



А. ПУРМАЛЬ



# В мире крешения



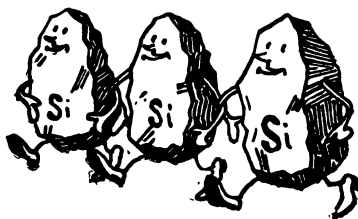
ДЕТГИЗ  
1962



ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

А. ПУРМАЛЬ

В мире  
**КРЕМНИЯ**



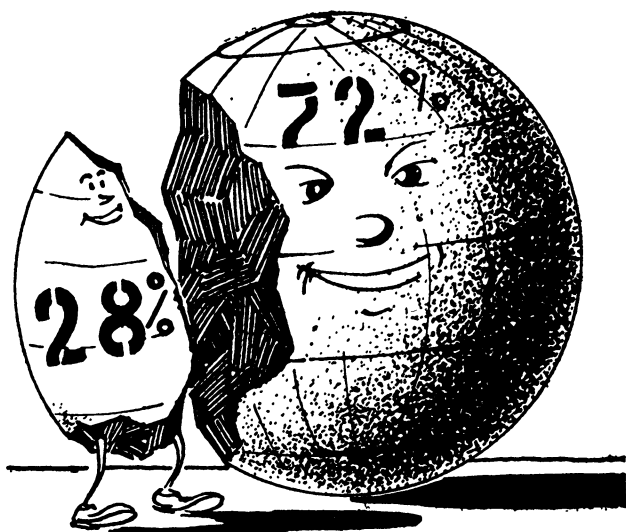
Государственное Издательство Детской Литературы  
Министерства Просвещения РСФСР Москва 1962

*Более ста простейших веществ — элементов — известно сегодня людям.*

*Жидкие, твердые, газообразные, вспыхивающие на воздухе и не меняющиеся в пламени, испускающие невидимые лучи и захватывающие их, элементы, уже сыгравшие свою роль в истории человечества, и элементы, на которые только еще возлагают большие надежды. Рассказы о соединениях кремния — элемента прошлого, настоящего и будущего — найдете вы в этой книге.*

*Ваши отзывы об этой книге присылайте по адресу: Москва, А-47, ул. Горького, 43. Дом детской книги.*

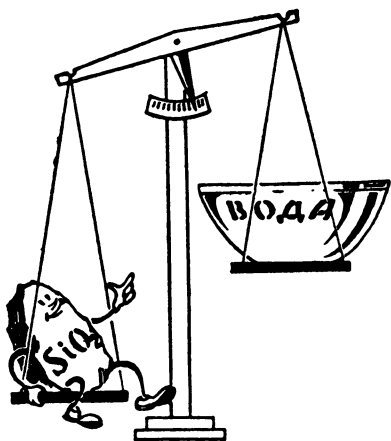
*Рисунки  
Р. МЕЛКУМЯНА и И. МАССИНЫ*



### *Соединения кремния в природе*

Какое химическое соединение наиболее распространено в природе? Вода, — ответит большинство... и ошибется. Действительно, воды на нашей планете очень много — 1 370 000 000 000 000 000 000 килограммов. Простой расчет показывает, что на каждого человека на Земле приходится по озеру глубиной 10 метров и шириной 10 километров. Но еще больше в природе кислородного соединения кремния —  $\text{SiO}_2$ , его двуокиси. Приблизительно 28% всей земной коры приходится на кремнезем — двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ .

Неудивительно, что для первого орудия человек использовал кремниевое соединение — кусок твердой горной породы. С развитием человеческого общества, с ростом



материальной культуры в быт входило все больше предметов, значительная часть которых имела своей химической основой все тот же кремний. В XVIII веке в химии окончательно утвердились понятия о том, что все вещества состоят из простых элементов — водорода, углерода, кислорода и других (простыми веществами называли такие, которые нельзя разложить на составные части).

В начале XIX века химики знали уже около пятидесяти простых веществ, или элементов, среди них уран, фосфор, вольфрам, водород, никель и другие простые вещества, встречающиеся намного реже, а широко распространенный кремний все еще не был известен. Лишь в 1811 году французские ученые Гей-Люссак и Тенар, действуя магнием на белый кварцевый песок, выделили новое вещество. Полученное ими вещество и было кремнием с примесью магниево-кремниевое соединения.

Получив кремний, Гей-Люссак и Тенар не считали его простым веществом. Лишь двенадцать лет спустя Берцелиус доказал, что буро-коричневый порошок, получающийся при нагреве кварцевого песка с магнием, является простым веществом. Вещество это было названо силицием, от латинского слова «силекс» — камень. Так как буква «S» уже была использована для обозначения серы (Sulfur), химическим символом для кремния были взяты две первые буквы его латинского названия Silicium.

Впоследствии химики научились получать кремний различными способами в виде аморфного порошка или в виде кристаллов.

Бурый порошок аморфного кремния по своим свойствам похож на уголь. При накаливании он воспламеняется, плавится лишь при очень высоких температурах.

Кристаллический кремний (впервые полученный в 1855 году Девиаллем) имеет сходство с алмазом. Он образует черные, сильно блестящие кристаллы, устойчивые к действию всех кислот, не способные загораться даже в чистом кислороде. Электрические свойства его... Впрочем, вопрос этот настолько важен, что о нем мы будем говорить отдельно.

Кремний является основой земной коры.

Если бы кремний захотел сейчас переменить свою «фамилию», изменить свой химический символ, то наиболее подходящим было бы для него название «базалий». Такая «фамилия» говорила бы о том, что он играет роль базы, основы всей окружающей нас неживой природы. С какой бы породой ни столкнулся геолог, будь то гранит, глина, полевой шпат или просто песок, он знает, что от 20 до 50% этих пород составляет кремний.

Как мы уже говорили, земная кора на 28% состоит из окисла этого замечательного элемента<sup>1</sup>.

В природе кремний никогда не встречается в свободном виде, как, например, золото, азот, платина, инертные газы (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон). Чтобы понять, почему же нет в этом списке кремния, попробуем выяснить, почему перечисленные вещества находятся в природе в свободном виде. Проще всего с инертными газами. Они находятся в свободном виде потому, что не вступают ни в какие химические соединения, за это свойство они и получили название инертных или благородных газов.

Благородные металлы — золото, платина и некоторые другие — встречаются в свободном, так называемом самородном виде, потому что при имеющихся на земле условиях они также не вступают в химические соединения. Только в лаборатории химика можно превратить эти металлы в различные их соли, воздействуя на них такими сильными средствами, как «царская водка» (смесь азотной и соляной кислот) или хлор. Азот менее инертен, чем благородные газы. Действительно, при

---

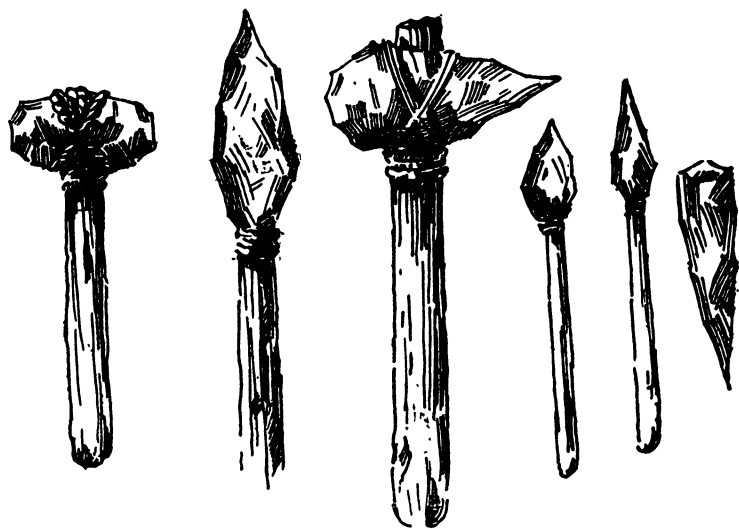
<sup>1</sup> О том, как образовалась земная кора, почему в ней так много кремния, что находится под верхним слоем нашей Земли, и о многих других интересных вещах можно прочесть в книге академика А. Е. Ферсмана «Занимательная геохимия». Детгиз, 1954.

сравнительно низких температурах азот соединяется только с металлическим литием — активным щелочным металлом. Азот атмосферы, правда в относительно небольших количествах, вступает в соединение с водородом, углеродом и кислородом при помощи так называемых азотофиксирующих бактерий, но большая часть азота находится в виде простого вещества.

Итак, «самородность» азота также связана с его инертностью.

Быть может, отсутствие кремния в природе в свободном виде связано с тем, что он, в противоположность перечисленным веществам, очень активен химически и быстро вступает в соединения с другими веществами?

Ученые подробно исследовали химические свойства свободного кремния. Оказалось, что он при обычных условиях вступает в реакцию с фтором, а при температуре около  $500^{\circ}$  соединяется с кислородом, бромом и серой. При очень высоких температурах кремний соединяется с азотом. Вода и кислоты при обычных условиях на кремний не действуют. Едкие щелочи даже в разбав-



*Кремневые орудия.*



ленном виде растворяют кремний, образуя соли кремниевой кислоты. Мы видим, что кремний, конечно, более активен, чем, например, золото, но его химическая активность не столь уж велика, чтобы можно было именно этой причиной объяснить его отсутствие в природе в свободном виде. Очень похожий на кремний углерод химически активен не менее кремния, а он часто встречается в свободном виде. Значит, основываясь на химической активности или химической инертности, нельзя объяснить существование простых веществ в природе в свободном виде. Для разъяснения надо обратиться к геохимии — науке о химическом составе и законах распространения, распределения и сочетания химических элементов на земле.

Около четырех миллиардов лет назад, когда наша Земля находилась в огненно-жидком состоянии, начались процессы формирования земного ядра и окружающих его оболочек.

Раскаленные массы вещества содержали тогда все элементы в свободном виде. Геохимические исследования говорят о том, что состав этой массы был следующий: железо 40%, кислород 30%, кремний 15%, магний 10%, никель, кальций, сера и алюминий — 2—3%; все остальные элементы — 3%. По мере охлаждения раскаленной массы шло образование летучих двухатомных молекул, устойчивых при высоких температурах, таких, как окись углерода  $\text{CO}$ , окись кремния  $\text{SiO}$ , окись алюминия  $\text{AlO}$  и других. В это же время в центре собиралась жидкая масса наиболее тяжелых веществ — железа и никеля, образовавших земное ядро. Тяжелое металлическое ядро покрывалось слоем сернистых соединений различных металлов. За сернистыми соединениями шла так называемая окисная зона.

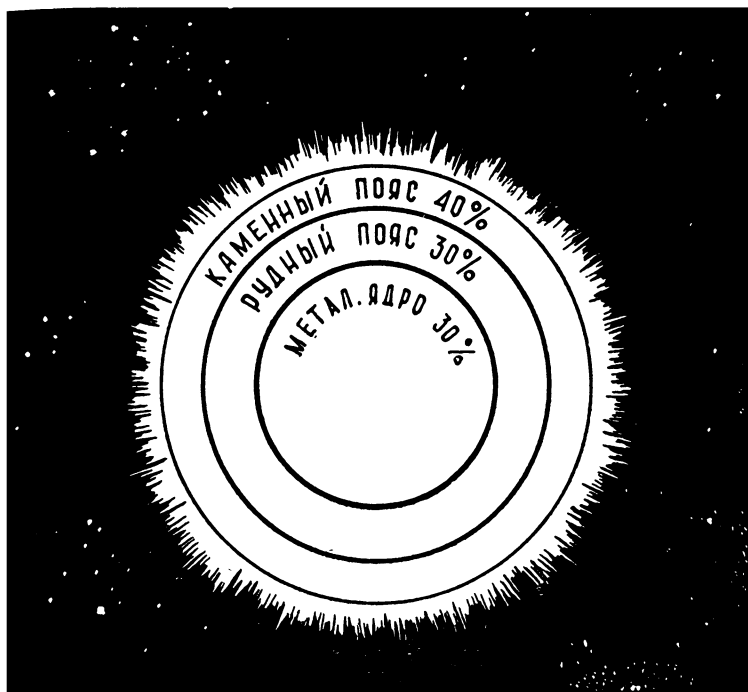
К этому времени температура понизилась настолько, что началось образование сложных молекул из 3, 4, 5 атомов, таких, как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Нелетучие окислы кремния и алюминия стали оседать на окисный слой, вступая в реакции с окислами металлов.

В результате таких реакций образовались соединения, вошедшие в состав будущих горных пород. Весь кремний, бывший когда-то в свободном виде, перешел в форму двуокиси  $\text{SiO}_2$  и в соединения  $\text{SiO}_2$  с окислами различных металлов — силикаты.

В земной коре не было тогда залежей свободного углерода. В атмосфере не было кислорода. И тот и другой появились значительно позже, когда на Земле возникла растительность. Свободный углерод и кислород своим происхождением обязаны растительности каменноугольного и пермского периодов. С появлением растительности начался процесс круговорота углерода. Постепенно извлекая из атмосферы углекислый газ  $\text{CO}_2$ , необходимый для построения тканей, растения возвращали обратно кислород. Остатки растительных организмов разлагались, при этом углерод, входивший в состав их тканей, возвращался в атмосферу обратно в виде  $\text{CO}_2$ .

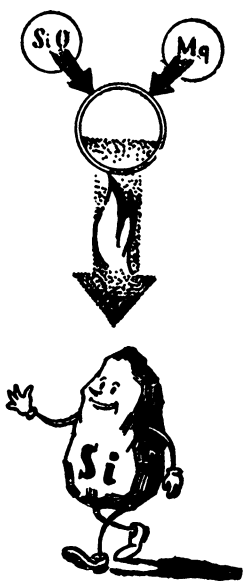
Но в то далекое время на молодой Земле происходили мощные сдвиги земной коры, часто погребавшие под слоями горных пород огромные площади, покрытые растительностью. Эти растительные остатки, находясь миллионы лет под давлением и без доступа кислорода, постепенно переходили во все более и более богатые углеродом соединения — различные ископаемые угли. Таким образом, углерод земной коры и кислород атмосферы образовались в результате развития жизни на Земле.

Ну, а соединения кремния? Разве они остались неизменны, в том виде, в каком возникли в период образования Земли? Нет, конечно. Все минералы «живут». Но процессы изменения минералов идут очень медленно. Изменялись и соединения кремния — силикаты. Под действием воды и растворенной в воде углекислоты они частично переходили в соли угольной кислоты — карбонаты, при этом выделялась двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , которая частично вступала в новые соединения, частично же отлагалась в свободном виде. Но нигде не происходила и не могла произойти реакция образования свободного кремния из силикатов или из  $\text{SiO}_2$ . Причина этого в том, что двуокись кремния является одним из самых устойчивых соединений. Если сжечь 31 грамм кремния — весовое количество, соответствующее его атомному весу (грамм-атом), — образуется  $\text{SiO}_2$  и при этом выделится 210 тысяч калорий тепла. Для сравнения укажем, что сжигание грамм-атома углерода даст только 95 тысяч калорий. Количество выделяющейся теплоты характеризует устойчивость соединений: чем больше теплоты выделяется при сжигании того или иного простого вещества, тем устойчивее его окисел. Для того чтобы выде-



*Образование Земли и силикатов.*

лить свободный кремний из  $\text{SiO}_2$ , надо разрушить двуокись, затратив столько же тепла, сколько выделяется при соединении кремния с кислородом, то есть 210 тысяч калорий. Такая реакция распада  $\text{SiO}_2$  на кремний и кислород происходит при очень высоких температурах, порядка нескольких тысяч градусов. Можно пойти другим путем, отнимая у  $\text{SiO}_2$  кислород таким веществом, которое, соединяясь с кислородом, выделяет много тепла. Такими веществами являются, например, алюминий и магний. Именно этим способом — нагреванием металлического магния или алюминия с  $\text{SiO}_2$  — получают в лаборатории свободный кремний. В природе нет ни свободного алюминия, ни свободного магния, любой же другой способ получения кремния из  $\text{SiO}_2$  требует больших затрат энергии. Самопроизвольное протекание реакций



в неорганической природе в земных условиях идет только тогда, когда теплота при реакции выделяется или когда она поглощается, но в небольших количествах.

Это один из основных законов химии.

Итак, свободного кремния в земной коре нет. Но кремниевые соединения составляют 28% земной коры. В основном это различные силикаты, простые и сложные.

В состав простых силикатов входят в различных соотношениях молекулы окислов металлов и двуокиси кремния. Часто в состав таких простых силикатов входит и химически связанная вода. Одним из примеров про-

стых силикатов является тальк, в состав которого входят: три молекулы окиси магния, две молекулы двуокиси кремния и одна молекула воды. В природе значительно больше сложных силикатов, чем простых. В их состав входят, кроме двуокиси кремния, окислы еще двух металлов. Одним из таких окислов обычно является окисел алюминия, железа или хрома, другим — окисел натрия, калия или кальция. Так же, как в простые силикаты, в сложные силикаты часто входит химически связанная вода. К сложным силикатам относится большая группа минералов, объединяемых общим названием «полевые шпаты».

Под действием воды и углекислого газа в природе происходит разрушение силикатов. Продуктом разрушения как простых, так и сложных силикатов является двуокись кремния, или кремнезем, о котором мы уже знаем, что это самое распространенное соединение на Земле.

Двуокись кремния встречается в природе главным образом в виде минерала кварца, а также в виде обычного кварцевого песка, который является продуктом разрушения горных пород. Интереснейшей разновидностью

двуокиси кремния, имеющей широкое применение в различных областях, является кварц кристаллический. С описания этой разновидности мы и начнем наш рассказ о кварце.

### *Палитра минералов*

«Поэт камня» академик А. Е. Ферсман в 1919 году открыл цикл лекций о самоцветах России следующими словами:

«В темные, казалось, безнадежные дни русской действительности пытался я уйти в мир прекрасного камня. Я хотел увлечь в него подальше от житейских забот своих друзей — друзей камня — и в ряде бесед раскрывал богатства России самоцветами и цветными камнями. Подобно красоте благоухающих цветов, красоте линий и форм, созданных творческим гением человека, я видел в камне заложенные в нем элементы красоты и гармонии...»

Прекрасен и бесконечен по цветовому разнообразию мир камня. Он не уступает миру органическому. В XVII веке на весь мир славились голландские цветоводы, разводившие тюльпаны. Искуснейшие из них хранили секреты выращивания тюльпанов самых редких и неожиданных раскрасок. Но самая богатая коллекция тюльпанов по чистоте окраски, по разнообразию и яркости цветов вряд ли превзойдет коллекцию цветных камней большинства минералогических музеев: красные, яркие тона, переходящие постепенно то в оранжево-золотистую охру, то в малиново-красные оттенки, голубовато-зеленые цвета моря, темно-вишневые и вишнево-розовые краски, нежно-золотистые, синевато-дымчатые полутона, лимонно-желтые, розово-фиолетовые, оливково-зеленые бархатистые краски.

В 1916 году немецкий ученый Оствальд попытался составить точную шкалу цветов.

На особых таблицах им было нанесено 680 избранных тонов красок. Но ведь в каждом тоне есть свои полутона и оттенки. И все эти оттенки можно найти в мире цветных камней. Ни один художник никогда не имел палитры красок, которая могла бы сравниться с фантастической палитрой минералов. Неужели число

минералов столь же велико, как и число всех этих окрасок, тонов и оттенков. Минералогия и геохимия отвечают на это отрицательно. Один и тот же минерал в зависимости от природы и количества примесей, в зависимости от своей последующей «биографии» может дать целую гамму цветов. Примером такого минерала можно считать кристаллическую двуокись кремния. Розовый кварц, опал молочный, фиолетовый аметист, желтый цитрин, оранжевый опал, зеленоватый «кошачий глаз», красноватый искристый авантюрин, черный морион, вино-желтый или голубой топаз, перламутровый «лучистый камень» и еще свыше двухсот названий имеет двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , содержащая различные примеси.

Еще в давние времена иностранные купцы, приезжающие в Русское государство, поражались обилием драгоценных камней, которыми в то время украшались оружие, одежда, переплеты церковных книг, ризы, иконы и т. д. Особое внимание всегда привлекали крупные аметисты — камни, ценившиеся в свое время так же высоко, как алмазы. Английская королева Виктория, например, из своих драгоценностей выше всех ценила ожерелье из крупных уральских аметистов.

В Московском Кремле, в Оружейной палате, хранятся предметы церковного обихода — чаши для причастия, распятия, дароносицы, евангелия, кадила и другая утварь, сплошь усыпанные драгоценными камнями, среди которых особенно много аметистов.

Трудно сказать, почему именно аметист так полюбился священнослужителям. Не последнюю роль играла, по-видимому, его высокая цена.

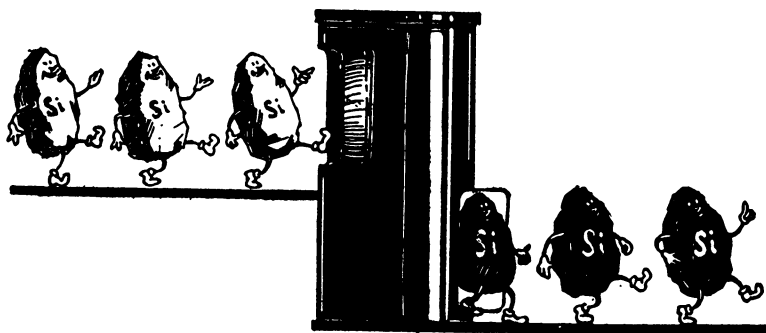
Аметист был известен издревле. Средневековые алхимики дали лилово-фиолетовому камню название «аметист», что значит «защищает от пьянства», приписывая это его свойство окраске. Конечно, никакими волшебными свойствами аметист не обладает. Присущая аметисту окраска появляется, когда в кристаллах двуокиси кремния содержится небольшая примесь соединений марганца.

Интересно, что в мире минералов лилово-фиолетовые цвета встречаются реже других. Примеси других веществ придают кристаллическому кварцу другие оттенки, причем окраска зависит часто не только от сорта примеси, но и от количества ее.

Окраска может появляться и в результате физической обработки кварца. Так, например, если кусочки кварца поместить в «атомный котел», то есть подвергнуть его сильному облучению нейтронами, или если положить его на несколько дней под жерло «кобальтовой пушки» — мощного источника гамма-излучения, — бесцветный кварц приобретает фиолетово-черную окраску, интенсивность которой зависит от времени облучения. Такой черный кварц может при обычных условиях сохраняться сколь угодно долго. Если же его прогреть при температуре 800—1000°, окраска быстро исчезает, и кварц снова станет таким же бесцветным, каким был до облучения. Дымчатый кварц, окраска которого пропадает при нагревании, встречается в природе и называется «раухтопаз». Окраска раухтопаза возникла, по-видимому, под действием на кварц естественного радиоактивного излучения.

Другие цветные разновидности кварца использовались и используются так же, как аметист, для украшения различных предметов и как материал для художественных изделий.

В Государственном Эрмитаже хранится, например, огромная чаша высотой 1 метр 46 сантиметров и шириной 2 метра 46 сантиметров, сделанная в 1842 году рабочими Екатеринбургской гранильной фабрики из южноуральского вишнево-розового мерцающего авантюрина — одной из разновидностей кварца.



*Бесцветный кварц, подвергнутый облучению нейтронами, приобретает черно-фиолетовую окраску.*

## *Волшебные шары*

Среди разновидностей кристаллической двуокиси кремния в природе встречаются самоцветы, отличающиеся необычайной расцветкой и своеобразными свойствами. Однако из всех цветных минералов группы кварца наиболее интересен и наиболее важен бесцветный горный хрусталь. Горный хрусталь является самой чистой химически и самой прозрачной разновидностью двуокиси кремния. Благодаря высокой химической чистоте его кристаллы из самых различных месторождений имеют одни и те же физические свойства: один и тот же удельный вес, одну и ту же прозрачность, одну и ту же механическую и электрическую прочность и т. п. Горный хрусталь находят обычно в виде так называемых друз — группы сросшихся между собой кристаллов. Превосходные друзы горного хрусталя можно увидеть в Минералогическом музее в Москве, а в природных условиях — в Ильменском заповеднике на Урале. Самый большой кристалл горного хрусталя был найден на острове Мадагаскар. Окружность этого кристалла была 8 метров! Горный хрусталь был хорошо известен в Древней Греции. Он назывался тогда «кристаллос» — лед. От «кристаллос» произошло, вероятно, славянское название «хрусталь». Древние греки считали, что прозрачные кристаллы, которые они часто находили в трещинах скал, — это лед, который замерз настолько, что уже не может растаять. В те далекие времена горный хрусталь использовался исключительно для украшений.

Археологи, производя раскопки древнейших построек Египта, установили, что самые первые украшения делались из горного хрусталя. Для этих же целей использовали его персы, арабы, индийцы. В древности мастерам требовались десятки лет, чтобы выточить из природного кристалла горного хрусталя какой-либо предмет.

Во время Римской империи и в период раннего средневековья особенно ценились «волшебные» хрустальные шары, при помощи которых удавалось якобы видеть то, что происходит за сотни километров, и даже «заглядывать» в будущее. «Волшебная сила» этих хрустальных шаров была связана с оптическими свойствами кристаллического кварца.

Известно, что прозрачные материалы не только про-

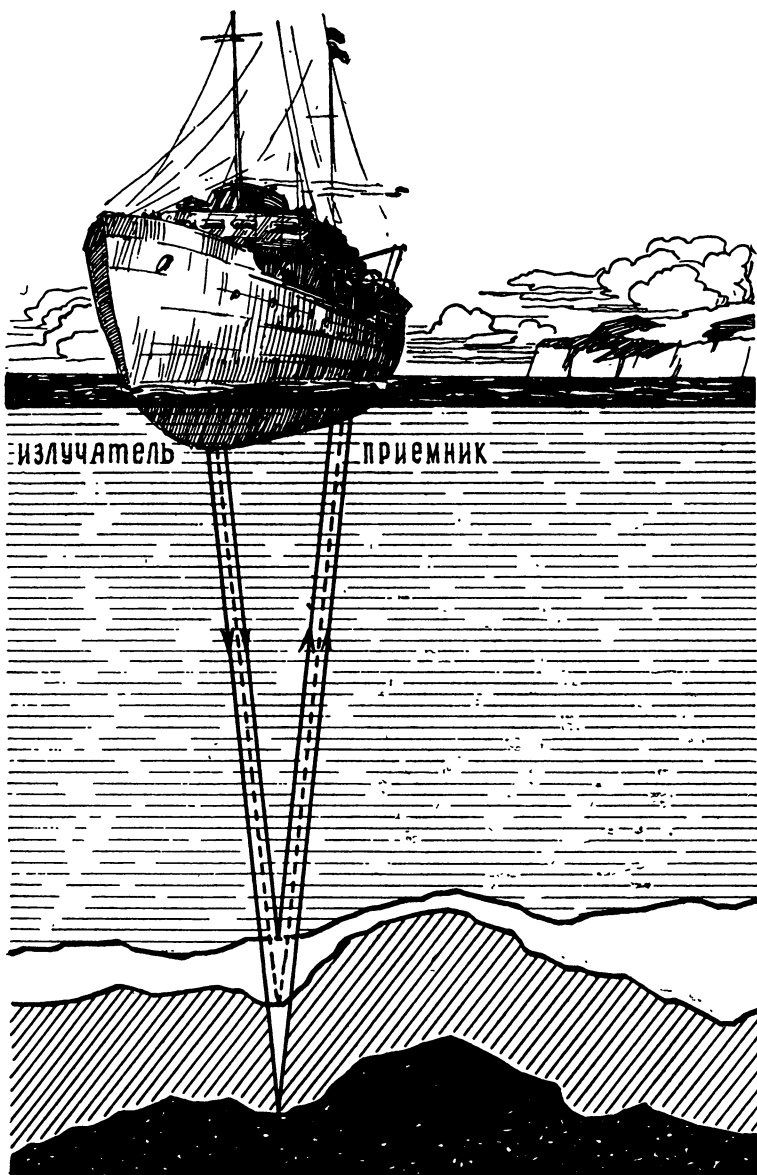


пускают свет, но и преломляют его, то есть изменяют направление движения светового луча. Если толщина преломляющего свет материала не очень мала, происходит заметное разложение белого света на так называемые составляющие цвета — красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Преломление и разложение света — физические явления, возникающие при прохождении лучей света как через кристаллические вещества, так и через вещества стеклообразные, аморфные. Кристаллическое вещество отличается от аморфного тем, что составляющие его атомы расположены в строгом порядке. Упорядоченное расположение атомов в кристаллическом веществе является причиной так называемой оптической неоднородности кристаллов. Степень преломления света в кристаллическом веществе зависит от направления, по которому распространяется свет в кристалле. В веществе стеклообразном все направления одинаковы — стеклообразные вещества оптически однородны. Параллельный пучок света, падая на грань кристалла, преломляется на границе воздух — кристалл и, проходя через кристалл, разлагается на составные цвета. При этом все лучи одного цвета, например зеленые, в теле кристалла будут распространяться параллельно друг другу, по «одинаковым» оптическим направлениям, так как угол падения лучей белого света на плоскую грань кристалла во всех точках грани был одинаков. Теперь представим, что из кристалла правильной формы, например шестигранника, мы выточили шар. Очевидно, что все присущие кристаллу



свойства останутся и у шара, так как изменение внешней формы не изменило внутреннего упорядоченного расположения атомов. Шар, выточенный из кристалла, остается веществом кристаллическим, так же как правильный шестигранник, выточенный из стекла, остается веществом стеклообразным, аморфным. Параллельный пучок света, падая на выточенный из кристалла шар, преломляется, а проходя через шар, разлагается на составные части. При этом лучи одного цвета будут распространяться по самым различным, «неодинаковым» оптическим направлениям, перекрещиваясь друг с другом. Это произойдет из-за того, что параллельные лучи белого цвета будут падать на разные, не параллельные друг другу кристаллические грани, из которых составится поверхность шара.

При скрещивании световых пучков одного цвета по ходу пучка возникает чередование участков темноты и света. Это явление известно под названием интерференции света. В кристаллах кварца описанная картина дополнится еще явлением двойного лучепреломления. Явление это состоит в том, что луч света после преломления на поверхности кристалла распадается внутри кристалла на два луча, разлагающихся на составные цвета в разной степени. Лучи эти распространяются в кристалле по разным направлениям, причем один из этих лучей не лежит в плоскости падающего луча и второго из преломленных лучей. Прохождение света через шар, выточенный из большого кристалла кварца, будет сопровождаться сильным двойным лучепреломлением, разложением и интерференцией света. Наблюдатель, смотрящий на свет через такой хрустальный шар, увидит очень сложную многоцветную картину, причудливо изменяющуюся в зависимости от расстояния между глазом и шаром. Понятно, что в возбужденном воображении эти картины могли казаться и сценами войны, и пожара, и бури на море, и, во всяком случае, свидетельствовали о волшебной силе хрустальных шаров. Самый большой шар был выточен японскими мастерами из огромного кристалла горного хрусталя Бирмы. Шар этот в поперечнике был более метра и весил почти полторы тонны. Сегодня вряд ли встретишь человека, верящего в волшебные свойства горного хрусталя. Зато очень легко встретить людей, использующих его замечательные оптические



*Звуколокация.*

свойства. Физики-оптики широко применяют кварц в различных приборах, при помощи которых исследуются многообразные световые явления.

Кроме оптических свойств, кварц обладает рядом других интересных свойств. Одно из самых замечательных — пьезоэлектрическое свойство кварца.

### *Поющие кристаллы*

Вы, конечно, знаете, что такое радиолокация. При помощи коротких радиоволн человек научился «видеть» в темноте и тумане и не только видеть, но и точно определять расстояние до нужного предмета. Человек как бы сделал свое зрение более совершенным. В природе нет и не могло быть таких сложных естественных радиолокационных приборов, но оказывается, что с принципами «локационного видения» все-таки можно встретиться.

Часто в вечерние сумерки бесшумно и стремительно проносятся какие-то черные тени. Это летучие мыши. Кажется, что вот-вот мышь наткнется на что-нибудь. Но этого никогда не случится, хотя зрение у нее очень скверное. В темноте летучая мышь не видит предметов и все же не налетает на них, потому что она их слышит! Конечно, ни стены, ни потолок сами никаких звуков не издают, но они могут «звучать» отраженными звуками, подобно тому как луна «светит» отраженным светом. Летучая мышь сама издает звуки и сама воспринимает слабые звуковые сигналы — отражение звуковых волн от различных предметов. Таким образом, она определяет расположение предметов в пространстве и расстояние до них. Это и есть локация, но только не радиолокация, основанная на отражении радиоволн, а звуколокация, использующая отражение звуковых волн. Летучая мышь издает звуки, но человеческое ухо эти звуки не слышит, так же как глаз человека не видит ультрафиолетовых или инфракрасных лучей. Ухо человека воспринимает как звук лишь те колебания среды, частота которых лежит в пределах от двух-трех десятков колебаний в секунду до 20 тысяч. Колебания среды с частотой свыше 20 тысяч герц — ультразвуковые волны — не вызывают в человеческом ухе ощущения звука, а ухо летучей мыши слышит звуки с частотой до 100 тысяч герц. Хотя люди

и не слышат ультразвуков, но использовать их они начали очень давно, много раньше, чем была открыта природа ультразвука. Первыми, по-видимому, применили его средневековые браконьеры, тайно охотившиеся в королевских лесах. Заметив опасность, браконьер подзывал свою собаку специальным свистком, издававшим ультразвук, который был слышен собаке, но не лесничему. Ультразвуком пользовались цирковые артисты, выступавшие с дрессированными собаками-«математиками». В кармане у дрессировщика находилась груша с ультразвуковым свистком. Если собаке надо было «ответить», сколько, например, будет 21, деленное на 7, дрессировщик незаметно для публики трижды нажимал грушу, и собака, послушная этому сигналу, лаяла три раза.

Использование ультразвука в науке и технике началось, когда люди научились делать достаточно мощные и надежные в работе генераторы ультразвуковых колебаний. Самую важную роль в ультразвуковых генераторах играет кристаллический кварц.

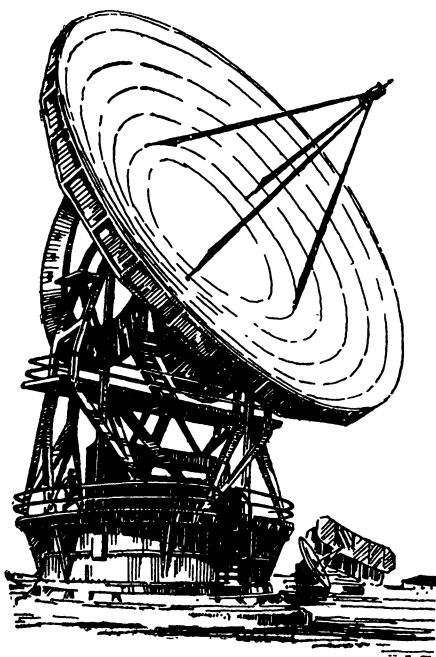
В большинстве приборов, предназначенных для генерирования и улавливания ультразвуковых колебаний, основным элементом является тонкая пластинка, вырезанная из кристалла кварца. Оказывается, что кристаллы кварца обладают так называемыми пьезоэлектрическими свойствами. Если две стороны вырезанной из кристалла кварцевой пластинки покрыть слоем металла и подвергнуть ее механическому воздействию, например сдавить, то на металлических пластинках появятся разноименные электрические заряды. Величина этих зарядов будет зависеть от силы механического воз-



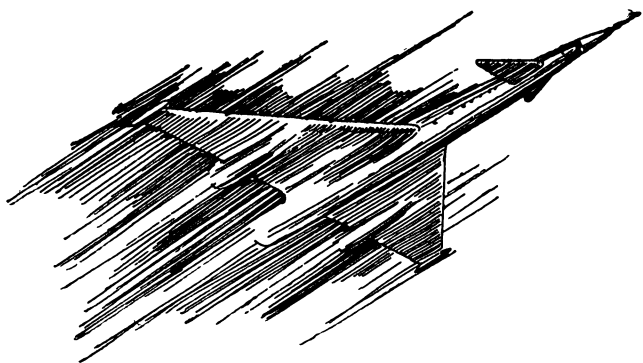
действия. Это явление называется прямым пьезоэлектрическим эффектом. Обратный пьезоэлектрический эффект состоит в том, что кварцевая пластинка сжимается, если на металлических обкладках создать разноименные электрические заряды. Под действием переменного электрического поля кварцевая пластинка начинает колебаться с частотой, совпадающей с частотой электрических колебаний. Колебания кварцевой пластинки вызывают колебания частиц окружающей среды — частиц воздуха или жидкости, если пластинка погружена в жидкость.

От пластинки, колеблющейся с частотой, большей 20 тысяч герц, в среде распространяются ультразвуковые волны. Поместим теперь две кварцевые пластинки рядом, причем одну заставим колебаться, накладывая электрическое поле, а другую оставим неподвижной. Звуковые волны, созданные первой пластинкой, распростра-

няясь в среде, натолкнутся на препятствия и частично отразятся. Достигнув неподвижной кварцевой пластинки, эти волны заставят ее колебаться. Механические колебания создадут колебания электрические, которые могут быть зарегистрированы специальными приборами. По времени, которое потребовалось звуковым волнам, чтобы достигнуть препятствия и вернуться обратно, можно определить расстояние до этого препятствия. Описанное устройство лежит в основе различных звуколокационных приборов. При помощи ультразвуков моряки определяют глубину



*Радиолокация.*



моря, врачи — расположение и размеры очагов заболеваний, рыбаки — косяки промысловой рыбы, металлурги и станкостроители — наличие и место трещин и раковин в отливках и в готовых металлических изделиях. Пьезокварцевые генераторы широко используются в химии, в пищевой промышленности, в лечебных учреждениях, в практике научно-исследовательской работы. Кристаллический кварц не является единственным веществом, звучащим под действием электрического поля. «Обладают голосом» кристаллы и некоторых других веществ. Но благодаря своей чистоте и доступности чаще всего в технике применяют кварц.

Пьезоэлектрические свойства кристаллической  $\text{SiO}_2$  используются также и для хранения... времени.

### *Сторож времени*

«Что мы меньше всего бережем и о чем больше всего жалеем?» Ответ этой загадки — время.

И действительно, больше всего жалеть приходится о безвозвратно ушедшем времени. Физики говорят, что время «течет» только в одну сторону. Вопрос о том, что такое время и как его измерять, очень давно занимает умы людей.

Первобытный человек замечал смену дня и ночи, смену времен года, но сколько прошло дней и ночей, он не знал. На первых ступенях рождающейся человеческой

культуры, при появлении общих интересов, общего труда, возникла потребность в том или ином распорядке жизни, стал необходим учет времени. Шли века, и все большее и большее значение приобретало время, его исчисление и измерение. В наш век время является одной из важнейших величин, с которыми имеют дело в науке. Развитие техники не может идти без учета времени. Без точного учета времени абсолютно невозможно мореплавание, полеты самолетов, движение поездов, работа всяких механических двигателей.

Способы измерения и хранения времени стали искать еще на заре человеческой культуры. Но что значит измерять и хранить время? Как можно хранить то, что вечно течет и уходит? Хранить время — это значит точно учитывать его ход, используя для измерения строго постоянные единицы, хранить величину, эталон этих единиц и создавать инструменты для точного, автоматического отсчета этих единиц времени.

Единицей измерения для всякой величины должна быть такая мера этой величины, которая точна и надежна в своей неизменности и которую можно восстановить снова, если утеряется имеющийся образец. Обычно наука ищет единицы измерения для тех или иных величин в самой природе. Для измерения времени природа дает очень надежные и точные величины. Работа природы безостановочна.словно гигантский волчок, с величайшей точностью, без перебоев и задержек вращается наша планета.

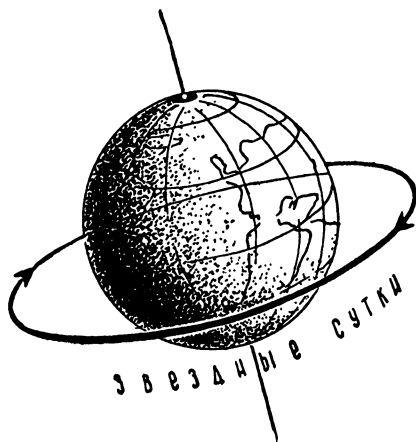
Одной из основных величин измерения времени и является промежуток времени, в который Земля совершает полный оборот вокруг своей оси. Промежуток этот называется звездными сутками. Итак, большую единицу измерения времени — сутки — дала природа. Она же и хранит эту единицу с величайшей точностью и аккуратностью. Меры, меньшие суток, — часы, минуты, секунды — были созданы человеком, так же как им были придуманы меры длины меньше и больше метра.

Для точного измерения времени в наши дни все чаще прибегают к помощи так называемых кварцевых часов. Что же такое кварцевые часы, как они работают?

Вы, конечно, видели, а возможно, и держали в руках какой-нибудь из струнных инструментов, например гитару. Каждая струна гитары, если ее тронуть, начинает



звучать. Разные струны звучат по-разному, так как они колеблются с разными частотами. Частота же колебания струны зависит от ее длины, толщины и степени ее натяжения. Частота эта называется собственной частотой колебания. Мы уже рассказывали о пьезоэлектрических свойствах. Если на поверхности плоской кварцевой пластинки нанести слой металла



и создать на этих металлических обкладках меняющийся во времени электрический заряд, пластинка начнет колебаться — последовательно сжиматься и расширяться. Для каждой кварцевой пластинки, как и для струны, имеется собственная частота колебаний, которая зависит от размеров, соотношения толщины и ширины пластинки и оттого, по какому направлению проводилось вырезывание этой пластинки из кристалла кварца. Если металлические обкладки кварцевой пластинки соединить с электрическим генератором частоты и подавать на них различные частоты, пластинка кварца будет колебаться. Но ее амплитуда колебания будет очень маленькой — кварцевая пластинка «подчиняется» генератору, но неохотно.

Но, как только частота генератора станет равна собственной частоте колебания кварцевой пластинки, амплитуда колебания резко возрастает. При этом возникает замечательное явление — кварцевая пластинка, колеблющаяся с частотой, соответствующей собственной частоте колебаний, будет «подправлять» частоту электрических колебаний генератора.

Возникает, говоря на языке радиотехники, устойчивый резонансный контур. Если теперь частота электрических колебаний генератора станет по какой-либо причине несколько больше собственной частоты кварцевой пластинки, кварцевая пластинка снизит частоту генератора до собственной частоты. В случае, если

частота колебаний генератора станет меньше собственной частоты, кварцевая пластинка снова ее «подправит» и приведет частоту генератора к собственной частоте.

Кварцевая пластинка, как говорят радиотехники, стабилизирует частоту. Если теперь припомнить свойства кварца — ничтожные изменения длины с изменением температуры и то, что он сам не меняется со временем, — станет ясным, что такая «кварцевая» стабилизация частоты позволяет получить очень постоянный во времени процесс. А для точного измерения и хранения времени это как раз и нужно. Ведь природным эталоном для времени является строго равномерное вращение Земли вокруг своей оси.

Сейчас кварцевыми часами оснащены точные астрономические и физические лаборатории. В настоящее время кварцевые часы являются относительно громоздкими сооружениями. Но успехи современной техники полупроводников позволяют надеяться, что в скором времени будут широко использоваться кварцевые часы небольших размеров и малого веса, а это позволит оснащать ими различные высокоскоростные аппараты. Ведь чем больше скорость, тем все большее значение приобретает точнейший учет времени.

### *Громовые стрелы*

Все, что было рассказано о свойствах кварца и его применении, — относилось к кристаллическому кварцу. Найти хороший кристалл кварца легко, но ведь технике с каждым часом нужно все больше и больше таких кристаллов.

Много трудов пришлось затратить ученым и инженерам, чтобы создать искусственные кристаллы. Их делают так называемым гидротермальным методом. Этим методом выращивают очень большие кристаллы кварца, помещая первоначальный маленький кристалл в насыщенный раствор кварца в воде. При обычных условиях тщетно пытаться растворить хотя бы крупинку кварца, но при высоких температурах (300°) и давлениях, измеряемых сотнями атмосфер, кварц растворяется в воде. Именно этим гидротермальным способом происходил,

по-видимому, рост кристаллов кварца в природе. Но раньше, чем кристаллический кварц, люди научились готовить кварц плавленный.

«Стрелы неба» или «громовые стрелы» — под таким названием в народе были известны трубки причудливой формы, которые часто находили в песке. Долгое время наука не могла объяснить происхождение этих «стрел», а духовенство утверждало, что эти извилистые трубки — стрелы, которыми Илья-громовержец поражает непокорных.

Теперь мы знаем, что «стрелы неба» не что иное, как след действия молнии на кварцевый песок.

При высоких температурах песок плавился и, застывая, образовывал прочную и плотную трубку, форма которой являлась как бы «слепок» пути, по которому распространялся в песке мощный электрический разряд — молния. Плавленный кварц, или кварцевое стекло, — «материал громовых стрел» был в 1865 году получен Годеном.

Годен работал над приготовлением искусственных драгоценных камней. Желая, по-видимому, получить искусственный изумруд, он расплавил кварц, чтобы растворить в нем зеленый окисел хрома. Получить искусственный изумруд Годену, однако, не удалось. Расплавленный кварц, вместо того чтобы закристаллизоваться при охлаждении, превратился в стекловидную массу, лишенную той световой «игры», которая характерна для кристаллического кварца. Так было получено кварцевое стекло, состоящее из аморфного кремнезема.

Кварцевое стекло имеет ряд ценных свойств, но главное из них — это прозрачность и прочность. Казалось,



чего же проще — запасы кварцевого песка огромны и доступны, бери и плавь. Однако опыт плавки кварцевого песка принес разочарование ученым: кварцевое стекло получалось мутным, с большим количеством пузырьков. Кварцевое же стекло, приготовленное из горного хрусталя, было слишком дорого. Только в 1900 году из песка удалось получить совершенно прозрачное кварцевое стекло. В настоящее время для получения прозрачного кварцевого стекла плавку песка проводят при постоянном и сильном откачивании воздуха, или, как говорят инженеры, «под вакуумом». Растворенные в стекле газы откачиваются, уходят газы и из пузырьков в стекле, но сами полости пузырьков остаются. Если из такого кварцевого стекла выдуть то или иное изделие, то пузырьки вытянутся в тончайшие каналы, придающие изделию характерный шелковистый вид. Для уничтожения оставшихся в стекломассе пузырьков на расплавленную массу действуют сжатым воздухом и подвергают быстрому охлаждению. Под действием давления сжатого воздуха стенки пузырьков слипаются, а быстрое охлаждение и затверждение расплавленной массы не дают воздуху раствориться.

Кварцевое стекло обрабатывают почти так же, как и обычное стекло. Будучи «послушным» материалом, обладающим к тому же многими хорошими качествами, кварцевое стекло нашло себе очень широкое применение.

### ***Сквозь огонь и... в воду***

Кроме достоинств обычного стекла, кварцевое стекло имеет еще свои замечательные свойства. Одно из них — термостойкость. В кварцевой посуде можно, например, плавить золото, серебро, медь, марганец. Кварцевое стекло размягчается и плавится лишь при температурах 1500—1700° С. Оно не боится не только высоких температур, но и быстрых изменений температуры.

Стакан из кварцевого стекла можно накаливать так, что он будет испускать режущий глаза, ослепительно белый свет. Раскаленный стакан можно безбоязненно бросить в холодную воду — он останется невредимым. Почему же кварцевый стакан проходит сквозь огонь и воду и остается целым, а стакан из обычного стекла не выдерживает

такого испытания и лопается, даже когда в него наливают обыкновенный кипяток?

Стекло, как и подавляющее большинство других материалов, при нагревании расширяется, а при охлаждении сжимается. Если стакан нагревать очень равномерно, все части стакана расширяются одинаково и при этом в массе стекла не возникает ни сдвигов, ни механических напряжений. Стакан останется целым. Если же в стакан налить кипяток, то сначала нагреваются доньшко стакана и внутренние поверхности стенок. Внешние стенки стакана останутся холодными, так как стекло плохо проводит теплоту.

В этом нетрудно убедиться, подержав над огнем стеклянную палочку. В месте соприкосновения с пламенем стекло можно накалить докрасна или расплавить, а уже в нескольких сантиметрах от этого места палочка останется практически холодной. Нужно сравнительно много времени, чтобы теплота от нагреваемого места распространилась по всей палочке и достигла ваших пальцев. Вот почему тепло воды, наливаемой в стакан, нагревает лишь те его части, которые непосредственно соприкасаются с водой. Нагревшиеся части стакана расширяются, а соседние с ними остаются без изменения. В стекле возникают механические напряжения, и стакан трескается. Стакан из кварцевого стекла не лопается, так как кварцевое стекло очень мало расширяется при нагревании и сжимается при охлаждении, и, кроме того, оно механически значительно прочнее, чем стекло обычное.

Жаростойкость и невосприимчивость к резким изменениям температуры обеспечивают кварцевому стеклу очень широкое применение. Кварцевое стекло особенно необходимо физикам и химикам.

### *Тоньше волоса*

Представьте себе, что вы пришли в научно-исследовательский институт. Переходя из лаборатории в лабораторию, вы знакомитесь с десятками приборов и установок. Многошлейфовый осциллограф, осциллограф со спиральной разверткой, скоростной фоторегистр, ядерно-резонансный спектрометр, фотоумножительные устройства, генераторы частиц высокой энергии. Сколько

изобретательности потребовалось, чтобы создать такие приборы! Сколько умения требуется, чтобы управлять такими приборами! И вдруг в одной из лабораторий вы видите человека с луком и стрелами в руках! Ваше удивление понятно. Действительно, чем может помочь оружие, изобретенное несколько миллионов лет назад, ученым XX века? Оказывается, что может. Вот ученый взял стрелу, натянул тетиву и при помощи тонкой стеклянной палочки прикрепил стрелу к тисочкам. Потом зажег горелку и направил пламя на стеклянную палочку, удерживающую стрелу. Нагреваемый участок палочки раскалился добела и начал провисать. В этот момент ученый отпустил тетиву. Стремительный полет стрелы, и «опыт», по-видимому, закончен. Исследователь что-то подбирает с пола — это тончайшая нить из кварцевого стекла. Конечно, такие нити можно получить и другими способами, но и описанный способ используется в практике физических лабораторий. Эти тонкие нити необычайно прочные, так как кварцевое стекло обладает своеобразной особенностью. При вытягивании в тонкие нити прочность его возрастает: Металлический прутик прочнее палочки того же диаметра из кварцевого стекла. А нить из кварца толщиной в несколько тысячных долей миллиметра гораздо крепче металлической нити такой же толщины. Только нити из вольфрама не уступают в прочности кварцевым нитям. Кварцевая нить, кроме замечательной прочности, обладает также очень малой текучестью. Натянутая кварцевая нить не изменяет со временем своих размеров. Благодаря этим свойствам кварцевые нити получили широкое применение при изготовлении измерительных приборов.

### *Прозрачное стекло*

Замечательным свойством плавленной двуокиси кремния является ее прозрачность.

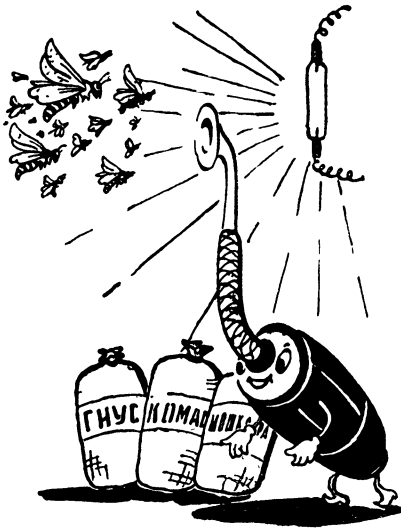
Рассказывая о каком-либо предмете, мы часто говорим, что он прозрачен, как стекло. Стекло действительно очень прозрачный материал, но даже самое лучшее, самое чистое стекло менее прозрачно, чем кварцевое, потому что кварцевое стекло пропускает не только видимые, но и ультрафиолетовые лучи.

Красивый бронзово-шоколадный оттенок кожи — загар — возникает в результате воздействия ультрафиолетовых лучей на пигмент кожи. Но целебное значение ультрафиолетовых лучей намного превышает эту их частную, косметическую роль. Рана, прогретая на солнце, быстрее заживает, а гноящаяся рана после нескольких таких сеансов «солнечной терапии» зарубцовывается. Не случаен старинный рецепт от ревматических и подагрических болей — «погреть кости на солнышке». В настоящее время установлено, что облучение ультрафиолетом предохраняет детей от заболевания рахитом, действует как укрепляющее средство при лечении сахарной болезни, с успехом может быть использовано при лечении подагры и целого ряда кожных заболеваний. Еще большее значение имеет ультрафиолетовое облучение как средство, укрепляющее организм, увеличивающее его сопротивляемость простудам и гриппозным заболеваниям.

Однако использование ультрафиолетовых лучей в науке, медицине и технике стало возможным лишь после того, как удалось создать искусственные источники этих лучей.

Наиболее широкое применение находят так называемые ртутно-кварцевые лампы. Устройство ртутно-кварцевых ламп очень несложно. В баллончике из кварцевого стекла с впаянными металлическими электродами находятся пары ртути. При прохождении электрического тока пары ртути испускают голубоватое свечение, богатое ультрафиолетом. Так как лампа сделана из кварцевого стекла, ультрафиолетовые лучи беспрепятственно проходят через оболочку и, отразившись от зеркальной поверхности отражателя, направляются на облучаемое место.

Наша промышленность выпускает различные образцы ртутно-кварцевых ламп. Наиболее распространены лампы марок ПРК (прямая ртутно-кварцевая) и СВД (сверхвысокого давления). Лампы СВД — очень мощные источники ультрафиолетового излучения. При работе их внутри лампы создаются давления ртутных паров до 100 атмосфер, а температура стенок достигает сотен градусов. Единственным материалом, прозрачным для ультрафиолета и способным выдерживать такие давления при повышенных температурах, является кварцевое стекло. В последнее время наша промышленность выпускает кварцевые лампы, заполненные вместо ртутных



паров инертными газами — неоном, криптоном и ксеноном при повышенных давлениях. Нужно упомянуть также о сверхмощных источниках ультрафиолетового излучения — импульсных лампах. Яркость света (лампа излучает и видимый свет) при вспышке такой лампы может в несколько десятков раз превышать яркость солнца. Сама вспышка длится ничтожное время — десятитысячные доли секунды. Мощности же разряда огромна — она

равна мощности нескольких Волжских и Куйбышевских ГЭС. Маленькие импульсные лампочки в стеклянной оболочке широко используются сейчас в фотографии.

Налаженное производство кварцевого стекла позволило широко распространить ультрафиолетовые источники света в технике, медицине и науке. Ультрафиолетовые лучи помогают консервировать продукты, восстанавливать уничтоженные надписи, лечить болезни, отбеливать ткани и даже уничтожать насекомых.

В тихую погоду над поймами рек, в болотистых низинах, в лесу тучами висят в воздухе комары и мошки. Жадно набрасываются эти маленькие хищники на все живое, будь то человек, зверь или птица. Но вдруг беспорядочно толкающиеся стаи насекомых устремляются в одном направлении. Это заработала ультрафиолетовая установка по борьбе с насекомыми. Устройство такой установки чрезвычайно просто: ртутно-кварцевая лампа и пылесос.

Глаза насекомых видят ультрафиолетовый свет лучше, чем обычный. В вечерние сумерки или ночью, когда отсутствуют другие яркие источники света, насекомые летят к ртутно-кварцевой лампе и попадают в струю воздуха, всасываемого пылесосом, расположенным рядом с лам-



пой. Подобные установки уже успешно испытали в Египте в долине Нила и у нас в дельте Волги.

Способность ультрафиолетовых лучей убивать болезнетворные микробы используется в медицинской практике. Раньше было очень сложно обезопасить больных в инфекционных больницах. Медицинский персонал больницы, переходя из отделения в отделение, мог перенести на одежде, на внешних покровах тела микробы, например из дифтерийного отделения в тифозное. Для того чтобы этого не происходило, приходилось применять много всяких мер.

В настоящее время разные отсеки больницы надежно отделяются друг от друга «ультрафиолетовыми занавесками».

Между отделениями в тамбуре установлены ультрафиолетовые лампы, свет которых убивает микробы на коже и одежде людей, проходящих через него. Такие же устройства имеются и в городских поликлиниках.

В настоящее время известны и другие материалы, в том числе полимерные, пропускающие ультрафиолетовые лучи. Но ни один из этих материалов не обладает одновременно такой жаростойкостью и механической прочностью, как плавленая двуокись кремния.

### *Огнеупоры из водорослей*

Кварцевое стекло, несмотря на его прочность, можно очень мелко истолочь и превратить в кварцевую муку.

Из такой муки можно сформировать различные изделия, не боящиеся высоких температур, — огнеупоры, но практически это никогда не делают потому, что в природе имеются запасы отличного материала для приготовления огнеупоров. Их делают из... водорослей.

На первый взгляд это может показаться странным: ведь огнеупор — материал, выдерживающий высокие температуры, а из водорослей извлекают йод, употребляют их в пищу, набивают ими матрацы; наконец, сухие водоросли можно использовать как горючий, но никак не огнеупорный материал. Тем не менее огнеупоры из водорослей делают. Только, конечно, не из живых водорослей, а из их остатков. Сырьем для изготовления огнеупоров являются остатки диатомитовых водорослей. Остатки эти

находят в тех местах, где когда-то было морское дно. Они образуют иногда очень мощные залежи, называемые диатомитами или диатомитовыми землями. Диатомиты — это та же кварцевая мука, но естественного происхождения и очень мелкого помола. Диатомиты в большей своей части состоят из аморфной двуокиси кремния. Мы знаем, что остатки органического происхождения, пролежавшие несколько тысячелетий под землей, превращаются в уголь или в нефть, то есть в продукты с большим содержанием углерода. Диатомиты же имеют иное происхождение и соответственно иной состав. Очень высокое содержание кремнезема в диатомитах объясняется двумя причинами. Сами диатомитовые водоросли, или диатомеи, являются так называемыми кремниевыми организмами, организмы, в которых содержание кремния в тысячи раз превышает его среднее содержание в живой материи. Диатомеи извлекают кремний из морской воды и концентрируют его. Таким образом, первой причиной, определяющей кремниевый состав залежей диатомитов, является высокое содержание кремнезема в диатомеях. Второй причиной являются условия, при которых происходит образование отложений. Погибшие диатомеи накапливаются на дне моря. Входящие в их состав сложные углеродные соединения разлагаются и вымываются водой. В результате остается лишь «скелет» диатомеи, состоящей из двуокиси кремния. Одноклеточных диатомитовых водорослей известно свыше 2000 видов, и, так как процессы накопления их остатков идут тысячами, неудивительно, что отложения диатомитов простираются иногда на сотни тысяч квадратных километров.

Помимо применения в качестве огнестойких и теплоизоляционных материалов, диатомиты используются при изготовлении жидкого стекла, эмалей, глазурей, различных керамических изделий.

Диатомиты являются ценным кремниевым сырьем. Интересно, что они не только являются объектом геологических изысканий, но и своеобразным указателем на возможность обнаружения других полезных ископаемых.

Большую помощь геологам-разведчикам в поисках диатомитов могут оказать наши туристы и, особенно, туристы, совершающие путешествия по рекам нашей

страны. Выходы диатомитовых пород часто можно наблюдать на крутых, подмытых водой береговых обрывах — в тех местах, где река обнажает древние слои земных отложений. Распознать диатомиты довольно просто по их характерным свойствам. Диатомиты — мучнистая, серовато-белая порода. Если ее растереть с водой, она своей «скользкостью» несколько напоминает мыло. Если лизнуть сухой кусочек диатомита, то язык прилипнет к нему, как к металлическому предмету на морозе.

На диатомиты по своим свойствам похожи инфузориты. Инфузорит также образовался из отложений микроскопических обитателей моря, в основном из радиолярий, являющихся, как и диатомеи, кремневыми организмами. Происхождение инфузоритов более древнее, чем диатомитов. Содержание кремнезема в них почти такое же, как в диатомитах, и используются они для тех же целей.

Инфузориты и диатомиты так же, как кварцевое стекло, являются аморфным кремнеземом. Но, если кварцевое стекло по своему составу является почти чистым  $\text{SiO}_2$ , в состав диатомитов и инфузоритов входят примеси воды и других веществ, причем не только неорганических.

Диатомея — не единственный организм, содержащий большое количество кремния. Представители класса беспозвоночных — морские кремневые губки, например, имеют скелет, на 88% состоящий из двуокси кремния.

Не только в морях и океанах, но и на земле можно встретить организмы, концентрирующие кремневые соединения из их разбавленных растворов — почвенных вод. Один из видов хвощей содержит так много кремневых соединений, что после сжигания зола этого растения содержит одну пятую часть кремния.

Всем хорошо известен бамбук, из которого делают лыжные палки, удочки, некоторые части авиамоделей. Многим, особенно авиамоделистам, известно, как трудно резать бамбук в местах сочленения колен. Это происходит потому, что бамбук также относится к числу растений, концентрирующих кремневые соединения. Ствол бамбука содержит двуокись кремния —  $\text{SiO}_2$ , которая придает ему большую прочность. Хвощ и бамбук не единственные кремневые растения. Всем вам,

наверное, приходилось испытывать неприятные минуты, когда, пытаясь сорвать осоку, вы до крови резали себе руки. Причина жесткости стеблей осоки та же — высокое содержание двуокиси кремния. Кремний необходим для растений. Недостаток его вызывает задержку роста кукурузы, ячменя, бобов, табака, свеклы. Содержится кремний и в животных организмах, хотя роль его пока неясна. В животных организмах содержание кремния намного меньше, чем в растениях.

Интересно, что морские растения и животные — диатомеи, радиолярии, губки не только извлекают двуокись кремния из морской воды, но могут получать ее из различных соединений. Чаще всего они разлагают на составные части различные глины, содержащие большое количество соединения двуокиси кремния с окисью алюминия. Глины относятся к классу так называемых силикатов. Почти чистым силикатом алюминия является минерал каолинит, или, как его часто называют, «белая глина». В каолините на одну молекулу окиси алюминия приходится две молекулы двуокиси кремния и две молекулы воды. Каолинит является главной составной частью фарфора, из которого делают красивые чашки, тарелки и блюда. С каолинитом мы встречаемся ежедневно, и даже сейчас, когда вы читаете эти строки, каолинит находится перед вами — ведь бумага содержит одну пятую часть каолинита. Еще больше его в хороших сортах так называемой меловой бумаги. Линолеум на полу вашей комнаты также содержит немалые добавки каолинита. Используют каолинит как наполнитель<sup>1</sup> и при изготовлении различных изделий из резины, и даже мыло на 16—20% состоит из каолинита. Другой вид каолинитовых глин, подобно диатомитам, применяют для создания огнеупорных материалов. Каолинитовые месторождения очень ценны, их находят довольно редко, а вот железистые глины, то есть такие, в состав которых, кроме двуокиси кремния и окиси алюминия, входят еще окись железа и ряд других веществ, разбросаны всюду. Именно из этих глин ежегодно делают миллиарды

---

<sup>1</sup> Наполнитель — материалы, вводимые в состав смесей при изготовлении бумаги, резины, пластмасс и т. д. для повышения отдельных свойств данного изделия, для удешевления, для придания более удобной формы.



кирпичей, десятки квадратных километров черепицы для крыш; эта же глина применяется в гончарном производстве — первом ремесленном производстве древних времен. Способность глины образовывать с водой тестовидную легкоформируемую массу, которая твердеет при высыхании и при обжиге делается очень прочной, была известна уже в древние времена. В то время люди не располагали таким обилием материалов, как сегодня, и «послушная» глина нашла широкое применение.

### *Самый мягкий камень*

Известно около сорока минералов, входящих в группу глин. Почти все они, за редким исключением, как, например, каолинит, относятся к классу сложных силикатов, то есть соединений двуокиси кремния с двумя или более окислами металлов.

Таковыми же сложными силикатами являются многие горные кремнийсодержащие породы. Из простых силикатов интересен тальк. На четыре молекулы двуокиси

кремния тальк содержит три молекулы окиси магния и одну молекулу воды.

Когда мы говорим о каком-либо предмете, будь то растение, животное или минерал, мы всегда подчеркиваем то его свойство, которым он выделяется из числа других подобных ему предметов. Например, говоря о ките, мы скажем о том, что кит — самое большое млекопитающее. Описывая Эльбрус, мы упомянем, что Эльбрус — высочайшая вершина Европы. Об алмазе мы помним, что он самый твердый минерал. Тальк же является самым мягким из всех минералов. В минералогии для оценки твердости веществ применяется так называемая шкала твердости Мооса. В этой шкале имеется десять минералов различной твердости. Наибольшая твердость — твердость алмаза, условно принята равной 10; твердость корунда — 9; топаза — 8; кварца — 7 и т. д. Твердость того или иного минерала определяется очень просто — царапанием. Берут, например, корунд и чертят им по какому-либо минералу. Если на куске минерала останется царапина, а этот минерал, в свою очередь, оставляет след на кварце — значит, твердость испытываемого минерала будет около 8. Такое испытание твердости, конечно, очень условно, но в полевых условиях удобно и легко осуществимо. В шкале твердости Мооса находится и тальк с условной твердостью, равной единице. Он самый мягкий минерал. В природе тальк встречается в виде белых или желтовато-зеленых масс, жирных на ощупь. Из-за этого свойства тальк известен еще под одним названием — стеатит.

Применяется тальк очень широко. В цементной промышленности для облицовки внутренних стен обжиговых печей, для термоизоляции котельных установок (тальк плохо проводит тепло), в химических лабораториях (на него слабо действует кислота) и еще во многих отраслях промышленности.

Тальк легко измельчается в очень тонкий порошок — пудру. В таком виде его можно найти на туалетном столике или в аптеке. На витринах парфюмерного магазина в ярких цветных обертках лежат куски мыла различных сортов. В состав мыла в качестве наполнителя входит как каолинит, так и порошок талька. Входит тальк и в состав многих сортов резины и некоторых сортов бумаги.

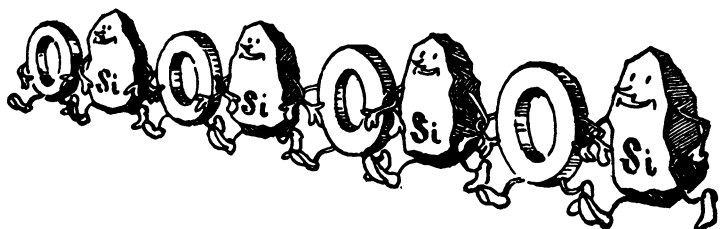
В производстве фруктовых вод порошок талька применяют для «просветления» напитков. Это его применение основано на свойстве тонко измельченного талька захватывать мельчайшие частицы, взвешенные в жидкости.

В СССР главнейшие месторождения талька находятся на Урале и на Кавказе. Помимо стеатита, тальк известен также под названиями «мыльный камень», катлит, пагодит, жировик.

Соединения кремния, о которых было рассказано, составляют лишь небольшую часть всех кремниевых соединений, встречающихся в природе и используемых человеком. Имеются целые книги, посвященные естественным строительным камням, в состав которых входят различные сложные силикаты. Большой класс соединений составляют алюмосиликаты, о которых мы упоминали выше, рассказывая о различных глинах. Но ведь человек не только берет от природы то, что содержится в ней в готовом виде, а преобразует ее. Для химика процесс преобразования природы состоит в том, что он создает из имеющихся в природе материалов новые химические соединения с совершенно новыми свойствами или свойствами, намного лучшими, чем свойства природных соединений. Наибольших успехов наука добилась в химии углерода. В настоящее время известно около миллиона органических соединений, большая часть которых получена химиками в лабораториях, а в природе не встречается. В химии кремния ученые пока достигли меньших успехов, но и они уже велики. Дальше вы узнаете о тех соединениях кремния, которые были рождены творческим гением человека.

### *Соединения кремния, сделанные человеком*

Рассказ об искусственных кремниевых соединениях можно начать по-разному: со стекла — самого первого искусственного кремниевого соединения, или с самого простого кремниевого соединения — самого кремния, или с таких соединений, которые больше всего отличаются от природных кремниевых соединений. Мы начнем рассказ с кремний-органических соединений, так как они



наиболее интересны и наиболее важны для народного хозяйства.

Перед химической промышленностью стоят особенно большие и ответственные задачи. В ближайшие годы в нашей стране резко увеличится производство пластических масс, искусственных волокон и других химических материалов. Будут созданы новые химические материалы, которые могут использоваться длительное время и при высоких и при низких температурах, обладающие высокой электрической прочностью, не боящиеся воды и не разрушающиеся под действием воздуха. Многими из этих ценных свойств обладают кремний-органические полимерные материалы.

Что же такое кремний-органические соединения, не существовавшие в природе, созданные в лаборатории ученых и имеющие большое практическое значение?

### ***Враг воды***

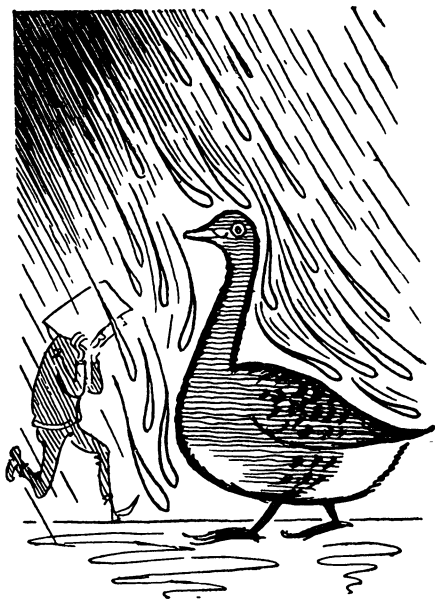
В живом мире существует огромное количество сложных, так называемых полимерных веществ. Молекулы этих веществ состоят из сотен, тысяч и десятков тысяч простых молекул. Основа полимерных органических соединений — длинные цепи из атомов углерода. К этой цепи присоединены химически различные группы атомов. Полимерные вещества — основная и необходимая часть растительных и животных организмов. В неживой природе тоже имеются полимерные вещества, хотя они далеко не так сложны по строению, как полимерные вещества растительных и животных организмов. Самым характерным примером таких полимерных веществ могут служить силикаты. Молекулы силикатов состоят из



довольно длинных цепей, построенных из чередующихся атомов кремния, кислорода и металлов. Такая цепь, где за каждым атомом кремния следует атом кислорода, химически очень прочна. Но использовать неорганические полимеры для всевозможных целей трудно, так как все неорганические вещества хрупки и полностью лишены таких свойств, как гибкость и эластичность. Однако химикам удалось использовать «скелет» неорганических полимерных молекул — цепь атомов кремния и кислорода — для создания совершенно нового класса соединений — кремний-органических полимерных веществ. В этих веществах, о свойствах которых будет рассказано в дальнейшем, к кремний-кислородной цепи атомов химическими силами «привязаны» простые углеродно-водородные группы атомов. Сохраняя такое ценное свойство, как теплостойкость, присущее полимерным веществам неживой природы, новые вещества приобретают новые свойства: эластичность, растворимость, гибкость — свойства, присущие органическим веществам.

Кроме этих свойств, которые можно регулировать, меняя состав химических групп, присоединяемых к кремний-кислородной цепи, такие соединения обладают свойством отталкивать воду.

Без воды не развивалась бы жизнь на Земле, и в то же время вода является причиной порчи кожи, тканей, бумаги, ржавления железа, выхода из строя линий высоковольтных передач, повреждения электрических машин. Трудно перечислить все разрушения, которые производит вода.



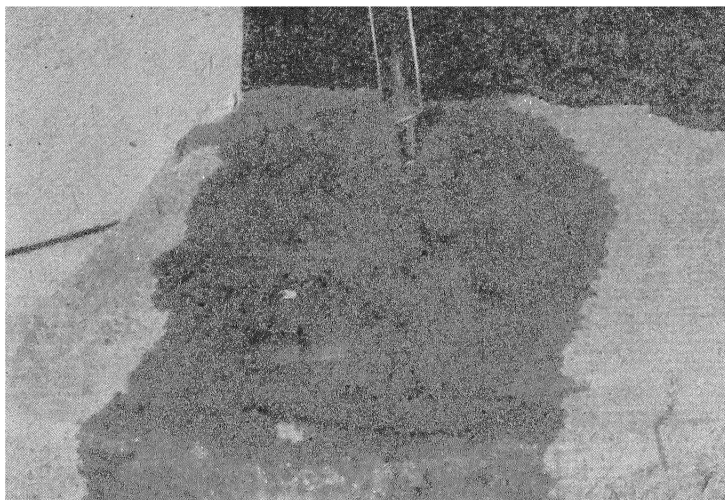
Замечательным средством борьбы с вредными действиями воды оказались кремний-органические пленки.

Обычные защитные покрытия создают воде так называемую механическую преграду. Кремний-органические пленки создают преграду физико-химическую. Вещи, предметы, покрытые такой пленкой, перестают смачиваться водой. «Как с гуся вода», — говорит русская пословица. Действительно, перья водоплавающих птиц смазаны тонким слоем жира. Поэтому вода не растекается по такой поверхности, смазанной жиром, не смачивает ее, а остается в виде капель, которые легко стряхиваются. Но жировая пленка легко стирается — ее приходится часто обновлять. «Смазка» же кремний-органической водоотталкивающей жидкостью держится годами. Это такая же пленка, как и масляная, но она химическими силами накрепко скреплена с предметом, который она покрывает. Такую пленку нельзя оторвать, не разрушив самого предмета. Кроме того, она настолько тонка, что не существует инструмента, которым ее можно было бы подцепить. Нанесение такой пленки проводится очень просто — смачиванием или разбрызгиванием раствора кремний-органической жидкости, безопасной в обращении.

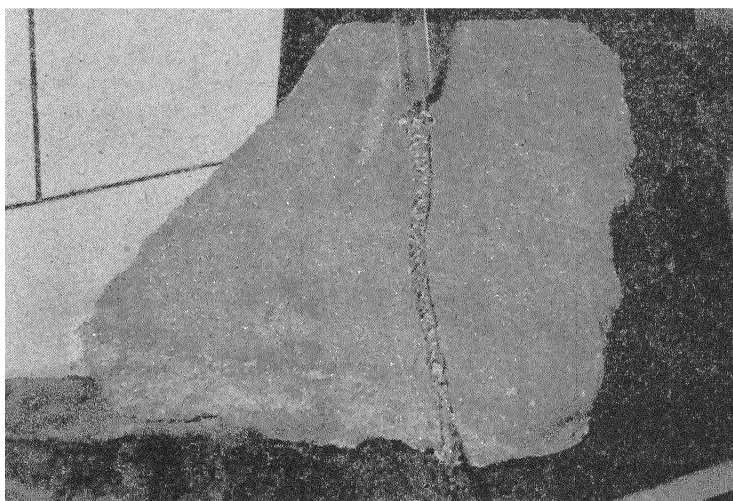
Почти любые материалы могут быть покрыты пленкой кремний-органических соединений. Иногда это сделать совсем несложно, иногда приходится предварительно обрабатывать покрываемую поверхность.

Очень важное применение нашла водоотталкивающая пленка в строительстве. Обыкновенный белый силикатный кирпич боится воды. Тот же кирпич, пропитанный с поверхности водоотталкивающей кремний-органической жидкостью, ни в чем не уступает своему «старшему собрату» — красному кирпичу. Но и красному кирпичу такая пропитка очень полезна. Намокшая и высыхая, красный кирпич постепенно растрескивается. Пропитка его поверхности водоотталкивающей жидкостью является для него как бы приемом «эликсира долголетия».

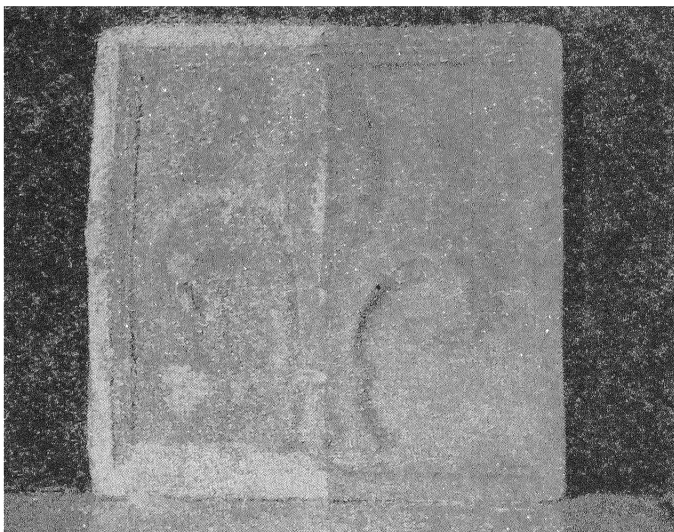
Таким же «эликсиром долголетия» служит водоотталкивающая жидкость и для цемента и для шифера. Те же жидкости используются для консервации архитектурных памятников. Так, например, несколько лет назад стены Мраморного Дворца и здания Государственного



*Кусок штукатурки, до обработки кремний-органическим составом.*



*Кусок штукатурки после обработки кремний-органическим составом.*



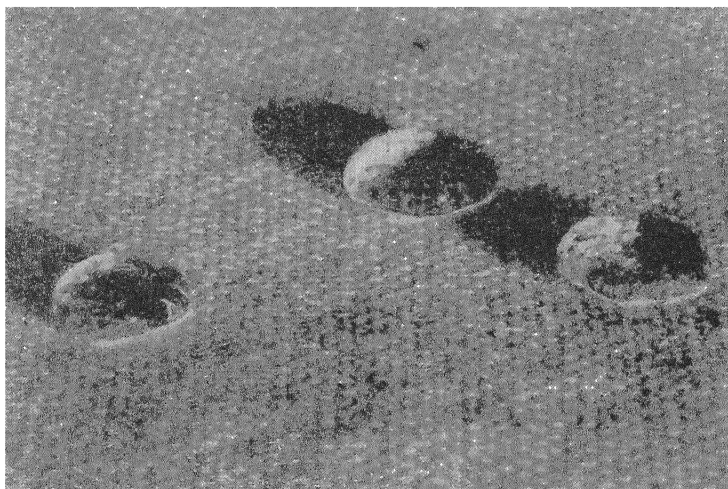
*Архитектурная деталь, половина которой пропитана кремний-органическим составом.*

Русского музея в Ленинграде были одеты в такую консервирующую оболочку из водоотталкивающей пленки.

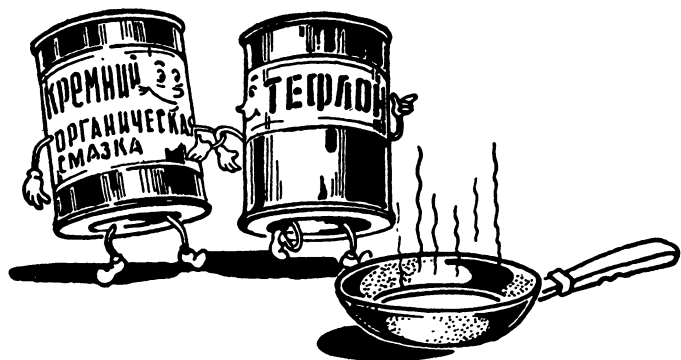
Пропитка не только увеличивает срок службы строительных материалов, но позволяет использовать дешевые, но в обычном виде непригодные материалы. Очень немногие согласились бы провести летний отдых на даче, сделанной из картона. Действительно, ведь при первом же дожде... Но ни первый, ни десятый дождь и даже снег ничего не смогут поделать с картонным домиком, пропитанным водоотталкивающими жидкостями.

Представим себе такую картину. Лето. Выходной день. Вы едете в автомобиле. Солнце ярко освещает светлые дома новостроек. На улицах — люди в красивых легких костюмах. Но летняя погода переменчива. Вот на солнце набежало облачко, откуда-то на небе появилась темная грозовая туча, и вот уже первые капли дождя застучали по крыше машины. Ваш взгляд невольно обращается к водителю — сейчас он должен включить «дворник», смахивающий, вернее размазывающий, капли

дождя по переднему, ветровому стеклу автомобиля. Водитель не торопится, и вы с удивлением замечаете, что «дворника» нет. Но он и не нужен. Капли дождя падают на ветровое стекло машины, но не растекаются по нему тонкой пленкой, а, сохраняя форму капли, некоторое время дрожат на поверхности стекла и затем уносятся встречным ветром. Стекло не смачивается водой — тонкое покрытие водоотталкивающей кремний-органической пленкой, не изменив его внешнего вида и прозрачности, создало физико-химическую преграду для воды. Через это замечательное стекло мы наблюдаем еще одну не менее удивительную картину. Часть прохожих раскрыла зонтики, часть достала из карманов тонкие пластмассовые накидки, но многие не обращают внимания на дождь. Их одежда, подобно стеклу автомашины, пропитана кремний-органической жидкостью. Эта одежда не смачивается, не промокает, хотя в остальном ни в чем не отличается от обычной одежды. Кроме того, обработанная кремний-органической жидкостью ткань мягче обычной и меньше изнашивается.



*Капли воды на ткани, пропитанной кремний-органическим составом.*



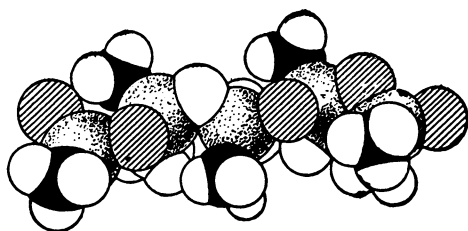
Обработанная кремний-органической жидкостью, кожа обуви задерживает влагу в десять — двадцать раз дольше, чем обычная. Важно при этом, что и ткань и кожа, приобретая свойство водостойкости, не теряют способности пропускать воздух. Таким образом, эта одежда и обувь и практична и гигиенична.

В лабораториях, в промышленности и в военной технике используются очень точные и часто дорогие оптические приборы: телескопы, спектрографы, оптические прицелы и другие. С течением времени поверхность оптических стекол — линз и призм — мутнеет из-за появления мельчайших трещинок. Количество света, пропущенное прибором, уменьшается, или, как говорят специалисты, падает его светосила. Причина этого помутнения та же вода, вернее влажная пленка, постоянно имеющаяся на поверхности стекла. Срок службы оптического стекла, покрытого кремний-органической пленкой, во много раз больше обычного. Нанесение кремний-органической пленки увеличивает не только срок службы стекла, но и количество пропускаемого света, так как такое стекло отражает меньшую часть падающего света, чем стекло обычное. Покрытая такой пленкой стеклянная, фаянсовая и фарфоровая посуда очень легко моется, и ее не нужно вытирать. У кремний-органических покрытий есть еще одно интересное свойство. Как вы думаете, можно ли печь и жарить без капли масла? Оказывается, что можно. Для этого надо взять сковородку, покрытую смесью двух веществ — кремний-органического и так называемого тефлона. На этой

сковороде можно жарить все, что хотите, без масла — пища не подгорает и не прилипает к посуде. Так же можно обработать и кастрюли, в них тоже никогда не будет подгорать пища. Водопроводная раковина после кремний-органической обработки долгое время будет оставаться чистой. Влажные продукты не будут примерзать к обработанной решетке холодильника. Молочные продукты в бутылках, обработанных кремний-органическими веществами, не портятся много дольше, чем в обычных. Тем же способом обрабатывается аппаратура для переливания крови. В операционной можно увидеть еще одно применение кремний-органических веществ — для стерилизации инструментов. Кремний-органические жидкости не разрушаются при нагревании их на воздухе. Их можно кипятить, как воду. Но вода выкипает, а кремний-органические жидкости могут кипеть долгое время, почти не теряя в весе. Кремний-органические жидкости кипят при самых различных температурах. Чем длиннее молекула, тем выше температура кипения. Для стерилизации применяют жидкость, кипящую при температуре около 300°С. При погружении инструментов в эту жидкость погибают все бактерии.

### *Необыкновенные помощники*

В 1958 году в Брюсселе пятьдесят две страны показывали свои достижения. Но, кроме павильонов разных стран, на Всемирной выставке был замечательный международный павильон — Дворец науки. Многие страны прислали сюда для показа свои научные экспонаты. Ученые, инженеры, студенты с интересом знакомились с отделами физики, химии, биологии. Но был один уголок во Дворце науки, который привлекал особое внимание. Его не только смотрели с интересом. Его фотографировали, делали заметки в записных книжках, а целый ряд фирм прислал в Бельгию своих работников специально для изучения выставленных там работ советского химика профессора К. А. Андрианова. Выставленные здесь вещества назывались «Полиорганосилоксаны и полиорганометаллосилоксаны». Короткий текст, рассказывающий о строении кремний-органических и металло-кремний-органических соединений, небольшая коллекция веществ



*Структурная модель участка цепи полимерной молекулы.*

и набор изделий, приготовленных с использованием этих веществ, — вот что привлекло такое большое внимание. О кремний-органических соединениях мы уже знаем, что они построены из чередующихся атомов кремния и кислорода. К такой кремний-кислородной цепи присоединены органические остатки — «хвостики» из углерода и водорода. Такие же остатки обрамляют цепь металло-кремний-органических веществ, но сама цепь атомов здесь другая. С атомами кремния и кислорода чередуются атомы металлов — алюминия, никеля, кобальта. Чаще всего для построения такой цепи используется алюминий.

Кремний-органические и металло-кремний-органические вещества наряду с водостойкостью обладают еще одним ценным свойством — повышенной теплостойкостью.

Мы живем в мире кислорода. Почти половина (49%) окружающего нас мира состоит из кислорода — самого распространенного элемента. Одна пятая часть воздуха — кислород. По своим химическим свойствам кислород — один из самых активных элементов. Кислород — газ, поддерживающий жизнь. Без него, как и без воды, жизнь на Земле была бы невозможна. Но так же, как и вода, кислород портит необходимые нам предметы. Гниют овощи, темнеет мебель, желтеет и становится хрупкой бумага, твердеет и ломается резина — все это результат действия кислорода. Особенно плохо прихо-



дится предметам, когда вода и кислород начинают действовать сообща. Они ежегодно превращают в ржавчину сто тысяч тонн металлических изделий. Кислород портит и пластические массы. Вы все знаете, что со временем дождевые, пластмассовые плащи становятся твердыми и ломкими. Это — результат действия кислорода. Но при комнатной температуре кислород очень медленно действует на такие вещества, как пластмассы, эмаль, лак, краски. Чем выше температура, тем быстрее скорость, с которой кислород окисляет вещества. Химики умеют точно рассчитывать увеличение скорости реакции с ростом температуры. Для приблизительного определения часто пользуются простым правилом — при повышении температуры до  $10^\circ$  скорость реакции увеличивается от двух до четырех раз. Чтобы лучше понять это правило, решим маленькую задачу.

При обычной температуре резиновая оболочка, изолирующая электрические провода, из-за окисления становится непригодной через 6 лет. Как долго можно пользоваться этой изоляцией, если температура будет  $120^\circ$ ?

Решение задачи. Обычная температура — это температура воздуха в комнате — примерно  $20^\circ$ ; при повышении на  $10^\circ$ , то есть до  $30^\circ$ , скорость реакции увеличится в 3 раза. Это значит, что уже не 6, а только 2 года можно пользоваться этой изоляцией. При  $40^\circ$  окисление будет происходить в 3 раза быстрее, чем при  $30^\circ$ , и в 9 раз ( $3 \times 3$ ) быстрее, чем при  $20^\circ$ , и всего лишь восемь месяцев ( $\frac{6 \times 12 \text{ мес.}}{9} = 8$ ) прослужит изоляция. При  $50^\circ$  — 80 дней. При  $60^\circ$  — 27 дней, при  $70^\circ$  — 9 дней, при  $80^\circ$  — 3 дня, при  $90^\circ$  — 1 день. При  $120^\circ$  — меньше одного часа. Шесть лет или один час! Вот как быстро старят кислород и тепло материалы. Если заглянуть внутрь молекулы сложного органического вещества, то можно увидеть, каким образом их портит кислород. Для сложных молекул, входящих в состав пластических масс, лаков, резины, эмалей, характерна длинная цепь углеродных атомов. Но углерод, соединяясь с кислородом, образует углекислый газ. Когда горит кусок угля, происходит именно этот процесс. Молекулы кислорода «набрасываются» на поверхность угля и вырывают атомы углерода. Насытившись углеродом, молекула кислорода,

превратившись в молекулу углекислого газа или окиси углерода, улетает.

В процессе горения кусок угля качественно не меняется. Сгорая, он уменьшается в размерах, но даже последняя крупинка остается тем же углем, что и большой кусок в начале горения. Другая картина будет при окислении молекул с длинными цепями углеродных атомов. «Наскочив» на такую сложную молекулу, кислородная молекула разорвет длинную цепь углеродных атомов. После этого сложная молекула перестает существовать. Вместо одной молекулы с цепью из 10 тысяч углеродных атомов появляются две. Цепь первой из них состоит из 4000 или 7000 атомов углерода, а второй соответственно из 6000 или 3000. Но такие свойства высокомолекулярных веществ, как теплостойкость, растворимость, электрическая прочность, механическая прочность, устойчивость к действию химических веществ, связаны с длиной цепи углеродных атомов. При уменьшении длины цепи эти ценные свойства ухудшаются. Одна молекула, разорвав цепь углеродных атомов, ухудшила, таким образом, свойства многотысячного «коллектива» углеродных атомов. Так, под влиянием кислорода и особенно под влиянием кислорода и тепла происходит со временем ухудшение качеств или стирание пластических масс, лаковых и эмалевых покрытий, резины и других.

Посмотрим теперь, как будет атаковать кислород молекулу сложного кремний-органического соединения. Основная цепь в металло-кремний-органических соединениях состоит, как мы знаем, из чередующихся атомов кремния и кислорода или кремния, кислорода и металла. Кремний и металл в таких цепях уже соединены с кислородом. Молекулы кислорода ничего не могут поделаться с такой цепью атомов. Им остается лишь возможность вырвать углеродные атомы из боковых органических остатков. Однако такие важные свойства, как теплостойкость и электрическая прочность, очень мало меняются при разрушении какой-то части этих боковых отростков цепи. Необходимо отметить, что органические остатки, связанные с кремний-кислородной цепью атомов, сильнее сопротивляются окислению, чем такие же остатки, связанные с цепью углеродных атомов.

С наибольшей пользой такие кремний-органические и металло-кремний-органические пластические материалы

используют для создания эмалей, лаков и других материалов, не боящихся воды и не разрушающихся при повышенных температурах. В ближайшее время производство электроэнергии в нашей стране достигнет 500 миллиардов киловатт. Единые и объединенные энергетические системы охватят огромные пространства нашей страны. Для использования этого океана электроэнергии необходимо увеличить общую мощность электродвигателей страны. Сделать это можно разными путями. И вот здесь-то окажут огромную помощь различные кремний-органические соединения с их замечательными свойствами.

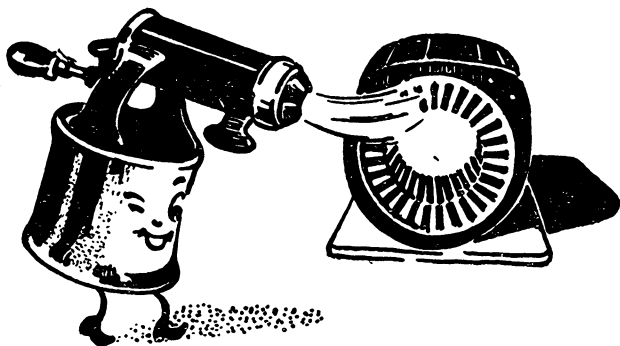
В ближайшее время намечено бурное развитие энергетики. Для управления электрической энергией необходимы электроизоляционные материалы. В противоположность металлам — проводникам тока, электроизоляционные материалы не пропускают ток, препятствуют его прохождению и позволяют направлять электрическую энергию в нужном направлении. Долговечность электрических машин, радиоаппаратуры, электротехнического оборудования зависит от качества электроизоляционных материалов.

Инженеры специально выясняли причины аварий электрических машин. Оказалось, что в семидесяти случаях из ста причиной аварий является быстрый износ электрической изоляции. А капитальный ремонт электродвигателя обходится в 60—70% его стоимости. Значит, надо стремиться использовать более надежную и более долговечную изоляцию. Такой изоляцией и является электроизоляция из кремний-органических соединений.

Врубовая машина ведет добычу угля. Метр за метром продвигается она по пласту. Но вот движущиеся части машины попали в твердую породу. Движение прекратилось, а электроэнергия продолжает поступать, как и прежде. Но в механическую энергию движущихся частей машины она больше не превращается. Электроэнергия переходит в тепловую. Провода обмоток электромотора нагреваются все больше и больше. Электроизоляция разрушается совместными усилиями тепла и кислорода воздуха. И вот в каком-то одном месте ток пробил изоляцию: секунда, и машина надолго выведена из строя. Короткое замыкание, и... длительный ремонт. Этого не происходит, когда используется электроизоляция, созданная на

основе кремний-органических и металло-кремний-органических соединений. Такая изоляция может долгое время работать при температуре  $200^{\circ}$  и выдерживает кратковременные нагревы до  $300^{\circ}$  и выше. На кремний-органическую изоляцию на некоторое время можно направить пламя сильной горелки — она не загорится. Мотор может залить вода — он будет работать по-прежнему. На Выставке достижений народного хозяйства демонстрировался небольшой электромотор с кремний-органической изоляцией электрических обмоток. Этот мотор спокойно работал, лежа на дне аквариума с водой. Понятно, что и на кораблях и в шахтах, в нефтяной промышленности и на гидросооружениях — всюду, где имеется опасность попадания воды, такие электромоторы являются желанными гостями.

Высокая теплостойкость и водостойкость кремний-органической изоляции позволяет не только использовать электромоторы в самых различных условиях, — она как бы увеличивает мощность двигателя. Действительно, когда электрический ток проходит по металлу, всегда выделяется тепло. Чем больше сила тока, тем выше температура. Но раз теплостойкость кремний-органической изоляции больше, чем обычной, — значит, через тот же провод можно пропускать большой ток. Например: предприятие с дневным расходом электроэнергии в 10 тысяч киловатт-часов имеет 100 электромоторов для переработки получаемой энергии в механическую. При замене



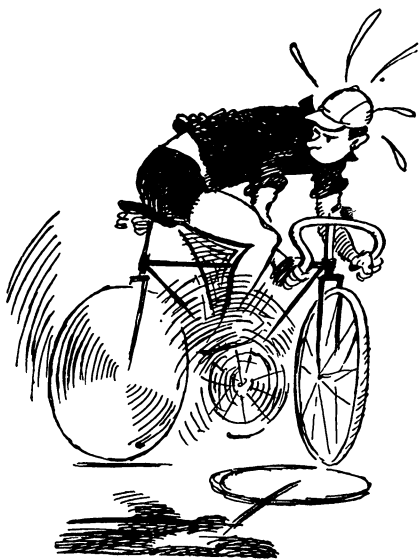
*На кремний-органическую изоляцию направлено пламя сильной горелки, и она не загорается.*

обычной электроизоляции на теплостойкую кремний-органическую ту же работу смогут выполнять 80 или 75 электромоторов. Так, химики, получая в лаборатории все более теплостойкие кремний-органические вещества, все больше и больше помогают нашему электромашиностроению.

### *Невидимые пружинки*

Еще одним замечательным свойством обладают эти удивительные кремний-органические материалы. Чтобы его лучше представить, дадим волю своей фантазии.

... Приближалась железнодорожная станция. Машинист паровоза уменьшил, а затем прекратил подачу пара и плавно включил тормозные колодки. Скорость поезда, однако, не уменьшилась. Вот впереди показалось здание вокзала. Машинист дал полный тормоз. С огромной силой прижались тормозные колодки к вращающимся колесам паровоза, и... ничего не произошло. Не снижая скорости, поезд проскочил мимо станции и умчался вдаль к неизбежной аварии. Поднялся шлагбаум переезда. Водители передних машин включили сцепление, но не двинулись с места. Шофер дал газ, сильнее заработал мотор, а машина словно приклеилась к земле. Ведущие колеса автомобиля вращались все быстрее, а движения по-прежнему не было. Шофер выключил мотор и выскочил из машины, чтобы посмотреть, в чем дело. Выскочил и тут же растянулся во весь рост на земле. Подняться на ноги он не смог. Его руки и ноги, как по гладкому льду, скользили по асфальту шоссе. Вы, наверное, догадались, что произошло. Исчезла или резко уменьшилась сила трения. А представьте другую фантастическую картину: что будет, если сила трения резко возрастает. Как видите, плохо и без трения и когда оно очень велико. Но чудес не бывает, и фантазии, подобные этим, остаются только фантазиями. Сила трения сама по себе без вмешательства человека не изменяется, а люди по своему желанию умеют менять силу трения. В тормозных колодках паровоза используется песок. Попадая между колодкой и колесом, песок сильно увеличивает трение, и торможение происходит быстрее. В том же паровозе движущиеся части смазаны специальным маслом, сильно уменьшающим трение частей друг о друга. Даже при самых



больших скоростях эти движущиеся и трущиеся части разогреваются не очень сильно. Как известно, выделение тепла при трении двух тел с давних пор использовалось и используется человеком. Трением дерева о дерево человек добывал огонь. Трением металла о металл прочно свариваются стальные детали. Но это те немногочисленные примеры, когда тепло, выделяющееся при трении, полезно. В подавляющем большинстве случаев приходится бороться с силами трения, умень-

шать их, стремиться к наименьшему выделению тепла. Достигают это, вводя между трущимися поверхностями различные смазочные вещества. При введении этих веществ поверхности тел, трущихся друг о друга, становятся как бы более скользкими, движение их относительно друг друга облегчается, уменьшается трение и разогрев.

В качестве смазочных материалов применяют сотни различных жидких и твердых веществ. Но и самые лучшие смазочные материалы не могут полностью устранить силы трения и нагревание трущихся поверхностей. При этом ясно, что чем выше скорость, тем больше становится температура. Неработающий двигатель автомобиля может иметь различную температуру в зависимости от температуры воздуха. Температура работающего двигателя и температура в подшипниках из-за трения, из-за недостаточного охлаждения поднимается выше  $100^{\circ}$ . Смазочному материалу очень трудно выдержать без изменения такой переход. С повышением температуры сильно повышается скорость окисления и порчи смазочных масел. С понижением температуры до  $-20-30^{\circ}$  смазки загустевают, как бы склеивая все детали. Именно по этой

причине так трудно бывает завести на морозе остывший двигатель автомобиля. Инженерам, конструирующим двигатели, приходится делать специальные устройства для предварительного нагрева двигателя, чтобы разогреть смазочное масло, уменьшить его вязкость и этим облегчить запуск двигателя. Кремний-органические жидкости оказались превосходными смазочными материалами. Интересно сравнить нефтяное и кремний-органическое смазочные масла, имеющие одинаковую вязкость при комнатной температуре. При работе двигателя температура повышается, нефтяное и кремний-органическое масла уменьшают свою вязкость. Но вязкость кремний-органического масла понизится лишь немного. При еще более высоких температурах станет заметным и окисление нефтяного масла. Об устойчивости кремний-органических веществ к совместному действию тепла и кислорода мы уже знаем. Даже при температурах на 40—50° выше, чем предельная температура работы обычных смазочных масел, кремний-органические масла не подвергаются заметному окислению. При одинаковых условиях работы кремний-органические смазки могут служить без замены в 10 раз больше, чем обычные смазочные масла. При понижении температуры в неработающем остывающем двигателе нефтяное масло загустевает и при температуре —35—40° затвердевает. Кремний-органическое масло даже при —80° остается жидкостью. Это свойство очень важно на тех высотах, где летают современные реактивные самолеты, где температура на 70—80° ниже нуля.

Постоянство свойств при больших изменениях температуры, низкая температура застывания и высокая теплоустойчивость — главные преимущества кремний-органических смазок перед обычными смазочными маслами. Благодаря этим же ценным свойствам кремний-органические жидкости используют как гидравлические. Для того чтобы передать усилие на расстояние, лучше всего прибегнуть к помощи системы рычагов. Но еще проще передать это усилие по жидкости.

Представим себе два цилиндра с поршнями, соединенные трубкой. Вся система заполнена жидкостью. Если надавить на поршень в одном цилиндре, усилие по жидкости передается на поршень второго цилиндра. За движением одного поршня будет следовать движение

другого. Такая система, соединенная не механически, а при помощи жидкости, называется гидравлической. Примером гидравлической системы служит система выпуска шасси самолета. Насос нагнетает жидкость в цилиндр с поршнем, связанным с шасси самолета. Ту же гидравлическую связь имеет тормозное устройство автомобиля. На этом же принципе построены различные регистрирующие приборы. Чем больше вязкость жидкости в таких гидравлических системах, тем больше усилия надо затрачивать для получения того же результата.

Подобные системы используются очень широко и в самых различных тепловых условиях. Загустевшая при низких температурах гидравлическая жидкость в системе шасси самолета может вызвать аварию. Причиной аварии могут быть и неверные показания приборов, отмечающих давление топлива и смазки в двигателе. Кремний-органические жидкости, мало меняющие вязкость при изменении температуры, очень хороши как гидравлические жидкости, в особенности для различных авиационных приборов и механизмов.

Почему же кремний-органические жидкости отличаются от всех других своим относительным постоянством вязкости при изменении температуры? Вязкость зависит от размеров молекул жидкости и от той скорости, с которой они движутся. Чем длиннее молекулы, тем больше вязкость жидкости. Движение молекул ускоряется с повышением температуры и замедляется, когда температура падает. Вязкость, «густота» жидкостей увеличивается при охлаждении. Кремний-органические молекулы обладают замечательным свойством. По форме они похожи на маленькие спиральки. При повышении температуры эти спиральки распрямляются, и молекула становится длиннее. При охлаждении спиральки сжимаются, и молекулы укорачиваются. При понижении температуры вязкость кремний-органической жидкости должна возрастать из-за замедления движения молекул и падать из-за уменьшения размеров молекул. В борьбе этих двух сил, действующих в разные стороны, побеждает первая — вязкость кремний-органических жидкостей увеличивается с понижением температуры, но увеличение это примерно в 50 раз меньше, чем для жидкостей, молекулы которых практически не изменяют своей длины с изменением температуры.



Растягивающиеся и сжимающиеся спиральки кремний-органических молекул выполняют еще одну очень важную работу — они уничтожают удары. Спрыгивая на землю с высоты, вы слегка сгибаете ноги. В момент приземления согнутые ноги работают как пружина — они смягчают удар. Тело не останавливается мгновенно, а уменьшает скорость движения в ходе сгибания ног. Механическими рессорами, пружинами снабжены все виды современного транспорта. Не будь рессор, смягчающих



удар, пассажиры поездов выходили бы из вагонов с многочисленными синяками. Каждый стык рельсов — это маленькая ямка, в которую падает железнодорожный вагон. Пассажир не чувствует этого падения, так как «живая» часть вагона отделена от колесной системой рессор — смягчителей ударов.

Мягкие кресла самолетов являются дополнительной защитой пассажиров от удара при посадке самолета, снабженного надежной системой рессор. Рессора — это пружина, превращающая энергию удара в энергию сжатия пружины. Оказалось, что кремний-органические жидкости являются очень хорошими жидкими пружинами. Обычный гидравлический амортизатор смягчает удар благодаря так называемому вязкостному трению — поршень, давящий на жидкость, пережимает ее через узкий зазор в другую часть цилиндра. Ясно, что кремний-органическая жидкость, мало меняющая свою вязкость с изменением температуры, будет работать лучше других «гидравлических» жидкостей. Кроме того, кремний-органическая жидкость, в отличие от других, обладает

большой сжимаемостью. Если сдавить кремний-органическую жидкость, она мягко, как пружина, сожмется. Бесчисленное количество мельчайших пружин — «спиралей» кремний-органических молекул сожмутся так же, как они сжимались при охлаждении, хотя причина сжатия здесь другая. Энергия удара перешла в энергию сжавшихся спиралек молекул. Через мгновение, когда удар окончился, — действие давления прекратится, спиральки мягко разожмутся, и жидкости примут прежний объем.

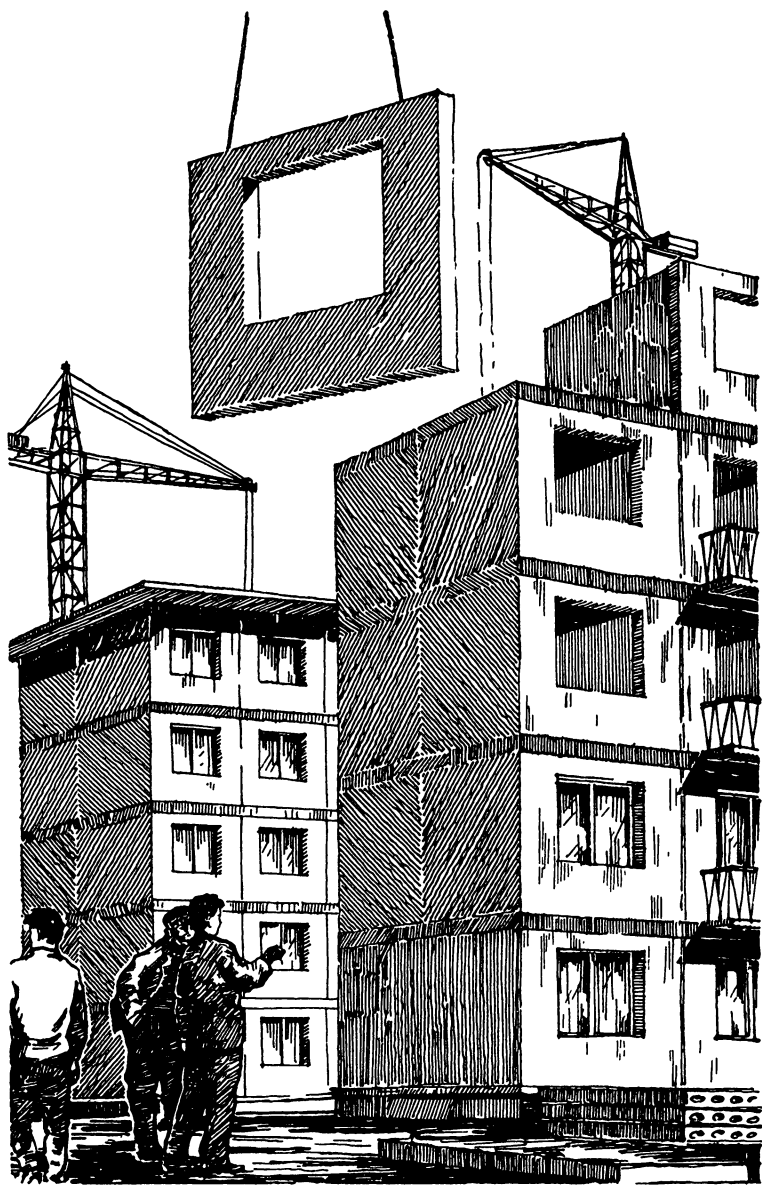
Способность кремний-органических жидкостей смягчать толчки и удары используется в различных устройствах самолетов, автомобилей, артиллерийских орудий и т. п.

Как смазки и гидравлические жидкости, амортизирующие, смягчающие удар, кремний-органические жидкости сохраняют свои ценные свойства и при низких и при высоких температурах.

### *Кремний в строительстве*

Для того чтобы понять роль кремниевых соединений в строительной промышленности, не надо читать специальные книги. Лучше всего побывать на одной из многочисленных строек, ведущихся во всех городах Советского Союза.

Из каких же материалов ведется строительство зданий? После того как мощные экскаваторы вырыли котлован — громадную яму, в нее начинается укладка основы дома — фундамента. В зависимости от числа этажей будущего дома, то есть в зависимости от его будущего веса, выбирается тип фундамента. Но какой бы фундамент ни был выбран, главный материал, из которого он делается, — бетон. Огромные бетонные кубы, изготовленные на заводе, укладываются в землю и скрепляются друг с другом специальным раствором. Когда плита фундамента готова, начинается укладка кирпича. Чтобы построить шести — восьмиэтажный дом, необходимо более миллиона кирпичей. Для соединения кирпичей используется цементный или известково-цементный раствор. Тысячи метров листового стекла закрывают оконные проемы в стенах. Железобетонные перекрытия отделяют



*Бетонные панели — новый строительный материал.*

этаж от этажа. Везде нужен материал, основой которого или важной составной частью являются кремниевые соединения.

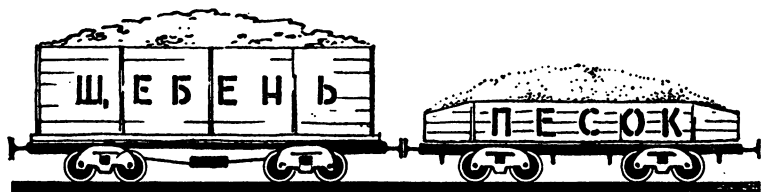
### *Искусственный камень*

Фундамент дома состоит из кремнийсодержащего материала, бетона, или, как его называют иногда, — искусственного камня.

Мы привыкли к таким словосочетаниям, как «искусственная кожа», «искусственный шелк», «искусственный каучук», «искусственный мех», а вот «искусственный камень» — сочетание этих слов кажется менее обычным. Причина этого ясна. Искусственный камень так давно и так прочно вошел в нашу жизнь, что его искусственное происхождение позабылось. Возраст искусственных меха, каучука, кожи, шелка измеряется годами и десятилетиями. Возраст же искусственного камня — бетона — столетиями и тысячелетиями.

Из бетона был сооружен огромный, диаметром в 40 метров, купол древнеримского храма Пантеона. Римляне же использовали бетон для подводных сооружений. До наших времен сохранились остатки мола в Поццуоли близ Неаполя. Задолго до древних пирамид египтяне применяли бетон при строительстве пирамид и лабиринтов.

Гигантское сооружение III века до нашей эры — Великая китайская стена во многих местах была сооружена из бетона. В Монголии найдены бетонные фундаменты зданий, построенных несколько тысяч лет назад. На территории нашей Родины в древнем государстве

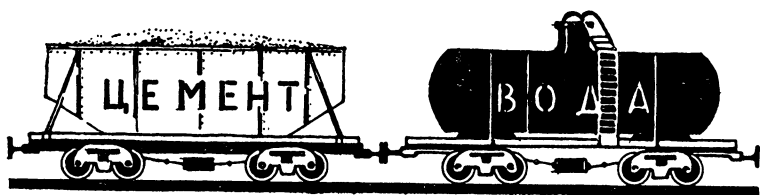


Урарту в VIII веке до нашей эры бетон использовался при строительстве города Аргиштихинили (ныне Армавир).

В современном строительстве из бетона создают фундаменты зданий, доменных и мартеновских печей, механических молотов, прессов, станков. Бетон применяют при строительстве водонапорных башен, мостов, шоссе-ных дорог, аэродромов, стадионов, маяков. Балки, стены, лестницы, лестничные площадки, колонны, подоконники — все это изготавливается из бетона. Способность бетона затвердевать под водой позволяет сооружать из него фундаменты маяков, причальные устройства, молы и доки, морские нефтяные вышки, плотины гидроэлектростанций.

За рубежом проводились опыты по сооружению из бетона морских кораблей, во Франции уже сделан опытный сверхскоростной самолет из бетона. С каждым годом открываются все новые, казавшиеся ранее невозможными пути использования бетона. О бетоне по праву говорят, что он материал далекого прошлого, настоящего и будущего.

Если внимательно рассмотреть строение бетона, можно увидеть разнообразные по форме и размеру камни и зерна песка, скрепленные друг с другом специальным, искусственным каменным клеем — цементом. От естественных камней, таких, как песчаник или конгломерат, бетон отличается своим связующим материалом — цементом и прочностью. По прочности он не уступает даже горным породам. Бетон так же прочен, как лучшие естественные камни, но он гораздо удобнее их. Камни добываются в каменоломнях, расположенных подчас за сотни километров от места строительства. Бетон же готовится прямо на месте строительства. Миллионы лет уходят



части бетона.

на образование естественных камней в природных условиях, а бетон готовится в течение нескольких дней, а иногда даже часов. Природный камень надо обтесывать, обкалывать для придания ему нужных форм и размеров. Бетоном же можно заполнить любую форму — застыв, он сохраняет ее. Изменить свойства природного камня нельзя. Свойства же бетона можно изменять, добавляя к нему в ходе изготовления различные вещества. Небольшая добавка стального порошка делает его твердым как гранит. Такой бетон используется для полов на заводах, по которым ежедневно катятся сотни вагонеток с тяжелыми грузами. Бетон не стирается, если его пропитать жидким стеклом. Этим способом улучшают качество бетонных автомобильных дорог — автострад. Если в состав бетона ввести тяжелые полевые шпаты, он станет отличной защитой от рентгеновских лучей, от осколков атомных ядер — нейтронов. Трудно представить себе, как могли бы работать ученые и инженеры над покорением атомной энергии, если бы не было бетона. Урановые котлы, в которых освобождается внутриатомная энергия, испускают мощные потоки невидимых лучей, проникающих сквозь дерево, железо и любые ткани. С их помощью врачи лечат тяжелые заболевания, инженеры контролируют качество изделий, ученые меняют свойства различных материалов. Но эти же лучи и осколки атомных ядер опасны для человека не меньше, чем самые страшные ядовитые газы. Толстый слой бетона надежно защищает работающих от опасного излучения. Атомные котлы, одетые в толстые бетонные панцири, безвредны для окружающих.

Современный бетон, не боящийся огня, воды, мороза, изготавливают из трех основных составных частей — цемента, воды и заполнителей.

Состав прост, но не всякую воду и не всякий заполнитель можно использовать для изготовления бетона. Самый распространенный заполнитель для бетона — кремнезем в виде песка и гравий — мелкий камень. Песок, предназначенный для бетона, не должен содержать большого процента органических примесей или сернистых соединений. Самые лучшие для бетона это горные и овражные пески. Частицы кварца — песчинки в этих песках — имеют угловатую форму, а цементный раствор лучше всего схватывается с частицами, имеющими шеро-

ховатую остроугольную поверхность. Лучшая вода для приготовления бетона — питьевая, но иногда приходится пользоваться морской, речной или болотной водой. Такую воду сначала изучают в химических лабораториях. Если она содержит кислоту, то она не годится для бетона. Не годится вода, содержащая гипс или другие соли серной кислоты. Они уменьшают прочность бетона. Поэтому для строительства стен не разрешается применять бетон, приготовленный на морской воде.

Твердые составные части бетона — цементный порошок, песок и гравий или щебень — смешиваются и всыпаются в бетономешалку. Одновременно в бетономешалку подается вода. Через несколько минут бетонная смесь готова. На самосвалах или с помощью специальных бетононасосов бетонная смесь доставляется к нужному месту, и ею заполняется заранее подготовленная форма, сделанная из деревянных или железных щитов. Там бетон и застывает.

За последние годы в нашей стране выстроены многочисленные заводы, на которых готовятся различные изделия из железобетона и уже в готовом виде доставляются на строительство. Такой способ значительно ускоряет строительство и используется все более широко.

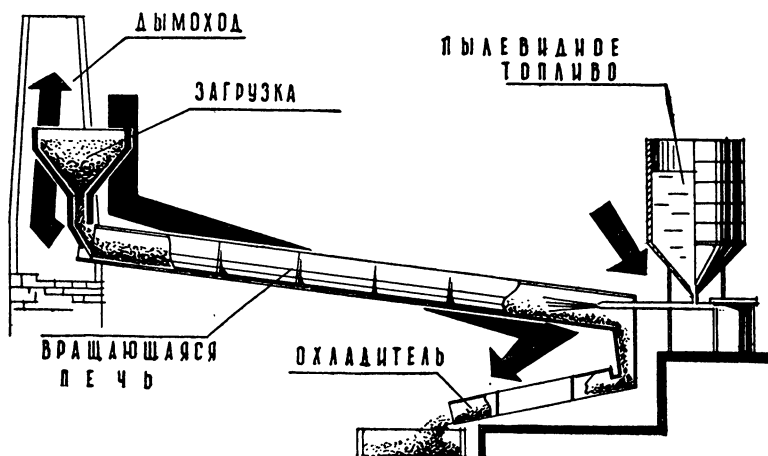


Схема работы цементной печи.

## *Каменный клей*

Своими замечательными свойствами бетон обязан цементу, который является его составной частью. Однако производство цемента началось лишь с середины XIX века. До этого времени бетон уже был известен древним египтянам, китайцам и римлянам, но в нем вместо цемента применяли сначала глину, а потом гипс и известь. Такой бетон был очень непрочен и поэтому не получил в прошлом широкого применения. Цемент, превративший бетон в самый распространенный строительный материал сегодняшнего дня, был изобретен в начале XIX века русским строителем Е. Чешевым. Для получения цемента берут смесь трех частей известняка с одной частью глины. Известняк содержит окись кальция, а глина — двуокись кремния, окиси алюминия и железа. Смесь известняка и глины обрабатывается в огромных печах. К полученной в печи массе, так называемому клинкеру, при помоле добавляют кремнезем в виде уже знакомого нам диатомита.

Готовый цемент — серый, очень тонкий порошок. Если цементный порошок замешать с водой, то полученное густое и вязкое цементное тесто начнет постепенно затвердевать и превращается в цементный камень. Цементный клей и бетон, в состав которого он входит, со временем становится все прочнее и прочнее.

## *Стеклянный дом*

До недавнего времени основными строительными материалами были бетон и цемент. Сейчас появился новый строительный материал — стекло.

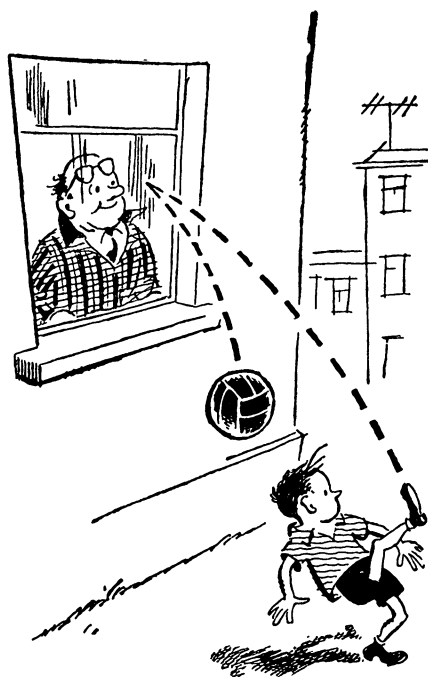
Сто лет назад стеклянный дом-дворец существовал лишь в сказках и населяли его феи и волшебники, а сегодня такой дом — реальность. Мы привыкли видеть в домах застекленные оконные рамы. В стеклянном доме также есть окна, но не совсем обычные — у них нет деревянных переплетов рам. Вся площадь оконного проема занимает одно стекло, вернее, один стеклянный пакет. Стеклянный пакет — это два параллельных куса листового стекла, сваренных или склеенных с 10—50-миллиметровым воздушным промежутком между ними. Из



этого воздушного промежутка удалена влага. Такое окно никогда не запотеваает, не замерзает зимой, намного красивее, чем обычные окна, и, кроме того, хорошо удерживает тепло помещения. В стеклянном доме очень светло, большая часть стен сделана из рифленых пустотелых стеклянных кирпичей. Через такие полупрозрачные стены в комнаты льется ровный и мягкий свет, не слепящий глаз и почти не дающий теней. Пол комнат выложен стеклянной плиткой. Двери комнат сделаны из красивого очень прочного стекла — сталинита. Крыша дома, сделанная из волнистого, или армированного стекла, не нуждается в покраске и служит как верхнее световое окно. Из стекла же сделаны ванны, умывальники, плиты на столах и буфетах. Такой дом не надо ни красить, ни покрывать штукатуркой — он красив и без этого. Полы, стены, потолки дома всегда чисты — их ведь можно мыть, поливая из шланга водой.

Стеклянному дому не страшен никакой пожар. Гореть там нечему. Даже шторы на окнах могут быть изготовлены из стеклянной ткани. В costume из такой стеклянной ткани можно смело повторить «трюк» тибетских лам, проходивших через огонь в костюмах из асбестовой ткани.

Дом, сделанный из стекла, очень прочен. Чтобы убедиться в прочности стекла, произвели такой опыт. Гранитный кубик объемом в один кубический сантиметр подвергли давлению в 2000 килограммов, и он был раздавлен. Кубик такого же объема из чугуна треснул под





*Рубиновые звезды  
Кремля.*

давлением в 7000 килограммов, а стеклянный кубик выдержал давление в 12 тысяч килограммов!

Итак, стекло — прочный, красивый, долговечный строительный материал. Более того, все те материалы, о которых мы говорили, описывая стеклянный дом, уже сейчас выпускаются в промышленном масштабе.

Недавно Ленинский проспект в Москве украсился многочисленными нарядными постройками — автобусными и троллейбусными станциями. Эти станции целиком сделаны из плиток строительного стекла. Цельностеклянных домов еще не строят, но и в Москве, и в ряде других европейских и американских городов можно увидеть дома с огромной площадью остекления. Некоторые здания имеют наружные стены,

на 70% сделанные из различных типов листового строительного стекла. Один из нью-йоркских банков неофициально называется «банк-аквариум». И действительно, при строительстве наружных стен здания этого банка соотношение между площадью остекления и площадью, сделанной из легких металлов и пластика, было примерно такое же, как при изготовлении аквариумов.

Очень широкое применение в строительстве получил стекложелезобетон. Стекложелезобетон — это большие блоки-рамы из железобетона, заполненные стеклянными плитками, которые используются для устройства световых проемов в стенах, для плоских и сводчатых крыш, для стен здания и для внутренних перегородок, для ограждений балконов и т. д. Стекложелезобетон широко применяется в строительстве в Англии, Германской Демократической Республике, Чехословакии, США, Швеции и в других странах.

Строительство и архитектура — понятия настолько тесно связанные, что говорить об одном в отрыве от другого нельзя. Стекло — отличный материал для архитектурно-художественного оформления обычных домов. Очень красива отделка наружных стен здания плитками

из малопрозрачного, цветного технического стекла — «марблита». Из стекла сделан шпиль самого высокого здания в Москве — университета на Ленинских горах. Звезды, украшающие старинные башни Московского Кремля, сделаны из цветного рубинового стекла. На Выставке достижений народного хозяйства стеклянные скульптурные фигуры входят в ансамбль фонтана «Дружба народов».

Можно полагать, что в будущем стекло станет одним из наиболее распространенных материалов для различных архитектурно-художественных целей.

### ***Биография стекла***

Кремниевый стекломатериал занимает большое место в нашей жизни, и его краткую историю надо знать каждому.

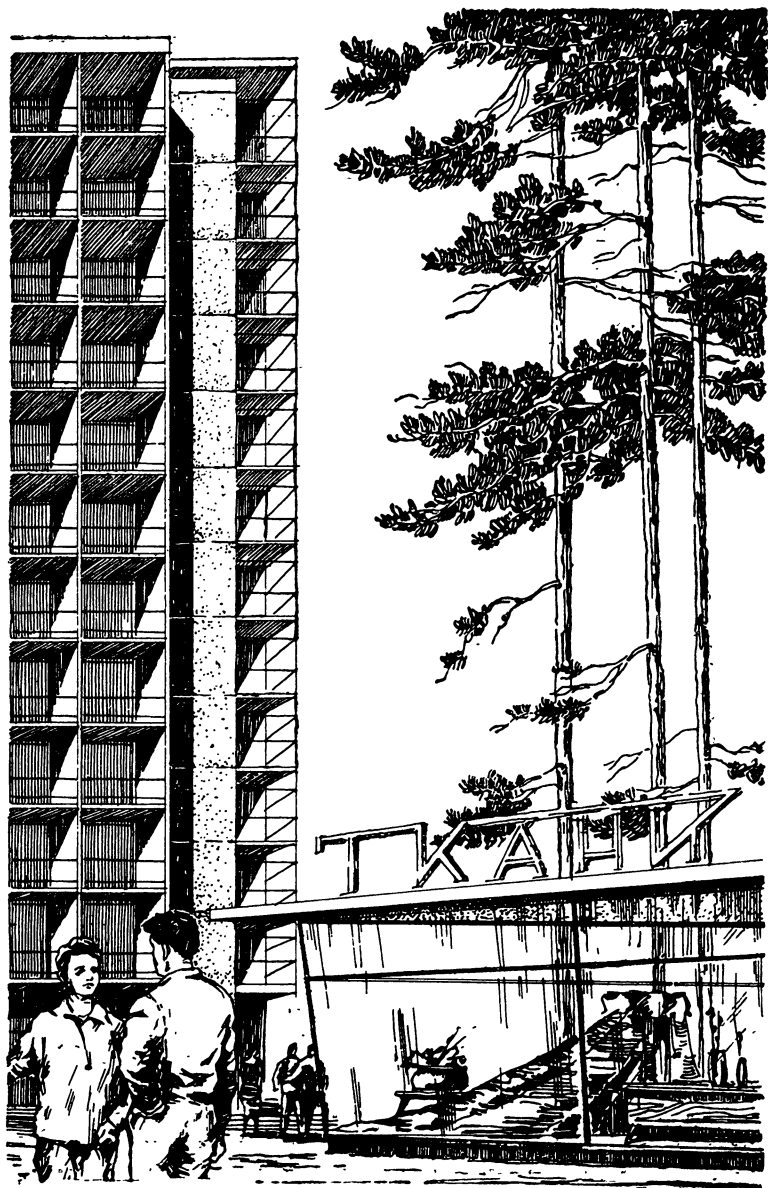
Стекло, по-видимому, первый кремниевый материал, приготовленный человеком из природных веществ.

В книге знаменитого древнеримского ученого Плиния Старшего «Естественная история» рассказывается о том, как люди впервые совершенно случайно приготовили стекло. Произошло это якобы так. Однажды финикийские моряки, высадившись на песчаном берегу, стали готовить себе обед. Не найдя ничего, на что можно было бы поставить котел, они использовали для этой цели куски соды, которой был нагружен их корабль. Обед был приготовлен, а в золе прогоревшего костра они обнаружили блестящие кусочки стекла, получившегося при сплавлении соды и песка. Эта история не вызвала сомнений до тех пор, пока ученые не поставили проверочный опыт — они повторили все то, что делали финикийские моряки, и никакого стекла не получили. Температура костра недостаточна для сплавления соды и песка. Для этого необходима температура 1450—1500°. Но сущность технологического процесса изготовления стекла на современном заводе очень близка к тому, что делали, по словам Плиния Старшего, финикийские моряки. Прежде всего подбирается и смешивается соответствующая сырьевая масса, состоящая из кварцевого песка, соды и мела. Эта смесь плавится и варится в специальных стекловаренных печах. Печь имеет форму ванны и

достигает ста с лишним метров длины. Стекломаасса находится в этой ванне, которую обогревают с наружных боковых сторон. Кстати, о размерах этой ванной-печи. Самый большой кит может свободно искупаться в такой ванне, достигающей ста с лишним метров длины. Смесь веществ поступает с одного конца печи, а с другого конца специальными стеклоделательными машинами снимают готовое стекло. Так делают стекло в наши дни, но до этого изготовления стекла прошло долгий путь. Пять тысяч лет назад египетские гончары, изготовлявшие глиняную посуду, долго думали над тем, как добиться того, чтобы стенки горшков и кувшинов были гладкими и не пропускали воду. И вот однажды перед обжигом на один из горшков случайно попала смесь песка и соды. После обжига этот горшок оказался покрытым гладкой блестящей водонепроницаемой пленкой. После этого все горшки стали перед обжигом покрывать содой и песком — глазуровать их. Таким образом, впервые было приготовлено и использовано человеком стекло (химический состав глазури и стекла почти один и тот же). Очень трудно установить, когда, как и кем было приготовлено чистое стекло. Возможно, что произошло это так.

Какой-нибудь гончар покрыл свой горшок смесью соды и песка, но сделал это очень небрежно. Вместо тонкой пленки у него получился неровный бугор — кусочек стекла. Кусочек этот ярко блестел и напоминал своим видом драгоценный камень. Это натолкнуло гончара на мысль, чтобы приготовить шарик из одной глазури. Стекланная бусина, найденная при раскопках могил недалеко от Фив, является, по-видимому, одним из первых видов чисто стеклянных изделий. Возраст такой бусины 5500 лет. Древнеегипетское стекло было весьма несовершенным — оно не было прозрачным.

Египтяне даже и не подозревали, что стекло может быть прозрачным. Но, если бы они и знали это, приготовить такое стекло им бы не удалось. Для изготовления прозрачного стекла температура при варке должна быть около 1500°. Достигнуть же такой температуры, разжигая на открытом воздухе сильное пламя, нельзя. Египетское стекло в тех случаях, когда к нему не примешивали различных красящих веществ, было коричневатозеленого цвета и своим видом походило на пережженный сахар. Прозрачное стекло начали варить древние



*Стекло и бетон в строительстве.*

римляне. Для этого они использовали сложенные из камней стекловаренные печи. Основной продукцией древнеримской стекольной «промышленности» была посуда.

Римские мастера достигли высокой степени совершенства. Кубки, чаши, кувшины, украшенные тонким, как кружево, рисунком, были найдены в древнеримских раскопках.

Стекло в Древнем Риме было предметом роскоши. Художественно расписанное стекло стоило намного дороже золота. За одну из чаш — так называемых муррин — император Нерон уплатил семьдесят талантов, за эту же сумму можно было купить триста здоровых молодых рабов. Конечно, пользоваться такими стеклянными изделиями могли только самые богатые римские патриции. Но ведь ассортимент стеклянных изделий был велик — посуда и украшения. Обычные для нас и необходимые в быту вещи римские мастера создать не могли. Ни оконного стекла, ни зеркала, ни очков, ни других простых вещей из стекла в Риме не было. Но римские мастера научились делать прозрачное стекло, а также окрашивать его. Они изобрели стеклодувную трубку и стекловаренную печь.

В России начало стеклоделия относится к X—XI веку. Археологические раскопки показывают, что в XII веке, в период расцвета Киевского государства, производство стеклянных изделий уже существовало. Во время раскопок обнаружены стеклянные украшения, посуда, мозаичные полы, стеклянные окна. Интересны раскопки сгоревшего в 1017 году древнего Киева. Под слоями земли и пепла археологи нашли стекловаренную печь с огнеупорными глиняными горшками и стеклянные изделия киевских мастеров, включая изготовленные выдуванием тонкостенные бокалы.

В конце XIII века недалеко от города Воскресенска был построен первый стекольный завод. Особенно бурное развитие русского стеклоделия началось при Петре I. В это время было построено шесть государственных и три частных завода, выпускавших хрустальную посуду, а также оконное и зеркальное стекло. Вначале на этих заводах работали иностранцы, в изобилии приезжавшие в то время в Россию в погоне за наживой. Весьма неохотно делились они своими секретами варки и изготовления стекла. Однако русские рабочие довольно

быстро овладели этим искусством. Появились русские мастера-стеклодувы, создававшие поразительные по тонкости художественной отделки и своеобразности стеклянные изделия. Многие из этих изделий и по сей день хранятся в наших музеях.

Искусство стеклоделия развивалось во всех странах. Постепенно стекло стали использовать как украшения и для изготовления посуды. Сначала появилось кустарное, а потом и механизированное производство плоского листового стекла для окон и зеркал, машинное производство бутылок, оболочек для электроламп, новых специальных сортов стекол для различных оптических приборов и т. д. Стекло становилось все лучше и лучше, и производство его все расширялось.

Подробно рассказать о различных типах производимого стекла, о многочисленных «умных» машинах стекольного производства, о его возрастающем и многообразном применении трудно — этому следует посвятить отдельную книгу<sup>1</sup>.

### *Помощник глаза*

Стекло не мешает человеку воспринимать световую картину окружающего мира. Но очень часто стекло выполняет еще более важную задачу — оно помогает человеческому глазу.

Насколько медленно идет процесс совершенствования человеческого тела, настолько быстро развивается и совершенствуется человеческий разум. Силой своего разума человек создал себе сказочно сильных помощников. Для преодоления огромных расстояний не нужно тратить мускульной силы ног — автомобиль, поезд, самолет, а в ближайшем будущем ракета практически уничтожат в пределах Земли проблему расстояния.

Для изготовления станков, средств транспорта, продуктов потребления все меньше и меньше мускульной силы рук приходится затрачивать человеку. Недалеко то

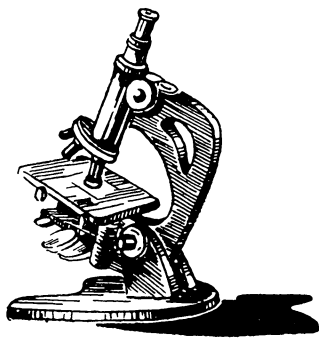
---

<sup>1</sup> Такая книга уже есть — это «Тайна стекла» М. Свешникова. Советуем прочитать ее тем, кто заинтересуется этим замечательным кремниевым соединением — соединением, верно служащим человечеству уже более пяти тысячелетий.

время, когда развитие энергетики и автоматики полностью упразднит ручной труд.

Человек придумал помощника и своему мозгу. Не только сложнейшие вычислительные операции, но и множество типовых и логических задач сейчас решают электронные вычислительные машины. Созданы многочисленные «помощники» и человеческому глазу. Основной материал, из которого делают всевозможные приборы, улучшающие зрение человека, — стекло. Как известно, много людей во всем мире пользуются очками. Кто впервые изобрел очки, неизвестно. История донесла до нас рассказ о большом шлифованном изумруде — монокле, через который близорукий Нерон смотрел на бои римских гладиаторов. Трудно сказать, намного ли лучше видел Нерон через зеленый, не слишком прозрачный изумруд, но очевидно, что более четкая картина, наблюдавшаяся через шлифованный драгоценный камень объяснялась не магическими свойствами этого камня, а законами оптики. Однако даже если бы древние римляне и поняли, как надо было делать стекла для очков, осуществить им этого не удалось бы. Стекло, которое они варили, было мутным, малопрозрачным, с множеством пузырьков.

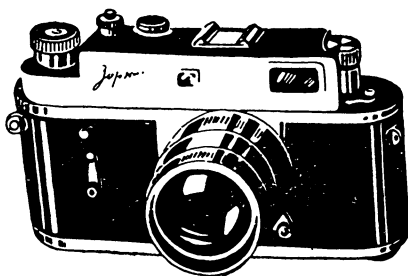
Первые очки появились в XII веке в Италии. Стоили они очень дорого. Собственно, это были еще не очки в том виде, к которому мы привыкли, а «стекла для смотря». Первые очки были несовершенны, и все же они явились надежным помощником человеческому глазу. Следующим важным изобретением была подзорная труба. Существует версия, что это открытие сделали в 1590 году дети голландского ремесленника Захарин Янсена, забавлявшиеся в отсутствие отца стеклами для очков. Они взяли два стекла для очков, вставили их в медную трубку, и все предметы, рассматриваемые через такую трубку, стали как бы увеличиваться в размерах.



*Микроскоп*



Этот примитивный прибор увеличивал предметы лишь в несколько раз, но важно было само открытие принципа комбинации нескольких оптических стекол. Дальнейшие успехи уже по созданию микроскопа связаны с именами Левенгука — привратника городской ратуши в Амстердаме — и английского оптика-шлифовальщика Доллонда.



*Фотоаппарат.*

Современные микроскопы дают увеличение в две тысячи раз, а сверхсильные — еще больше. Микроскоп стал лучшим помощником ученого. Микроскоп необходим физики, химику, геологу для изучения кристаллической структуры твердого тела, биологу. Инженеру-металлургу для определения качества стали также необходим микроскоп, как и химический анализ.

А вот другой оптический прибор — телескоп — используется пока только лишь астрономами. Его история начинается с подзорной трубы, сделанной в 1609 году Галилеем. Современный оптический телескоп — большое, сложное сооружение, состоящее из множества различных частей и механизмов. Длина трубы большого телескопа достигает 20 метров. Нужны сложнейшие механизмы, чтобы направлять трубу на любой участок неба и чтобы она автоматически следовала за движением перемещающейся планеты или звезды. Но не только современный телескоп является потомком подзорной трубы Галилея; сюда можно отнести бинокль, стереоскопические трубы, оптические пирометры, фото- и кинокамеры, скоростные фоторегистры и много других приборов различного назначения. И для всех них вне зависимости от их конструкции и назначения необходимо одно и то же — оптическое стекло, которое обладает особыми качествами. Оптическое стекло совершенно однородно химически и не имеет никаких физических дефектов, а простое стекло неоднородно и химически и физически. Физическая неоднородность стекла может быть обнаружена на глаз. Если внимательно посмотреть против света на кусок

обычного стекла, то видны мельчайшие пузырьки. Стеклоделы называют их «мошкой». В процессе варки стекла выделяются газы. Большая часть этих газов выходит из стекла, но ведь чем меньше размеры газовых пузырей, тем меньше их подъемная сила. Причем эти газовые пузырьки будут покидать жидкость тем медленнее, чем она вязче. А даже расплавленное и находящееся при температуре  $1500^{\circ}$  стекло значительно более вязко, чем вода. Вот и получается, что самые маленькие пузырьки газа в процессе варки так и не успевают покинуть толщу жидкого стекла. Для обычных целей такое стекло вполне пригодно — ведь пузырьки очень маленькие, на первый взгляд даже незаметные. Но слово «маленький» ни о чем не говорит. Если эти пузырьки малы по сравнению, скажем, со спичечной головкой, то они огромны по сравнению с длиной волны света. Пузырек диаметром в 0,1 миллиметра, едва различимый глазом, в 200 раз больше длины волны видимого света, равной 0,0005 сантиметра. Луч света, наталкиваясь на такие пузырьки при прохождении стекла, рассеивается, меняет свое направление. Человеческий глаз не воспринимает ничтожной размытости предмета, наблюдаемого через такое стекло. Используемое же в оптическом приборе, такое стекло неузнаваемо исказит наблюдаемую картину, причем искажение будет тем больше, чем больше увеличивающая способность прибора. У стекла много других дефектов, их обозначают терминами «свиль», «рух» и другими такими же непонятными словами. Но сущность всех этих дефектов одна — физическая или химическая неоднородность стекла. В природе имеется отличный материал для оптических изделий. Это — горный хрусталь, или, иными словами, очень чистый и прозрачный кварц. Высокая степень чистоты и большая однородность делают его весьма ценным материалом. Но его очень мало в природе, и рассчитывать на горный хрусталь при широком производстве оптических приборов не приходится. Французскому часовщику Гинану первому удалось сварить стекло почти без дефектов — однородное по химическому составу и без мельчайших пузырьков. Долгое время Гинан был единственным человеком в мире, знавшим секрет варки стекла для оптических приборов. За свое стекло он мог назначать любую цену — конкурентов не было. Перед смертью Гинан завещал секрет варки своим

сыновьям, которые хранили его столь же тщательно, как и их отец.

Гинан был изобретателем. Его сыновья — капиталистами, держащими в руках секрет производства. За сто лет монопольного владения династией Гинанов секрет варки стекла и рецепты варки почти не изменились — наследников Гинана интересовала только прибыль.

В конце XIX века два немецких ученых — физик Эрнст Аббе и химик Отто Шотт провели тщательную научную работу по изучению процессов варки и свойств стекла самых различных составов. Работа эта дала блестящие результаты. В 1881 году в Иене был построен завод оптического стекла, прославившийся своими оптическими изделиями на весь мир. Но секрет варки по-прежнему оставался неразгаданным. Узнать его было очень сложно, так как технология варки состоит из очень большого числа операций.

В России варка оптического стекла началась во время империалистической войны. За огромные деньги — 600 тысяч рублей золотом — у английского стеклозаводчика Ченса был куплен рецепт варки стекла. Главным в этом рецепте был способ перемешивания стекла во время варки. Рецепт был весьма капризный. Так, например, в нем указывалось, что в пасмурную погоду сварить хорошее оптическое стекло не удастся. Перед тем как начать перемешивать стекло, необходимо было произвести много подготовительных операций. Только через девяносто часов после начала варки можно было приступить к перемешиванию стекла.

В 1926 году группой советских инженеров и ученых (Д. С. Рождественский, И. В. Гребенщиков, Н. Н. Качалов) был разработан способ скоростной варки оптического стекла. По этому методу энергичное перемешивание стекла начиналось сразу же после расплавления стекломассы. Самый придирчивый осмотр не смог обнаружить в этом стекле каких-либо дефектов. Энергичное перемешивание в ходе всего процесса варки уничтожало неоднородность состава, выгоняло из стекломассы газовые пузырьки.

Так был побежден главный враг оптического стекла — «мошка». Сейчас у нас на заводах варят оптическое стекло, различное по своему составу. Оптическое стекло во многом отличается от оконного и бутылочного стекла.

Другим видом сортового стекла, выпускаемого нашей промышленностью, является цветное стекло, окрашенное различными примесями в самые разнообразные цвета.

### *Свет и цвет*

Мы уже не раз употребляли слово «прозрачный». Прозрачно стекло, кварц, прозрачен кусок льда, кристалл соли, прозрачна тончайшая пластинка из металла, прозрачно и окрашенное стекло. Но так как химический состав разных материалов различен, различна и их прозрачность.

Обычное стекло очень мало задерживает свет различных цветов — около одного процента. Но это же стекло практически не пропускает ультрафиолетовых лучей. У цветного стекла есть свои особые свойства. Красное стекло прозрачно для красных и оранжево-желтых лучей, но непрозрачно для синих, зеленых, фиолетовых и ультрафиолетовых. Имеются специальные наборы светофильтров, состоящие из нескольких десятков стеклянных пластинок, окрашенных во всевозможные цвета. Каждая пластинка пропускает лишь свет определенного цвета, по отношению к которому она прозрачна. В этом наборе есть и совершенно «прозрачные» пластинки, являющиеся фильтрами, задерживающими свет невидимых глазом лучей. Набор светофильтров — замечательная коллекция цветных стекол всех цветов и оттенков.

Цветные стекла отличает друг от друга их химический состав, те добавки веществ, которые были введены в стекломассу в процессе ее приготовления. Добавляя золото или медь, получают красивое рубиновое стекло; солями никеля окрашивают стекло в фиолетовый или коричневый цвет; солями кобальта — в синий, хрома — в желто-зеленый. Подмешивая к стеклу соли разных металлов, получают стекла промежуточных цветов. Попробуем получить цветной лед. Если растворить в воде синие кристаллы медного купороса и попробовать заморозить этот красивый синий раствор, то в твердой массе неокрашенного льда мы увидим синие кристаллы медного купороса. Вода, замерзая, кристаллизуется, и в состав кристалла могут входить только молекулы воды. Отдельно в кристаллы своей особой формы закристаллизовывается

медный купорос или другая соль, растворенные в воде. Расплавленное стекло и вода находятся в одном и том же состоянии — состоянии жидкости. Раствор соли в расплаве стекла и раствор соли в воде очень близки по своей природе. А в застывшем виде эти растворы совершенно различны. Водного раствора в твердом состоянии больше не существует — есть кристаллы льда и кристаллы соли. А затвердевший раствор соли в стекле так и остался раствором. Объясняется это тем, что стекло, даже затвердев, по своему внутреннему строению не перестает быть жидкостью. Беспорядочно перепутанные цепи из чередующихся атомов кремния и кислорода — куски силикатных молекул — так и остались в беспорядке. Образование упорядоченной, кристаллической структуры, где каждая молекула занимает свое определенное место, не произошло. Именно этому свойству быть твердым и жидким в одно и то же время обязаны своим существованием многочисленные цветные стекла.

Производство цветного и оптического стекла раньше держали в большом секрете. Но и этот секрет постигла судьба всех производственных секретов тех далеких времен — после того как в дело вмешалась наука, он был раскрыт. Ученые не только самостоятельно открыли секреты изготовления цветного стекла, но и научились улучшать его, изучив природу окраски стекла.

Первым, кто научно подошел к производству цветного стекла, являлся наш великий соотечественник Михайло Васильевич Ломоносов.

Цветное стекло, по словам самого Ломоносова, было его главным увлечением. В первой в России химической лаборатории М. В. Ломоносов в течение трех лет собственноручно сварил больше двух тысяч опытных стекол. Работы Ломоносова по цветному стеклу легли в основу заводских методов получения прозрачных и непрозрачных цветных стекол. Ему стоило больших трудов добиться от сената разрешения на постройку в России первой фабрики цветного стекла. Он написал оду «Письмо о пользе стекла», отпечатал ее за свой счет в большом числе экземпляров и разослал широкому кругу людей, от которых зависело решение вопроса о строительстве фабрики стекла. Прочитав это произведение, многие из них изменили свое мнение о никчемности этой затеи, и в 1745 году фабрика, строившаяся под руководством

Ломоносова, начала свою работу. На ней изготовлялась разноцветная столовая посуда, флаконы для духов, графины, стаканы, кружки, блюдечки, чашки и чернильницы.

Из цветного стекла, выпускаемого фабрикой, М. В. Ломоносов создал несколько замечательных мозаичных картин. Кроме серии портретов, он вместе со своими учениками в течение пяти лет работал над огромной мозаичной картиной «Полтавская баталия». Эта великолепная картина имеет площадь 42 квадратных метра и украшает сейчас стену в главном здании Академии наук в Ленинграде. Цветное стекло и до сегодняшнего дня не утратило своего значения как материал для различных художественных и декоративных работ. На выставках можно увидеть замечательные художественные изделия из цветного стекла. Многочисленные мозаичные картины украшают стены и потолки Московского метрополитена.

С техническим применением цветного стекла мы сталкиваемся ежедневно. Сигнальные красные, желтые, зеленые огни на перекрестках улиц, зеленые светлячки таксомоторов, огни на радиоантеннах и башнях высотных сооружений Москвы, сложная и в то же время четкая цветовая сигнализация на аэродромах, огоньки бакенов, указывающих безопасный фарватер речным судам.

Многообразно назначение цветных стекол, однако еще более разнообразны цвета, которые инженеры и техники умеют придавать различным стеклам. В числе этих красок есть и не видимые человеческим глазом, но очень важные цвета. Мы уже говорили ранее о том, что кварцевое стекло прозрачнее обычного — оно пропускает не только видимый свет, но и ультрафиолетовый. Ультрафиолетовые лучи называют иногда «лучами жизни», так как они убивают микробов и очень полезны для здоровья. Например, солнечные лучи содержат много ультрафиолетовых лучей. Как было бы хорошо подвергаться их действию у себя в комнате или на рабочем месте! Но, чтобы для окон изготовить листовое стекло из кварца, надо затратить очень много средств. Химики решили сделать прозрачное для ультрафиолетовых лучей стекло не из кварца, а из обычного стекла. Для этого они сначала определили, какая составная часть обычного стекла делает его непрозрачным для этих лучей. Оказалось, что такой частью является даже не составная

часть стекла, а примесь. Небольшая примесь железа, постоянно присутствующая в стекле, не пропускает ультрафиолетовых лучей, кроме того, удалось установить, что примесь борной кислоты облегчает ультрафиолетовым лучам прохождение через стекло. Узнав это, химики составили особый рецепт стекла, в котором почти нет железа и много борной кислоты. Это прозрачное для ультрафиолетовых лучей стекло называли увиолевым. Применять такое стекло в больших городах пока нецелесообразно: еще много дыма, копоти, газов различных производств висит невидимой шапкой в воздухе, а они почти не пропускают ультрафиолетовые лучи. Но в новых городах-спутниках, в санаториях, загородных больницах использование увиолевого стекла принесет большую пользу.

Кроме увиолевого стекла, химики создали стекло, совершенно не пропускающее ультрафиолетовых лучей, добавив в его состав редкоземельные элементы. Такое стекло обычно используют при застеклении окон в музеях и библиотеках во избежание выцветания чернил и красок под действием ультрафиолета. И, наконец, было создано особое стекло, прозрачное только для ультрафиолетовых лучей. Его часто называют стеклом Вуда, по имени американского физика-изобретателя. С таким стеклом обычно работают ученые, изучающие явления люминесценции — свечения веществ, наблюдающегося чаще всего под действием ультрафиолетового света. Если, например, осветить таким «черным светом» кусок породы, вкрапленные в него частицы минерала, способного люминесцировать, ярко мерцают в темноте, причем по цвету свечения часто можно определить, что это за минерал. Используют черные стекла Вуда и театральные декораторы, создающие при помощи специальных люминесцентных красок очень красивые эффекты.

Менее чем за год до открытия ультрафиолетовых лучей были открыты инфракрасные лучи, также не видимые человеческим глазом. Химикам пришлось решать две задачи: необходимо было создать стекло, не пропускающее инфракрасные лучи, и стекло, пропускающее только инфракрасные лучи. Решение было найдено: в первом случае в стекло добавили железо, уголь и олово, во втором — марганец и хром. Лампы, не пропускающие инфракрасных тепловых лучей, используются

в хирургии и в кинопроекторных аппаратах цветного кино. Они ярко освещают операционное поле, не обжигая облучаемое место.

Цветная киноплёнка также не выносит повышения температуры, а яркость освещения должна быть большая. Для соблюдения этих двух условий между мощной проекционной лампой и плёнкой ставится теплозащитное стекло. Оно поглощает почти все тепловые лучи, плёнка не перегревается, краски не выцветают, и такая цветная кинолента служит длительный срок.

Если в стекло ввести примесь свинца, то получится стекло, прозрачное для видимых и непрозрачное для рентгеновских лучей. Плитки такого прозрачного стекла — надёжная броня от вредных рентгеновских лучей.

Плитки цветного стекла «марблита» черного, белого, голубого, зеленого, фиолетового цветов применяют в строительстве. В этом случае основное цвет и блеск, так как эти плитки идут для украшения зданий.

### *Растворимое стекло*

Есть еще один вид стекла, обладающего замечательным свойством растворяться в воде.

Если бы в костре финикийских моряков из песка и соды образовалось стеклообразное вещество, оно-то и было бы растворимым стеклом. Причина его растворимости — отсутствие мела в исходной смеси. Впервые растворимое стекло было сварено в начале XVI века алхимиком Василием Валентином. Началом технического изготовления растворимого стекла, иногда называемого еще жидким стеклом, принято считать 1818 год.

Конечно, для изготовления сосудов для хранения вина, воды, для кубков, ваз и прочих подобных изделий такое стекло не очень-то подходит!

Готовят растворимое стекло двумя способами. При высокой температуре варят чистый кварцевый песок с содой, а образовавшиеся куски, называемые силитатом — глыбой, растворяют в воде. Другой способ, когда растворимое стекло получают прямым растворением двуокиси кремния в виде диатомита или инфузорита в кипящей крепкой щелочи под давлением от трех до восьми атмосфер.



Раствор технического жидкого стекла очень похож на сироп — это густая, слегка желтоватая жидкость, находящая широкое техническое применение.

Прделаем такой опыт: перед нами два куска ткани, не отличающиеся по внешнему виду. Поочередно подержим их над зажженной свечой. Первый кусок начинает гореть и сгорает. Второй кусок можно долго держать над пламенем — ткань только обуглится, но никогда не вспыхнет. Это свойство ткань приобрела после того, как ее пропитали растворимым стеклом.

Во многих театрах огромные занавесы, закрывающие сцену, обрабатаны таким способом. Картонные декорации, деревянные и фанерные предметы также делают негорючими, используя растворимое стекло. В театральном лесу из картонных деревьев можно развести настоящий костер, и никакого пожара не будет.

Причина несгораемости очень проста. Жидкое стекло, высыхая, обволакивает стекловидной оболочкой горючее вещество — нитки тканей, волокна дерева и картона. Эта оболочка не дает возможности кислороду воздуха соприкоснуться с горючим веществом, а без кислорода горение происходить не может.

Растворимое стекло широко используется в строительном деле. Срок службы бетона, кирпича, строительных камней, мрамора сильно возрастает, если их покрыть или пропитать растворимым стеклом.

Но особенно важно применение растворимого стекла для приготовления замазок и искусственных строительных камней. Смешанное с различными веществами растворимое стекло образует замазки, обладающие разными



свойствами. Растворимое стекло, смешанное с порошком мела, образует замазку, выдерживающую высокие температуры. В смеси с другими веществами растворимое стекло образует замазку с очень высокими кислотоупорными свойствами. Такие замазки необходимы химической промышленности. Способность растворимого стекла, высыхая, схватывать различные сыпучие материалы используется при производстве искусственного строительного камня. Такие камни, состоящие из песка, извести и растворимого стекла, можно готовить отливкой из еще не затвердевшего материала и придавать им всевозможные формы. Растворимое стекло обладает и моющими свойствами. Из смеси растворимого стекла и глицерина может быть приготовлено так называемое минеральное мыло.

### ***Пена, броня и пряжа***

Попробуйте разгадать загадку: из чего можно сделать пену, пряжу и броню? Трудно ответить на этот вопрос правильно. Оказывается все эти, казалось бы, разнородные предметы также готовятся из стекла, причем одинакового химического состава. Отличаются лишь процессы изготовления.

Стекланную пену получают продуванием мелких пузырьков воздуха через застывающее стекло.

Стекланную броню получают закаливанием стекла — нагревом и быстрым охлаждением. Пряжу — вытягиванием или выдавливанием нитей из расплавленного стекла. Стекланная пена — отличный материал, задерживающий тепло, холод, звук, электричество. Ее используют в строительстве при сооружении радиостудий, концертных залов. Пеностекло плавает в воде, легко обрабатывается и не набухает от сырости, как другие теплоизоляционные материалы. Пеностекло — легкий, прочный материал с высокими техническими свойствами, его применяют как строительный материал для специальных сооружений.

На стеклах автомобилей, трамваев, вагонов метро, поездов можно найти небольшой значок — марку «сталинит». Эта марка позволяет отличить прозрачную, стекланную броню от обычного стекла.

Идущие по конвейеру стеклянные ленты, предварительно нарезанные на куски нужного размера, попадают в нагревательную камеру. Сначала их сильно обогревают, потом обдувают холодным воздухом, и сталинит готов. На лист такого стекла можно бросить чугунный килограммовый шар, стекло только зазвенит, а шар отскочит от стекла, как будто он не из чугуна, а из резины.

Два человека могут стоять на таком листе, концы которого лежат на двух опорах. Стекло прогибается под их тяжестью, но не ломается. Сказать о сталините, что он хрупок, нельзя, но если провести по нему алмазом для резки стекла, то листа сталинита не станет. Он рассыплется на множество мельчайших осколков. Вот почему стекло, которому предстоит стать сталинитом, заранее нарезают по нужным размерам.

Несколько слоев сталинита с вклеенными между ними пленками из пластических материалов образуют броню, которую не может пробить ни пуля, ни малокалиберный снаряд.

Из сталинита готовят и жаростойкую кухонную посуду, заменяющую металлическую. Жаростойкость — еще одно свойство, появляющееся у стекла при закалке.

Закалка, придающая повышенную прочность, происходит и при вытягивании нитей. Легко представить, насколько тонка такая нить из расплавленного стекла, если из одного грамма стекла можно изготовить нить длиной 200 километров! При вытягивании нити сильно увеличивается поверхность; нить быстро охлаждается воздухом и приобретает повышенную прочность. Чем тоньше стеклянные волокна, тем большей прочностью и гибкостью отличаются изготовленные из них ткани.

Из этой стеклянной пряжи готовят красивую ткань, которая не горит и служит отличным материалом для электроизоляции. Стеклоткань — незаменимый материал в электромашиностроении. Цинówki, спрессованные из стеклянного волокна, применяют для очистки воздуха от пыли и копоти. Пылинке очень трудно пробраться по лабиринту из стеклянных нитей.

Стекловолоконное волокно применяют для изготовления комбинированных материалов из стекла и пластмассы, материалов с очень ценными свойствами.

## *Стеклопластовый век*

Каменный, бронзовый и железный века — три условные эпохи истории человечества. Мнение многих ученых состоит в том, что следующим веком, в который мы вступаем, будет век пластмасс. С этим мнением нельзя согласиться безоговорочно. Ведь название века или эпохи производилось от того материала, который был наиболее употребительным для создания средств производства и предметов пользования. Если давать название эпохе по первому признаку, — мы живем и долго еще будем жить в железном или, более общо, в металлическом веке. Что же касается предметов пользования, то уже сегодня можно сказать, что пластмассы, дерево, стекло, алюминий прочно вошли в нашу жизнь. Материал, который в будущем займет главное место в обиходе людей, должен быть дешевым, легко обрабатываться, принимая любые формы, прочно окрашиваться, обладать малым удельным весом, быть и твердым и гибким, не бояться ни низких, ни повышенных температур, не портиться от действия воздуха, воды, солнца, быть прозрачным или непрозрачным в зависимости от требований, которые к нему предъявляют, и т. д. Кроме всего прочего, надо, чтобы его было легко производить.

Два материала отвечают почти всем этим многочисленным требованиям: пластмассы и стекло.

Стекло обладает многими из перечисленных качеств, за исключением гибкости и пластичности. Очень тонкие стеклянные нити хотя хорошо гнутся, но очень легко ломаются.

Пластические массы при всем своем удивительном многообразии свойств, при учете того, что развитие и совершенствование химической промышленности сделает их легкодоступными и дешевыми, не удовлетворяют одному очень важному требованию — обилию сырья. Как ни велики запасы угля, нефти и газа — основного сырья для получения пластических масс, запасы эти ограничены, а использовать их приходится не только для производства пластмасс. Запасы же кремнезема на земле практически неисчерпаемы. В будущем стекло найдет широкое применение.

В тех случаях, когда основным качеством материала должна быть эластичность, на первый план выступит:

пластмасса. Поэтому век, в который мы вступаем, правильнее будет назвать веком стекла и пластмассы.

Кончая рассказ о стекле, нельзя не упомянуть хотя бы коротко о замечательном сочетании двух материалов — стекла и пластмассы; материалы эти так и называются стеклопласты. Идея их создания возникла еще в 1941 году у А. А. Берлина и В. Г. Изюмова. Это прочное стеклянное волокно и пластмасса, связанные воедино силами химического и физико-химического взаимодействия.

Всякий материал, когда его применяют, подвергается тем или иным механическим нагрузкам. Пластмасса, связывающая в единую механическую систему десятки и сотни тысяч стеклянных нитей, распределяет нагрузку по всем нитям. Поэтому прочность стеклопластов очень велика. Один из самых интересных стеклопластов — «СВАМ» (стекловолокнистый анизотропный материал) прочнее дюралюминия и многих сортов стали. Стеклопласты — прочные, легкие материалы, отличные электроизоляторы, устойчивые к действию различных химических веществ, и, кроме того, они не боятся дождя, снега и резких колебаний температуры. Изоляция для электрических машин, радиотехнические детали, катера, лодки, кузова автомашин, автоцистерны, трубы нефтепроводов, плиты для стен домов, балки межэтажных перекрытий, мебель, чемоданы, ящики — невозможно перечислить все, что уже делается из стеклопластов. Мы, люди второй половины XX века, становимся свидетелями того, как в окружающем нас мире вещей все больше и больше начинают появляться различные изделия из стекла, пластмассы и стеклопластов.

### *Свет — кремний — электричество*

Мы знаем уже о том, как «не повезло» кремнию с его открытием. Самый распространенный твердый элемент стал известен лишь после открытия сорока с лишним других простых веществ. Это «невезение» постигло кремний и в отношении его использования. Человек освоил природные богатства кремниевых соединений, создал в лабораториях десятки и сотни новых соединений кремния, а для простого вещества кремния все еще не было

найденно достойного применения, оправдывающего затраты на его получение. Чистый кремний использовали в виде добавки, улучшающей свойства стали, — с увеличением содержания кремния сталь становится кислотоупорной. Сталь, в которой кремния больше, чем в обычной, называется легированной. Готовят ее как обычную, но, когда она уже почти сварена, в нее добавляют нужное количество ферросилиция — сплава железа и кремния. Кислотоупорность ферросилиция очень высока, ему страшна только соляная кислота да и то, если в нем содержится 50% кремния, все обычные кислоты, включая и соляную, бессильны разъесть или повредить изделие из ферросилиция. Но все же здесь кремний лишь добавка к основному материалу — железу. Сам же кремний лишь совсем недавно нашел себе замечательное применение.

Как известно, кремний хорошо проводит тепло. Обычно такие материалы являются хорошими проводниками и для электричества. Кремний тоже проводит электричество, хотя и делает это он намного хуже металлов. При комнатной температуре он проводит электрический ток в тысячу раз хуже ртути, в пять тысяч раз хуже железа и в пятьдесят тысяч раз хуже серебра. Таким образом, кремний не находил себе применения ни как проводник электричества, ни как изолятор. Есть еще много веществ, по своим свойствам подобных кремнию. Ранее о них можно было пренебрежительно сказать «ни то ни се», ни проводник, ни изолятор. Сейчас кремний входит полноправным и очень важным членом в интереснейшую обширную семью полупроводниковых веществ.

До недавнего времени полупроводники практически не использовались в технике и о них почти никто не знал. Применение полупроводников началось после того, как стало известным, что они могут превращать электрический ток из переменного в постоянный.

Первыми веществами, у которых было обнаружено это свойство, были природные минералы пирит и свинцовый блеск. В наши дни таких веществ известно сотни. Что такое полупроводники, где они применяются, чем объясняются замечательные свойства, которыми они обладают? Этим вопросам посвящено много книг. О том, какие огромные перспективы открываются перед по-

лупроводниками, хорошо сказал один из крупнейших физиков академик А. Ф. Иоффе: «Современная физика знает две области, от которых мы ищем наиболее крупных сдвигов в материальных условиях жизни, это атомное ядро и полупроводники. Попробуем же приоткрыть уголок завесы, скрывающей будущее полупроводников. 25 лет назад полупроводники впервые вошли в электротехнику наряду с металлами. Тогда на заре первой пятилетки я высказал предположение, что термоэлементы и фотоэлементы из полупроводников способны будут превращать 3—4% тепловой и солнечной энергии непосредственно в электрическую, что социалистическая система народного хозяйства создаст необходимые условия для их разработки.

Многим это тогда казалось фантастикой. Даже некоторые газеты высказывались скептически. Сейчас эти ожидания уже превзойдены практикой.

Перешагнем мысленно несколько десятилетий, и мы увидим, что полупроводниковые термоэлементы снабжают промышленность электроэнергией, полученной без посредства машин — непосредственно из тепла топки. Центральное отопление наших зданий будет давать в качестве бесплатного приложения электроэнергию в таких количествах, которые вызовут полную электрификацию всех бытовых нужд. А дальше? Центральное отопление уступит место термоэлектрическим батареям, которые будут подавать теплый воздух зимой и холодный летом, автоматически поддерживая температуру в помещениях на желаемом уровне.

Все виды транспорта — железнодорожного, автомобильного, водного, а может быть, и авиации, перейдут на электроэнергию, получаемую от термоэлементов.

Идея Менделеева о подземной газификации найдет свое естественное решение в термоэлементах. Те же полупроводниковые термоэлементы будут создавать холод в домашних холодильниках, при транспортировке и хранении скоропортящихся продуктов. Везде и всюду, где имеются в природе или в производстве источники тепла, они будут производить электроэнергию. Везде, где есть электроэнергия, можно создавать тепло или холод, осуществлять любые производственные процессы. Наступит эпоха полной электрификации в городах и селах».

Известно, что все виды энергии, имеющиеся на Земле,

имеют своим основным источником солнечные лучи, но каким сложным, долгим и несовершенным путем получаем мы эту энергию.

Полупроводники могут сразу превращать световую энергию солнечных лучей в самую универсальную и удобную для практического использования вида энергию — электрическую.

Первые в истории человечества искусственные спутники и планеты, созданные творческим гением советских людей, проложили в космос невидимые трассы. Огромная научная информация передана на Землю с искусственных космических тел. Источником энергии для радиопередач было солнце. Преобразование энергии солнца в электрическую энергию производилось при помощи кремниевых полупроводниковых устройств. Коэффициент полезного действия таких солнечных батарей более 10%.

На Всемирной выставке в Брюсселе в Советском павильоне демонстрировалась портативная солнечная батарея на кремниевых полупроводниковых фотоэлементах. В Международном Дворце науки было наглядно показано, как использование полупроводников снижает вес и габариты электрических машин. Рядом с огромным умформером — машиной для преобразования переменного электрического тока в постоянный — демонстрировался миниатюрный полупроводниковый выпрямитель тока той же мощности. В этом же уголке Дворца науки, посвященном полупроводникам, можно было увидеть целую серию так называемых печатных полупроводниковых схем. Каждое такое устройство, размещенное на небольшой плоской плитке из изолирующего материала, заменяет громоздкий и сложный многоламповый радиотехнический блок. Рядом с Дворцом науки, в так называемой «Фьючераме» — картине будущего, шла демонстрация различных научно-технических достижений. Серия коротких кинорассказов о технике сегодняшнего дня сопровождалась демонстрацией различных опытов и моделей. Одна из моделей походила на детскую игрушку. Небольшой красивый автомобиль, по своему внешнему виду ничем не отличающийся от игрушечного, был, однако, далеко не обычен. Крыша этого автомобиля была сплошь покрыта кремниевыми фотоэлементами — преобразователями энергии света в энергию электриче-



скую. Достаточно было лучу небольшого прожектора упасть на крышу, как автомобиль трогался с места и продолжал движение до тех пор, пока оставался освещенным. Эта модель, в 25 раз меньшая, чем обычный автомобиль, за прошедшие четыре года доросла до нормальных размеров. Совсем недавно было проведено успешное испытание первого кремний-электромобиля.

Пока еще нигде в мире нет сплошных полей, покрытых фотоэлементами. Но с усовершенствованием и удешевлением технологии получения кремния, пригодного для этих целей, таких полей будет много. Могут возникнуть вопросы — почему так важно удешевление именно кремния, а не какого-либо другого вещества с полупроводниковыми свойствами и что означает пригодный или непригодный кремний.

На первый вопрос ответить легко. Как только начинают широко использовать тот или иной материал, сразу же интересуются: велики ли его природные запасы или запасы сырья для его производства. Кремния в природе более чем достаточно. Небольшой доли мирового запаса кремния вполне хватит для того, чтобы покрыть всю поверхность земли энергополями из кремниевых фотоэлементов.

Труднее ответить на второй вопрос. И, хотя обещание не рассказывать о сущности явления полупроводимости остается в силе, коснуться этого вопроса все же придется.

Хотя получение полупроводников высокой степени чистоты и недешево, тем не менее уже сегодня они прочно вошли в технику. Одним из самых интересных, самых перспективных полупроводниковых приборов является кремниевый фотоэлемент, который, судя по всему, в будущем станет основой солнечной, а может быть, и атомной энергетики.

Кремниевый фотоэлемент — один из лучших по своему коэффициенту полезного действия. Он превращает до 12% падающей на его поверхность солнечной энергии в энергию электрическую. Насколько это много, легко понять из такого простого примера. Одним из аккумуляторов солнечной энергии являются растения. Уголь, нефть или торф являются концентратами солнечной энергии, усвоенной растениями, которые, погибая, превращаются в эти виды топлива. Сжигая топливо в топке паровой

машины, мы превращаем химическую энергию в тепловую. Обогревая полученным теплом паровой котел, мы превращаем тепловую энергию в кинетическую энергию движения молекул пара. Кинетическая энергия молекул пара превращается в механическую энергию движения ротора динамо-машины, и, наконец, механическая энергия превращается в электрическую, подаваемую по проводам к потребителям этой энергии — заводам, фабрикам и жилым домам. Это очень длинный и невыгодный путь. При каждом превращении энергии из одного вида в другой часть энергии теряется бесполезно. Получается, что лишь 6—8% химической энергии топлива переходит в электрическую. А запасенная в топливе химическая энергия — это лишь малая доля солнечной энергии, усвоенной растениями. Вот теперь мы убедились, как много значат 12% солнечной энергии, превращенной кремниевым фотоэлементом в электричество.

Изготовить такой чудесный преобразователь энергии не очень сложно. Устройство его даже проще самой обыкновенной электрической машины. Из кристалла чистого кремния вырезаются тонкие пластинки, каждую из них покрывают слоем бора и нагревают в печи, тщательно откачивая перед этим воздух. При



*Превращение солнечной энергии в энергию электрическую.*

нагревании атомы бора проникают на небольшую глубину в толщу кремния. Бор является той полезной примесью, перед введением которой приходится тщательно освободиться от примеси вредной. Две части кремниевой пластинки — чисто кремниевая и кремниевая с небольшой примесью бора — будут теперь двумя полупроводниками с различными электронными свойствами. Обе поверхности пластинки покрываются тонкими слоями металла, один из которых прозрачен для света. От металлических слоев отходят два проводника тока. Кремниевый фотоэлемент готов к действию.

Если его осветить, а два проводника соединить друг с другом через прибор, регистрирующий электрический ток, — стрелка отклонится, показывая в цепи наличие тока. Мощность в 120 ватт можно «снять» с одного квадратного метра освещенной поверхности. Крыша дома средней величины, выложенная кремниевыми фотоэлементами, дает 50—60 киловатт-часов электроэнергии, которой вполне хватит для бытовых нужд. А кусок пустыни размером  $100 \times 100$  квадратных километров даст мощность свыше миллиарда киловатт. Самая богатая фантазия не может дать правдивой картины изменения жизни на Земле при широком использовании даровой солнечной энергии. Кремнию — основному элементу современной строительной индустрии — предстоит стать также и основным элементом будущей солнечной энергетики.

Ученым и инженерам приходится преодолевать многочисленные трудности получения чистого кремния.

### ***Борьба за девятки***

«Чистый», «чистый для анализов», «химически чистый», «спектрально чистый» — вот те марки, которыми пользуются для характеристики чистоты вещества. Самая высокая степень — «спектрально чистый». Если такое вещество внести в пламя вольтовой дуги, горящей между «спектрально чистыми» углеродными стержнями, и провести изучение спектра пламени этой дуги, никаких сигналов — линий от атомов, не входящих в химическую формулу данного вещества, наблюдаться не будет. Такая высокая степень чистоты достигается неоднократно по-

вторенными и разнообразными операциями очистки. Но ни на одном химическом реактиве не найти марки «абсолютно чистый», так как абсолютно чистых веществ вообще не существует: существуют лишь бóльшая или меньшая чувствительность метода определения загрязнений.

Спектральный метод анализа — наиболее чувствительный метод. Советские ученые увеличили чувствительность этого метода в несколько десятков раз. И сразу же бывшие «спектрально чистые» вещества потеряли право так называться. Ничтожные примеси не отражаются на химических свойствах вещества, его плотности, температуре кипения и плавления, на теплопроводности и электропроводности. Но те же ничтожные примеси способны резко изменить электрические свойства полупроводниковых веществ. Все интересные технические применения полупроводников возможны благодаря тем свойствам, которые придают полупроводнику примеси. Но такую роль могут играть лишь примеси определенной химической природы, введенные в полупроводник в строго определенных количествах. Поэтому, чтобы создать полупроводник с необходимыми электрическими свойствами, надо ввести полезные и нужные примеси. Предварительно самым тщательным образом очищают вещество от примесей бесполезных или вредных. И вот вместе с техникой производства полупроводников возникла новая марка степени чистоты — число девяток.

Кремний марки «шесть девяток» — это значит, что на 999 999 штук атомов кремния приходится один чужеродный атом примеси! Иногда бывает необходимым получить некоторые полупроводники еще более чистыми. Максимальная степень чистоты, достигнутая в наше время, — «десять девяток». «Десять девяток» означает, что один чужеродный атом «затесался» в десяти-миллиардную толпу атомов полупроводника.

Полупроводниковая техника положила начало технике чистых и сверхчистых веществ.

Как же справляются ученые и инженеры с такими задачами, как удаление примеси, составляющей одну миллионную или одну десятимиллионную долю в веществе?

Вспомним наш неудачный опыт получения синего стекла замораживанием раствора медного купороса.

Однородный вначале раствор при замораживании разделился на воду и соль, вернее, на кристаллы льда и медного купороса. Если попробовать на вкус морской лед, то окажется, что он совершенно пресный. Вода выморозилась в виде льда, а соль осталась в незамерзающем растворе — в морской воде. Выкристаллизовывающееся, вымерзающее из раствора вещество почти всегда чище, чем использованное для приготовления раствора, из которого его вымораживают. Если полученные кристаллы растворить или расплавить и заморозить снова, вновь полученные кристаллы будут более чисты, чем первые. Такой метод очистки, повторяемый много раз, называется фракционной, или дробной кристаллизацией. Этот метод используется и при очистке полупроводников. Дробной кристаллизации часто предшествует дробная перегонка, в тех случаях, когда это возможно.

Получение веществ со степенью чистоты в несколько десятков очень сложная и дорогая операция, которая требует большой затраты сил, средств и времени. При получении полупроводникового материала в высшей степени чистоты необходимы условия намного более сложные, чем при самой тяжелой хирургической операции. Марлевая повязка, закрывающая лицо врача, препятствует попаданию микробов на операционное поле. При изготовлении полупроводников высокой чистоты опасность для «жизни» полупроводника представляют любые атомы железа или золота, вылетающие при дыхании изо рта человека с искусственными металлическими зубами. Большие успехи в решении проблемы получения чистых полупроводников сыграл метод зонной очистки. Этот метод в ряде случаев создает возможность быстрого и относительно недорогого получения чистых полупроводниковых веществ.

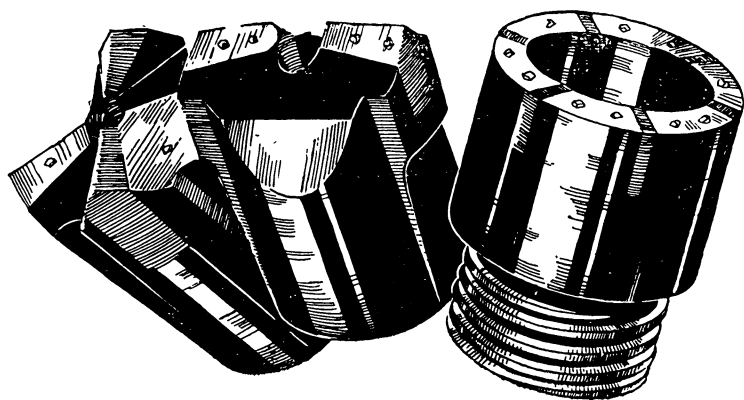
### *Искусственный полуалмаз*

Полупроводниковыми свойствами обладает и соединение кремния с его соседом в периодической системе элементов — с углеродом. Но ценность этого соединения состоит в сходстве не с кремнием, а с алмазом.

Если бы алхимики средневековья составляли годовые планы своих научных работ, то эти планы выглядели

бы довольно однообразно. Во многих из них имелись бы только два пункта: получение золота из других металлов и получение алмазов. Современная наука решила эти проблемы. При желании можно сделать золото, вернее, путем ядерных реакций превратить в золото другие элементы. Но путь этот длинный и дорогой, и добывать золото из земли значительно дешевле. А вот готовить искусственные алмазы из графита оказалось не только возможно, но и выгодно, хотя они и непригодны для изготовления драгоценных украшений. Но в наши дни алмазы нужны для более важных дел, чем для украшений.

Металлообрабатывающий инструмент, рабочая часть которого оснащена алмазами, режет, стругает и сверлит металл с такими скоростями, которые не по плечу обычным инструментам. Использование для бурения специального бурового устройства с алмазной коронкой дает очень большой эффект, особенно при бурении твердых пород. При внедрении в технику алмаза — самого твердого вещества — скорость бурения резко возрастает. Впрочем, сказать «самого твердого» можно было бы три-четыре года назад. Сегодня мы об алмазе должны говорить лишь как о самом твердом природном теле. Современные ученые «перевыполнили план» алхимиков. Они создали не только алмаз, но и вещество еще более



*Специальные буровые устройства с алмазной коронкой.*

твердое, чем алмаз, — нитрид бора. Новое вещество не только тверже алмаза, но и более теплостойко. В десятибалльной шкале твердости Мооса появилось новое вещество с твердостью 11. Задолго до искусственных алмазов в технике широкое применение получило вещество, состоящее из кремния и углерода. У него было много названий: силунд, карборунд, рефракс, карбофракс, кристаллон, сиффракс и др. Обилие названий косвенно характеризует большой круг применений этого вещества и его широкое распространение. В нашей стране наиболее распространенным является название «карборунд». За его твердость, лишь немного уступающую алмазной, его можно назвать искусственным полуалмазом. Но не только за это.

Алмаз — это стопроцентный углерод, а в карборунде углерода только половина. Вторую половину составляет кремний. Получают карборунд нагреванием кварцевого песка и кокса в электрических печах. Только при 2000-градусной жаре идет реакция образования этого искусственного полуалмаза. Как и алмазы, кристаллы карборунда делят по их окраске на карборунды «чистой», «зеленой» и «черной воды». Технический карборунд — кристаллы зеленого или черного цвета. Самым же ценным свойством карборунда является его твердость, не зависящая от окрашенности в тот или иной цвет. Карборундовые изделия в виде точильных кругов можно сегодня найти в любой механической мастерской. Самые твердые токарные резцы из «победита» — специального сплава — легко затачиваются на этих дисках. Для шлифовки используется карборундовый порошок или бумага с наклеенными на нее мельчайшими кристалликами карборунда. Техническая обработка твердых и сверхтвердых сплавов, широко используемых в современной технике, неразрывно связана с применением карборунда.

Карборунд тверд и жаростоек. Когда возникает необходимость приготовить огнеупорный материал, стойкий до очень высоких температур, используют карборунд, который плавится лишь при 2500°. Как и кремний, карборунд относится к семейству полупроводников. Иногда его и используют как полупроводник, но для этого необходим карборунд самой высокой степени чистоты. Полупроводник карборунд широко используется в технике как проводник с большим электрическим сопротивлением.

Много сотен витков металлической проволоки приходится наматывать для электрических печей и других электронагревательных приборов. Небольшой стержень из карборунда окажет электрическому току такое же сопротивление, как и многовитковая металлическая спираль. В печи с нагревательной спиралью из нихрома можно довести температуру до 1100—1200°. При более высоких температурах спираль разрушается.

Печь, где нагревательными элементами служат карбундовые стержни, может работать и при 1500°. Сочетание у карборунда свойств электропроводимости и высокой жаростойкости обеспечило ему широкое применение в технике высоких температур. Карборунд несет при этом двойную службу — нагревательного элемента печей и огнеупорного, жаростойкого материала.

### *Заключение*

Сходство химических свойств углерода и кремния послужило пищей для различных фантазий о планетах с кремниевым миром. В этом фантастическом мире живут существа, организм которых построен так же, как и организм земных существ, но во всех молекулах углерод заменен на кремний. Кремниевый белок, кремниевые клетки, кремниевые мышцы, желудок и т. д. Кремниевые соединения не боятся нагревания и не разрушаются столь легко, как углеродистые. Это их свойство позволяет фантастическим кремниевым существам пить расплавленный свинец, купаться в жидком олове, согреваться в пламени и совершать другие удивительные поступки.

Существует этот мир только в воображении создавших его авторов. Имеется целый ряд химических и энергетических причин, по которым жизнь может развиваться только на основе углерода. Но кремниевый мир все же существует. Таким именем по праву может быть назван окружающий нас неживой мир.

Разнообразные физические приборы, не боящиеся температурных колебаний, дешевые звуко- и теплоизолирующие материалы, составы, отталкивающие воду, фотоэлементы, жаростойкие полимерные материалы, новые смазочные вещества, «радиолампы» современной полупроводниковой электроники, негорючие ткани, прозрач-



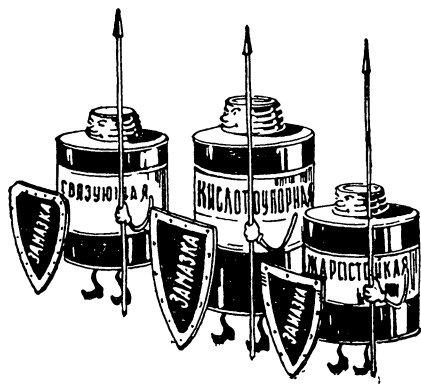
ная броня, строительные материалы и ряд других примеров, о которых рассказано в книге, — показывают, как широко используется кремний и его соединения уже сегодня. Но скоро наступит время, когда при помощи кремниевых полупроводниковых устройств человек получит доступ к неисчерпаемому океану солнечной энергии. Кремниевые энергетические поля, превращающие в электрическую энергию энергию солнечной радиации, вместе с термоядерными станциями — кусками Солнца, созданными на Земле, — станут двумя основными энергосистемами Земли.

Когда ученые и инженеры исследуют возможности применения тех или иных химических соединений, они всегда учитывают запасы сырья, из которого может быть получено интересующее соединение.

Чем больше эти запасы и чем они доступнее, тем большее значение придается работам по использованию веществ, получаемых из этого сырья.

Что же касается кремния, то запасы его практически столь же неисчерпаемы, как запасы воздуха, воды, солнечной и атомной энергии.

Оглянитесь вокруг себя, где бы вы ни находились — дома, на улице, в классе, на фабрике, — вы увидите различные предметы, изготовленные на основе кремния, а подумав, быть может, и сами предложите новые возможности применения этих соединений.



## О Г Л А В Л Е Н И Е

<i>Соединения кремния в природе</i> . . . . .	3
<i>Палитра минералов</i> . . . . .	11
<i>Волшебные шары</i> . . . . .	14
<i>Поющие кристаллы</i> . . . . .	18
<i>Сторож времени</i> . . . . .	21
<i>Громовые стрелы</i> . . . . .	24
<i>Сквозь огонь и... в воду</i> . . . . .	26
<i>Тоньше волоса</i> . . . . .	27
<i>Прозрачнее стекла</i> . . . . .	28
<i>Огнеупоры из водорослей</i> . . . . .	31
<i>Самый мягкий камень</i> . . . . .	35
<i>Соединения кремния, сделанные человеком</i> . . . . .	37
<i>Враг воды</i> . . . . .	38
<i>Необыкновенные помощники</i> . . . . .	45
<i>Невидимые пружинки</i> . . . . .	51
<i>Кремний в строительстве</i> . . . . .	56
<i>Искусственный камень</i> . . . . .	58
<i>Каменный клей</i> . . . . .	62
<i>Стекланный дом</i> . . . . .	—
<i>Биография стекла</i> . . . . .	65
<i>Помощник глаза</i> . . . . .	69
<i>Свет и цвет</i> . . . . .	74
<i>Растворимое стекло</i> . . . . .	78
<i>Пена, броня и пряжа</i> . . . . .	80
<i>Стеклопластовый век</i> . . . . .	82
<i>Свет — кремний — электричество</i> . . . . .	83
<i>Борьба за девятки</i> . . . . .	89
<i>Искусственный полуалмаз</i> . . . . .	91
<i>Заключение</i> . . . . .	94

Для восьмилетней школы

*Пурмаль Анатолий Павлович*

В МИРЕ КРЕМНИЯ

Ответственный редактор *Н. М. Беркова*. Художественный редактор *Н. З. Левинская*. Технический редактор *З. М. Кузьмина*. Корректора *В. К. Мирингоф* и *Л. М. Николаева*.

Сдано в набор 15/XII 1961 г. Подписано к печати 31/III 1962 г. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub> — 3,06 печ. л. = 5,14 усл. печ. л. (5,0 + 1 вкл. = 5,1 уч.-изд. л.). Тираж 29 000 экз. А04113. ТП 1962 № 630. Цена 26 коп.  
Детгиз, Москва, М. Черкасский пер., 1.

Фабрика детской книги Детгиза. Москва, Сущевский вал, 49. Заказ № 533.

26 коп.

