—стеклянная подложка; 2—прозрачный проводник; 3—трехокись вольфрама; 4—электролит и краситель; 5—противоэлектрод; 6—изолятор и герметик



сколько микрометров обладают долговечностью ( $10^7$  переключений и более), низким порогом окрашивания (1—2 В), кратковременностью акта записи и стирания (доли секунды), памятью после отключения напряжения (до 20 минут). В США, Японии и других странах в последние годы патентуется множество электрохромных материалов и устройств на их основе. Один из подобных составов, запатентованный японской фирмой «Хитачи» (европейская заявка 0 039 220), содержит, например, аморфный фторалюминат лития. Применение электрохромов самое разнообразное: от дисплеев матричного типа для ЭВМ и любых других устройств до окулярных сеток микроскопов, которые можно «стереть», если они мешают наблюдениям. Или, например, динамические (по плотности и по спектру) светофильтры — их можно использовать для ускоренного развития парниковых культур, при лечении зрительных аллергий (когда нужно «вычеркнуть» какую-либо составляющую спектра), в осветительной технике и т. д.

### 3.6. РАЗБОР ТИПИЧНОЙ ЗАДАЧИ

3.6.1. События в рассказе Я. Тайца «Первый помощник» происходят в гражданскую войну. Маленький украинский городок, занятый белогвардейцами. Белые заставляют старого художника рисовать их трехцветное знамя с надписью: «Все честные люди идите сражаться под этот флаг!» Ученик художника никак не может понять, почему его учитель соглашается. Учитель объясняет мальчику: «Ты — мой второй помощник, а первый помощник — Солнце. Молчи и смотри, что будет». Флаг повесили, и мальчик целый день крутился около него. К обеду он заметил, что белая и синяя полосы заметно посветлели, а к вечеру осталась только красная полоса... К счастью, для художника все закончилось благополучно, утром местечко заняли красные.

Вы, конечно, уже догадались, что художник использовал фото-хромные краски...

3.6.2. А вот чисто *техническая задача*. О хорошем качестве приклеивания мечтают специалисты по тензометрии (науки о измерении деформаций в деталях машин и конструкциях). Применяемые ими тензодатчики изменяют свое сопротивление электрическому току при деформации (растяжении или сжатии), но чтобы тензодатчик (например, решетка из проволоки) деформировался только совместно с испытываемой деталью, его вместе с основой (изолирующей прокладкой) нужно прочно и надежно к ней приклеить. Визуальный осмотр для контроля качества наклеивания почти ничего не дает, поэтому было предложено такое решение (а. с. 277 360): через наклеенные тензодатчики пропускают ток, в 5—15 раз превышающий величину рабочего тока, в местах некачественной проклейки основа обугливается (так как на этих участках имеются воздушные прослойки, резко снижающие теплоотвод от нагретой проволоки). Но такой способ пригоден

лишь для тензодатчиков на бумажной основе. А как быть при испытании машин, работающих в особо «вредных» условиях, где используются основы из стеклоткани, органосиликатов, слюды?

В условиях задачи уже есть хорошо взаимодействующие элементы: вещество  $В_1$  (проволока) и тепловое поле  $П_1$ . Не достает второго вещества  $В_2$ , которое бы легко откликалось на действие  $П_1$ . Значит, введем его; нанесем термохромную краску на тензодатчик — ее цвет изменится в местах локального повышения температуры (а. с. 649 947).



### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

12. Существует серьезная проблема борьбы с распространением заболевания раком кожи — самым опасным из всех последствий повышенного ультрафиолетового облучения. Так, в некоторых районах США и Европы за последние 30 лет частота заболевания раком кожи невероятно подскочила. Специалисты объясняют это изменением образа жизни людей, которые стали чаще бывать на солнце и больше времени проводить на южных пляжах. Рекомендации врачей типа: «В первый день загорайте не более 5 минут, во второй — 10 минут...» не эффективны.

Как предельно простым и дешевым способом довести до человека информацию о суммарной дозе УФ-облучения, полученной за день?

13. Из журнала «Юный техник» (1985, № 12, с. 51): «Все знают, что каждое лекарство имеет срок годности, однако при его использовании зачастую забывают посмотреть на дату, стоящую на коробке или пузырьке. Между тем, это очень важно, так как «несвежее» лекарство уже не обладает необходимыми целебными свойствами, а иногда даже может быть вредным для организма. Одной из причин такого невнимательного отношения к лекарствам является то, что обычно дату срока годности плохо видно».

Как наиболее наглядно предупредить больного о том, что лекарство уже не годно к употреблению? Или как сделать так, чтобы больной не смог воспользоваться испортившимся лекарством?

**Пояснение.** Задача пока не решена. Главная трудность в том, что сроки годности у лекарств самые различные: от нескольких дней до нескольких лет. Возможны решения, основанные на сочетании эффектов.

## 4. ХИМИЯ? ЭТО САМАЯ СЛОЖНАЯ ФИЗИКА!

### 4.1. В ОБХОД ПАТЕНТА СИМПСОНА

4.1.1. Проект синьора Симпсона был грандиозен. Все шло к его осуществлению. Новая технологическая революция! Неограниченный резерв бесплатной рабочей силы — и никаких профсоюзов! Если бы не арест агентами Интерпола его помощника О'Толли.

Эта история с угрями... Рыбы каждый год мигрируют огромными стаями. Почему бы не использовать их «с пользой»? — решил О'Толли. Он... сговорился с угрями, подкупив их жирными мухами. Теперь каждая рыба, прежде чем пуститься в долгий путь к Сарга-гсову морю, подплывала к берегу. О'Толли привязывал ей к

шарик с двумя граммами героина, а в море их уже ждала яхта Рика Папалео...

«Старая история, не правда ли? — восклицает герой рассказа П. Леви «Патент Симпсона». — Изобретаешь огонь и даришь его людям, а потом коршун всю жизнь клюет вам печень...».

Но Симпсон полон надежд. Двенадцать лет упорного труда, главная мечта жизни. Черт возьми этого О'Толли. Жизнь так коротка, в одиночку ничего не добьешься. Он приглашает нового помощника и показывает ему все захватывающие дух перспективы новой технологии. Оказывается, он понял язык насекомых, научился разговаривать и заключать контракты с ними!

«Это резисторное устройство, — объяснил Симпсон. — Нить толщиной в две тысячных сантиметра, соединительная муфта — в пять тысячных. Стоимость устройства — четыре тысячи лир, но вскоре она снизится до двух тысяч. Нить сплетена из коры пиний отборными муравьями. Два муравья хватают челюстями два электрода, третий зачищает их и скрепляет каплей смолы. Затем все три муравья погружают деталь на транспортер. Втроем они собирают резисторное устройство за четырнадцать секунд, включая сюда неизбежные заминки в работе. Их рабочий день длится ровно двадцать часов. Они получают вознаграждение в натуре. Всего пятнадцать граммов еды на отряд из двухсот муравьев.

Но это лишь начало. Сейчас я обучаю новые отряды муравьев другим «непосильным работам». К примеру, созданию сети дифракции в спектрометре, а это тысяча восьмимиллиметровых полос. Другому отряду я поручил ремонтировать миниатюрные штампованные электросхемы: раньше их в случае поломки выбрасывали на свалку. Третий отряд муравьев учится ретушировать негативы, и, наконец, четвертый — оказывать помощь врачу при операциях мозга»\*.

Доводы Симпсона в пользу новой технологии на «микроуровне» неоспоримы: наши пальцы слишком велики и неуклюжи, а микроманипулятор стоит слишком дорого. Поэтому он с увлечением находит все новые и новые применения своим «друзьям»: муравьи вносят по крупице удобрения каждому семени, уничтожают в зародыше сорняки, производят микроклеточные впрыскивания; стрекозы собирают бруснику; с мухами и комарами он заключает «договор о ненападении», а в комиссию ООН по продовольствию представляет аналогичный договор с саранчой...

4.1.2. Да, микроманипуляторы действительно дороги. И лучше их не применять там, где можно обойтись другими средствами. Но как собирать, например, те же микросхемы? Плотность «упаковки» элементов в современных интегральных схемах достигла колос-

сальной величины. Тут уже не помогут ни живые муравьи «по-итальянски», ни, тем более, механические.

Первым на помощь микроэлектронике пришел «лидер современного естествознания» — физика. Вот как проходила гонка «лидера» за стремительным развитием микроэлектроники.

Детали (транзисторы, резисторы, конденсаторы и т. д.) объемом  $1 \text{ см}^3$  собирали вручную. Объемом  $1 \text{ мм}^3$  — тоже, но с микроскопом. При дальнейшем уменьшении размеров отпала необходимость в соединительных проводах, детали стали располагать на одной кварцевой пластинке и соединять тонкими проводящими полосками. Затем появились интегральные схемы — в которых все детали (0,1 — 0,01 мм) и проводники формируются в одном кристалле с помощью фотолитографии. Делается это так: на кремниевую пластину наносят маскирующую пленку (например, окись кремния) и фоточувствительный слой (фоторезист); затем на фоторезист проецируется в УФ-свете фотошаблон (стеклянная металлизированная пластинка с нужным рисунком); засвеченный слой проявляют, при этом он растворяется и обнажает маскирующий слой; кремниевую пластину помещают в травящий раствор, где удаляется слой окиси кремния; наконец, удаляют остатки слоя фоторезиста. Но процесс изготовления микросхемы на этом не кончается: пластину помещают в высокотемпературную печь, в атмосферу фосфора или бора. Атомы этих элементов проникают в кремний, образуя в нем область дырочной или электронной проводимости. Но и это не все: сформирован только один слой, а для некоторых транзисторов их требуется десяток. Появляется сложная проблема точного совмещения нескольких фотошаблонов («Химия и жизнь», 1984, № 2, с. 57—61).

Размеры элементов микросхем продолжали уменьшаться. Как только они дошли до 1—2 мкм (1000—2000 нм), наступил физический предел метода фотолитографии: длина световой волны стала соизмерима с размерами структур, а при этих условиях свет огибает препятствия.

Вместо света физика предложила новый инструмент — пучок электронов, как в электронном микроскопе. Длина волны ускоренного электрона на несколько порядков меньше длины волны света. Технология осталась та же (только вместо фоторезиста появился электронрезист), но стоимость и сложность оборудования возросли во много раз. К тому же вместо печей, стали использовать линейные ускорители для ионной имплантации. Электронография, а затем и рентгенолитография, справились со своими обязанностями, пока размеры элементов не достигли 200—100 нм. На этом возможности физики были исчерпаны. Процесс изготовления структурных элементов размером 100—10 нм накладывал принципиальные физические и технологические запреты («Электронная промышленность», 1984, вып. 5 (133), с. 7—9).

Вокруг света, 1968, № 3.

Что делать дальше?

4.1.3. Вместо переходов на микроуровень «по Симпсону» и «по физике» химия предложила совершенно новый метод — молекулярную самосборку.

В самом деле, что такое структура размером 10 нм? Это же агрегат из нескольких десятков молекул. Десятков! А химия давно научилась оперировать единицами молекул и точно подгонять их друг к другу для образования комплексов (структур).

Метод основан на последовательном синтезе по цепочке: атомы — молекулы — агрегаты молекул — микродетали. На каждом этапе идет самосборка: атомы с а м и соединяются и образуют молекулу, молекулы с а м и объединяются в агрегат и т. д. Самосборка определяется только свойствами атомов, молекул и их агрегатов и мало зависит от внешних параметров (температуры, давления, концентрации). Это главная особенность самосборки—процесс зависит не от воздействий извне (например, пучков электронов, ионов), а только от свойств и размеров молекул, использованных для сборки деталей. Таким образом, технологические трудности (точность поддержания параметров и технологических режимов) переносятся на химический синтез деталей микросхем. А химический синтез всегда абсолютно точен: молекула определенного вещества, в каких бы условиях оно ни было получено, всегда состоит из одних и тех же атомов, соединенных между собой всегда одним и тем же способом. То же — для молекул и агрегатов молекул. Отсюда вытекают две важные особенности процесса самосборки: 1) молекулы собираются в агрегат (а агрегаты — в микродеталь) путем соединения в определенных точках контактной поверхности — точках взаимодействия по типу «ключ — замок»; 2) процесс автоматически прекращается, когда в агрегат собирается строго определенное число молекул (а в деталь — агрегатов).

Что заставляет молекулы собираться в строго определенные структуры? Объяснить это можно простым методом самосборки, разработанным Лэнгмюром и Блоджеттом еще в 1935 году. Если в воде растворить поверхностно-активное вещество (ПАВ), то его молекулы начнут взаимодействовать и с молекулами воды и между собой. Характер этого взаимодействия зависит от особенностей молекулы ПАВ: «голова» молекулы хорошо взаимодействует с водой («голова» гидрофильна — водолюбива), а все остальное «туловище» не соединяется с водой (гидрофобно). Поэтому молекулы ПАВ образуют в воде одну из двух структур: шарик или двухслойную пленку. В обоих случаях «туловища» молекул спрятаны внутрь структуры, а «головы» выставлены наружу — к воде. Метод позволяет наносить на твердые подложки последовательно любое число (от 1 до 1000) ориентированных мономолекулярных слоев ПАВ общей толщиной от 2 до 2000 нм. При этом задается нужный химический состав, а следова-

тельно, свойство и толщина любого из этих слоев. Толщина каждого слоя определяется только длиной выбранных для него молекул. Метод Лэнгмюра-Блоджетта позволяет получать сложные структуры, приближающиеся по уровню организации к биологическим («Электронная промышленность», 1984, вып. 5(133), с. 7—9).

Современные модификации метода обладают следующими преимуществами: молекулы в пленках ориентированы как в монокристалле, слои могут чередоваться по заданной технологической программе, химический состав слоев резко меняется без переходной области (слои не перемешиваются), поверхности раздела между слоями атомарно-гладкие, пленки однородны по толщине.

Метод самосборки пока еще делает первые шаги в микроэлектронике. Многие тонкости технологии еще не отработаны, но перспективы у метода безусловно оптимистические. С его помощью будет идеально решена также проблема ремонта электронной (или биоэлектронной) аппаратуры. Представьте себе ситуацию длительного космического полета, когда сильно ограничены возможности взять с собой дублирующую аппаратуру или гарантированное количество запасных частей. В этом случае любая вышедшая из строя деталь может быть тут же синтезирована по одной из программ — из одного и того же набора компонентов («Химия и жизнь», 1984, № 2, с. 57—61).

4.1.4. Молекулы очень разборчивы в связях, то есть обладают высокой избирательностью при взаимодействиях с «себе подобными». Они мгновенно реагируют на самые тонкие различия в свойствах возможных партнеров и тут же делают их на «своих» и «чужих». Вся история химии как раз и связана с выявлением и объяснением этих особенностей химических элементов и соединений.

Самое простое деление веществ основано на их «любви» или «нелюбви» к воде: есть вещества гидрофильные, есть — гидрофобные. Даже такое грубое разделение свойств веществ можно и нужно использовать в изобретательской практике. Вот несколько примеров.

С появлением синтетических материалов (одежды, мебели и покрытий в жилых помещениях) все мы вдруг столкнулись с неприятной проблемой статического электричества. Хотя и оказалось, что с этой проблемой были хорошо знакомы еще древние греки и римляне: шелковые и атласные тоги и туники электризовались не меньше наших лавсановых сорочек. Главный способ борьбы со статическим электричеством состоит в том, чтобы максимально снизить удельное поверхностное сопротивление полимерного материала. Тогда возникший от трения заряд быстро растечется по поверхности и стечет без вреда, а не будет накапливаться в одном месте до потенциала в несколько сот вольт. Значит, поверхностный слой должен быть

проводником (пусть не очень хорошим). Первые технические решения предусматривали вплетение металлической нити в ткань или напыление металла на поверхность материала. Но такие решения ухудшали свойства полимерных тканей — снижалась их гибкость, эластичность, прочность. Замена чистой синтетики на композиционные материалы (смесь полимеров с наполнителем из проводящего ток вещества) не приемлема по той же причине. Надо создать проводящий слой на непроводящем материале, ничего при этом не вводя в него. Как быть? Задача была решена, когда вспомнили, что многие красители для тканей обладают гидрофильными свойствами. А значит, если окрашивание изделий вести такими красителями, то поверхность синтетики всегда будет чуть-чуть гидрофильна настолько, что приклеившиеся к гидрофильным молекулам краски молекулы воды обеспечат резкое снижение поверхностного сопротивления («Химия и жизнь», 1978, № 7, с. 35—39).

При создании новых топливных элементов (электрохимических источников тока) потребовалось использование специальных пористых электродов, имеющих огромную внутреннюю поверхность. Однако, чтобы заставить эффективно работать всю внутреннюю поверхность, понадобилось решить, казалось бы, нерешимую задачу: одновременно насытить поры электрода и газом и жидкостью (электролитом). В обычных условиях эти компоненты вытесняют друг друга. Как совместить несовместимое? Использовали гидрофильность-гидрофобность: одну часть поверхности сделали из смачиваемого водой вещества, а другую — из несмачиваемого. Для этого при изготовлении электродов смешивают гидрофильный металл с гидрофобным фторопластом.

Этот же прием был применен при решении проблемы гемосовместимости полимерных протезов (то есть совместимости синтетических участков сосудов с белками крови). Для того чтобы белки крови «приняли за своего» полимер, внутренние стенки искусственных сосудов покрывают специальными физиологически активными веществами (ФАВ). Молекулы ФАВ препятствуют контакту белка с полимером. Но покрыть абсолютно всю поверхность никак не удавалось, оставались непокрытые участки или покрытие нарушалось при сшивании сосудов. Задача была решена путем связывания ФАВ со стенкой сосуда посредством длинной «ножки» из гидрофильного полимера. Такая гидрофильная «щетка» закрывает всю поверхность и не допускает белок к стенке сосуда, даже если на данном участке не будет ФАВ.

Совмещение гидрофильно-гидрофобных свойств в одной системе можно использовать для разделения жидкостей, например, воды и органической жидкости. Так, в сепараторе (а. с. СССР 184 886) часть слоя гидрофильного волокна пропитана гидрофобным составом, что обеспечивает выделение капель воды на выходе из сепара-

тора, если большая часть слоя гидрофобна (маленький участок слоя на выходе остается гидрофильным), или выделение органической жидкости из воды, если большая часть слоя гидрофильна. По а. с. 1 019 680 гидрофильное волокно использовано в устройстве для очистки нефтепродуктов от воды.

Часто свойства гидрофобности и гидрофильности используют отдельно.

Примеры «гидрофобных» решений. В способе магнитной сепарации слабомагнитных руд частицы обрабатывают гидрофобным порошком углерода (а. с. 865 811). Для повышения чувствительности индикатора в способе определения растворенного в воде кислорода используют гидрофобный сорбент (а. с. 922 063). Гидрофобизаторы используют также в электроде для электрохимического окисления (а. с. 836 225), для изготовления водостойких поляроидов-очков для стереокино (а. с. 834 006), для предотвращения слежи-ваемости гранул (а. с. 833 929), для изоляции пластовых вод в скважине (а. с. 829 872), в устройстве для имитаций естественного дождя (а. с. 1 069 714), для предотвращения развития микрофлоры на крышках для консервных банок (а. с. 1 018 892) и т. д.

Гидрофильные свойства веществ использованы в способе предотвращения запотевания измерительного окна водомера (пат. Австралии 517 144). Прозрачная линза из полимера сама по себе гидрофобна, и на ней собирались бы капельки воды (запотевание). Но для придания ей гидрофильности поверхность предложено обрабатывать одним из способов: электрическим разрядом УФ-света, раствором сильной кислоты, кратковременным обжигом в струе газа или нанесением тончайшей гидрофильной пленки из оксиэтил-целлюлозы. По патенту США 4 239 506 предложено использовать полупроницаемую гидрофильную мембрану для тонкого разделения газов. Мембрана постоянно смочена водой, а один из газов хорошо растворяется в воде, поэтому молекулы этого газа проходят мембрану и на другой стороне подхватываются потоком инертного газа. Гидрофильные вещества могут не только смачиваться водой, но и растворяться в ней. Это свойство используется для создания временных защитных покрытий, например для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла (а. с. 1 007 882).

Но смачиваемость — это лишь частный случай более общего явления лиофильность-лиофобность. Например, есть олеофильные вещества, то есть вещества, хорошо смачиваемые нефтепродуктами (олеум — нефть).

## 4.2. СИСТЕМЫ НАЧИНАЮТСЯ С МОЛЕКУЛ

4.2.1. Мы хорошо различаем, что такое газ, жидкость или твердое тело, то есть легко определяем фазовое состояние вещества. Но это на макроуровне. А применимы ли эти понятия на микро-

уровне? В каком фазовом состоянии находится одна молекула вещества? Или так: сколько молекул надо собрать вместе, чтобы это были газ, жидкость или твердое тело?

В терминах системного анализа этот вопрос звучит так: со сколько элементов начинается система? Система — не простая сумма элементов, ее главное свойство всегда больше суммы свойств составляющих ее элементов. Появление неожиданной прибавки (системного свойства) — это всегда хорошо заметный качественный скачок при переходе количественных изменений в качественные. «Стыковка» свойств элементов при образовании системы идет двояко: одна часть свойств складывается, взаимоусиливается (это будущее системное устройство), другая — гасится, вычитается, взаимонейтрализуется. В итоге системное свойство выступает на первый план, становится преобладающим, играющим главную роль в «жизни» системы. Системное свойство может появиться из сочетания (содействия) ранее незаметных или нейтральных свойств элементов, тогда его появление становится еще более неожиданным. Самое простое свойство молекул — взаимное притяжение или отталкивание. Если встречаются молекулы, которые взаимно отталкиваются или у которых скорость превышает силы притяжения, то они не образуют систему. Нет системного свойства и у «кучи» из 10 молекул, хотя они и связаны между собой силами притяжения (силы Ван-дер-Ваальса). Только при 11—15 молекулах (а практически при 20—30 молекулах) происходит качественный скачок, и «куча» превращается в систему (это самая маленькая капля жидкости или самый маленький кусочек твердого вещества). Какое же системное свойство здесь появилось? Это свойство — поверхностная энергия. Она складывается из тех же сил притяжения. Только внутри кусочка вещества эти силы взаимокompенсированы, а на поверхности они свободны, незадействованы. Силы притяжения действуют не только на соседнюю молекулу, а чуть дальше — на 2—3 слоя. Поэтому свободные силы на поверхности складываются из сил притяжения поверхностного слоя и убывающих по величине сил 2-го, 3-го и последующих слоев. Поверхностные силы постепенно (по мере увеличения количества молекул) растут и становятся критическими для агрегата из 11—15 молекул. Их величина достигает значения, при котором эти силы начинают действовать на весь агрегат молекул и сжимают его как пружинистая сетка. Тут-то и появляется новое качество: если силы Ван-дер-Ваальса убывают пропорционально 7-й степени расстояния, то поверхностные силы — пропорционально 3—4-й, то есть они оказываются сильнее, чем сумма элементов, их породившая.

Итак, самый маленький кусочек — это агрегат из 20—30 небольших молекул, диаметр такой частицы составит 1—5 нм («Химия и жизнь», 1984, № 2, с. 74—79). Из-за того, что частицы обладают 152

свободной поверхностной энергией, они намного активнее больших частиц. Такие агрегаты молекул — неполные веполы, в которых не достает одного вещества. Поэтому они притягивают (поглощают, адсорбируют) вещества из окружающей среды. Некоторые металлы могут, например, самовоспламеняться на воздухе. Вообще, свойства таких, частиц (температура плавления, затвердевания и др.) сильно отличаются от более крупных частиц того же вещества. Если вещество в виде таких частиц находится в жидкости, то вокруг них сразу же образуется сольватный слой — моно- или полимолекулярный слой из молекул жидкости. Если эти частицы заряжены, то они притянут к себе эквивалентное число ионов другого знака. Эти свойства сохраняются у частиц до размера 3000—5000 нм (3—5 мкм). Растворы таких веществ очень устойчивы, поскольку сила тяжести у частиц меньше, чем силы броуновского движения. Растворы не расслаиваются и взвесь не выпадает в осадок неограниченно долго. Так, растворы коллоидного золота М. Фарадея хранятся в Британском музее уже 150 лет. При дальнейшем увеличении размеров у частиц убывает поверхностная энергия, увеличивается их масса и преобладающими силами в системе становятся силы гравитации. Совершается переход к новому системному уровню с новыми свойствами и т. д.

4.2.2. Убедиться в существовании поверхностных сил может каждый, пример — мыльные пузыри (пленка не рвется при выдувании). Сначала пленка бесцветна, как стеклянная. Первый цвет (фиолетовый) появляется при толщине 210 нм. Затем, при уменьшении толщины, цвета последовательно меняются, и вдруг на пленке появляется черное пятно. В этом месте толщина пленки (5 нм) меньше длины волны видимого света — пленка невидима. Стоит еще чуть-чуть уменьшить толщину, и поверхностные силы исчезают, мыльный пузырь лопается («Химия и жизнь», 1978, № 11, с. 73—79).

Такие тонкие пленки (толщиной в 1—2 молекулы) называются мономолекулярными слоями вещества. Поверхностная энергия таких слоев не так уж мала — мономолекулярные слои не раз спасали моряков. Вспомним «Пятнадцатилетнего капитана» Жюль Верна: «Матросы стояли на носу возле бочек с жиром, ожидая приказа капитана. «Лей ворвань, — крикнул Дик, — живей!». Под слоем жира, который потоками лился на волны, море успокоилось словно по волшебству. Этой минуты затишья было достаточно, чтобы «Пилигрим» проскочил за линию рифов». Уже в наше время на одном корабле во время шторма за борт повесили пять мешков с паклей, пропитанной льняным маслом. Через каждые полчаса их заменяли. За сутки было израсходовано 60 килограммов масла — и ни одного повреждения, ни одной жертвы!

Эксперименты в Черном море показали, что 10-ти литров специальной жидкости достаточно для создания невидимой глазу

пленки площадью 27 гектаров. Если применить экологически безвредные жидкости, то какие задачи можно решить с их помощью? Вот только две «лежащих на поверхности» проблемы. Первая — борьба с тропическими ураганами, зародышами которых являются области интенсивного испарения. Значит, для предотвращения испарения сбрасываем с воздуха «бомбу» — большую «каплю» жидкости в пластиковом мешке — и... ураган на сегодня отменяется. Вторая — сбор разлитой нефти. Здесь можно использовать основное свойство мономолекулярного слоя — стремление молекул крепко «держаться» друг за друга и под действием поверхностных сил слиться в сплошную пленку. Отсюда и возможное решение — нефтяное пятно обносится по контуру пленкой жидкости, пленка сжимает нефть в небольшое озерцо, откуда ее намного легче собрать.

Понимание свойств мономолекулярных пленок, в том числе естественных, органического происхождения, помогло раскрыть тайну исчезновения американской атомной подводной лодки «Тре-шер». По общепринятой сейчас версии лодка попала в бушевавший подводный шторм, при этом на поверхности была спокойная гладь моря. А на глубине, на границах воды разной плотности, подводную лодку подхватила огромная волна, и лодка, скользя по ее склону, ушла на такую глубину, где ее раздавило чудовищное давление.

4.2.3. Примером активно работающих молекулярных систем могут служить комплексоны — маленькие, но четко организованные коллективы молекул. В центре комплексона — ион какого-либо металла, оболочка — слой молекул другого вещества. Типичные комплексоны — класферы (рой, гроздь молекул, внутри — ион) и хелаты (молекулярные клещи, захватившие ион). Комплексоны, как соединения, известны почти для всех элементов периодической системы.

*Способность захватывать ион металла и отдавать его в нужный момент — главное свойство комплексонов.*

Вот как используется это свойство для вылечивания растений от губительной для них болезни хлорозы (нехватка железа, без которого не образуется хлорофил, а значит, не идет фотосинтез). Посадки растений опрыскивают раствором «железного» комплексона, он проникает в почву и всасывается корнями растений, затем транспортируется вверх к листьям. Все это время молекулы комплексона крепко держат ион железа, защищают его от взаимодействия с другими веществами — до «станции назначения» он должен дойти целым и невредимым. А в листе комплексоны разлагаются под действием УФ-излучения солнца, и ион железа выходит на свободу.

Одно из простейших хелатобразующих органических соединений — этилендиамин. Если к голубому раствору медного купороса прилить бесцветный раствор этого вещества, то смесь сразу станет сине-фиолетовой: образуется соединение из одного атома меди,

зажатого между молекулами этилендиамина. Отличительное свойство таких растворов — изменять цвет в зависимости от концентрации ионов металла. Соединение диметилглюксима с никелем также меняет цвет от ярко-розового до бесцветного в зависимости от содержания ионов в растворе. Соединение тиосемикарбазида с кобальтом может быть или зеленым, или фиолетовым — в зависимости от расположения органических молекул соединения, то есть получаются разные вещества при одной и той же химической формуле. Такое явление называется *изомерией* — различной геометрией расположения в молекулярной системе. Подобные геометрические эффекты на микроуровне свойственны многим соединениям и могут до неузнаваемости изменять оптические, ионные и другие характеристики вещества. Например, создан изомер сахара, так называемый Л-сахар, который практически идентичен обычному, но организм его не усваивает. Структура Л-сахара — зеркальное отражение структуры обычного сахара, в растворе он отклоняет поляризованный свет влево, а не вправо. Такой продукт не оказывает вредного действия на больных диабетом, не вызывает кариеса зубов (поскольку не расщепляется бактериями). В отличие от заменителей сахара он ни по каким свойствам от него не отличается и при этом полностью выводится из организма («За рубежом», 1986, № 22, (1351).

Комплексоны растворимы в воде, но не диссоциируют (не распадаются) в ней. Этим и объясняются многие ценные свойства цепких молекул. Захватывая ион, комплексоны изолируют его от окружающей среды, лишают возможности химического взаимодействия. Очень эффективно их использование для умягчения воды, удаления накипи в котлах, для регулирования скорости схватывания бетона и т. д.

Комплексоны могут захватывать и молекулы кислорода. Так, комплексен кобальта — салькомин — присоединяет кислород уже при комнатной температуре и полностью отдает его при 70—80 °С. В США использовали салькомин в экспериментах по подводной сварке как аккумулятор кислорода. Здесь техническое решение близко к биологическому: подобный комплексон — железопорфирин, способный обратимо присоединять молекулу кислорода, входит в состав гемоглобина крови.

С помощью комплексонов получен ответ еще на один интересный вопрос: из скольких атомов состоит самый маленький магнит? Для железа это было известно давно — магнитными свойствами обладают даже одиночные атомы. А вот у других металлов никак не удава-



лось установить минимальное количество вещества с магнитными свойствами. Пробовали механическое измельчение, химическое осаждение из раствора — частицы получались разных размеров и их невозможно было разделить по фракциям и тогда в раствор осмия (изучался этот металл) ввели вещество, способное образовывать кластеры с разным количеством атомов металла. Были получены и исследованы кластеры с 3, 6 и 10 атомами осмия. Оказалось, что первые два вещества не реагируют на магнитное поле даже при температуре кипения жидкого гелия, когда тепловое движение почти совсем прекращается. Третье соединение обладало магнитными свойствами при температуре кипения жидкого азота (77° К). Значит, самый маленький магнит осмия состоит из 7—10 атомов («Химия и жизнь», 1982, № 12, с. 88).

4.2.4. Свойства комплексонов использованы также в одной из недавних разработок химии — жидких мембранах. В процессах с жидкими мембранами осуществляется один из самых тонких и точных механизмов избирательного переноса. Вот как работает этот механизм.

Например, требуется очень тщательно разделить ионы нескольких металлов, находящихся в водном растворе (пат. США 4 287 071). Причем, одни ионы (например, тяжелых металлов) надо вывести из раствора и обезвредить, а другие (например, ионы урана) — вы-вывести из раствора и сконцентрировать. Для этого сначала готовят смесь — эмульсию серной кислоты в специальном органическом веществе, которое обволакивает капельки кислоты тонкой пленкой, то есть жидкой мембраной. Затем эту эмульсию приливают к раствору с ионами металлов, куда предварительно вводятся комплексо-образующие соединения (для каждого металла свое). Комплексо-образующий реагент образует с ионом тяжелого металла комплексон, который свободно проникает внутрь капельки и там разрушается серной кислотой. Комплексон урана проходит в оболочку капельной мембраны и остается там. В результате достигается не только очистка раствора от ионов металлов, но и концентрирование, и выделение урана. По окончании процесса эмульсию капель отделяют от воды, а затем разделяют жидкость оболочки и жидкость внутри капли, или утилизируют.

В патенте США 4 292 181 описан похожий процесс, но в качестве комплексообразователя взято ионообменное вещество. Ион тяжелого металла образует с жидким ионообменником (переносчиком) комплексон, который проникает сквозь жидкую мембрану внутрь капли (серная кислота). Там комплексон выпускает ион металла и, захватив ион водорода, возвращается назад, в водный раствор. При контакте с водой комплексон отдает ион водорода, захватывает новый ион металла и так до полного разделения.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ



к При организации и проведении автомобильных гонок на специальных ста дионах существует серьезная проблема обеспечения безопасности. Дело в том, что во время тренировочных проездов на скоростные трассы попадают капли масла, которые необходимо удалить перед соревнованиями. Традиционный способ — посыпка цементом — не эффективен (масло только связывается, но не удаляется). Кроме того, цемент попадает в узлы мчащихся автомобилей. Были попытки применить ферропорошок (в смеси с маслом образуется магнитная жидкость), но качество уборки стадиона стало сильно зависеть от температуры воздуха: в жаркие летние дни масло разжижается, растекается по поверхности, и ферропорошок не «захватывает» его. Требуется предложить простейшую уборочную машину, которая бы за один проезд (или за несколько, в зависимости от ширины рабочего органа) эффективно очищала бы скоростную трассу от масла и других жидких нефтепродуктов. Ваше предложение?

V/"—?" 25. Космонавт Е. В. Хрунов рассказывает: «...мы пришли к выводу, что пере-'  
\* двигаться в космосе, «переходить» из корабля в корабль, из одного места в другое лучше всего (удобнее)... на руках, используя жесткие поручни для опоры...; ...пока нет оптимальных предложений, решено использовать для передвижения человека в космосе самый древний рефлекс — хватательную способность рук. Однако руки уставали, особенно кисти, что затрудняло выполнение операций, требующих тонких координированных движений, таких, как фотографирование, астроизмерения, монтаж-демонтаж и др.»\*

Мнение космонавта о изобретениях в этой области таково: магнитная обувь, скобы, леера, клеящие сцепляющиеся вещества облегчают передвижение, но вынуждают космонавта больше думать о процессе передвижения, чем об основных операциях, поскольку внимание приковано к включению-выключению магнитов, отрыванию-закреплению конечностей, вставлению ноги в специальные скобы и т. д.

Хрунов считает, что лучшим решением было бы создание искусственной силы тяжести (достаточно 0,25—0,35 земной) за счет вращения космического аппарата со скоростью 10 град/с с радиусом вращения 90 м (то есть станция будет делать один оборот за 36 секунд; при этом не ясно, как проводить в этих условиях, например, те же астроизмерения?). Но технически это пока трудно осуществимо, поэтому он предлагает разработать автоматическую систему управления магнитами от биопотенциалов ног, то есть систему с обратной связью, включающую датчики, усилители, исполнительные механизмы... Довольно сложная получится система, неизобретательский это подход к задаче. Как говорится, сложное сделать проще, а вот попробуй наоборот...

Итак, задача состоит в том, чтобы обеспечить космонавтам свободное перемещение внутри и снаружи станции без использования «хватательного рефлекса», решение должно быть предельно идеально. Практическое значение такого изобретения трудно переоценить: человечество, завоевывая космос, второй раз поднимется с четверенек...

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### ГЛАВА 1

Бык С. Ш. Газовые гидраты.— М.: Химия, 1980. Макогон Ю. Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование.— М.: Недра, 1985.

\* Х а ч а т у р ь я н с О. С., Х р у н о в Е. В. Побеждая невесомость.—М.: Знание, 1985.— С. 95, 107.

Мержанов А. Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Физическая химия. Современные проблемы. Ежегодник / Под ред. акад. Я. М. Колотыркина.— М.: Химия, 1983.

Подгорный А. Н., Варшавский И. Л., Приймак А. И. Водород и энергетика.— Киев: Наукова думка, 1984.

Г. Шефнер. Химические транспортные реакции.— М.: Мир, 1964.

## ГЛАВА 2

Разумовский С. Д. Кислород — элементарные формы и свойства.— М.: Химия, 1979.

Разумовский С. Д., Зайков Г. Е. Озон и его реакции с органическими соединениями.— М.: Наука, 1974.

Перов С. П., Хргиан А. Х. Современные проблемы атмосферного озона.— Л.: Гидрометеоздат, 1980.

Шевченко М. А., Марченко П. В., Таран Я. Н., Лизунов В. В. Окислители в технологии водообработки.— Киев.: Наукова думка, 1979.

## ГЛАВА 3

Барачевский В. А., Лашков Г. И., Цехомский В. А. Фотохромизм и его применение.— М.: Химия, 1977.

Джапаридзе К. Г. Спирохромены.— Тбилиси: Мецниереба, 1979.

Органические фотохромы / Под ред. проф. А. В. Ельцова.— Л.: Химия, 1982.

Рэндин Дж. П. Достижения в области электрохромных индикаторов // Электроника, 1981, № 26.

## ГЛАВА 4

Гликина Ф. В., Ключников Н. Г. Химия комплексных соединений.— М.: Просвещение, 1982.

Маргулова Т. Х. Применение комплексонов в теплоэнергетике.— М.: Энергоатомиздат, 1986.

## УКАЗАТЕЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВЕЩЕСТВА

Перенос в пространстве: транспортные реакции (1.2.1), термохимический метод (1.3.1), в гидратном состоянии (1.3.4), в сжатых газах (1.3.5), в гидридах (1.4), в виде части будущего соединения (1.6.3), в адсорбентах (2.3.2), в виде взрывчатых смесей (2.5.5), молекулярная самосборка (4.1.3), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Изменение массы: транспортные реакции (1.2.1), термохимический метод (1.3.1), перевод в химически связанный вид (1.3.3), перевод в гидратное состояние (1.3.4), перевод в гидридное состояние (1.4), в экзотермических реакциях (1.5.2., 1.5.6).

Изменение концентрации: транспортные реакции (1.2.1), перевод в химически связанный вид и выделение (1.3.3, 1.6.3), перевод в гидратное состояние (1.3.4), в сжатых газах (1.3.5), в гидридах (1.4), смещение химического равновесия (1.6.2), адсорбция-десорбция (2.3.2), полупроницаемые мембраны (4.1.4), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Изменение удельного веса: перевод в химически связанный вид (1.3.3), перевод в гидратное состояние (1.3.4), гидриды (1.4).

Изменение объема: перевод в химически связанный вид (1.3.3, 1.6.3), транспортные реакции (1.2.1), перевод в гидратное состояние (1.3.4), растворение в сжатых газах (1.3.5), перевод в гидриды (1.4), в экзотермических реакциях (1.5.2), в термохимических реакциях (1.5.3), растворение (1.5.5, 2.3.2), при взрыве (2.3.3).

Изменение формы: транспортные реакции (1.2.1), термохимическая обработка (1.3.1), газовые гидраты (1.3.4), сжатые газы (1.3.5), гидриды (1.4), плавление-затвердевание (1.5.4).

Изменение электрических свойств: гидрирование (1.4), восстановление окисей (1.4.6, 1.6.3), растворение солей (1.5.5), при СВЧ (1.5.6), нейтрализация электрических зарядов (2.5.2), при смещении химического равновесия (1.6.2), электризация окислением (2.5.2), газов при радиоактивном облучении (2.4.4), электрохромов (3.5), гидрофильный слой (4.1.1), комплексоны (4.2.3).

Изменение оптических свойств: восстановление окисей (1.4.6, 1.6.3), цвета (1.6.2, 2.5.4, 4.2.3), генерация света (2.4.1, 2.5.5, 2.5.6, 3.2.4, 3.2.5), изменение светопропускания (3.2.3, 3.5.3), в мономолекулярных слоях (4.2.2).

Изменение магнитных свойств: гидрирование (1.4), при СВЧ (1.5.6), окислителей (2.5.5), в кластерах (4.2.3).

Изменение биологических свойств: перевод в химически связанный вид (1.3.3), озонированием (2), гидрофильность-гидрофобность (4.1.4), комплексоны (4.2.3).

Изменение химических свойств: транспортные реакции (1.2.1), термохимическая обработка (1.3.1), химическое связывание газов (1.3.3), газовые гидраты (1.3.4), сжатые газы (1.3.5), гидрирование (1.4), восстановление окисей (1.4.6, 1.6.3), экзотермические реакции (1.5.2), термохимические реакции (1.5.3),



плавление-затвердевание (1.5.4), растворение солей (1.5.5), при СВС (1.5.6), смещение химического равновесия (1.6.2), озонирование (2), в фотохромах (3), гидрофильность-гидрофобность (4.1.4), перевод в микросостояние (4.2.1), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Изменение фазового состояния: транспортные реакции (1.2.1), термохимическая обработка (1.3.1), химическое связывание газов (1.3.3, 1.6.3), газовые гидраты (1.3.4), сжатые газы (1.3.5), гидриды (1.4), плавление-затвердевание (1.5.4, 3.2.6), растворение солей (1.5.5), выделение из растворов (1.6.2), адсорбция-десорбция (2.3.2), фотохромов (3.2.7).

Обезвреживание (деструкция): перевод в химически связанный вид (1.3.3, 1.6.2), перевод в гидратное состояние (1.3.4), в сжатых газах (1.3.5), гидрирование (1.4), экзотермические реакции < 1.5.2, 1.5.6), термохимические реакции (1.5.3), растворение (1.5.5), озонирование (2), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Стабилизация (временное уменьшение активности): химическое связывание газов (1.3.3), перевод в гидратное состояние (1.3.4), в сжатых газах (1.3.5), в гидридах (1.4), плавление-затвердевание (1.5.4), в адсорбентах (2.3.2), комплексоны (4.2.3).

Преобразование двух и более веществ в одно: транспортные реакции (1.2.1), термохимический метод (1.3.1), химическое связывание газов (1.3.3, 1.6.3), газовые гидраты (1.3.4), сжатые газы (1.3.5), гидриды (1.4), окисление-восстановление (1.4.6), экзотермические реакции (1.5.2, 1.5.6), термохимические реакции (1.5.3), растворение (1.5.5, 2.3.2), соединение взаимно-активных веществ (1.6.2), озонирование (2), фотохромизм (3.2.4), комплексоны (4.2.3).

Предохранение одного вещества от проникновения другого: путем химического связывания одного из них (1.3.3, 1.3.4, 1.6.2), защита гидратами (1.3.4), растворением в сжатых газах (1.3.5), защита гидридами (1.4), сжиганием (1.5.2), окислением (2), от окислителей (2.4.4), гидрофильность-гидрофобность (4.1.4), полупроницаемые мембраны (4.1.4), жидкие мембраны (4.2.4).

Нанесение одного вещества на поверхность другого: транспортные реакции (1.2.1), в гидратном состоянии (1.3.4), с помощью гидридов (1.4), окисление-восстановление (1.4.6), соединением взаимно-активных веществ (1.6.2), фотохромов (3.2.7, 3.3.4), электрохромов (3.5), молекулярная самосборка (4.1.3), гидрофильность-гидрофобность (4.1.4), жидкие мембраны (4.2.4).

Соединение разнородных веществ (уплотнение, закупорка): с помощью гидратов (1.3.4), с помощью гидридов (1.4), сваркой (1.5.2, 1.5.6), плавление-затвердевание (1.5.4), молекулярная самосборка (4.1.3).

Разделение веществ (выделение одного из другого): транспортные реакции (1.2.1), выделение химически связанных газов (1.3.3, 1.3.4), из сжатых газов (1.3.5), из гидридов (1.4), восстановление из окисей (1.4.6, 1.6.3), смещение химического равновесия (1.6.2), из адсорбентов (2.3.2), из озонидов (2.5.1), гидрофильность-гидрофобность (4.1.4), полупроницаемые мембраны (4.1.4), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Разрушение вещества: транспортные реакции (1.2.1), термохимический метод (1.3.1), разрушение химически связанных веществ (1.3.3, 1.3.4), выделение из сжатых газов (1.3.5), насыщение водородом (1.4), разрушение окисей (1.4.6, 1.6.3), сжигание (1.5.2, 1.5.6), растворение (1.5.5), смещение химического равновесия в смесях (1.6.2), соединение взаимоактивных веществ (1.6.2), окисление (2), взрывом (2.3.3, 2.5.5), комплексоны (4.2.3).

Размещение одного вещества в другом: транспортные реакции (1.2.1), химическое связывание газов (1.3.3, 1.6.3), газовые гидраты (1.3.4), в сжатых газах (1.3.5), в гидридах (1.4), в адсорбентах (2.3.2), растворение (1.5.5, 2.3.2, 2.4.4), комплексоны (4.2.3), молекулярная самосборка (4.1.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Получение новых веществ (синтез): транспортные реакции (1.2.1), термохимический метод (1.3.1), химическое связывание газов (1.3.3), газовые гидраты (1.3.4), гидриды (1.4), восстановление из окисей (1.4.6, 1.6.3), экзотермические реакции (1.5.2, 1.5.6), термохимические реакции (1.5.3), соединение взаимно-активных веществ (1.6.2), при смещении химического равновесия (1.6.2), озонирование (2), окислителей (2), сверхокислителей (2.6.1), озонидов (2.5.1), молекулярная самосборка (4.1.3), комплексоны (4.2.3).

Организация замкнутого цикла по веществу (поглощение-выделение): транспортные реакции (1.2.1), химическое связывание-выделение газов (1.3.3, 1.3.4), растворение в сжатых газах (1.3.5), гидриды (1.4), адсорбция-десорбция (2.3.2), с помощью озонидов (2.5.1), в электрохромах (3.5.2), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Сборка вещества из атомов: транспортные реакции (1.2.1), выделение из химически связанного вида (1.3.3, 1.3.4, 1.6.3), выделение из сжатых газов (1.3.5), из гидридов (1.4), восстановление из окисей (1.4.6), СВС (1.5.6), соединение взаимно-активных веществ (1.6.2), молекулярная самосборка (4.1.3), полупроницаемые

мембраны (4.1.4), переход молекула — агрегат (4.2.1), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Получение веществ с хорошо организованной структурой (получение чистых веществ): транспортные реакции (1.2.1), в химически связанном виде (1.3.3, 1.3.4, 1.6.3), выделение из сжатых газов (1.3.5), из гидридов (1.4), СВС (1.5.6), молекулярная самосборка (4.1.3, 4.2.1), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

Транспорт одного вещества сквозь другое: транспортные реакции (1.2.1), термохимический метод (1.3.1), в химически связанном виде (1.3.3, 1.3.4, 1.6.3), в сжатых газах (1.3.5), в гидридах (1.4), водород сквозь металлы (1.4), в термохимических реакциях (1.5.3), с использованием фазового перехода (1.5.4), при смещении химического равновесия (1.6.2), в адсорбированном виде (2.3.2), полупроницаемые мембраны (4.1.4), комплексоны (4.2.3), жидкие мембраны (4.2.4).

#### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

Получение тепла (ввод тепловой энергии в систему): сжигание газовых гидратов (1.3.4), сжигание водорода (1.4.1), с помощью гидридов (1.4.5), энергоемкие вещества (1.5.2), экзотермические реакции (1.5.3), СВС (1.5.6), с использованием сильных окислителей (2.2.2), при разложении озона (2.3.3).

Получение холода (вывод тепловой энергии из системы): разложение газогидратов (1.3.4), с помощью гидридов (1.4.5), эндотермические реакции (1.5.3), при растворении (1.5.5).

Получение механических давлений: разложение газогидратов (1.3.4), разложение гидридов (1.4.3), разупрочнение металлов при наводораживании (1.4.2), разбухание металлов (1.4.4), при разложении жидкого озона (2.3.3).

Генерация светового излучения: хемилюминесценция (2.4.1, 2.5.5, 2.5.6, 3.2.4).

Аккумуляция тепла: в химических реакциях (1.5.3), при фазовых переходах (1.5.3, 1.5.4).

Аккумуляция холода: в гидридах (1.4.5).

Аккумуляция световой энергии: фотохро-мизм (3.1.2, 3.2).

Транспорт тепловой энергии: транспортные реакции (1.2.1, 1.2.3), в гидридных аккумуляторах (1.4.5).

Транспорт (сток) статического электричества: металлизация тканей (1.2.4), обработка озоном (2.5.2), гидрофильное покрытие (4.1.4).

Регулирование световой энергии: фотохро-мизм (3.1.2, 3.2.3).

Энергетические воздействия на вещество: коронный разряд (2.3.1), радиоактивное излучение (2.3.1, 2.4.4), кавитация (2.5.3), УФ-свет (2.5.3, 2.6.1, 3.2.5), электрическое поле (2.5.3), электрический ток (2.6.1), электромагнитное поле (2.5.3). ИК-свет (2.6.1), СВЧ-разряд (2.6.1), видимый свет (3.2), тепловая энергия (3.2.5).

#### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Индикация текущей информации о веществе: водороде (1.4.4), металлоорганических примесях в газе (2.5.2), озоне (2.5.4, 2.5.5), хемилюминесценция в реакциях окисления (2.4.1, 2.5.5, 2.5.6), флуоресценция (3.2.6), гидрофотография (3.2.6), гидродинамика потоков (3.2.7).

Индикация информации об энергии: тепловой при фазовом переходе (1.5.3, 1.5.4), тепловой в термохромах (3.3, 3.6.2), коронного разряда по образованию озона (2.3.1, 2.5.2), радиоактивного излучения по образованию озона (2.3.1, 2.4.4), радиоактивного излучения в радиохромах (3.4), видимого излучения в фотохромах (3.2.4, 3.2.6), УФ-излучения в фотохромах (3.2.5).