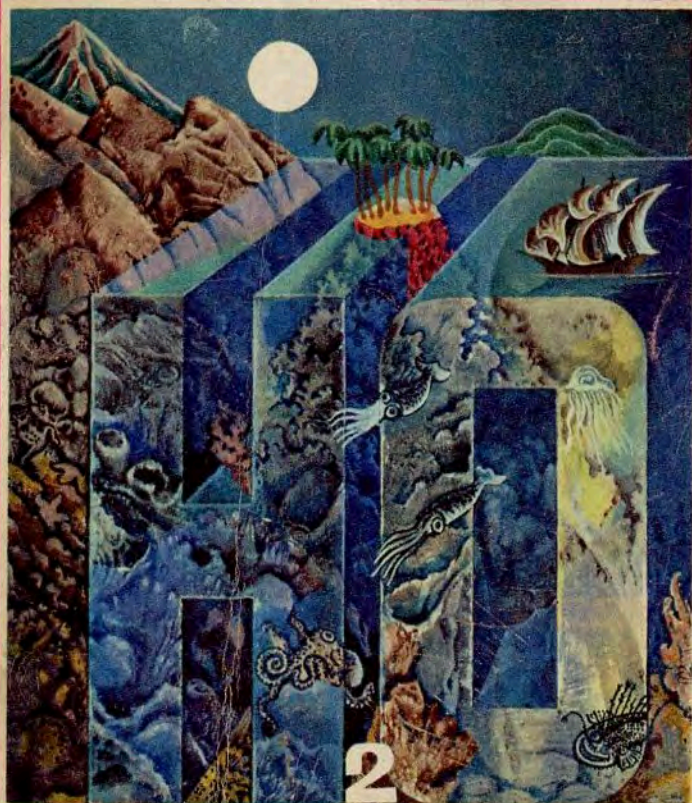


И. В. Петрянов

ученые\*  
ДЭ  
школьнику\*

# Самое необыкновенное вещество в мире





**ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ ПЕТРЯНОВ** — видный советский ученый, физико-химик, академик с 1966 г., Герой Социалистического Труда. Родился в 1907 г. Окончил Московский университет в 1931 г. Более пятидесяти лет работает в Физико-химическом институте имени Л. Я. Карпова, профессор Менделеевского института. Он один из немногих исследователей, развивающих такие новые, очень важные области науки, как учение об аэрозолях и др.

И. В. Петрянов — активный общественный деятель, борец за охрану природной среды, за чистоту атмосферы нашей планеты. И. В. Петрянов награжден тремя орденами Ленина. Он Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР.

Библиотечка  
Детской  
энциклопедии



И. В. Петрянов

# Самое необыкновенное вещество в мире

Редакционная  
коллегия:  
**И. В. Петрянов**  
(главный редактор),  
**И. Л. Кнуляц,**  
**А. Л. Нарочницкий**

Издание 2-е



Москва  
«Педагогика»,  
1981



Петрянов И. В.

ПЗ0 Самое необыкновенное вещество в мире. — М.: Педагогика, 1981. — 96 с., ил. — (Б-чка Детской энциклопедии «Ученые — школьнику»).

25 коп.

Увлекательная беседа о самом простом и всем известном соединении — о воде. Автор книги крупный советский ученый академик И. В. Петрянов в форме вопросов и ответов рассказывает о том, что такое вода, каковы ее физико-химические свойства.

Юный читатель узнает, что всем известная вода среди необозримого множества веществ занимает совершенно особое, исключительное место.

Автор рассказывает о некоторых загадочных свойствах воды, которые до сих пор ученые не могут еще понять и объяснить.

Те, кто прочтет эту книгу, узнают о воде много нового, загадочного, удивительного.

60403-005

П — 47-81. 4306000000  
005(01)-81

ББК 24.5  
541

© Издательство «Педагогика», 1981 г.

Такой вопрос может показаться не только странным, но и немного невежливым. Кто же этого может не знать? Всякий знает, что вода — это соединение водорода и кислорода. Вот ее всем известная формула:  $H_2O$ .

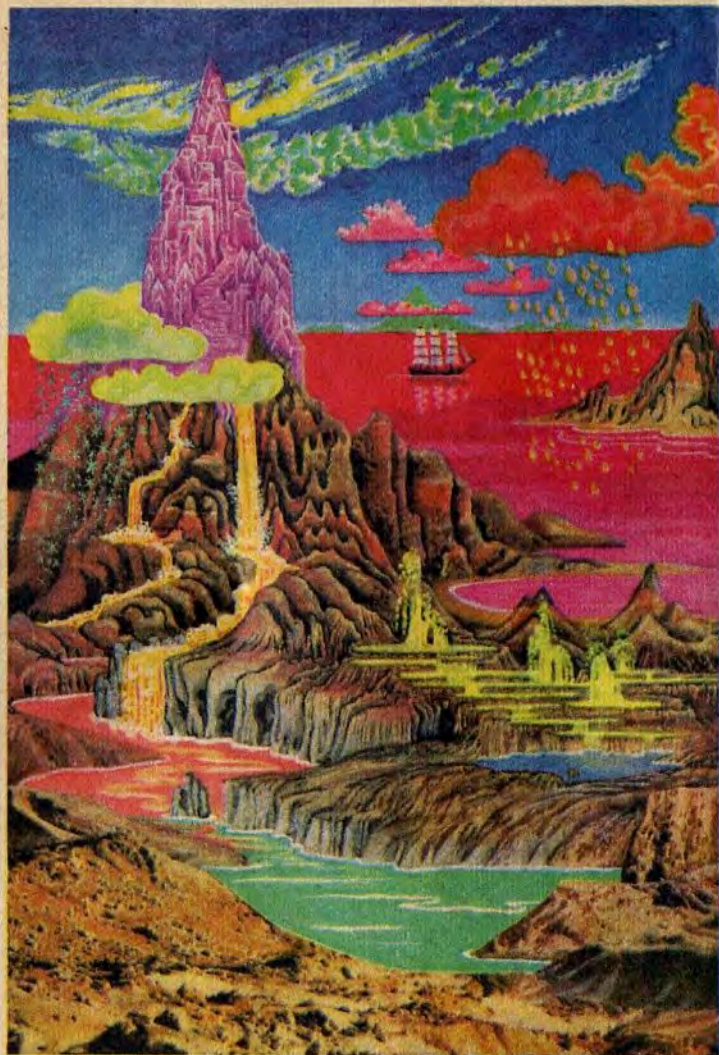
С водой очень хорошо знаком каждый, кто привык умываться по утрам, пьет чай, умеет плавать, любит бегать под дождем, не боясь промокнуть, кататься на коньках и ходить на лыжах.



**А что такое водород?** Вообще говоря, подобные вопросы задавать не следует. На них просто нельзя ответить из-за неисчерпаемости содержания. Всю жизнь можно отдавать изучению водорода, и до конца ответа не получить.

Но все-таки кое-что сказать следует. Химики до сих пор никак не могли решить, где же должен стоять водород в таблице Менделеева, и помещают его одновременно сразу в двух группах: в VII, где он зачисляется в родственники галогенам —





фтору, хлору, бром, и в I группу за его сходство со щелочными металлами — литием, натрием, калием. Так что же такое водород?

В свое время советские исследователи, изучая свойства водорода при высоких давлениях, обнаружили, что при давлении около трех миллионов атмосфер сжатый водород внезапно приобретает удивительное свойство — он становится электропроводным, так же как любые обычные металлы.

Это явление теории предвидели уже давно, а теперь оно обнаружено на опыте.

Как ни удивительно, но, по-видимому, водород — металл.

**Что такое кислород?** В этой книжке ответа на этот вопрос не ищите. Обращайтесь для начала к учебнику.

**Сколько существует различных водородов?** В природе существует три различных водорода — три его изотопа. Самый легкий —  $^1\text{H}$ . Химики его часто называют протием. Водород в обычной воде почти нацело состоит из протия. Кроме него во всякой воде есть тяжелый водород — дейтерий  $^2\text{H}$ , его чаще в химии обозначают символом D. Дейтерия в воде очень мало. На каждые 6700 атомов протия в среднем приходится только один атом дейтерия. Кроме протия и дейтерия существует еще сверхтяжелый водород  $^3\text{H}$ . Его обычно называют тритием и обозначают символом T.

Тритий радиоактивен, период его полураспада немного больше 12 лет. Он непрерывно образуется в стратосфере под действием космического излучения. Количество трития на нашей Земле исчезающе мало — меньше одного килограмма на всем земном шаре; но, несмотря на это, его можно обнаружить повсюду, в любой капле воды.



Физики научились получать тритий искусственно в ядерных реакторах.

Ученые заподозрили, что возможно существование четвертого изотопа водорода —  ${}^4\text{H}$  и даже пятого —  ${}^5\text{H}$ . Они тоже должны быть радиоактивными.

**А больше нет никаких водородов?** Да, как будто бы больше нет. По крайней мере, ученые пока новых водородов еще не нашли. Но зато известны антипротон и позитрон. Значит, можно говорить об антиводороде, в атомах которого вокруг отрицательного ядра (антипротона) вращается положительный электрон (позитрон). Найден также и антидейтрон, следовательно, возможно, что существует и антиизотоп водорода с массовым числом 2 — антидейтерий. Недавно найдено ядро антитрития.

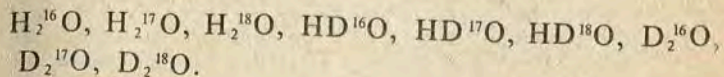
Не может быть никакого сомнения в том, что из этих антиядер и позитронов могут образоваться антиатомы, но пока даже самых простых антиатомов антиводорода никто еще не наблюдал.

**Сколько на свете кислорода?** В природе найдены три различных изотопа кислорода. Больше всего легкого кислорода  ${}^{16}\text{O}$ , значительно меньше тяжелого  ${}^{18}\text{O}$ , и совсем мало кислорода  ${}^{17}\text{O}$ . В кислороде воздуха, которым мы дышим, на каждые 10 атомов  ${}^{17}\text{O}$  приходится 55 атомов  ${}^{18}\text{O}$  и более 26 000 атомов изотопа кислорода  ${}^{16}\text{O}$ .

Физики сумели создать в своих ускорителях и реакторах еще пять радиоактивных изотопов кислорода:  ${}^{13}\text{O}$ ,  ${}^{14}\text{O}$ ,  ${}^{15}\text{O}$ ,  ${}^{19}\text{O}$ ,  ${}^{20}\text{O}$ . Все они живут очень недолго и через несколько минут распадаются, превращаясь в изотопы других элементов.

**Сколько может быть различных вод?** Если подсчитать все возможные различные соединения с общей

формулой  $\text{H}_2\text{O}$ , то результат покажется неожиданным: всего могут существовать сорок восемь разных вод. Из них тридцать девять вод будут радиоактивными, но и стабильных, устойчивых вод тоже будет немало — девять:



Если же окончательно подтвердится сообщение о том, что существуют еще два сверхтяжелых изотопа водорода —  ${}^4\text{H}$  и  ${}^5\text{H}$ , то будут возможны уже сто двадцать различных вод. Но и это еще не все. Советские физики в 1970 г. на большом ускорителе многозарядных ионов создали совершенно удивительный кислород — сверхтяжелый изотоп  ${}^{24}\text{O}$ . В его ядре огромный избыток нейтронов, и оно очень неустойчиво. Если принять во внимание и этот новый изотоп кислорода, то тогда различных вод можно будет считать уже сто тридцать пять!

Подсчитайте сами, сколько различных вод, молекулы которых содержат тритий, может образовываться на границе с космосом и постепенно вместе с дождями выпадать на землю. Попробуйте сосчитать также, сколько различных радиоактивных вод возникает в воде, охлаждающей атомный реактор. Где бы в мире ни зачерпнуть стакан воды, в нем всегда окажется смесь различных молекул, неодинаковых по изотопному составу. Конечно, вероятность образования молекул с разным изотопным составом далеко не одинакова. Молекулы, содержащие сразу два или три редко встречающихся изотопных атома, будут возникать так редко и их будет так мало, что, по мнению физиков, их пока можно не принимать во внимание.



**Что же такое обыкновенная вода?** Такой воды в мире нет. Нигде нет обыкновенной воды. Она всегда необыкновенная. Даже по изотопному составу вода в природе всегда различна. Состав зависит от истории воды — от того, что с ней происходило в бесконечном многообразии ее круговорота в природе. При испарении вода обогащается протием, и вода дождя поэтому отлична от воды озера. Вода реки не похожа на морскую воду. В закрытых озерах вода содержит больше дейтерия, чем вода горных ручьев. В каждом источнике свой изотопный состав воды.

Когда зимой замерзает вода в озере, никто из тех, кто катается на коньках, и не подозревает, что изотопный состав льда изменился: в нем уменьшилось содержание тяжелого водорода, но повысилось количество тяжелого кислорода. Вода из тающего льда другая и отличается от воды, из которой лед был получен.

Если воду разложить химически и сжечь добытый из нее водород, то получится снова вода, но совсем другая, потому что в воздухе изотопный состав кислорода отличается от среднего изотопного состава кислорода воды. Но зато в отличие от воды изотопный состав воздуха один и тот же на всем земном шаре.

Вода в природе не имеет постоянного изотопного состава, она вечно меняется, и только поэтому нельзя сказать, что где-то есть какая-то обыкновенная вода.

**Что такое легкая вода?** Это та самая вода, формулу которой знают все школьники —  ${}^1\text{H}_2{}^{16}\text{O}$ . Но такой воды в природе нет. Такую воду с огромным трудом приготовили ученые. Она им понадобилась для точного измерения свойств воды, и в первую очередь для измерения ее плотности. Пока такая вода существует только в нескольких крупнейших лабораториях ми-

ра, где изучают свойства различных изотопных соединений.

**Что такое тяжелая вода?** И этой воды в природе нет. Строго говоря, нужно было бы называть тяжелой воду, состоящую только из одних тяжелых изотопов водорода и кислорода —  $\text{D}_2{}^{18}\text{O}$ ; но такой воды нет даже и в лабораториях ученых. Конечно, если эта вода понадобится науке или технике, ученые сумеют найти способ, как ее получить: и дейтерия, и тяжелого кислорода в природной воде сколько угодно.

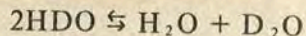
В науке и ядерной технике принято условно называть тяжелой водой тяжеловодородную воду. Она содержит только дейтерий, в ней совсем нет обычного легкого изотопа водорода. Изотопный состав по кислороду в этой воде соответствует обычно составу кислорода воздуха. Формулу тяжеловодородной воды написать нельзя. Это не химическое соединение, а смесь нескольких различных вод, в которых во всех содержится дейтерий, легкого водорода нет совсем, а стабильные изотопы кислорода в этой смеси вод с разным изотопным составом находятся точно в таком же соотношении, в каком они присутствуют в воздухе.

Еще совсем недавно никто в мире и не подозревал, что такая вода существует, а теперь во многих странах мира работают гигантские заводы, перерабатывающие миллионы тонн воды, чтобы извлечь из нее дейтерий и получить чистую тяжелую воду.

**Бывает ли полутяжелая вода?** Полутяжелой водой можно назвать воду со смешанными молекулами состава  $\text{HDO}$ . Она есть во всякой природной воде, но получить ее в чистом виде невозможно, потому что в воде всегда протекают реакции изотопного обмена. Атомы изотопов водорода очень подвижны и непрерывно переходят из одной молекулы воды в другую. Приготовить воду, средний состав которой будет



соответствовать формуле полутяжелой воды, нетрудно. Но благодаря реакции обмена



она будет представлять собой смесь молекул с разным изотопным составом:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HDO}$ ,  $\text{D}_2\text{O}$ .

**Что такое нулевая вода?** Нулевая вода состоит из чистого легкого водорода и кислорода воздуха. И для нулевой воды формулу не напишешь. Она тоже смесь нескольких вод, каждая из которых состоит из легкого водорода и одного из стабильных изотопов кислорода. Соотношение между кислородами в нулевой воде тоже точно такое же, как в воздухе. Тяжелого водорода в нулевой воде нет.

Эту воду физико-химики выбрали в качестве эталона: у нее очень постоянный состав. Ее не так уж трудно получать, и с ней удобно сравнивать воду неизвестного состава: определив разницу в плотности, легко найти содержание дейтерия.

**А может быть, есть еще какая-нибудь вода?** Кроме всех перечисленных вод еще существует тяжело-кислородная вода —  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ . Получить ее из природной воды очень сложно и трудно. До сих пор эту воду в чистом виде еще, пожалуй, никто не сумел приготовить. Тяжелокислородная вода очень нужна для исследования многих биологических и химических процессов, поэтому довольно концентрированные растворы этой воды в воде обычной получают теперь на заводах.

**А радиоактивная вода существует?** Да. Физики научились получать тритиевую воду искусственным путем в атомных реакторах. Из-за сильной радиоактивности эта вода очень опасна. Пока такая вода нужна только ученым.

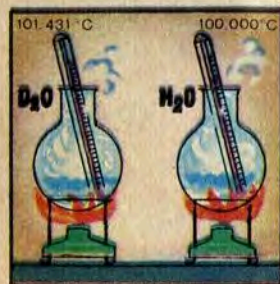
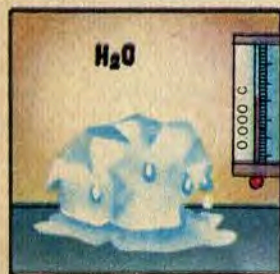
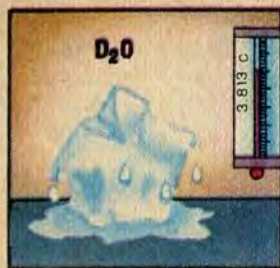
**Больше еще никаких вод не получено?** Больше нет. Просто потому, что все остальные возможные воды пока еще никому не нужны. Если понадобятся и они, то, без сомнения, наука найдет способ получать любую из них.

**Должна ли существовать антивода?** К сожалению, физики на этот вопрос пока ответить не могут. Хотя и есть все основания утверждать возможность существования антиводорода, но говорить об антикислороде еще рано. Советские исследователи, правда, уже получили ядра одного из изотопов антигелия — антигелий-3. Если уже получен антиэлемент № 2, то можно высказать надежду, что физики скоро могут прийти и до антиэлемента № 8 (антикислорода), скорее всего, они приготовят его сами. Тогда можно будет говорить и об антиводородной воде. Вода же из антиводорода и обычного кислорода, как вы сами понимаете, немыслима. Их встреча может только привести к большой катастрофе.

Поэтому не следует пока подсчитывать число различных вод, содержащих изотопы антиводорода. Для того чтобы могла возникнуть молекула антиводы, должен существовать и антикислород. Пока мы еще о нем ничего не знаем. Но может быть, где-нибудь в недрах Вселенной есть миры (физики и астрономы обсуждают этот вопрос совершенно серьезно), состоящие из антивещества. В этих антимирах и существует, может быть, столько же различных антивод, сколько мы их насчитали в нашем мире. Так это или нет, никто еще сказать не может. Поэтому, сколько всего в мире может существовать различных вод, мы еще не знаем.

**Много ли различных вод содержится в воде?** В какой воде? В той, что льется из водопроводного крана, куда она пришла из реки, тяжелой воды  $\text{D}_2^{16}\text{O}$  около 150 г





на тонну, а тяжелоокислородной ( $\text{H}_2^{17}\text{O}$  и  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  вместе) почти 1800 г на тонну воды. А в воде из Тихого океана тяжелой воды почти 165 г на тонну.

В тонне льда одного из больших ледников Кавказа тяжелой воды на 7 г больше, чем в речной воде, а тяжелоокислородной воды столько же. Но зато в воде ручейков, бегущих по этому леднику,  $\text{D}_2^{16}\text{O}$  оказалось меньше на 7 г, а  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  — на 23 г больше, чем в речной.

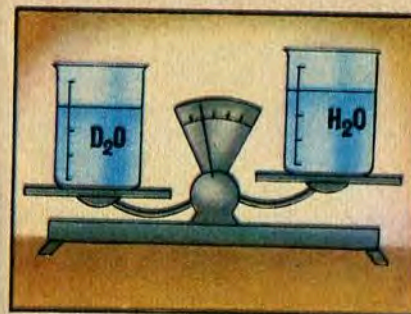
Тритиевая вода  $\text{T}_2^{16}\text{O}$  выпадает на землю вместе с осадками, но ее очень мало — всего лишь 1 г на миллион миллионов тонн дождевой воды.

В океанской воде ее еще меньше.

Строго говоря, вода всегда и всюду разная. Даже в снеге, выпадающем в разные дни, разный изотопный состав. Конечно, отличие невелико. Всего 1—2 г на тонну. Только, пожалуй, очень трудно сказать — мало это или много.

**В чем же различие между легкой природной и тяжелой водой?** Ответ на этот вопрос будет зависеть от того, кому

Тяжелая вода замерзает при более высокой температуре, чем обычная вода...  
...и кипит при более высокой температуре.



Тяжелая вода потому и тяжелая, что тяжелее обычной.  
Ее плотность 1,104.

он задан. Каждый из нас не сомневается, что с водой-то он знаком хорошо. Если каждому из нас показать три стакана с обычной, тяжелой и легкой водой, то каждый даст совершенно четкий и определенный ответ: во всех трех сосудах простая чистая вода. Она одинаково прозрачна и бесцветна. Ни на вкус, ни на запах нельзя найти между ними никакой разницы. И это будет верно. Это все — вода.

Химик на этот вопрос ответит почти так же, между ними нет почти никакой разницы. Все их химические свойства почти неразличимы: в каждой из этих вод натрий будет одинаково выделять водород, каждая из них при электролизе будет одинаково разлагаться, все их химические свойства будут почти совпадать. Это и понятно: ведь химический состав у них одинаков. Это вода.

Физик не согласится. Он укажет на заметную разницу в их физических свойствах: и кипят и замерзают они при различных температурах, плотность у них разная, а упругость их пара тоже немного различна. И при электролизе они разлагаются с разной скоростью. Легкая вода чуть быстрее, а тяжелая — медленнее. Разница в скоростях ничтожна, но остаток воды в электролизере оказывается немного обогащенным тяжелой водой. Таким путем она и была откры-



та. Изменения в изотопном составе мало влияют на физические свойства вещества. Те из них, которые зависят от массы молекул, изменяются заметнее, например скорости диффузии молекул пара.

Биолог, пожалуй, станет в тупик и не сразу сумеет найти ответ. Ему нужно будет над вопросом о различии между водой с разным изотопным составом еще немало поработать. Совсем недавно все считали, что в тяжелой воде живые существа не могут жить. Ее даже мертвой водой называли. Но оказалось, что если очень медленно, осторожно и постепенно заменять протий в воде, где живут некоторые микроорганизмы, на дейтерий, то можно их приучить к тяжелой воде и они будут в ней неплохо жить и развиваться, а обычная вода для них станет вредной.

**Кому же нужна тяжелая вода?** Человечеству! Оно уже стоит у порога, за которым ждет его страшная угроза энергетического голода. И вся надежда связана с тем, что будет решена проблема, как использовать для энергетики тяжелую воду.

**Зачем нужна тяжелая вода теперь?** Все, что мы до сих пор говорили, касалось тех свойств, которые зависят от строения атомов, от их порядкового номера, от числа и расположения электрических зарядов в атомных ядрах и электронов в молекуле. Только это и определяет химическое поведение вещества. Строение молекулы не зависит от массы атомного ядра. Поэтому одинаковые молекулы с разным изотопным составом химически почти неразличимы.

Правда, в науке слово «почти» нужно употреблять очень осторожно и осмотрительно. Это верно, что химические соединения, различные по изотопному составу, по химическим свойствам почти неразличимы. Но все же они ведут себя немного по-разному, хотя наблюдаемые при этом изотопные эффекты

очень невелики: чуть-чуть различаются по скорости реакций, у них чуть-чуть различны значения константы равновесия. Различаются между собой спектры одинаковых по составу и строению молекул с разным изотопным составом.

Сходство в свойствах изотопных соединений прекращается, когда вопрос касается кинетических и ядерных характеристик. Молекула, содержащая тяжелый изотопный атом, при той же температуре движется с меньшей скоростью, при столкновении таких частиц иначе протекает обмен кинетической энергией. А самое главное — изменяется способность вступать в ядерные превращения. Вот эти-то свойства резко отличают тяжелую воду от любой другой воды с иным изотопным составом: ведь в ее состав входит тяжелый водород. В наши дни тяжелая вода успешно применяется в атомной энергетике для замедления нейтронов в ядерных реакторах.

Роль замедлителя в атомном котле очень важна. Когда ядро урана-235 распадается на два атомных ядра-осколка, из него одновременно вылетают два или три нейтрона. Скорость их огромна, она превышает 20 000 км/с. Эти быстрые нейтроны не могут сами вызвать новый распад в других атомах урана. Они пролетят мимо них с такой быстротой, что просто не успеют прореагировать. Нейтроны нужно замедлить примерно до 2,2 км/с, так чтобы они пришли в равновесие с тепловым движением окружающих молекул. При этом энергия нейтронов должна уменьшиться почти в 60 млн. раз. Далеко не всякое вещество пригодно в качестве замедлителя. Выбор очень ограничен. Во-первых, оно не должно поглощать нейтроны, вступая само в ядерные реакции, а во-вторых, оно должно состоять обязательно из легких элементов с малыми массовыми числами. При соударении с тяжелым ядром скорость нейтрона почти не изменяется, точно так же как почти не



изменяется скорость мяча, отскакивающего при ударе о стенку.

Самым лучшим замедлителем мог бы быть легкий водород, но он заметно поглощает нейтроны. Тяжелый водород их почти не поглощает. Нейтрону, попавшему в тяжелую воду, достаточно всего 25 раз столкнуться с тяжелым водородом, чтобы потерять свою высокую энергию и приобрести способность взаимодействовать с ураном. Неплохой замедлитель — углерод в форме графита, но нейтрону в нем приходится испытывать около 110 столкновений, чтобы утратить начальную скорость.

Используя тяжелую воду как замедлитель, конструкторы создают очень эффективные, а главное, легкие и компактные атомные энергетические установки, применяемые в основном на транспорте.

**Зачем еще нужна тяжелая вода?** Чтобы исследовать механизм многих химических, физических и биологических процессов. Это, конечно, скромное, но очень важное применение тяжелой воды. Наверное, нет ни одного природного процесса, в котором не принимали бы участия вода или водород. Атомы тяжелого водорода — наиболее важные меченые атомы. Их, как разведчиков в бой, направляют химики в исследуемые реакции, чтобы проследить за ее ходом. В наши дни уже возникла и быстро развивается самостоятельная область науки — химия изотопного обмена. Наиболее важная ее задача — изучать с помощью дейтерия механизм химических реакций при получении органических соединений и исследовать их строение.

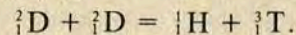
**Почему же человечеству будет нужна именно тяжелая вода?** Чтобы ответить на этот вопрос, нельзя обойтись без самого замечательного языка — без языка цифр и формул. Он понятен всем по-настоящему

му грамотным людям, в какой бы стране они ни жили и на каком бы языке ни разговаривали.

Для химиков теперь очень точно измерены массы всех изотопных атомов. Вот некоторые значения этих масс:

Протий ${}^1\text{H}$	$M=1,007\ 825$
Дейтерий ${}^2\text{D}$	$M=2,014\ 102$
Тритий ${}^3\text{T}$	$M=3,716\ 049$

Физики сумели установить возможность ядерных реакций между легкими атомами, в том числе возможность реакции между атомами дейтерия:



В такой реакции неприменим закон сохранения массы, каким пользуется обычная химия; в результате реакции получается недостача:

$$(2 \cdot 2,014102 - 1,007825 - 3,016049) \text{ г} = 0,004330 \text{ г}.$$

Это немалая недостача. Она означает, что если бы удалось найти условия, при которых может протекать реакция между двумя молями тяжелого водорода, то, согласно уравнению Эйнштейна  $E=\Delta mc^2$ , можно было бы получить энергию:

$$0,00433 \cdot (3,0 \cdot 10^{10})^2 \text{ эрг} = 3,9 \cdot 10^{18} \text{ эрг} = 3,9 \cdot 10^{11} \text{ Дж}.$$

Это немалая энергия. В наше время, чтобы получить такую энергию, приходится сжигать в топках котлов ни много ни мало 13,5 т первосортного угля. А ведь его еще нужно добыть из шахт и доставить из-под земли к топке.

Между тем в соответствии с уравнением ядерной реакции такую энергию можно получить при затратах всего лишь двух молей дейтерия, которые содержатся в одном моле тяжелой воды. Следовательно, простой воды потребуются:



$$\frac{6700 \cdot 18}{1000} \text{ кг} = 120,6 \text{ кг},$$

или 120 л. Значит, из одного литра обычной воды можно добыть больше энергии, чем можно получить ее из ста килограммов высококачественного угля. А запасы воды на нашей Земле неисчерпаемы.

**Что же мешает получать энергию из воды?** Такая возможность пока что кажется фантастической, но она вполне реальна. На пути к ее осуществлению наука уже преодолела немало трудностей. Решена сложнейшая проблема, как извлекать тяжелую воду из природной. Теоретически исследованы и рассчитаны условия, при которых возможны ядерные реакции между легкими атомами.

Но к сожалению, исследователи встретили много трудностей. Насколько они серьезны, может показать простой расчет: чтобы два атома могли вступить в ядерную реакцию, их ядра должны столкнуться, т. е. сблизиться до расстояния примерно  $10^{-14}$  м, начиная с которого межъядерные силы уже могут преодолеть электростатическое отталкивание.

Но ядра атомов защищены, как броней, своими электронными оболочками. Эти оболочки простираются на расстояние в десятки тысяч раз большее. А самое главное — ядра заряжены и отталкиваются друг от друга, как и все одноименно заряженные тела. Энергию, необходимую для того, чтобы преодолеть их взаимное отталкивание, рассчитать трудно. Из закона Кулона следует, что потенциальная энергия двух ядер, сблизившихся на расстояние  $10^{-14}$  м, должна быть равна:

$$\frac{Z_1 \cdot Z_2 (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 9 \cdot 10^9}{10^{-14}} \text{ Дж} = 2,3 \cdot 10^{-14} \cdot Z_1 \cdot Z_2 \text{ Дж},$$

если между собой сталкиваются элементы с атомными номерами  $Z_1$  и  $Z_2$ .

Конечно, мир атомных величин не очень привычен и нагляден, и трудно сразу представить себе, какова же эта энергия — мала или не очень мала. Но легко сообразить, с какой скоростью должны сталкиваться атомы, чтобы преодолеть потенциальную энергию электростатического отталкивания. Они должны обладать не меньшей кинетической энергией или по крайней мере равной. Следовательно, можно написать:

$$\frac{1}{2} m v^2 = 2,3 \cdot 10^{-14} \cdot Z_1 \cdot Z_2,$$

массу одного атома можно найти из атомной массы, зная, сколько атомов содержится в одном моле:

$$m = \frac{A}{6,02 \cdot 10^{23}}.$$

Можно найти и скорость, с которой должны столкнуться атомы, чтобы могла начаться ядерная реакция:

$$v = 5,3 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{Z_1 \cdot Z_2}{A}}.$$

У дейтерия атомный номер  $Z=1$ . Масса изотопа  $A=2$ , следовательно, скорость атомов должна быть равна:  $v=3,8 \cdot 10^6$  м/с, или 3800 км/с. При обычной температуре физикам известна средняя скорость теплового движения у атомов дейтерия, она равна всего лишь 1,9 км/с. При комнатной температуре, равной примерно 293 К, кинетическая энергия молекул возрастает пропорционально абсолютной температуре, или, что то же самое, пропорционально квадрату скорости.

Следовательно, чтобы средняя скорость молекул дейтерия была достаточной для реакции между ядрами, нужно нагреть тяжелый водород до температуры:

$$T = 293 \cdot \frac{3800^2}{1,9^2} \text{ К} = 1,1 \cdot 10^9 \text{ К}.$$



Итак, сталкиваться и реагировать между собой могут только ядра дейтерия, «нагретые» до температуры свыше миллиарда кельвинов. Вот в этом-то и заключается довольно серьезное затруднение для подлинных героев науки — физиков, посвятивших свою жизнь труднейшей и величайшей из проблем — стремлению обеспечить энергией будущие поколения.

**Быть может, тяжелую воду можно чем-нибудь заменить?** Ничем. Тяжелая вода как источник тяжелого водорода для термоядерных реакций с целью получения энергии, по-видимому, незаменима. Это следует из того, что необходимая для начала реакции температура сильно возрастает по мере увеличения атомного номера элемента. В самом деле, попробуйте сами подсчитать, какой температуре будет соответствовать кинетическая энергия частиц, способных преодолеть электростатическое отталкивание ядер атомов бериллия или кремния. Часть дейтерия можно заменить на тритий, но этого изотопа в природе почти нет.

**Неужели это все-таки возможно?** Очень трудно, но возможно. Во-первых, природа и физика идут навстречу исследователям: чтобы началась реакция, не нужно, чтобы весь газ был нагрет до такой немислимо чудовищной температуры. Достаточно, если отдельные атомы будут обладать в нем столь высокой энергией.

Во всяком газе при любой температуре есть частицы с разными скоростями, от очень малых до очень больших. Благодаря этому реакция между атомами дейтерия будет идти с достаточной скоростью даже и при температуре, в несколько раз меньшей, чем  $10^9$  К. Это намного облегчает задачу.

Кроме того, существует так называемый туннель-

ный эффект, благодаря которому всегда есть некоторая вероятность, что реакция между ядрами все же может произойти, даже если их кинетическая энергия будет несколько ниже, чем необходимо для преодоления электростатического отталкивания.

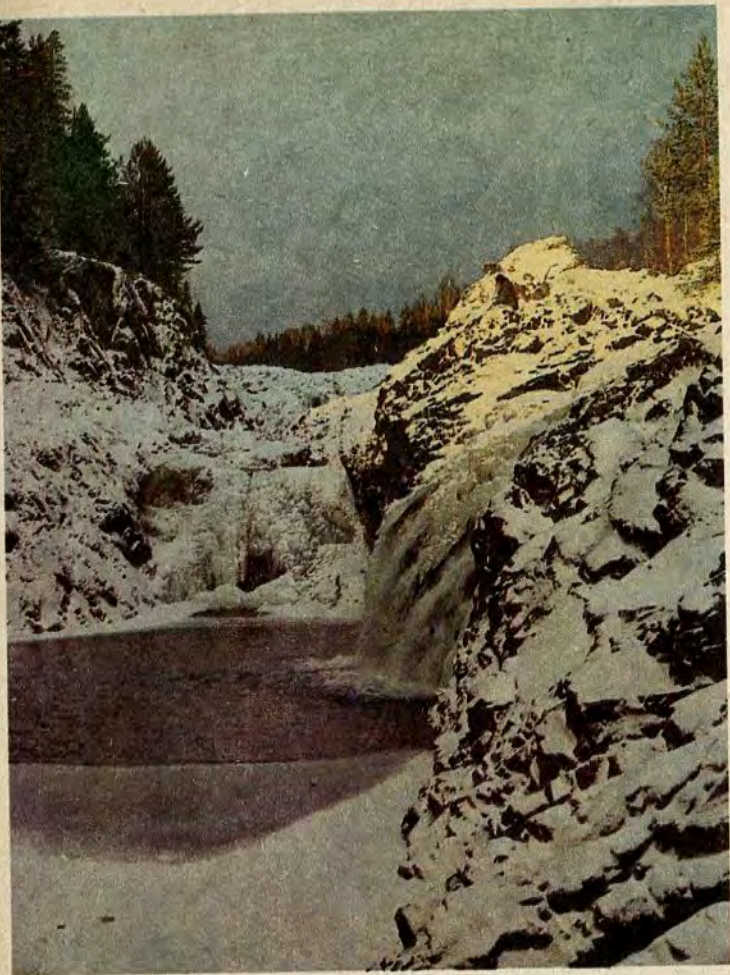
Поэтому для начала термоядерного процесса между ядрами тяжелого водорода оказывается вполне достаточной температура всего только в **триста миллионов кельвинов!** Если же вести реакцию между дейтерием и тритием, то будет достаточно и **сорока миллионов кельвинов.**

**Как же это будет сделано?** Это уже сделано. Физики осуществили реакцию термоядерного взрыва, в которой температура, необходимая для начала ядерного синтеза более тяжелых элементов из легких ядер, достигается взрывом атомного заряда — запалом.

Но очень, очень много осталось еще сделать. Ведь нужен человечеству не взрыв, а управляемая реакция — источник энергии для промышленности, для транспорта, для всего, что будет необходимо обществу будущего. Нужна термоядерная «топка» — топка с температурой в сотни миллионов кельвинов.

Можно быть уверенным, что эта задача будет решена. Физики в нашей стране первыми нашли истинно совершенно удивительный путь к созданию термоядерного реактора. Они доказали, что такая «топка» возможна, хотя в природе нет и не может быть материала, способного выдержать такую температуру. Они доказали, что ее стенками могут служить мощные электромагнитные поля. Неощутимые, невидимые, прозрачные, они будут непроницаемыми для ядер тяжелого водорода и для любых других элементов даже при температуре в сто, а может быть, и больше миллионов кельвинов.





На сколько времени хватит человечеству энергии, скрытой в воде? Не менее чем на миллиард лет.

**Разве в космосе вода есть?** Да, оказывается, вода есть в космическом пространстве. Десять лет назад астрофизики с помощью радиотелескопа обнаружили идущие к нам из космоса странные короткие радиоволны — длиной 1,35 см. Оказалось, что это излучение исходит от загадочных гигантских облаков, расположенных в нашей Галактике в созвездии Ориона, Кассиопеи и в некоторых других созвездиях.

Теоретический расчет показал, что такое излучение принадлежит... воде. Молекулы водяного пара поглощают инфракрасную часть спектра света звезд и переходят в возбужденное состояние. При этом возрастает уровень энергии их вращательного движения. Когда же молекулы снова возвращаются в основное состояние, то они начинают излучать энергию на волне 1,35 см. Водяные облака занимают в космосе огромные пространства: их размеры в разных созвездиях колеблются от одной до сорока астрономических единиц, а единица расстояния у астрономов равна расстоянию от Земли до Солнца.

Но в космических просторах существует не только одна вода. Радиоастрономы ищут и находят все более и более сложные молекулы.

Уже найдены гидроксил, аммиак, формальдегид, окись углерода, циан, цианид водорода, и даже, как это ни удивительно, ученым удалось найти сложную молекулу с линейной углеродной цепью — ацетиленилцианид.

Это поразило ученых: такие углеродные цепи характерны для органических молекул, и они обнаружены впервые в космосе. В созвездии Стрельца существуют облака межзвездного газа — скопления ацетиленилцианида.



В присутствии воды в глубинах космоса должны идти химические процессы: даже только те химические соединения, которые уже там открыты, могут стать основой многочисленных химических реакций, ведущих к образованию еще более многочисленных соединений.

Таким образом, в наши дни учеными закладываются основы новой удивительной науки — химии космоса. Интересно будет познакомиться с ее будущими достижениями...

**И на других планетах вода есть?** На этот вопрос можно дать совершенно определенный и точный ответ: да, на других планетах также есть вода.

Советские ученые послали на планету Венера автоматические химические лаборатории, которые непосредственно в атмосфере планеты произвели химический анализ ее состава и передали результаты на землю по радио.

Пролетев 500 млн. км, первая из них — «Венера-4» произвела успешный спуск на парашюте в атмосфере «планеты загадок», выполнила уникальные измерения физико-химического состояния атмосферы: температуры, давления, плотности — и прямо на месте проанализировала химический состав газов. Это произошло впервые в истории науки 18 октября 1967 г. Две последующие автоматические станции достигли Венеры в мае 1969 г. И подтвердили ранее полученные результаты.

Было найдено, по уточненным данным, что на Венере «воздух» содержит:

углекислого газа	— около 97%,
кислорода	— не более 0,1%,
азота	— не более 2%,
паров воды	— около 1%.

15 декабря 1970 г. межпланетная автоматическая станция «Венера-7» достигла поверхности планеты и передала на Землю сведения непосредственно с поверхности Венеры. Оказалось, что температура на планете превышает  $470^{\circ}\text{C}$ , а давление в 90 раз больше, чем на Земле.

Конечно, жидкой воды на Венере нет. Существование известных нам форм жизни на Венере невозможно. Но вода там есть, это бесспорно.

Есть предположение, что вода существует и в атмосфере Марса. В течение многих лет астрономы неоднократно наблюдали на Марсе загадочные яркие вспышки. Они послужили неплохой завязкой сюжета для многих фантастических романов. Но недавно эти таинственные вспышки были разгаданы. Советские ученые путем точного измерения углов световых лучей от этих вспышек с направлением на Солнце установили, что они вызваны отражением солнечных лучей от кристалликов льда, витающих в атмосфере Марса. Такие же явления часто наблюдаются и на Земле, когда в сильные морозы на небе появляются изображения ложных солнц. Так что очень может быть, вода есть и на Марсе. Совсем недавно это предположение получило веское подтверждение: следы водяного пара были обнаружены в атмосфере Марса спектроскопическим путем.

Астрофизики уже нашли воду и на Юпитере. Эта гигантская планета, пожалуй, с еще большим правом может быть названа планетой загадок. На роли воды в атмосфере Юпитера следует остановиться подробнее. Хотя в этом много таинственного и неразгаданного, но, может быть, именно тут наука приближается к решению величайшей тайны — тайны зарождения жизни во Вселенной.

Раскаленное, хотя и недостаточно для начала термоядерных процессов, ядро Юпитера окружено



оболочкой из металлического водорода. Снаружи планета покрыта плотным слоем атмосферы толщиной в десятки тысяч километров. Внешняя температура Юпитера очень низка — около  $-100^{\circ}\text{C}$ . Атмосфера его состоит главным образом из водорода и гелия. Но в ней обнаружены также метан, аммиак, сероводород и... вода.

Самые удивительные и таинственные превращения протекают в той зоне атмосферы Юпитера, где условия сходны с земными — температура лежит в пределах от  $0^{\circ}$  до  $100^{\circ}\text{C}$  и давление не превышает двух-трех атмосфер.

Астрономы обнаружили, что на Юпитере непрерывно происходят чудовищные грозы и ураганы. Там должен идти снег и дождь, как и на Земле, из воды. Но там еще льются ливни из жидкого аммиака и сероводорода, там выпадает снег из аммиака. Но и снег и ливни никогда не достигают поверхности Юпитера (быть может, ее и не существует), снова возгоняются и вновь выпадают.

Эти чудовищные условия страшного мира гигантской планеты исследователи не раз пытались воссоздать в своих лабораториях. Под действием электрических разрядов и ионизирующего излучения в модельном юпитерианском «воздухе» из паров воды, аммиака и метана возникали многочисленные органические соединения, и среди них даже аминокислоты и углеводороды.

Многие из образующихся химических соединений оказались яркоокрашенными, и их цвета по своему спектральному составу сходны с окраской облачных полос на Юпитере. Многие ученые считают, что в атмосфере Юпитера существуют условия, благоприятные для возникновения жизни.

**И на Луне вода есть?** Нет. Никто из людей, побывавших на Луне, пока еще воды там не нашел.

Правда, однажды американский космический корабль зарегистрировал на Луне извержение загадочного «гейзера», но, что это было, пока еще не установлено.

**А на кометах вода есть?** Есть. Многие ученые считают, что голова кометы представляет собой твердое тело — «грязный лед», состоящий из смеси обыкновенного водяного льда и льда из застывших в космическом холоде газов аммиака, метана. В этот лед вкраплены частицы твердого метеоритного вещества, состоящего главным образом из железа, кальция, кремния и других химических элементов.

Когда комета приближается к Солнцу, более легкие молекулы испаряются, образуя величественный хвост кометы. В спектре сияния хвоста кометы и были обнаружены линии гидроксила, образующегося при распаде молекул воды.

**Где еще во Вселенной может быть вода?** На звездах и на нашем Солнце она вряд ли может быть. Хотя там есть и водород и кислород, но при чудовищных температурах звезд молекулы воды не могут образоваться. Но астрономы установили, что у многих звезд во Вселенной, подобно тому, как у Солнца, есть планетные системы.

Состав первичной атмосферы этих планет должен состоять из соединений водорода — наиболее обильного элемента в космосе, больше всего должно быть молекул водорода —  $\text{H}_2$ , воды —  $\text{H}_2\text{O}$ , аммиака —  $\text{NH}_3$  и метана —  $\text{CH}_4$ .

Вода есть во всех уголках Вселенной. Это бесспорно.

**Знает ли вода, что происходит в космосе.** Этот вопрос затрагивает область столь необыкновенных,



столь таинственных, до сих пор совершенно непонятных наблюдений, что они вполне оправдывают образную формулировку вопроса. Экспериментальные факты как будто бы установлены твердо, но объяснения для них пока еще не найдено.

Поразительная загадка, к которой относится вопрос, была установлена не сразу. Она относится к малозаметному и как будто бы пустяковому явлению, не имеющему серьезного значения. Это явление связано с самыми тонкими и пока непонятными свойствами воды, трудно доступными количественному определению, — со скоростью химических реакций в водных растворах, и главным образом со скоростью образования и выпадения в осадок труднорастворимых продуктов реакции. Это тоже одно из бесчисленных свойств воды.

Так вот, у одной и той же реакции, проводимой в одних и тех же условиях, время появления первых следов осадка непостоянно. Хотя этот факт был давным-давно известен, химики на него внимания не обращали, удовлетворяясь, как это еще часто бывает, объяснением «случайными причинами». Но постепенно, по мере развития теории скоростей реакции и усовершенствования методики исследования, этот странный факт стал вызывать недоумение.

Несмотря на самые тщательные предосторожности в проведении опыта, в совершенно постоянных условиях результат все равно не воспроизводится: то осадок выпадает сразу, то приходится довольно долго ждать его появления.

Казалось бы, не все ли равно — выпадает осадок в пробирке за одну, две или через двадцать секунд? Какое это может иметь значение? Но в науке, как и в природе, нет ничего не имеющего значения.

Странная невоспроизводимость все более и более занимала ученых. И наконец, был организован и

осуществлен совершенно небывалый эксперимент. Сотни добровольных исследователей-химиков во всех частях земного шара по единой, заранее разработанной программе, одновременно, в один и тот же момент по мировому времени снова и снова повторяли один и тот же простой опыт: определяли скорость появления первых следов осадка твердой фазы, образующейся в результате реакции в водном растворе. Опыт продолжался почти пятнадцать лет, было проведено более трехсот тысяч повторений.

Постепенно стала вырисовываться удивительная картина, необъяснимая и загадочная. Оказалось, что свойства воды, определяющие протекание в водной среде химической реакции, зависят от времени.

Сегодня реакция протекает совсем иначе, чем в тот же момент она шла вчера, и завтра она будет идти снова по-другому.

Различия были невелики, но они существовали и требовали внимания, исследования и научного объяснения.

Результаты статистической обработки материалов этих наблюдений привели ученых к поразительному выводу: оказалось, что зависимость скорости реакции от времени для разных частей земного шара совершенно одинаковая.

Это означает, что существуют какие-то таинственные условия, изменяющиеся одновременно на всей нашей планете и влияющие на свойства воды.

Дальнейшая обработка материалов привела ученых к еще более неожиданному следствию. Оказалось, что события, протекающие на Солнце, каким-то образом отражаются на воде. Характер реакции в воде следует ритму солнечной активности — появления пятен и вспышек на Солнце.

Но и этого мало. Было обнаружено еще более невероятное явление. Вода каким-то необъяснимым путем отзывается на то, что происходит в космосе.



Была установлена четкая зависимость от изменения относительной скорости Земли в ее движении в космическом пространстве.

Таинственная связь воды и событий, происходящих во Вселенной, пока необъяснима.

**А какое значение может иметь связь между водой и космосом?** Никто еще не может знать, насколько оно велико. В нашем теле около 75% воды; на нашей планете нет жизни без воды; в каждом живом организме, в каждой его клеточке протекают бесчисленные химические реакции. Если на примере простой и грубой реакции подмечено влияние событий в космосе, то пока даже и представить себе нельзя, как велико может быть значение этого влияния на глобальные процессы развития жизни на Земле. Наверное, будет очень важной и интересной наука будущего — космобиология. Одним из ее главных разделов явится изучение поведения и свойств воды в живом организме.





**Почему вода — вода?** Этот вопрос совсем не так неразумен, как может показаться. В самом деле, разве вода — это только та бесцветная жидкость, что налита в стакан?

Океан, покрывающий почти всю нашу планету, всю нашу чудесную Землю, в котором миллионы лет назад зародилась жизнь, — это вода. Тучи, облака, туманы, несущие влагу всему живому на земной поверхности, — это ведь тоже вода.

Бескрайние ледяные пустыни полярных областей, снеговые покровы, застилающие почти половину планеты, — и это вода.

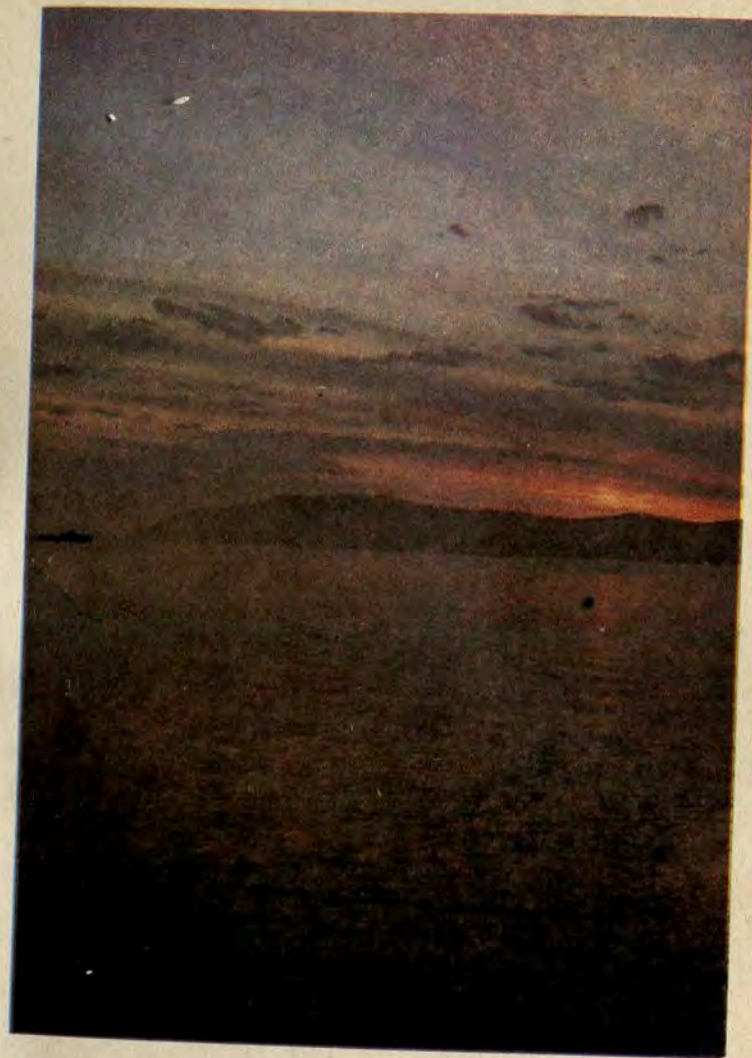
Прекрасно, невоспроизводимо бесконечное многообразие красок солнечного заката, его золотых и багряных переливов; торжественны и нежны краски небосвода при восходе солнца. Эта обычная и всегда необыкновенная симфония цвета обязана рассеянию и поглощению солнечного спектра водяными парами в атмосфере.

Это великий художник природы — вода.

Горные цепи сложены гигантскими толщами сотен различных горных пород, и геологи знают, что большинство из них создано величайшим строителем природы — водой. Непрерывно изменяется облик Земли. На месте, где возвышались высочайшие горы, расстилаются бескрайние равнины, их создает великий преобразователь — вода.

Безгранично многообразие жизни. Она всюду на нашей планете. Но жизнь есть только там, где есть вода. Нет живого существа, если нет воды.

Почему же одно из бесчисленных химических соединений с простой и ничем не примечательной формулой, состоящее из двух обычных для миро-





здания химических элементов, молекула которого состоит всего из трех атомов, — простая окись водорода, самая обычная, всем известная вода занимает столь особое место в жизни природы? Чем объясняется такая исключительная роль воды?

Среди необозримого множества веществ вода с ее физико-химическими свойствами занимает совершенно особое, исключительное место.

Почти все физико-химические свойства воды — исключение в природе. Она действительно самое удивительное вещество на свете.

Вода удивительна не только многообразием изотопных форм молекулы и не только надеждами, которые связаны с ней как с неиссякаемым источником энергии будущего, но и своими самыми обычными свойствами.

**А есть ли у воды родственники?** Если считать родственными воде соединения, состоящие, как и вода, только из водорода и кислорода, то родственники у воды есть.

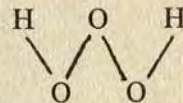
Правда, их очень немного — всего два. Одно из этих соединений давно известно всем. Это самая обыкновенная перекись водорода. Другое найдено совсем недавно.

Теоретики, рассчитывающие структуры молекул, нашли термодинамическим путем, что при достаточно низких температурах кроме молекул  $\text{H}-\text{O}-\text{H}$  и  $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$  могут быть устойчивы еще молекулы  $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ .

Других молекул водород и кислород образовать больше не могут, потому что молекулы с еще большим содержанием кислорода  $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$  должны быть нестабильными даже при очень низких температурах.

Другая группа ученых, не приняв во внимание предсказания теории, пыталась на опыте доказать

невозможность существования молекул  $\text{H}_2\text{O}_3$ . Они хотели опровергнуть результаты всех предшествующих попыток получить это соединение; и... сами открыли трехокись водорода. Молекула этого нового соединения водорода с кислородом построена в виде зигзагообразной цепочки:

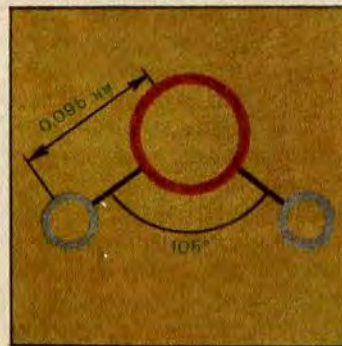


Оно устойчиво только при температурах намного ниже  $0^\circ\text{C}$ . При более высокой температуре разлагается на воду и кислород. Получается в результате реакция между водородом и кислородом в тлеющем электрическом разряде при низких температурах.

Таким образом, открытие трехоксида водорода еще раз подтвердило, что теоретические расчеты вполне заслуживают доверия.

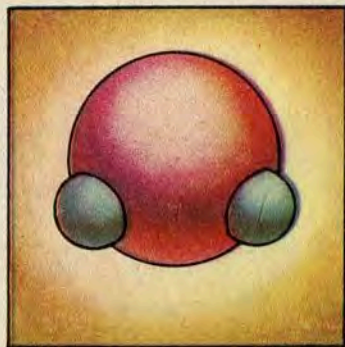
Больше родственников у воды как будто бы нет.

**Как построена молекула воды?** Как построена одна молекула воды, теперь известно очень точно. Она построена вот так:

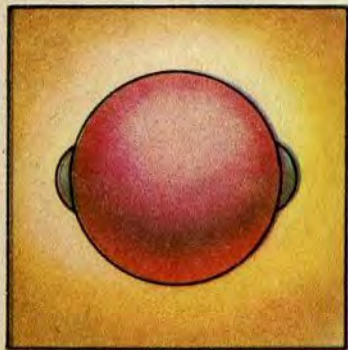




Хорошо изучено и измерено взаимное расположение ядер атомов водорода и кислорода и расстояние между ними. Оказалось, что молекула воды нелинейна. Вместе с электронными оболочками атомов молекулу воды, если на нее взглянуть «сбоку», можно было бы изобразить вот так:



а если взглянуть «сверху» — со стороны атома кислорода, то так:



т. е. геометрически взаимное расположение зарядов в молекуле можно изобразить как простой тетраэдр.

Все молекулы воды с любым изотопным составом построены совершенно одинаково.

**Сколько молекул воды в океане?** Одна. И этот ответ не совсем шутка. Конечно, каждый может, посмотрев в справочник и узнав, сколько в Мировом океане воды, легко сосчитать, сколько всего в нем содержится молекул  $H_2O$ . Но такой ответ будет не вполне верен. Вода — вещество особенное. Благодаря своему строению отдельные молекулы взаимодействуют между собой. Возникает особая химическая связь вследствие того, что каждый из атомов водорода одной молекулы оттягивает к себе электроны атомов кислорода в соседних молекулах. За счет такой **водородной** связи каждая молекула воды оказывается довольно прочно связанной с четырьмя другими соседними молекулами, подобно тому как это изображено на схеме. Правда, эта схема чересчур упрощена — она плоская, иначе не изобразишь на рисунке. Представим себе несколько более верную картину. Для этого нужно учесть, что плоскость, в которой расположены водородные связи (они обозначены пунктиром), в молекуле воды направлена перпендикулярно к плоскости расположения водородных атомов (см. рисунок на с. 38).

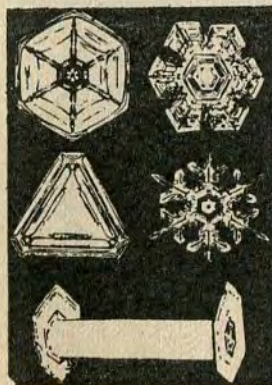
Все отдельные молекулы  $H_2O$  в воде оказываются связанными в единую сплошную пространственную сетку — в одну гигантскую молекулу. Поэтому вполне оправдано утверждение некоторых ученых физико-химиков, что весь океан — это одна молекула. Но не следует понимать это утверждение слишком буквально. Хотя все молекулы воды в воде и связываются между собой водородными связями, они в то же время находятся в очень сложном подвижном равновесии, сохраняя индивидуальные свойства и единичных молекул и образуя сложные агрегаты.





Подобное представление приложимо не только к воде: кусок алмаза тоже одна молекула.

**Как построена молекула льда?** Никаких особых молекул льда нет. Молекулы воды благодаря своему замечательному строению соединены в куске льда друг с другом так, что каждая из них связана и окружена четырьмя другими молекулами. Это приводит к возникновению очень рыхлой структуры льда, в которой остается очень много свободного объема. Правильное кристаллическое строение льда выражается в изумительном изяществе снежинок и в красоте морозных узоров на замерзших оконных стеклах.



Правильное кристаллическое строение льда выражается в изумительном изяществе снежинок.





**А что такое снежинки?** Сrostки ледяных кристалликов, образовавшиеся при конденсации водяного пара в верхних слоях атмосферы, где очень низкая температура.

**Почему же они такие красивые?** В кристаллической решетке льда есть плоскости, в которых атомы кислорода расположены так, что образуют правильные шестиугольники, как это видно на рисунке. Наверное, с этим и связана чаще всего встречающаяся шестилучевая форма изящных звездочек-снежинок.

Изумительная красота и бесконечное разнообразие форм снежинок вдохновили многих ученых на долгие исследования этой удивительной загадки природы.

Были получены десятки тысяч фотографий снежинок в самых разнообразных условиях: и высоко в облаках, и у земли, и на Крайнем Севере, и на юге — всюду, где только может идти снег.

Кроме огромного множества самых разнообразных форм гексагональной симметрии, кроме шестигранников среди снежинок встречаются и пластиночки, и столбики, и игольчатые формы. Очень много различных форм снежинок обнаружили в природе ученые. Если быть очень точным, то, наверное, придется признать, что совершенно одинаковых снежинок не существует. В бесконечном многообразии каждая из них чем-нибудь да отличается по строению, по форме, по размеру.

Нет сомнения, что это зависит от бесконечной изменчивости условий образования и роста снежинок в атмосфере. С нежной красотой снежинки связано еще много неразгаданного в природе.

**Как же все-таки построены молекулы воды в воде?**

К сожалению, этот очень важный вопрос изучен еще

недостаточно. Строение молекул в жидкой воде очень сложно. Когда лед плавится, его сетчатая структура частично сохраняется в образующейся воде. Молекулы в талой воде состоят из многих простых молекул — из агрегатов, сохраняющих свойства льда. При повышении температуры часть их распадается, их размеры становятся меньше.

Взаимное притяжение ведет к тому, что средний размер сложной молекулы воды в жидкой воде значительно превышает размеры одной молекулы воды. Такое необычайное молекулярное строение воды обуславливает ее необычайные физико-химические свойства.

**Какова должна быть плотность воды?** Правда, очень странный вопрос? Вспомните, как была установлена единица массы — один грамм. Это масса одного кубического сантиметра воды. Значит, не может быть никакого сомнения в том, что плотность воды должна быть только такой, какая она есть. Можно ли в этом сомневаться? Можно. Теоретики подсчитали, что если бы вода не сохраняла рыхлую льдоподобную структуру в жидком состоянии и ее молекулы были бы упакованы плотно, то и плотность воды была бы гораздо выше. При 25°C она была бы равна не 1,0, а 1,8 г/см<sup>3</sup>.

**При какой температуре вода должна кипеть?** Этот вопрос тоже, конечно, странный. Ведь вода кипит при ста градусах. Это знает каждый. Больше того, всем известно, что именно температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении и выбрана в качестве одной из опорных точек температурной шкалы, условно обозначенной 100°C.

Однако вопрос поставлен иначе: при какой температуре вода должна кипеть? Ведь температуры кипения различных веществ не случайны. Они зависят





от положения элементов, входящих в состав их молекул, в периодической системе Менделеева.

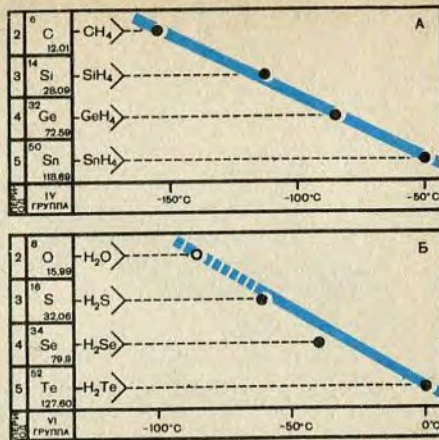
Если сравнивать между собой одинаковые по составу химические соединения различных элементов, принадлежащих к одной и той же группе таблицы Менделеева, то легко заметить, что чем меньше атомный номер элемента, чем меньше его атомный вес, тем ниже температура кипения его соединений. Вода по химическому составу может быть названа гидридом кислорода.  $\text{H}_2\text{Te}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$  и  $\text{H}_2\text{S}$  — химические аналоги воды. Если проследить за температурами их кипения и сопоставлять, как изменяются температуры кипения гидридов в других группах периодической системы, то можно довольно точно определить температуру кипения любого гидрида, так же как и любого другого соединения. Сам Менделеев таким способом смог предсказать свойства химических соединений еще не открытых элементов.

Если же определить температуру кипения гидрида кислорода по положению его в периодической таблице, то окажется, что вода должна кипеть при  $-80^\circ\text{C}$ . Следовательно, вода кипит приблизительно на сто восемьдесят градусов выше, чем должна кипеть. Температура кипения воды — это наиболее обычное ее свойство — оказывается необычайным.

Попробуйте теперь представить себе, что наша вода потеряла вдруг способность образовывать сложные, ассоциированные молекулы. Тогда она, вероятно, должна была бы кипеть при той же температуре, какая ей положена в соответствии с периодическим законом Менделеева.

Что бы тогда стало на нашей Земле? Океаны внезапно закипели бы. На Земле не осталось бы ни одной капли, и на небе никогда не смогло бы появиться ни одного облачка... Ведь в атмосфере земного шара температура нигде не падает ниже  $-80-90^\circ\text{C}$ .

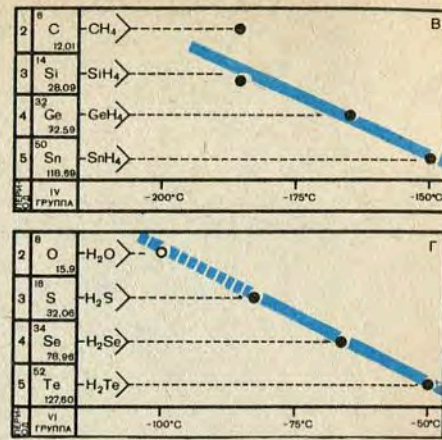




Свойства любого химического соединения зависят от природы образующих его элементов и, следовательно, от их положения в таблице Менделеева. На этих графиках приведены зависимости температур кипения и плавления водородных соединений IV и VI групп периодической системы.

Вода является поразительным исключением. Благодаря очень малому радиусу протона силы взаимодействия между ее молекулами столь велики, что разделить их очень трудно, поэтому вода кипит и плавится при аномально высоких температурах. Кроме воды в значительно меньшей степени аномальными

**При какой температуре вода замерзает?** Не правда ли, вопрос не менее странный, чем предыдущие? Ну кто же не знает, что вода замерзает при нуле градусов? Это вторая опорная точка термометра. Это самое обычное свойство воды. Но ведь и в этом случае можно спросить: при какой температуре вода должна замерзнуть в соответствии со своей химической при-



свойствами обладают аммиак и фтористый водород. График А. Нормальная зависимость температуры кипения гидридов элементов IV группы от их положения в таблице Менделеева. График Б. Среди гидридов элементов VI группы вода обладает аномальными свойствами: она должна была бы кипеть при

минус 80—90°C, а кипит при плюс 100°C. График В. Нормальная зависимость температуры плавления гидридов элементов IV группы от их положения в таблице Менделеева. График Г. Среди гидридов элементов VI группы вода нарушает порядок: она должна была бы плавиться при минус 100°C, а ледяные сосульки тают при 0°C.

родой? Оказывается, гидрид кислорода на основании его положения в таблице Менделеева должен был бы затвердевать при ста градусах ниже нуля.

Воду, пожалуй, можно назвать непослушным веществом. Она не подчиняется многим физико-химическим закономерностям, справедливым для других соединений, потому что взаимодействие ее молекул





необычайно велико и требуется особенно интенсивное тепловое движение молекул, чтобы преодолеть дополнительное притяжение. Это и приводит к такому неожиданному и резкому повышению температур кипения воды и ее плавления.

Попробуйте и на этот раз пофантазировать: вдруг исчезает ассоциация молекул воды... немедленно на всей нашей планете исчезают снега и льды. Нельзя кататься на коньках, бегать на лыжах; впрочем, и некому тогда было бы кататься и бегать.

**Полагается ли воде быть на Земле жидкой или твердой?** Нет, не полагается. Из того, что температура плавления и кипения гидрида кислорода — его аномальные свойства, следует, что в условиях нашей Земли жидкое и твердое состояния его также аномалии. Нормальным должно было бы быть только газообразное состояние воды.

Невозможным жителям невозможного мира, в котором все свойства воды были бы «нормальны», пришлось бы строить специальные машины, чтобы сжигать такую воду, подобно тому как это делаем мы, получая жидкий кислород.

Самые обычные свойства воды оказываются необычайными и удивительными, если как следует с ними познакомиться и хорошо в них разобраться.

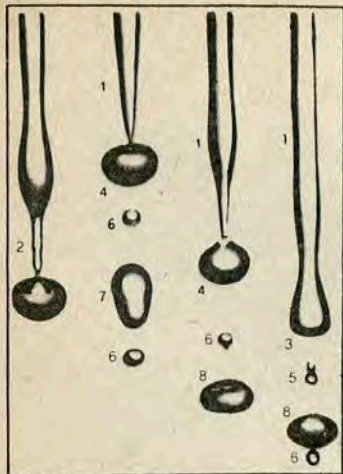
**Бывает ли жидкая вода твердой?** Это вполне разумный вопрос. К сожалению, очень немногие знают, как на него правильно ответить. Ответ с первого взгляда несколько неожиданный, но с ним легче будет примириться, если сначала обсудить более простой и понятный обратный вопрос, на который, наверное, могут ответить все: когда твердая вода бывает жидкой?

Конечно, здесь не идет речь о том, что воду можно заморозить или растопить лед. Совсем нет — эти вопросы относятся к жидкой воде и твердому льду.

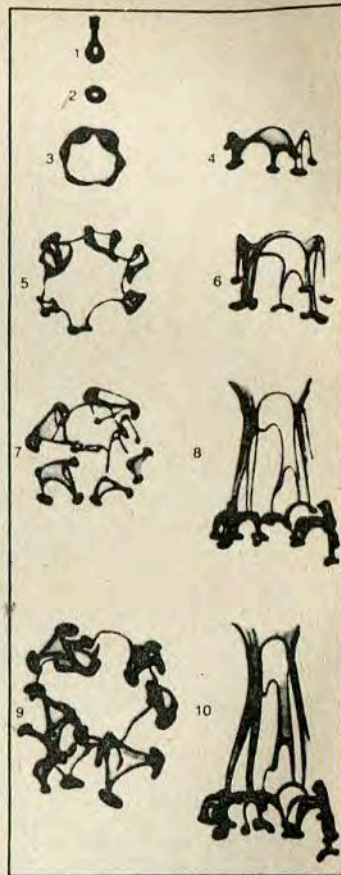
Всем известно, что лед при медленно действующих нагрузках течет. Ледники в горах текут подобно рекам, только очень и очень медленно, со скоростью всего в несколько метров в год. Значит, любой лед всегда в какой-то очень малой степени одновременно является жидким телом, если обладает свойством течь, подобно тому как течет любая жидкость. Под действием вековых нагрузок становятся пластичными и текут горные породы.

Если твердое тело в той или иной степени является





Слева: на этих снимках сфотографирован конец очень тонкой водяной струи. На поверхности струи возникают волнообразные упругие колебания (1). Они усиливаются, и образуется тонкая перетяжка (2), она разрывается. Утолщение струи (3), находившееся перед перетяжкой, превращается в каплю (4), а то, что было перетяжкой, оттягивается (5) и становится маленькой капелькой. Под действием поверхностного натяжения капля колеблется. Она то вытягивается (7), то снова расширяясь, сплющивается (8). Справа: капля (1), упав с кончика пипетки в воду, превращается в вихревое кольцо (2). Оно расширяется, и в нем возникают утолщения (3). Постепенно они развиваются во вторичные вихревые ко-



лечки (4, 5, 6); число колечек быстро растет. В такую сложную систему вихревых потоков капля превращается всего за несколько минут. Слева — процесс снят сверху, справа — сбоку.

жидким, то отсюда вполне разумно будет сделать вывод, что и обратное заключение тоже может быть справедливым и любая жидкость тоже должна в той или иной степени обладать признаками твердого тела.

Если лед при очень медленной нагрузке течет, то вода при очень быстром воздействии должна вести себя как твердое тело и разбиваться на куски, подобно хрупкому твердому телу. Это так на самом деле и есть. Этот вывод полностью подтверждает опыт. Если по струйке воды ударить с очень большой скоростью стальным бойком, то жидкая водяная струя расколется и разлетится на осколки, так же как расколется разбитая стеклянная палочка. Если пуля попадает в кастрюльку с водой, то мгновенная картина разрушения сходна с разрушением куска стекла. Таким образом, жидкая вода всегда в то же время является твердой. Какое свойство проявится — зависит от скорости деформации.

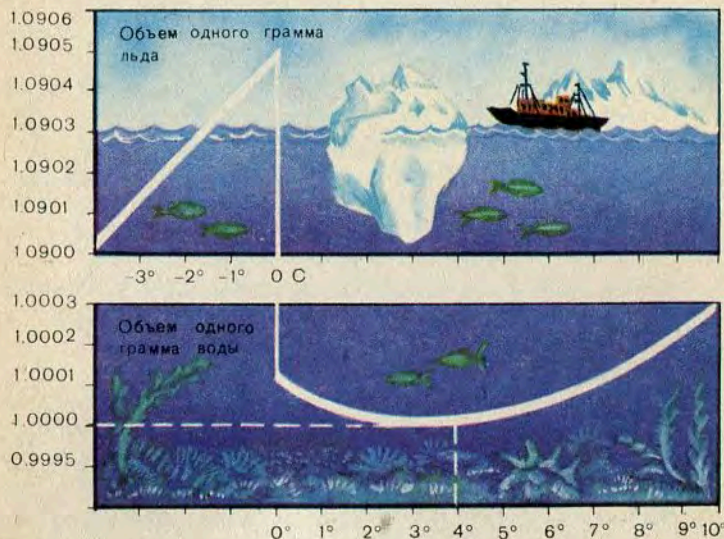
Только не следует думать, что это интересное качество присуще одной воде. Оно свойственно и другим жидкостям. Даже газы, например воздух, тоже обладают некоторыми свойствами твердого тела, правда в ничтожной степени. «Твердость» воздуха проявляется только в очень узких щелях при быстрой деформации.

Так что, по существу, нет ничего удивительного в том, что жидкая вода одновременно немногом твердая. Жители фантастического мира, которые были бы способны двигаться в тысячу раз быстрее, чем мы, могли бы преспокойно гулять по воде.

**Сколько существует газообразных состояний воды? Только одно — пар. А пар тоже только один?** Конечно, нет, паров воды столько же, сколько существует различных вод. Водяные пары, различные по изотопному составу, обладают хотя и очень близкими, но все же различными свойствами: у них разная

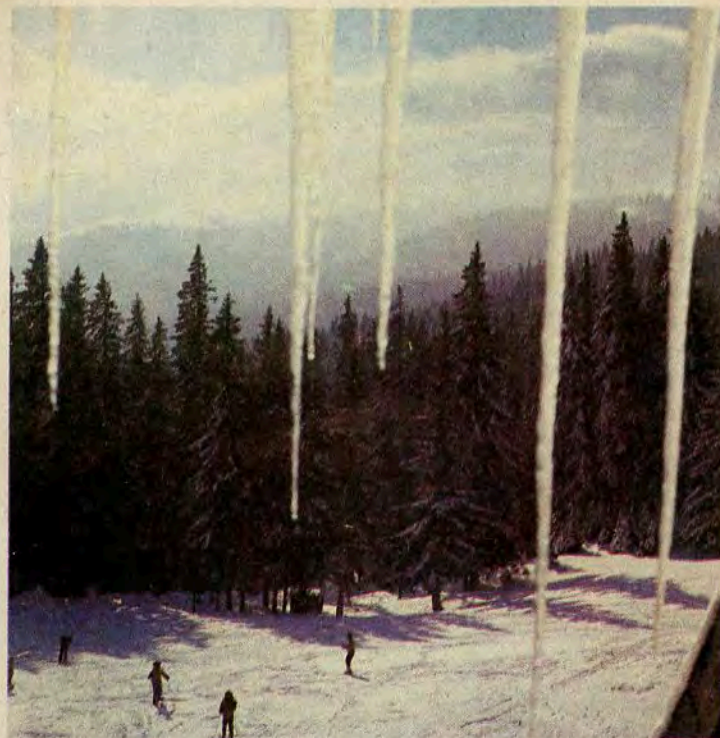


плотность, при одной и той же температуре они не-  
много отличаются по упругости в насыщенном со-  
стоянии, у них чуть-чуть разные критические давле-  
ния, разная скорость диффузии.



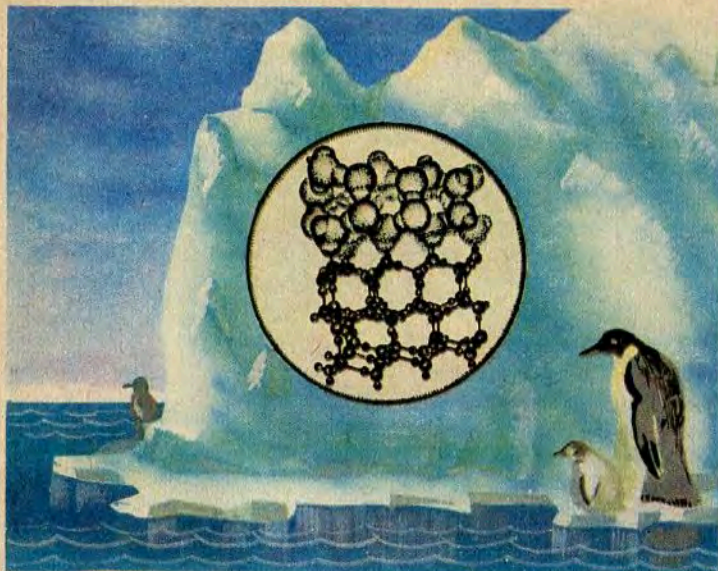
На графике показано, как изменяются с температурой объемы одного грамма льда и жидкой воды. Эти изменения очень малы, но они имеют большое значение для жизни природы. Такой странной и удивительной зависимостью плотности от температуры обладает только вода. Обратите внимание еще на одно удивительное

свойство воды — огромное расширение льда при замерзании. Оно так велико, что графически на одном чертеже представить изменение объема воды при замерзании невозможно. У тяжелой воды температурный ход изменения плотности аналогичен, но замерзает она при  $3,8^{\circ}\text{C}$  и наибольшей плотностью обладает при  $11,6^{\circ}\text{C}$ .



**Сколько существует жидких состояний воды?** На такой вопрос не так просто ответить. Конечно, тоже одно — привычная нам всем жидкая вода. Но вода в жидком состоянии обладает такими необыкновенными свойствами, что приходится задуматься: правилен ли такой простой, казалось бы, не вызывающий никаких сомнений ответ? Вода — единственное в мире вещество, которое после плавления сначала сжимается, а затем по мере повышения температуры начинает расширяться. Примерно при  $4^{\circ}\text{C}$  у воды наибольшая





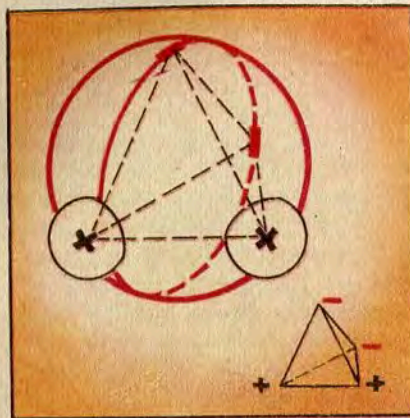
В круге изображено: в нижней части — схематическое расположение атомных ядер водорода и кислорода в молекулах воды, образовавших кристаллическую

решетку льда; в верхней части — молекулы воды, образовавшие ледяной кристалл с сохранением масштабов электронных оболочек. Обратите внимание на рыхлую структуру льда.

плотность. Эту редкостную аномалию в свойствах воды объясняют тем, что в действительности жидкая вода представляет собой сложный раствор совершенно необычайного состава: это раствор воды в воде.

При плавлении льда сначала образуются крупные сложные молекулы воды. Они сохраняют остатки рыхлой кристаллической структуры льда и растворены в обычной низкомолекулярной воде. Поэтому сначала плотность воды низкая, но с повышением температуры эти большие молекулы разрушаются,

и поэтому плотность воды растет, пока не начнет преобладать обычное тепловое расширение, при котором плотность воды снова падает. Если это верно, то возможны несколько состояний воды, только их никто не умеет разделить. И пока неизвестно, удастся ли когда-нибудь это сделать. Такое необычайное свойство воды имеет огромное значение для жизни. В водоемах перед наступлением зимы постепенно охлаждающаяся вода опускается вниз, пока температура всего водоема не достигнет  $4^{\circ}\text{C}$ . При дальнейшем охлаждении более холодная вода остается сверху и всякое перемешивание прекращается. В результате создается необычайное положение: тонкий слой холодной воды становится как бы «теплым одеялом» для всех обитателей подводного мира. При  $4^{\circ}\text{C}$  они чувствуют себя явно неплохо.



Положительные заряды в молекуле воды связаны с атомами водорода.

Отрицательные заряды — это валентные электроны кислорода. Их взаимное расположение в молекуле воды можно изобразить в виде простого тетраэдра.

**Что должно быть легче — вода или лед?** Кто же этого не знает... Ведь лед плавает на воде. В океане плавают гигантские айсберги. Озера зимой покрыты плавающим сплошным слоем льда. Конечно, лед легче воды.



Но почему «конечно»?.. Разве это так ясно? Наоборот, объем всех твердых тел при плавлении увеличивается, и они тонут в своем собственном расплаве. А вот лед плавает в воде. Это свойство воды — аномалия в природе, исключение, и притом совершенно замечательное исключение.

Попробуем вообразить, как выглядел бы мир, если бы вода обладала нормальными свойствами и лед был бы, как и полагается любому нормальному веществу, плотнее жидкой воды.

Зимой намерзающий сверху более плотный лед тонул бы в воде, непрерывно опускаясь на дно водоема. Летом лед, защищенный толщей холодной воды, не мог бы растаять.

Постепенно все озера, пруды, реки, ручьи промерзли бы нацело, превратившись в гигантские ледяные глыбы. Наконец, промерзли бы моря, а за ними и океаны. Наш прекрасный цветущий зеленый мир стал бы сплошной ледяной пустыней, кое-где покрытой тонким слоем талой воды.

**Сколько существует льдов?** В природе на нашей Земле — один: обычный лед. Это самый прекрасный из всех минералов. Никакие алмазы не могут сравниться блеском и красотой со снежинками, искрящимися на солнце. Из этого голубовато-зеленого камня сложены на Земле не только горы и колоссальные ледники, им покрыты целые материки. Лед — горная порода с необычайными свойствами. Он твердый, но течет, как жидкость, и существуют огромные ледяные реки, медленно стекающие с высоких гор. Лед изменчив — он непрерывно исчезает и образуется вновь. Лед необычайно прочен и долговечен — десятки тысячелетий хранит он в себе без изменений тела мамонтов, случайно погибших в ледниковых трещинах.

В своих лабораториях человек сумел открыть еще,

по крайней мере, шесть различных, не менее удивительных льдов. В природе их найти нельзя. Они могут существовать только при очень высоких давлениях. Обычный лед сохраняется до давления 208 МПа (мегапаскалей), но при этом давлении он плавится при  $-22^{\circ}\text{C}$ . Если давление выше, чем 208 МПа, возникает плотный лед — лед-III. Он тяжелее воды и тонет в ней. При более низкой температуре и большем давлении — до 300 МПа — образуется еще более плотный лед-II. Давление сверх 500 МПа превращает лед в лед-V. Этот лед можно нагреть почти до  $0^{\circ}\text{C}$ , и он не растает, хотя и находится под огромным давлением. При давлении около 2 ГПа (гигапаскалей) возникает лед-VI. Это буквально горячий лед — он выдерживает, не плавясь, температуру  $80^{\circ}\text{C}$ . Лед-VII, найденный при давлении 3 ГПа, пожалуй, можно назвать раскаленным льдом. Это самый плотный и тугоплавкий из известных льдов. Он плавится только при  $190^{\circ}$  выше нуля.

Это совершенно необычайный лед. Мало того что на куске такого льда можно было бы с полным успехом жарить пищу, если бы только он существовал при обычном давлении, но этот лед-VII еще обладает необыкновенно высокой твердостью. Не следует думать, что он получается только лишь в установках высокого давления в лабораториях ученых, а больше его нигде и не встретишь. Этот лед может стать даже причиной внезапных катастроф. В подшипниках, в которых вращаются валы мощных турбин электростанций, развивается огромное давление. Если в смазку попадет хотя бы немного воды, она замерзнет, несмотря на то что температура подшипников очень высока. Образовавшиеся частицы льда-VII, обладающие огромной твердостью, начнут разрушать вал и подшипник и быстро выведут их из строя.

Некоторые ученые подозревают, что существует



еще неустойчивый лед-IV, быстро переходящий в лед-V.

**Может быть, лед и в космосе есть?** Как будто бы есть, и при этом очень странный. Но открыли его ученые на Земле, хотя такой лед на нашей планете существовать не может. Плотность всех известных в настоящее время льдов даже при очень высоких давлениях, лишь очень немного превышает  $1 \text{ г/см}^3$ . Плотность гексагональной и кубической модификации льда при очень низких давлениях и температурах, даже близких к абсолютному нулю, немного меньше единицы. Их плотность равна  $0,94 \text{ г/см}^3$ .

Но оказалось, что в вакууме, при ничтожных давлениях и при температурах ниже  $-170^\circ\text{C}$ , при условиях, когда образование льда происходит при его конденсации из пара на охлаждаемой твердой поверхности, возникает совершенно удивительный лед. Его плотность...  $2,3 \text{ г/см}^3$ . Все известные до сих пор льды кристаллические, а этот новый лед, по-видимому, аморфный, он характеризуется беспорядочным относительным расположением отдельных молекул воды; определенная кристаллическая структура у него отсутствует. По этой причине его иногда называют стеклянным льдом. Ученые уверены, что этот удивительный лед должен возникать в космических условиях и играть большую роль в физике планет и комет. Открытие такого сверхплотного льда было для физиков неожиданным.

**А еще какие-нибудь льды существуют?** Такой вопрос и задавать не следовало бы. Конечно, существуют. Ученые хорошо изучили свойства льда, образующегося при замерзании тяжелой воды. Это совсем особый лед. Он плавится не при нуле градусов, а на  $3,18^\circ$  выше нуля. По всем своим свойствам тяжеловодный лед хоть немного да отличается от природного льда.

Можно лед приготовить из легкой воды, можно — из нулевой воды, можно — из тяжелоокислородной воды. Уж если быть очень строгим в формулировках, то следует признать, что любой из возможных различных «вод» соответствует свой собственный лед, и в нескольких формах. И конечно, все эти льды разные.

**Но может быть, где-нибудь в природе есть еще какие-нибудь льды?** Пока нет. Но наверное, человек, расширяя свое познание природы, сумеет в будущем найти еще не один новый вид льда. И никто не может сказать, какое это будет иметь значение.

**Но если больше никаких льдов нет, то какой же лед замерзает летом в газопроводах?** Удивительный и причиняющий много больших затруднений ученым, а еще больше инженерам и технологам.

Во влажном горючем газе при транспортировке его по трубопроводам от подземных скважин под давлением в десятки атмосфер даже летом, в теплую погоду, образуется лед на стенках стальных труб. Слой льда может нарасти настолько толстым, что перекроет трубу ледяной пробкой и прекратит подачу газа. Такую серьезную аварию ликвидировать бывает нелегко.

Этот странный лед возникает только в присутствии сжатого до большого давления горючего газа. Трудно только определить — лед это или не лед. Очень много труда пришлось затратить исследователям, пока удалось выяснить его природу.

Его кристаллическая решетка построена почти так же, как и у обычного льда, — она образована молекулами воды с помощью водородных связей. Как и у обычного льда, с ней имеются пустые полости определенного объема. При образовании льда в среде сжатого газа происходит странное явление, открытое впервые сравнительно недавно, — в каждой такой



свободной полости решетки льда оказывается заключенной молекула метана. Эта пойманная в клетку молекула газа не связана химически с молекулами воды, образующими кристаллическую ячейку льда. Просто она захвачена. Такой лед содержит много метана

Газовые молекулы, включенные в решетку льда, все-таки влияют на его свойства. Они повышают устойчивость решетки, и поэтому такой лед плавится при более высокой температуре.

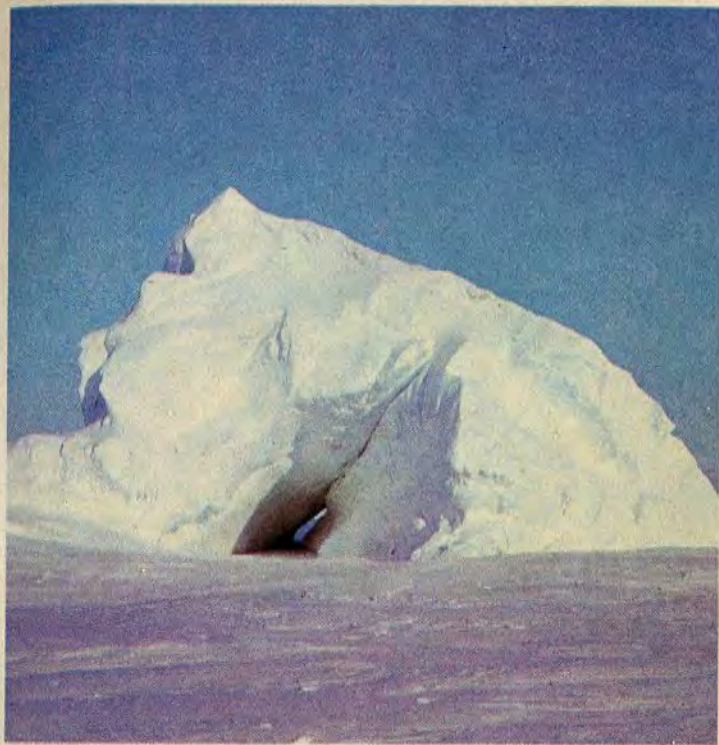
Такие соединения, хотя они и существуют, и имеют теперь довольно большое значение, и являются весьма многочисленными, не могут быть причислены к химическим соединениям. Химические связи в их образовании участия не принимают. Они получили название клатратов. Наверное, их можно назвать механическими соединениями.

В трубах, по которым транспортируется газ, и образуется клатратный лед. Пожалуй, это все-таки не лед.

**Что нужно, чтобы лед растаял?** Очень много тепла. Гораздо больше, чем для плавления такого же количества любого другого вещества. Исключительно большая удельная теплота плавления — 80 кал (335 Дж) на грамм льда — также аномальное свойство воды. При замерзании воды такое же количество тепла снова выделяется.

Когда наступает зима, образуется лед, выпадает снег и вода отдает обратно тепло, подогревает землю и воздух. Они противостоят холоду и смягчают переход к суровой зиме. Благодаря этому замечательному свойству воды на нашей планете существует осень и весна.

**Все ли уже про лед известно?** Что за вопрос? Конечно, нет. Ни о чем нельзя в науке сказать: да,



это уже полностью изучено, ничего не известного не осталось. Тем более если вопрос относится к самому удивительному минералу на нашей планете — к твердой воде.

Казалось бы, что может быть изучено более подробно, чем самый обыкновенный лед, но это давно знакомое вещество до сих пор полно тайн и загадок.

Лед обладает таинственной кристаллической структурой. Его строение и прочность определяются прочностью водородных связей между отдельными



молекулами воды. Водородная связь играет огромную роль в строении молекул биополимеров в тканях всех живых организмов. Это, быть может, имеет большое значение для жизни, так как следы структуры льда, по-видимому, долго сохраняются в талой воде. Эта область только еще начинает изучаться наукой.

В последние годы начинает развиваться новая важная область знания — физика льда. Лед — прочный, дешевый и хороший строительный материал. Из него строят жилища, склады, он создает природные надежные дороги, переправы, взлетно-посадочные площадки. Лед — причина стихийных бедствий. Он разрушает плотины, сносит мосты, сковывает грунт, вызывает обледенение самолетов и кораблей. Стало совершенно необходимым изучить все свойства льда, определить его механические, электрические, акустические, электромагнитные, радиационные характеристики.

При этом было открыто много неожиданного, о чем раньше и предполагать было нельзя. Например, лед оказался полупроводником, причем его проводимость протонного типа. Установлено, что при замерзании воды на границе между льдом и водой возникает разность электрических потенциалов, достигающая десятков вольт.

Обнаружена подвижность молекул в кристаллической решетке льда: они могут не только вращаться, но и перемещаться скачкообразно на сравнительно большие (в молекулярном масштабе) расстояния.

Много удивительного установлено при изучении процессов образования и поведения льдов в природе. Полярные льды в напряженном состоянии «кричат». Когда начинается деформация льда, то, как описывает Ф. Нансен, возникает легкий треск и стон, усиливаясь, они переходят через все роды тонов — лед то плачет, то стонет, то грохочет, то ревет,

постепенно возрастая, его «голос» становится подобным звучанию всех труб органа.

Перед разрушением, при критических напряжениях, лед звенит, вздыхает, ухает.

Установлена зависимость между характером звучания льда и температурой воздуха. Этот важный раздел физики льда изучен еще далеко не достаточно.

Еще больше загадок скрывается в исследованиях энергетики процессов образования льдов в природе. Гигантское количество тепла, освобождающееся при замерзании воды, задерживает наступление зимних холодов. Тепло, поглощаемое при таянии льдов, замедляет приход весны. С изменением массы льда на планете связаны изменения климата на Земле. Но точный расчет зависимости между погодой и колоссальной энергоемкостью этих глобальных процессов пока еще невозможен — слишком много в них неизвестного.

Есть, например, и такие загадки. В старых записях сохранились предания о том, что иногда ледяные поля приобретают способность долго светиться в темноте, испуская слабый свет после того, как были освещены солнцем. Интересно было бы знать, верно ли это, когда и почему это явление происходит, чем объясняется. Есть наблюдения, что иногда светится и снег, если его при нескольких градусах мороза внести в темную комнату после освещения ярким солнцем. Рассказывают, что первые градины тоже светятся — они будто бы обладают электролюминесценцией. Интересно было бы и это проверить и объяснить.

**Сколько тепла нужно, чтобы нагреть воду?** Очень много. Больше, чем для нагревания равного количества любого другого вещества. Чтобы нагреть грамм воды на один градус, необходима одна калория

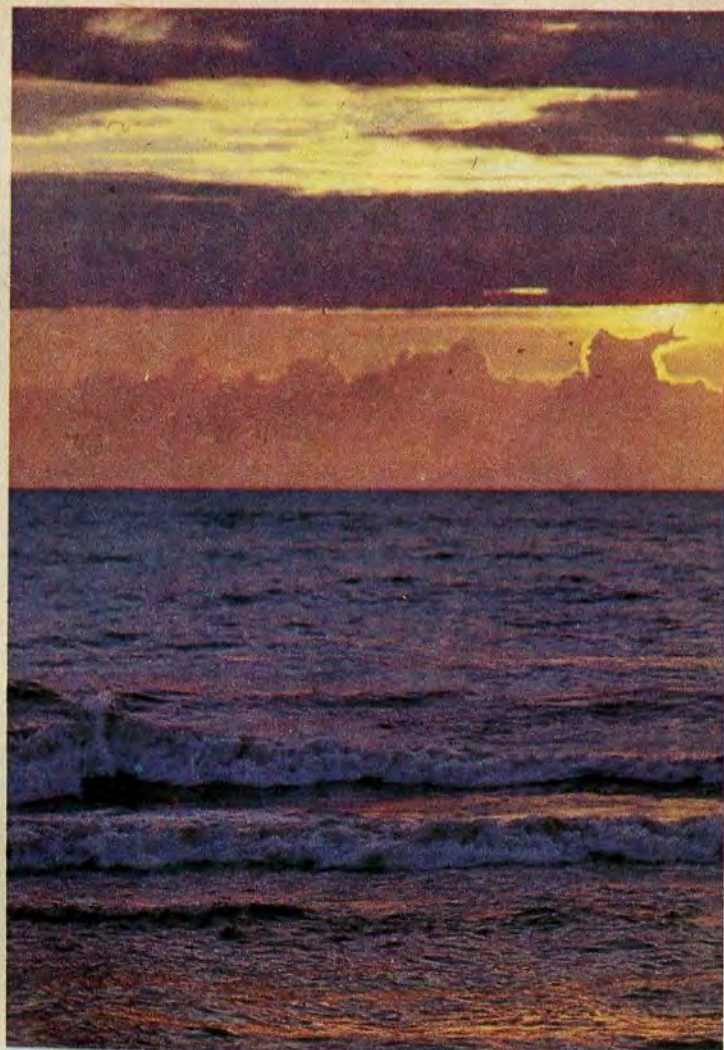


(4,2 Дж). Это больше чем вдвое превышает теплоемкость любого химического соединения.

Вода — вещество, необычайное даже в самых обыденных для нас свойствах. Конечно, эта способность воды имеет очень большое значение не только при варке обеда на кухне. Вода — это великий распределитель тепла по Земле. Нагретая Солнцем под экватором, она переносит тепло в Мировом океане гигантскими потоками морских течений в далекие полярные области, где жизнь возможна только благодаря этой удивительной особенности воды.

**Как вода попадает в облака?** Очень просто. Солнце нагревает воду. Всюду, где она есть, — в луже, в пруду, в море, в океане. Вода поглощает в своем тонком верхнем слое почти всю энергию попадающих на нее солнечных лучей и испаряется. Молекулы воды исключительно просты в своем строении и вместе с тем необычайны, отличны от всех других молекул. Они сильно притягиваются друг к другу благодаря силам межмолекулярного притяжения за счет дополнительных водородных связей. Солнцу придется затрачивать очень много энергии, чтобы разделить молекулы воды и превратить ее в пар. Нет ни одного вещества, у которого удельная теплота испарения была бы больше, чем у воды. Вода — лучший теплоноситель. Ничто не может сравниться с ней. Ничто не может лучше работать в паровых турбинах электростанций, в цилиндрах паровых двигателей.

Вода — гигантский двигатель и в природе. Метеорологи подсчитали, что Солнце испаряет на Земле за одну минуту миллиард тонн воды. Каждую минуту миллиард тонн водяного пара вместе с восходящими потоками нагретого воздуха поднимается в верхние слои атмосферы. Каждый грамм водяного





пара уносит с собой 537 кал (2265 Дж) солнечной энергии.

На большой высоте, где давление мало, воздух расширяется, его температура сильно понижается и водяной пар конденсируется, снова превращаясь в воду — ее мельчайшие капельки образуют облака.

Энергия Солнца, поднятая с водяным паром вверх, неминуемо должна выделяться обратно, когда пар превращается в облака. Эта энергия переходит в тепловую, нагревая воздух. Каждую минуту водяной пар отдает атмосфере Земли чудовищно огромное количество энергии —  $2,2 \cdot 10^{10}$  Дж. Столько энергии за то же время могли бы выработать 40 млн. электростанций, по миллиону киловатт каждая.

Это та энергия, которая переносит сотни миллиардов тонн воды по воздуху в облаках и орошает дождями всю поверхность Земли. Это та энергия, за счет которой дуют ветры, возникают бури, рождаются ураганы и штормы. А только один развившийся ураган выделяет энергию, эквивалентную энергии 30 тыс. атомных бомб.

**Почему в море вода соленая?** Это, пожалуй, одно из самых важных следствий одного из самых удивительных свойств воды. В ее молекуле центры положительных и отрицательных зарядов сильно смещены относительно друг друга. Поэтому вода обладает исключительно высоким, аномальным значением диэлектрической проницаемости. Для воды  $\epsilon=80$ , а для воздуха и вакуума  $\epsilon=1$ . Это значит, что два любых разноименных заряда в воде взаимно притягиваются друг к другу с силой в 80 раз меньшей, чем в воздухе, по закону Кулона:

$$f = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon r^2}.$$

Но все же межмолекулярные связи во всех телах, определяющие прочность тела, обусловлены взаимодействием между положительными зарядами атомных ядер и отрицательными электронами. На поверхности тела, погруженного в воду, силы, действующие между молекулами или атомами, ослабевают под влиянием воды почти в сотню раз. Если оставшаяся прочность связи между молекулами становится недостаточной, чтобы противостоять действию теплового движения, молекулы или атомы тела начинают отрываться от его поверхности и переходят в воду. Тело начинает растворяться, распадаясь либо на отдельные молекулы, как сахар в стакане чаю, либо на заряженные частицы — ионы, как поваренная соль.

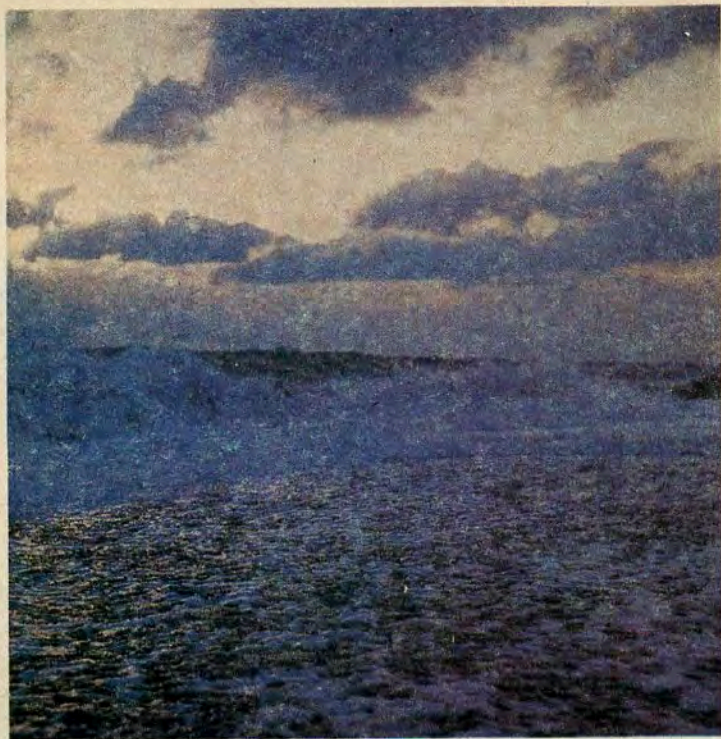
Именно благодаря аномально высокой диэлектрической проницаемости вода — один из самых сильных растворителей. Она даже способна растворить любую горную породу на земной поверхности. Медленно и неотвратимо она разрушает даже граниты, выщелачивая из них легкорастворимые составные части.

Нет в природе такой прочной породы, которая могла бы сопротивляться всемогущему разрушителю — воде.

Ручьи, речки и реки сносят растворенные водой примеси в океан. Вода из океана испаряется и вновь возвращается на землю, чтобы снова и снова продолжать свою вечную работу. А растворенные соли остаются в морях и океанах.

Не думайте, что вода растворяет и сносит в море только то, что легко растворимо, и что в морской воде содержится только обычная соль, которая стоит на обеденном столе. Нет, морская вода содержит в себе почти все элементы, существующие в природе. В ней есть и магний, и кальций, и сера, и бром, и йод, и фтор. В меньшем количестве в ней найдены железо,





медь, никель, олово, уран, кобальт, даже серебро и золото. Свыше шестидесяти элементов нашли химики в морской воде. Наверное, будут найдены и все остальные. Больше всего в морской воде поваренной соли. Поэтому вода в море соленая.

А знаете ли вы, что кровь человека и других животных близка по составу к морской воде? И что растения извлекают из земли питательные вещества в виде водного раствора? Если бы вода не обладала удивительным свойством — необычайно высокой





диэлектрической проницаемостью, море не было бы соленым. Но это некому было бы заметить — не было бы на Земле жизни.

**Распадаются ли в воде на ионы ее собственные молекулы?** Да, распадаются. Молекулы воды очень прочны, но все же очень небольшая часть их диссоциирует на ионы:  $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$ . При этом из каждого миллиарда молекул воды при обычной температуре диссоциированы всего лишь только две молекулы.

Свободный протон  $\text{H}^+$  — ядро атома водорода, — конечно, не может существовать в водной среде: ион водорода немедленно присоединяется к молекуле воды и образует ион гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

**А может ли быть вода без молекул воды?** Да, как будто бы может. Правда, такая вода еще пока не получена. Но ученые установили, что если воду нагревать все больше и больше, то диссоциация ее молекул на ионы будет возрастать.

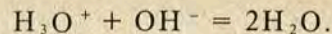
При очень высокой температуре должно наступить такое удивительное состояние воды, при котором в ней не останется ни одной молекулы воды, все они распадутся на ионы.

Удалось рассчитать, что такое состояние воды должно наступить при температуре не ниже  $900^\circ\text{C}$ . Давление при этом должно быть не менее 15 ГПа.

Может быть, такая вода существует в недрах Земли. Интересно, какие у нее свойства.

**Как вода образуется в воде из воды?** Конечно, проще всего предположить, что молекулы воды в воде образуются при взаимодействии протона и иона водорода с отрицательным ионом — гидроксидом. Так это и было написано во всех школьных учебниках мира. Потом химики стали считать, что молекулы воды

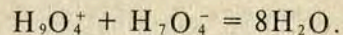
образуются при взаимодействии гидроксидов с ионом гидроксония:



Так как размеры иона гидроксония гораздо больше размеров «голого» протона — иона водорода  $\text{H}^+$ , то столкновения гидроксидов с гидроксонием должны происходить чаще, чем с протоном, и скорость реакции должна быть выше. Можно даже теоретически рассчитать, определив размеры частиц, значение констант скоростей обеих реакций — и с протоном и с ионом гидроксония.

Однако опыт привел к неожиданному и удивительному результату: оказалось, что константа скорости реакции на самом деле имеет еще большее значение и молекулы воды в воде образуются и не из ионов водорода  $\text{H}^+$ , как учили школьные учебники, и не из ионов гидроксония, как считают почти все химики, а из частиц гораздо больших размеров. Ученые думают, что вода в воде образуется из больших ионов  $\text{H}_9\text{O}_4^+$  и  $\text{H}_7\text{O}_4^-$ .

Уравнение реакции образования воды в воде теперь выглядит даже для глаза химика удивительно:



**Почему вода «мокрая»?** Вода не очень «мокрая», если считать, что этот шуточный вопрос относится к способности воды смачивать другие тела. Большинство жидкостей гораздо «мокрее» воды. Вода с трудом смачивает металлы, совершенно не смачивает жирные поверхности. Водой не намочишь парафин. Капли воды скатываются с поверхности многих полимерных материалов: тефлона, полиэтилена и др. Спирт же, например, или керосин очень хорошо смачивают почти любые тела. Это объясняется тем,



что силы взаимодействия между молекулами воды так необычайно велики, что вода собирается в капли там, где все другие жидкости растекаются.

Это свойство воды причиняет много огорчений в обыденной жизни и в технике: загрязненные жиром или маслами руки водой не отмоешь. Из-за этого и было изобретено мыло. Химиками было синтезировано много специальных веществ — «смачивателей», которые применяются в технике, чтобы воду сделать «мокрее».

**А сухой вода может быть?** Оказывается, может. Недавно ученые сумели приготовить сухую воду. К обычной воде добавили немного тонкого порошка несмачиваемой кремниевой кислоты. Вода сразу становится сухой и сыпучей. Ее можно пересыпать, перевозить в пакетиках; даже на ощупь такая вода совсем не влажная, а сухая и холодная.

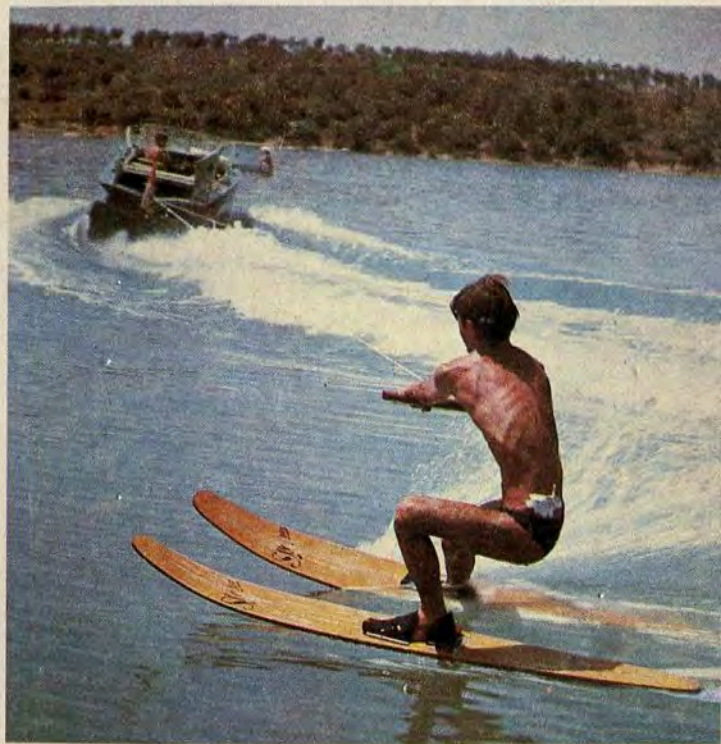
**А что такое «скользящая» вода?** «Скользящая» вода заслуживает большого внимания. Речь идет об очень удивительных свойствах, которые может приобретать вода в зависимости от природы растворенных в ней примесей. То, что свойства воды должны зависеть от того, что в ней содержится, — это совершенно ясно и никого удивлять не может.

Но чтобы так резко могли изменяться основные свойства вещества от ничтожных добавок, как это было обнаружено на примере влияния на свойства воды малых добавок одного растворимого полимера, — этого никто из ученых предвидеть не мог.

Оказалось, что если растворить в воде ничтожное количество растворимого полимера — полиэтиленоксида, то вода приобретает удивительные свойства, за которые этот раствор и получил название «скользящей» воды. Такая вода течет по трубам почти втрое быстрее обычной. Струя такой воды из шланга бьет

в два с половиной раза дальше. Тела движутся в ней гораздо быстрее. «Скользкую» воду начинают применять при тушении пожаров.

**Какую форму имеет вода?** Хотя этот вопрос может показаться странным, но он задан совершенно правильно. Вода обладает собственной формой, как и любая другая жидкость. Ее форма — шар. Утверждение учебников, что вода принимает форму сосуда, а собственной не имеет, неверно. Ее собственная







форма на Земле обычно искажена земным притяжением.

Но что воде свойственна форма шара, в этом очень легко убедиться — достаточно слетать на космическом корабле в космос и вытряхнуть там воду из бутылки. Можно увидеть это и на Земле: посмотрите на падающую каплю или выдуйте хороший мыльный пузырь. Во всех этих случаях действие веса исключено и вода, как и любая другая жидкость, принимает свою собственную форму.

**Можно ли бегать по поверхности воды?** Можно. Чтобы в этом убедиться, посмотрите летом на поверхность любого пруда или озера. По воде не только ходит, но и бегает немало живого и быстрого народца. Если учесть, что площадь опоры лапок у этих насекомых очень мала, то нетрудно понять, что, несмотря на их небольшой вес, поверхность воды выдерживает, не прорываясь, значительное давление.

**Может ли вода течь вверх?** Да, может. Это происходит всегда и повсеместно. Сама поднимается вода вверх в почве, смачивая всю толщу земли от уровня грунтовых вод. Сама поднимается вода вверх по капиллярным сосудам дерева и помогает растению доставлять растворенные питательные вещества на большую высоту — от глубоко скрытых в земле корней к листьям и плодам. Сама движется вода вверх в порах промокательной бумаги, когда вам приходится высушивать кляксу, или в ткани полотенца, когда вытираете лицо. В очень тонких трубочках — в капиллярах — вода может подняться на высоту до нескольких метров.

**Чем это объясняется?** Еще одной замечательной особенностью воды — ее исключительно большим поверхностным натяжением. Молекулы воды на ее поверхности испытывают действие сил межмолекулярного притяжения только с одной стороны, а у воды это взаимодействие аномально велико. Поэтому каждая молекула на ее поверхности втягивается внутрь жидкости.

В результате возникает сила, стягивающая поверхность жидкости. У воды она особенно велика: ее поверхностное натяжение составляет 72 мН/м (миллиньютон на метр).

Эта сила и придает мыльному пузырю, падающей капле и любому количеству жидкости в условиях невесомости форму шара. Она поднимает воду в почве, стенки тонких пор и отверстий в ней хорошо смачиваются водой. Вряд ли вообще было бы возможно земледелие, если бы вода не обладала этой исключительной особенностью. Она поддерживает бегающих по поверхности пруда жуков, лапки которых водой не смачиваются. А в стране Коста-Рике, в Центральной Америке, обитает ящерица, умеющая бегать по воде. Спасаясь от хищников,





Поверхностное натяжение воды столь велико, что по ней спокойно могут гулять довольно крупные водяные насекомые, вроде этих.

зеленый хохлатый василиск поднимается на задние лапки и бежит, не тонет, по водной поверхности. Конечно, поверхностное натяжение воды даже и маленькую ящерку не удержит. Выручает ее большая скорость.

**А может ли вода гореть?** Может. Вода неплохо горит в атмосфере свободного фтора.

**Видал ли хоть кто-нибудь воду?** Этот вопрос может показаться нелепым. Но он относится именно к воде, к совершенно чистой воде, в которой совсем нет никаких посторонних примесей. Тогда если быть строгим и точным в ответах, то придется сознаться, что нет — воду пока еще никто не видел и не держал в руках. Хотя простым глазом и нельзя заметить никакой разницы между очень чистой водой и ее разбавленными растворами, но ведь наука не смотрит простым глазом. То, что налито в стакане и что мы по привычке называем просто водой, на самом деле всегда представляет собой раствор очень многих веществ в воде. В ней растворены газы: азот, кислород, аргон, уголекислота — и все примеси,

находящиеся в воздухе. В ней растворены соли из почвы, железо из водопроводных труб. В ней растворены, наверное, сотни, а может быть и тысячи, различных соединений почти всех элементов периодической системы. В ней взвешены мельчайшие нерастворимые частицы пыли, окислов железа, коллоидные осадки. Это мы и называем чистой водой.

Много ученых работают над решением трудной проблемы получения абсолютно чистой воды. Но пока еще получить такую воду не удалось. Да и как это сделать: налитая в стакан вода растворяет стенки стакана, соприкасаясь с любым газом, она растворяет газ.

Очень тщательно очищенная и освобожденная от газов вода приобретает совершенно необычные свойства: ее можно перегреть на десятки градусов выше точки кипения — она не закипит, ее можно очень сильно переохладить — она не замерзнет.

**Может ли вода помнить?** Такой вопрос звучит, надо признать, очень необычно, но он вполне серьезен и очень важен. Он касается большой физико-химической проблемы, которая в своей наиболее важной части еще не исследована. Этот вопрос только поставлен в науке, но ответа на него она еще не нашла.

Вопрос в том: влияет или нет предыдущая история воды на ее физико-химические свойства и возможно ли, исследуя свойства воды, узнать, что происходило с ней ранее, — заставить саму воду «вспомнить» и рассказать нам об этом. Да, возможно, как это ни кажется удивительным. Проще всего это можно понять на простом, но очень интересном и необычайном примере — на памяти льда.

Лед — это ведь вода. Когда вода испаряется — меняется изотопный состав воды и пара. Легкая вода испаряется хотя и в ничтожной степени, но быстрее тяжелой.





При испарении природной воды состав изменяется по изотопному содержанию не только дейтерия, но и тяжелого кислорода. Эти изменения изотопного состава пара очень хорошо изучены, и так же хорошо исследована их зависимость от температуры.

Попытайтесь теперь представить себе гигантский процесс, может быть, самый величественный на нашей планете — он охватывает весь земной шар. Огромные, чудовищные массы воды с измененным изотопным составом испаряются с поверхности Мирового океана. Воздушные течения в атмосфере разносят водяные пары по всей Земле. Попадая в холодные области, пар конденсируется нацело, образуется снег, он выпадает на землю, сохраняя свой изотопный состав. Так рождаются грандиозные арктические ледники.

Недавно ученые поставили замечательный опыт. В Арктике, в толще огромного ледника на севере Гренландии, была заложена буровая скважина и высверлен и извлечен гигантский ледяной керн длиной почти полтора километра. На нем были отчетливо различимы годовичные слои нараставшего льда. По всей длине керна эти слои были подвергнуты изотопному анализу, и по относительному содержанию тяжелых изотопов водорода и кислорода — дейтерия и  $^{18}\text{O}$  были определены температуры образования годовичных слоев льда на каждом участке керна. Дата образования годовичного слоя определялась прямым отсчетом. Таким образом была восстановлена климатическая обстановка на Земле на протяжении тысячелетия. Вода все это сумела запомнить и записать в глубинных слоях гренландского ледника.

В результате изотопных анализов слоев льда была построена учеными кривая изменения климата на Земле. Оказалось, средняя температура у нас подвержена вековым колебаниям. Было очень хо-



лодно в XV в., в конце XVII в. и в начале XIX. Самые жаркие годы были 1550 и 1930.

То, что сохранила в памяти вода, полностью совпало с записями в исторических хрониках. Обнаруженная по изотопному составу льда периодичность изменения климата позволяет предсказывать среднюю температуру в будущем на нашей планете.

Это все совершенно понятно и ясно. Хотя и очень удивительна тысячелетняя хронология погоды на Земле, записанная в толще полярного ледника, но изотопное равновесие достаточно хорошо изучено и никаких загадочных проблем в этом пока нет.

**Тогда в чем же состоит загадка «памяти» воды?** Дело в том, что за последние годы в науке постепенно накопилось много поразительных и совершенно непонятных фактов. Одни из них установлены твердо, другие требуют количественного надежного подтверждения, и все они еще ждут своего объяснения.

Например, еще никто не знает, что происходит с водой, протекающей сквозь сильное магнитное поле. Физики-теоретики совершенно уверены, что ничего с ней при этом происходить не может и не происходит, подкрепляя свою убежденность вполне достоверными теоретическими расчетами, из которых следует, что после прекращения действия магнитного поля вода должна мгновенно вернуться в прежнее состояние и остаться такой, какой была. А опыт показывает, что она изменяется и становится другой.

Велика ли разница? Судите сами. Из обычной воды в паровом котле растворенные соли, выделяясь, отлагаются плотным и твердым, как камень, слоем на стенках котельных труб, а из омагниченной воды (так ее теперь стали называть в технике) выпадают в виде рыхлого осадка, взвешенного в воде.

Вроде разница невелика. Но это зависит от точки зрения. По мнению работников тепловых электростанций, эта разница исключительно важна, так как омагниченная вода обеспечивает нормальную и бесперебойную работу гигантских электростанций: не зарастают стены труб паровых котлов, выше теплопередача, больше выработка электроэнергии. На многих тепловых станциях давно установлена магнитная подготовка воды, а как и почему она работает, не знают ни инженеры, ни ученые. Кроме того, на опыте подмечено, что после магнитной обработки воды в ней ускоряются процессы кристаллизации, растворения, адсорбции, изменяется смачивание... правда, во всех случаях эффекты невелики и трудно воспроизводимы. Но каким образом в науке можно оценить, что такое мало и что — много?

Кто возьмется это сделать?

Действие магнитного поля на воду (обязательно быстротекущую) длится малые доли секунды, а «помнит» вода об этом десятки часов. Почему — неизвестно. В этом вопросе практика далеко опередила науку. Ведь даже неизвестно, на что именно действует магнитная обработка — на воду или на содержащиеся в ней примеси. Чистой-то воды ведь не бывает.

«Память» воды не ограничивается только сохранением последствий магнитного воздействия. В науке существуют и постепенно накапливаются многие факты и наблюдения, показывающие, что вода как будто бы «помнит» и о том, что она раньше была заморожена.

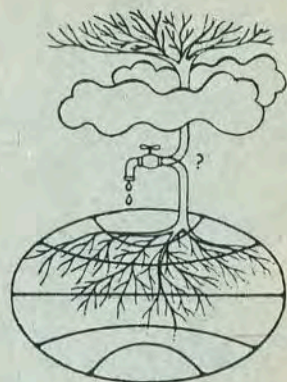
Талая вода, недавно получившаяся при таянии куска льда, как будто бы тоже отличается от той воды, из которой этот кусок льда образовался. В талой воде быстрее и лучше прорастают семена, быстрее развиваются ростки; даже как будто бы быстрее растут и развиваются цыплята, которые



получают талую воду. Кроме удивительных свойств талой воды, установленных биологами, известны и чисто физико-химические отличия, например талая вода отличается по вязкости, по значению диэлектрической проницаемости. Вязкость талой воды принимает свое обычное для воды значение только через 3—6 суток после плавления. Почему это так (если это так), тоже никто не знает.

Большинство исследователей называют эту область явлений «структурной памятью» воды, считая, что все эти странные проявления влияния предыдущей истории воды на ее свойства объясняются изменением тонкой структуры ее молекулярного состояния. Может быть, это и так, но... назвать — это еще не значит объяснить. По-прежнему в науке существует важная проблема: почему и как вода «помнит», что с нею было.

**Откуда на Земле взялась вода?** Вечно по всем направлениям Вселенную пронизывают потоки космических лучей — потоки частиц с огромной энергией. Больше всего в них протонов — ядер атомов водорода. В своем движении в космосе наша планета непрерывно подвергается «протонному обстрелу». Пронизывая верхние слои земной атмосферы, протоны захватывают электроны, превращаются в атомы водорода и немедленно вступают в реакцию с кислородом, образуя воду. Расчет показывает, что ежегодно почти полторы тонны такой «космической» воды рождается в стратосфере. На большой высоте при низкой температуре упругость водяного пара очень мала и молекулы воды, постепенно накапливаясь, конденсируются на частицах космической пыли, образуя таинственные серебристые облака. Ученые предполагают, что они состоят из мельчайших ледяных кристалликов, возникших из такой «космической» воды. Подсчет



показал, что воды, появившейся таким образом на Земле за всю ее историю, как раз хватило бы, чтобы родились все океаны нашей планеты. Значит, вода пришла на Землю из космоса? Но...

Геохимики не считают воду небесной гостьей. Они убеждены, что у нее земное происхождение. Породы, слагающие земную мантию, которая лежит между центральным ядром Земли и земной корой, под влиянием накапливающегося тепла радиоактивного распада изотопов местами расплавились. Из них выделялись летучие составные части: азот, хлор, соединения углерода, серы, больше всего выделялось водяных паров.

Какое же количество могли выбросить при извержениях все вулканы за все время существования нашей планеты?

Ученые подсчитали и это. Оказалось, что такой изверженной «геологической» воды тоже как раз хватило бы, чтобы заполнить все океаны.



Интересно все-таки было бы знать: откуда же на Земле взялась вода?

**Сколько на Земле воды?** Очень мало!

Сколько всего воды на всей Земле — этого еще точно никто не знает, но очень мало.

В центральных частях нашей планеты, образующих ее ядро, воды, наверное, нет. Вряд ли она там может существовать. Одни ученые считают, что даже если и присутствуют там и кислород и водород, то они должны вместе с другими элементами образовывать новые для науки, неизвестные металлоподобные формы соединений, обладающих высокой плотностью, устойчивых при тех огромных давлениях и температурах, что царят в центре земного шара.

Другие исследователи уверены, что ядро земного шара состоит из железа. Что на самом деле находится не так уж далеко от нас, у нас под ногами, на глубинах, превышающих 3 тыс. км, пока еще никому не известно, но воды там, наверное, нет.

Больше всего воды в недрах Земли находится в ее мантии — слоях, расположенных под земной корой и простирающихся примерно на глубину до 3 тыс. км. Геологи считают, что в мантии сосредоточено не менее 13 млрд. куб. км воды.

Самый верхний слой земной оболочки — земная кора содержит еще примерно 1,5 млрд. куб. км воды. Почти вся вода в этих слоях находится в связанном состоянии — она входит в состав горных пород и минералов, образуя гидраты. В этой воде не выкупаешься и ее не выпьешь.

Гидросферу — водную оболочку земного шара образуют еще примерно 1,5 млрд. куб. км воды. Почти все это количество содержится в Мировом океане. Он занимает около 70% всей земной поверхности, его площадь — свыше 360 млн. кв. км. Из космоса наша

планета выглядит совсем не как земной шар, а, скорее, как водяной шар.

Средняя глубина Океана — около 4 км. Если сравнить эту «бездонную глубину» с размерами самого земного шара, средний диаметр которого равен 12 740 км, то тогда, наоборот, придется признать, что мы живем на мокрой планете, она только слегка смочена водой, да и то не по всей поверхности. Вода в океанах и морях соленая — пить ее нельзя.

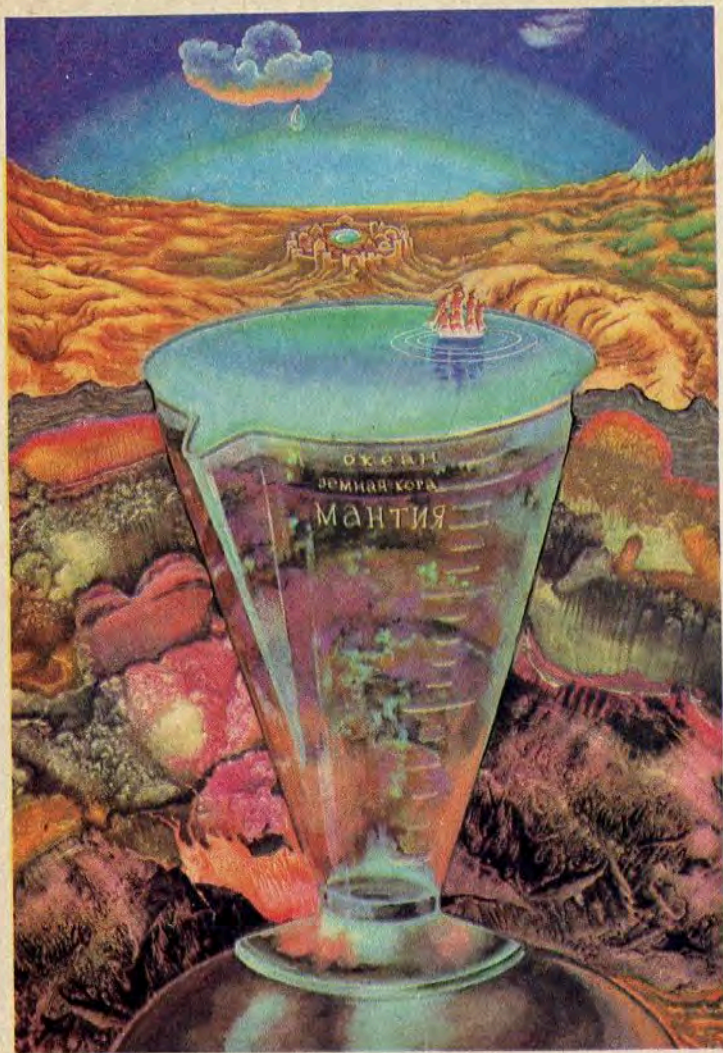
На суше воды совсем немного: всего только около 90 млн. куб. км. Из них более 60 млн. куб. км находится под землей, почти все это соленые воды. Около 25 млн. куб. км твердой воды лежит в горных и ледниковых районах, в Арктике, в Гренландии, в Антарктиде. Эти запасы воды на земном шаре заповедны. Беда, как считают многие ученые, если полярные льды вдруг начнут таять, — уровень Мирового океана тогда подымется более чем на 50 м и под водой скроются огромные пространства суши. Будут затоплены в результате гигантских катастрофических наводнений обширные плодородные низменности, и географическая карта мира изменится настолько, что все станет на ней неузнаваемым.

Бедствия будут неисчислимы. Метеорологи уверяют, что такое глобальное таяние льдов может начаться, если средняя температура на Земле подымется всего лишь на два градуса. Ледники занимают около 10% поверхности суши. Кроме того, на площади около 16 млн. кв. км находится область вечной мерзлоты, где всегда сохраняется подпочвенный слой льда, составляющий приблизительно 500 тыс. куб. км.

Во всех озерах, болотах, созданных человеком водохранилищах и в почве содержится еще 500 тыс. куб. км воды.

Вода присутствует и в атмосфере. В воздухе всегда, даже в самых безводных пустынях, где нет ни





капли воды и никогда не идет дождь, и то находится немало водяных паров. Кроме того, по небу всегда плывут облака, собираются тучи, идет снег, льют дожди, над землей стелются туманы. Все эти запасы воды в атмосфере подсчитаны точно: все они, вместе взятые, составляют всего только 14 тыс. куб. км.

Вот и все, что можно узнать о запасах воды на Земле и о том, где и как она распределена. К этому следует добавить, что вода на Земле никогда не остается неподвижной.

В природе всегда существует вечный круговорот воды, связывающий воедино все водные ресурсы нашей планеты, где бы они ни находились: в атмосфере, гидросфере, биосфере. Геологи считают, что даже из глубоких недр планеты ежегодно выносятся до одного кубического километра первозданной, ювенильной воды. Может быть, благодаря этому выносу за миллиарды лет существования земного шара и образовались все запасы воды на его поверхности. Правда, астрофизики уверяют, что вода имеет космическое происхождение.

Круговорот воды на Земле происходит за счет энергии Солнца. Вода испаряется, под действием воздушных течений разносится по всему свету, конденсируется, выпадает на земную поверхность, снова возвращается — стекает в Океан.

И так без конца.

Каждый год с поверхности Океана и с материков испаряется 520 тыс. куб. км воды, и вся она выпадает обратно в виде осадков — дождя и снега. Причем большая часть сразу попадает обратно в Океан — 410,5 тыс. куб. км, а остальное количество — 109,5 тыс. куб. км орошает сушу, обеспечивая существование всего живого на всех континентах нашей планеты. Всего только 37,4 тыс. куб. км стекает в течение года по руслу всех рек на всем свете обрат-



но в Океан. Остальное испаряется снова. При этом более одной трети воды с суши испаряется растениями.

**Почему же воды на Земле очень мало, когда ее так много?** Вот этот вопрос особенно важен. В самом деле, много воды на Земле или мало? А что такое «много» и что значит «мало»?

Как было уже сказано, ученые еще точно не знают, сколько воды на нашей планете, но они уверены, что не менее 16 млрд. куб. км.

А масса всего нашего земного шара равна приблизительно  $6,0 \cdot 10^{21}$  т. Значит, воды на Земле не менее чем четверть процента от массы всей планеты. Разве это мало?

А теперь попробуйте-ка наглядно представить себе только 1 куб. км воды. Вообразите (для воображения ведь все возможно) фантастический водяной куб высотой в километр. Он будет выше облаков. Целый небольшой город разместится свободно на его основании. В нем будет содержаться 1 млрд. т воды, и этого хватит всем людям на свете, всему человечеству, чтобы утолить жажду примерно в течение полугода.

Только одни реки выносят в Мировой океан каждый год около 40 тыс. куб. км воды. Значит, только один годовой сток рек может обеспечить питьевой пресной водой всех людей на Земле, по крайней мере, на двадцать пять тысяч лет. Разве это мало?

Да, конечно, это очень много! Но дело в том, что человеку нужно воды тоже очень много. Его потребности в воде уже стали сравнимыми с возобновляемыми ресурсами пресной воды на планете.

Человеку нужна хорошая, чистая пресная вода. Без нее он жить не может.

Без воды не будет расти хлеб на полях. Без воды не могут работать заводы. Встанут и тепловые и

атомные электростанции. Вода нужна и сельскому хозяйству, и промышленности.

Сколько же ее нужно обществу? На что это драгоценное вещество тратит человек?

Уже теперь, в наши дни, люди каждый год забирают из рек и озер для своих нужд приблизительно 2 тыс. куб. км пресной воды, что составляет около одной двадцатой части годового стока всех рек земного шара, или около 13% их устойчивого стока. Больше всего воды расходуют на орошаемое земледелие. В засушливых зонах часто значительная доля воды огромных рек расходуется на орошение полей. В Египте воды Нила поступают на поля наполовину, а из бурной и капризной реки Сырдарьи на орошение полей Казахстана расходуется две трети годового стока, и до Аральского моря доходит едва одна треть.

Для целей водоснабжения из рек земного шара извлекается 150 куб. км воды. Она идет на бытовые нужды и на снабжение промышленности. Этот расход с первого взгляда кажется незначительным — он составляет всего лишь 1% от устойчивого годового стока, и, казалось бы, можно не опасаться истощения водных ресурсов, но, к сожалению, это не так... перед человечеством встает совершенно реальная угроза жестокого водного голода, который в отдельных районах, в наиболее развитых промышленных странах Запада, уже почти наступил.

Дело в том, что кроме 150 куб. км воды, что люди извлекают для своих нужд из рек, для водоснабжения расходуется еще 400—500 куб. км воды, забираемой из озер и из подземных источников. А всего же для обеспечения коммунального и промышленного водоснабжения во всем мире расходуется почти 600 куб. км пресной воды.

Из этого огромного количества расходуется безвозвратно всего только 150 куб. км воды, а остальная отработанная, загрязненная сточная вода поступает



обратно в реки и водоемы, отравляя их, делая их непригодными для человека и жизни.

Для того чтобы обезвредить сточные воды, необходимо их предварительно тщательно очистить, а потом еще разбавить чистой природной водой приблизительно в 10 раз, а неочищенные сточные воды необходимо разбавлять перед сбросом в реки и водоемы в 20—60 раз. На это в мире расходуется около 6 тыс. куб. км чистой воды. Сопоставив этот расход с величиной мирового устойчивого стока рек, нетрудно почувствовать страшную угрозу призрака водного голода, встающего перед человечеством.

Уже теперь на обезвреживание загрязненных промышленных и бытовых сточных вод расходуется ежегодно почти 40% всего устойчивого мирового стока пресной воды, что втрое больше ее расхода на все нужды человечества.

Водный кризис угрожает обществу не потому, что на Земле не хватает воды, а потому, что своей деятельностью человек при существующей технологии, при современной организации промышленного производства вынужден загрязнять и портить огромные количества природной чистой воды. В загрязненной сточными сбросами речной воде гибнет жизнь, исчезает рыба, сначала бурно разрастается сорная водная растительность, а затем гибнут и водоросли, развивается вредная микрофлора, загнивающие воды отравляют и воздух, становятся источником тяжелых заболеваний.

Прославленные в легендах чистые воды Рейна — одной из главных рек Европы — уже больше не существуют. Рейн стал грязной сточной канавой.

**Значит, воду нужно беречь? Как?** Да! На свете нет ничего более драгоценного, чем чудесная самая обыкновенная чистая вода. Без нее нет и не может быть жизни. Воду нужно беречь. Это должен понять

и запомнить каждый, какую бы дорогу он ни наметил для себя в будущем. Кем бы он ни хотел стать, где бы ни стал работать, что бы ни делал, каждый обязан помнить — воду нужно беречь! Это значит беречь жизнь, беречь здоровье, беречь благосостояние, беречь красоту окружающей природы.

Все, что существует в природе, объединено в неразрывное целое сложными и часто неожиданными связями. В этой маленькой книжке, к сожалению, нет места, чтобы об этом рассказать. Здесь будет все же уместен один пример. Чтобы река была полноводной, по ее берегам должны расти леса. Лес накапливает и охраняет запасы почвенной влаги, питающей реку. Чтобы сберечь воду — нужно беречь и выращивать лес. А леса от вредителей заботливо охраняют муравьи (правда, они не могут защитить его от пилы и топора). И жизнь большой реки связана с жизнью маленького муравья. Каждый, кто даже просто гуляет в лесу, обязан беречь и охранять его жилище.

И это тоже будет забота о воде.

Кому в будущем придется заботиться о выращивании хлеба, следует помнить, что землю надо обрабатывать так, чтобы весенняя влага при таянии снегов не могла бы бесполезно стекать с полей.

Кто собирается занять место за рулем автомашины, должен знать, что вылить на землю горючее или отработанное масло и мыть в реке машину — преступление. Каждый килограмм нефти и бензина, попадающий в воду, отравляет тысячи кубометров воды в реке или почвенной влаги и делает их вредоносными для всего живого.

Если из неисправного крана течет струйка воды — кран надо исправить и закрыть. Иначе пропадет немало кубометров драгоценной влаги, и ее кто-то не выпьет, кто-то где-то не умоется, а может быть, ее кому-то не хватит, чтобы замесить тесто



и выпечь хлеб. И кроме того, бесполезно пропадет огромный труд, затраченный на то, чтобы очистить воду от посторонних загрязнений, от множества болезнетворных бактерий и кристально чистую подвести ее к вашему крану. На это уже израсходовано немало киловатт-часов энергии, и из-за этой бесполезной потери где-то не загорится свет, кому-то не будет шить костюм, не будет выплавлена сталь, задержится постройка дома.

Все те, кто будет держать в руках эту книжку, кем бы они ни мечтали стать — химиками, металлургами, машиностроителями; чтобы ни стали делать — создавать новые замечательные процессы, рассчитывать новые аппараты, проектировать и строить новые мощные тепловые и атомные электростанции, — все обязаны знать и помнить: все, что будет ими создано вновь, все новые предприятия, промышленные центры, города должны быть так разработаны, так спроектированы и так построены, чтобы эти новостройки не наносили ущерба природной среде, чтобы они не загрязняли и не отравляли водные бассейны, воздушную среду, землю.

На нашей прекрасной Земле должно быть вволю чистой воды, человек на ней постоянно должен дышать чистым воздухом.

Современная наука, а главное, наш новый социалистический общественный строй создали для вас все возможности успешного решения этой важнейшей задачи современности.

**А какое из свойств воды можно назвать самым важным?** Такой вопрос просто нельзя задавать. В науке, как и в природе, нет ничего самого важного, равно как нет и ничего второстепенного. В великой и неразрывной цепи взаимодействия всего существующего в мире нет большого и малого. Если взять свойства воды — те, которые уже достаточно хорошо

исследованы учеными, — и мысленно, так, как это делается в фантастических романах, хоть немного их изменить, вряд ли найдется такой писатель-фантаст, который смог бы предугадать и описать все те величайшие последствия и изменения, которые это вызовет в мире, где мы живем. Сможем ли тогда мы его узнать и будем ли в нем мы?

Но если уж этот вопрос задан, то и на него приходится отвечать.

Все-таки самое важное в мире — это жизнь. Жизнь — вершина развития материи. А без воды нет жизни — такой жизни наука в мире еще не нашла. Нет ни одного известного нам живого организма, который мог бы жить и развиваться без воды. В нашем теле воды свыше 65%. Без воды мы не можем прожить и нескольких дней. Все процессы в нашем организме протекают в водной среде и с участием воды. И с этой точки зрения самое важное — то во многом еще загадочное и таинственное свойство воды, которое делает ее основой жизни. Науке еще только предстоит его разгадать. Но ясно, что в природе нет для нас ничего драгоценнее воды.

**Все ли свойства воды понятны ученым?** Конечно, нет! Вода — загадочное вещество. До сих пор ученые не могут еще понять и объяснить очень многие ее свойства.

Можно ли сомневаться, что все подобные загадки будут успешно разрешены наукой. Но будет открыто еще немало новых, еще более удивительных, загадочных свойств воды — самого необыкновенного вещества в мире.

**Все ли свойства воды уже перечислены в этой книге?** Нет, к сожалению, далеко не все. Не хватило места даже для наиболее интересных. Но тот, кто захочет подробно познакомиться со всеми свойствами воды,

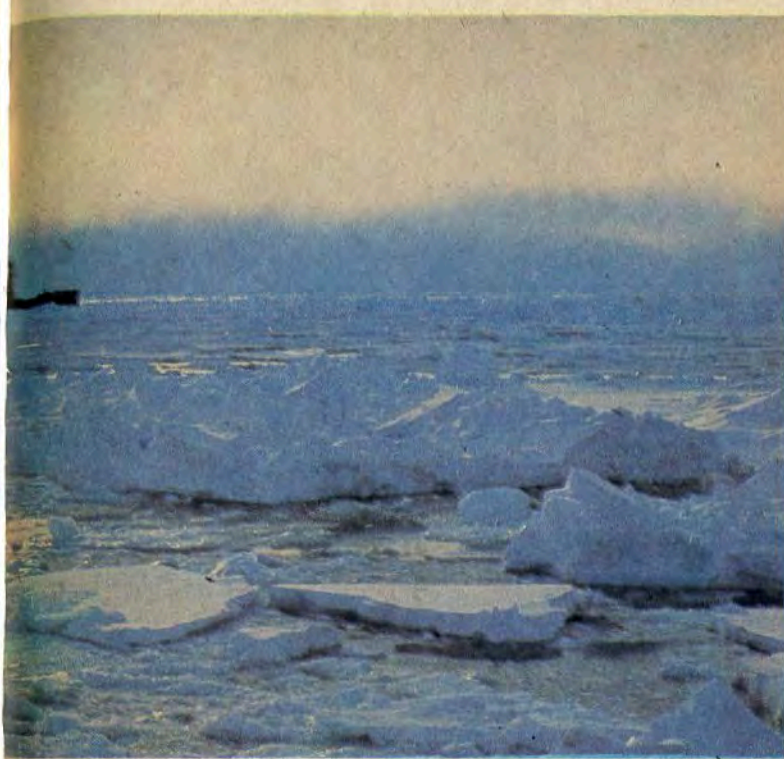




которые уже изучены, сможет это сделать самостоятельно.

Для этого ему нужно будет прочесть во всех научных библиотеках мира все уже вышедшие журналы и книги, где напечатаны научные работы по химии, физике, биологии, физиологии, биохимии, биофизике, геологии, геохимии.

Придется изучить и многие работы по астрономии и астрофизике (интересно, есть ли вода на планетах, в межзвездном пространстве, в далеких галактиках?



И как ее там изучают астрономы?). Надо будет изучить работы по зоологии и ботанике (ни животные, ни растения без воды жить не могут). Рыбы и микроорганизмы живут в воде — придется читать работы по ихтиологии и микробиологии.

Само собой разумеется, что нельзя пропустить книги по гидрологии, океанологии, лимнологии (это очень интересная наука об озерах), необходимо также изучить работы ученых по теории рек, их образованию и жизни, тщательно проработать все, что



известно по гляциологии (это очень важная наука о свойствах льда — она помогает строить большие города на далеком севере), по спелеологии (ведь пещеры в недрах Земли созданы водой, и это тоже ее свойство).

Без термодинамики нельзя понять роль воды в энергетике (ведь все тепловые электростанции работают на водяном паре, а гидростанции — на воде). Придется изучить и ядерную физику (зачем атомной энергетике нужна тяжелая вода). Есть еще очень обширная и трудная наука — гидравлика.

Придется изучить ряд разделов электротехники — без этой науки невозможно усвоить электрохимию, большинство процессов которой протекает в водных растворах.

Где и какие реки, моря и океаны расположены на Земле, рассказано в работах по географии. Совершенно особые свойства воды изучает навигация — наука о кораблевождении и теория кораблестроения.

Очень много интересного о воде можно узнать из книг по метеорологии — науке, которая изучает, почему рождаются тучи и идет из них дождь.

Нельзя оставить без внимания научные работы по медицине — и в человеке все жизненные процессы протекают в водной среде.

Может быть, вы думаете, что можно пропустить сочинения по истории, по экономике? Нет, их развитие определялось на нашей планете водными путями сообщения.

Наверное, можно назвать, если хорошенько подумать, еще много отраслей знаний, в которых изучаются свойства воды. Попробуйте подумать сами.

**Все ли уже известно о воде?** Сравнительно недавно, в 30-х годах нашего века, химики были уверены, что состав воды им хорошо известен. Но однажды одному из них пришлось измерить плотность остатка

воды после электролиза. Он был удивлен: плотность оказалась на несколько стотысячных долей выше нормальной.

В науке нет ничего незначительного. Эта ничтожная разница потребовала объяснения. В результате ученые открыли много новых больших тайн природы. Они узнали, что вода очень сложна. Были найдены новые изотопные формы воды. Добыта из обычной тяжелая вода; оказалось, что она совершенно необходима для энергетики будущего. Теперь во всех странах мира физики упорно и неустанно работают над решением этой великой задачи. А началось все с простого измерения самой обычной, будничной и неинтересной величины — плотность воды измерена точнее на лишний десятичный знак.

Каждое новое, более точное измерение, каждый новый верный расчет, каждое новое наблюдение не только повышает уверенность в знании и надежности уже добытого и известного, но и раздвигает границы неведомого и еще не познанного и прокладывает к ним новые пути.

**Нет предела человеческому разуму, нет предела его возможностям; и то, что мы теперь так много знаем о природе и свойствах поистине самого удивительного в мире вещества — о воде, открывает перед вами, перед теми, кто читает книгу, еще большие, неограниченные возможности. И кто может сказать, что вы еще узнаете, что откроете нового, еще более необычайного.**

**Умейте только  
видеть и удивляться.**

**Вода, как и все в мире, неисчерпаема.**





**Самое  
необыкновенное  
вещество  
в мире**

*Игорь Васильевич  
Петрянов*

Для среднего и старшего  
школьного возраста

**Художник  
Н. Доброхотова-  
Майкова**

Заведующий  
редакцией  
**В. Ю. Кирьянов**  
Редактор  
**Т. П. Минина**

Художественный  
редактор  
**В. П. Храмов**  
Технические  
редакторы  
**Т. Е. Морозова,  
Т. Г. Иванова.**

Корректор  
**М. А. Суворова**

ИБ № 557

Сдано в набор 25.03.80.  
Подписано в печать  
28.11.80. А14194. Формат  
70×100/32. Бумага  
офсетная № 2. Усл. печ.  
л. 3,87. Уч.-изд. л. 4,14.  
Тираж 200 000 экз. Печать  
офсет. Гарнитура «Школьная». Заказ № 1651. Цена  
25 коп.

Издательство «Педагогика» Академии педагогических наук СССР и Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

Москва, 107847, Лефортовский пер., 8.

Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

г. Калинин, пр. Ленина, 5.

**Содержание**

**Что такое вода?**

**3**

**Вода во Вселенной**

**24**

**Свойства воды**

**33**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ПЕДАГОГИКА»**



25 коп.

Читайте  
следующую  
книгу  
библиотечки  
«Ученые —  
школьнику»!

Книга «Монеты рассказы-  
вают» посвящена науке нумиз-  
матике, показывает ее значе-  
ние в изучении истории  
человечества, экономической  
жизни и торговых связей на-  
родов, для раскрытия тайн  
прошлого.

В книге рассказывается о ро-  
ли изображений и надписей на  
монетах, о работе монетного  
двора, об истории названий  
монет и о многом другом.

Автор — советский ученый,  
доктор исторических наук  
Г. А. Федоров-Давыдов знако-  
мит читателей с историей ну-  
мизматики, ее основными по-  
нятиями и методами. Он  
доказывает, что нумизмати-  
ка — это не простое коллек-  
ционирование монет, а отрасль  
исторической науки, требую-  
щая огромного труда и серьез-  
ного увлечения. Показаны  
пути научного поиска в этой  
науке.

Юные читатели найдут в кни-  
ге увлекательные истории о  
монетах Древней Греции и  
Рима, арабского Востока и  
Византии, Древней Руси и  
средневековой Европы, о день-  
гах и монетах недавнего про-  
шлого и современных, о разви-  
тии нумизматики в нашей  
стране.

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ПЕДАГОГИКА»