



# Занимательная Наука

Усенков Дмитрий Юрьевич

## ПОЧЕМУ ВОДА МОКРАЯ?

Это – частый вопрос у детишек. Вроде это очевидно – раз вода, то в ней положено мокнуть. Но все же – почему?

Для начала заметим: говорить, что вода «мокрая», не совсем корректно. Мокрыми становятся предметы, которые побывали в воде. Так что правильнее было бы спросить: почему вода делает вещи мокрыми?

### СМАЧИВАНИЕ

Способность воды (и других жидкостей) делать предметы мокрыми определяется таким физическим эффектом как *смачивание*.



Капли воды, попадая на кожу, на металлические крыши, на дерево..., растекаются по поверхности в тонкий слой...

Капли воды, попадая на кожу, на металлические крыши, на дерево и пр., растекаются по поверхности в тонкий слой, а если поверхность пористая (как, например, ткань или губка), то впитываются в нее – это всё то же смачивание, которое происходит не только по внешней поверхности, но и по всем поверхностям внутри пор.

Есть, впрочем, и вещи, которые отталкивают воду – не дают ей растечься, как, например, пропитанная специальным химическим составом ткань зонтика или плаща; такие водоотталкивающие растворы называют *гидрофобными* – от древнегреческих слов «ὑδωρ» («гидро») – «вода» и «φόβος» («фобос») – «боязнь», «страх».

Таким веществом, не смачиваемым водой, является, например, всем известный *тефлон* (другое популярное техническое название этой пластмассы – *фторопласт*). Сегодня тефлоном не только покрывают сковородки и кастрюли в качестве антипригарного покрытия, но и пропитывают им одежду для геологов, альпинистов, горнолыжников, а также делают красивые, не боящиеся загрязнений скатерти (рис. 1).

Свойство той или иной жидкости смачивать или не смачивать те или иные предметы зависит от физических и химических свойств как жидкости, так и смачиваемого ею вещества. Например, ртуть<sup>1</sup> не смачивает почти никакие вещества, раскатываясь на

<sup>1</sup> Внимание! Ртуть – опасное химическое вещество! В домашних условиях никакие эксперименты с ней проводить нельзя! – Прим. ред.



Рис. 1. Тефлоновая скатерть отталкивает воду



Рис. 2. Капли ртути на деревянном полу

них мелкими шариками (рис. 2, 3) и потому особенно опасна: такие шарики легко дробятся на все более мелкие, и собрать их для утилизации становится очень сложно. Но вот, например, медь, цинк, серебро или золото ртутью смачиваются хорошо, образуя с ней особого вида раствор – амальгаму (рис. 4).

А, например, гелий – который большинству из нас знаком только в виде легкого газа, которым надувают воздушные шарики, – это уникальное вещество, которое при сильном охлаждении не только превращается в жидкость, но и (при температурах, близких к абсолютному нулю) приобретает свойство *сверхтекучести*. Если температура жидкого гелия ниже, чем 2,17 К (– 271 °С), то гелий практически полностью теряет вязкость, а благодаря высокой способности к смачиванию начинает «ползти» по любой поверхности (например стенкам пробирки) во всех направлениях – даже вверх, против силы тяжести! Это необычное свойство гелия было экспериментально установлено в 1938 г. советским физиком академиком Петром Леонидовичем Капицей. Жидкий гелий, обладающий свойствами обычной жидкости (до температуры 2,17 К), П. Л. Капица назвал «гелием-I», а новый, сверхтекучий гелий – «гелием-II» (рис. 5).

А что делать, если нужно сделать мокрым не смачиваемое (или плохо смачиваемое)? С такой проблемой приходится каждому из нас сталкиваться каждый день. Это – мытье рук, умывание, а также стирка. Дело в том, что жиры как раз и являются гидрофобными веществами, они хорошо отталкивают воду – именно поэтому водоплавающие



Рис. 3. Ртуть плохо смачивает даже... саму себя и потому легко разбивается на отдельные капли



Рис. 4. Образование ртутной амальгамы при смачивании поверхности медной монеты

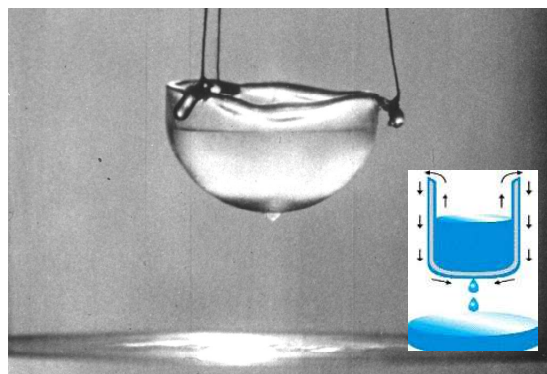
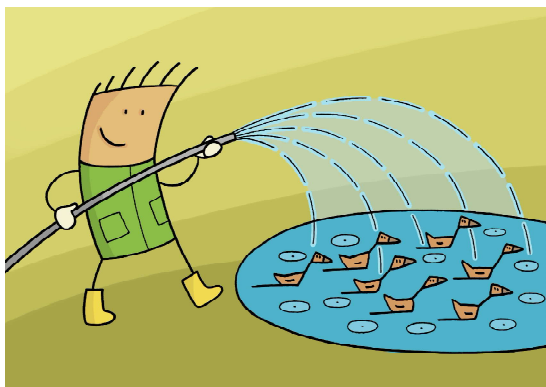


Рис. 5. Самопроизвольное вытекание гелия из емкости через ее стенки, вызванное явлением сверхтекучести



А что делать, если нужно сделать мокрым не смачиваемое...

птицы и обитающие в воде животные смазывают перья и шерсть жировыми выделениями своей кожи, чтобы не намокать в воде – благодаря этому между шерстинками или пуховыми перьями сохраняется воздух, который препятствует переохлаждению. Такие жировые вещества, отталкивающие воду, выделяет и кожа человека, поэтому волосы, если их не мыть, становятся «салынными», а нестиранная одежда со временем «засаливается». В результате при мытье или стирке вода не может растворить и смыть с кожи или ткани находящиеся на них загрязнения. И приходится опять-таки прибегать к помощи химии – ведь вещества бывают не только гидрофобные, но и *гидрофильные* – наоборот, «любящие воду» – хорошо смачиваемые водой либо даже «помогающие» воде смачивать другие предметы. Среди таких гидрофильных веществ – всем известное мыло, стиральные порошки и другие моющие средства.

### ЧТО ТАКОЕ СМАЧИВАНИЕ

Однако же мы пока еще не ответили на вопрос: почему вода смачивает какие-то

предметы, делает их мокрыми, а другие предметы или вещества водой не смачиваются?

Ответ – в особой структуре молекул воды, которые имеют *электрическую полярность*.

В молекуле воды, которая, как все знают еще со школы, состоит из одного атома кислорода и двух водорода<sup>1</sup>, эти самые атомы водорода расположены «однорядно»: атомы как бы расположены в углах равнобедренного треугольника, вершина которого – это атом кислорода, а при основании располагается водород. Угол при вершине этого треугольника при этом составляет  $104,45^\circ$ , а длина стороны примерно равна  $0,096$  нм (рис. 6). (На самом деле структура молекулы воды несколько сложнее – если соединить эпицентры положительных и отрицательных зарядов прямыми линиями, то получается уже объемная геометрическая фигура – правильный тетраэдр, но для наших рассуждений это не так уж важно.)

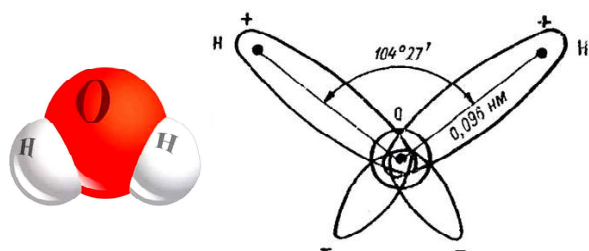
Из-за такой несимметричности молекула воды представляет собой *диполь* – кислород «отбирает» у атомов водорода их электроны, «оттягивая» их в свою электронную орбиту, и за счет этого соответствующий «бок» молекулы воды приобретает отрицательный заряд, а оставшиеся без электронов атомы водорода «с другого бока» получают заряд положительный.

Как известно, «плюсы» и «минусы» всегда стремятся притянуться друг к другу. Это происходит и с молекулами воды: отрицательные их «бока» так и норовят «прилипнуть» к положительным «боякам» своих соседей, и наоборот. А в результате между молекулами воды образуются так называемые *водородные связи* – особый вид взаимодействия, который не является ни хими-

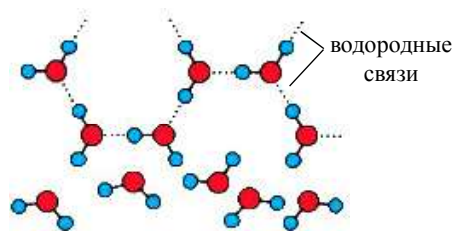
<sup>1</sup> Возможны и другие молекулы воды! Например, согласно теоретическим расчетам, при низких температурах, кроме привычных нам молекул воды вида Н-О-Н, возможны молекулы с большим числом атомов кислорода – Н-О-О-Н и даже Н-О-О-О-Н. А одна из групп ученых, пытаясь опровергнуть эти расчеты и доказать невозможность существования «трехкислородной» молекулы воды  $H_2O_3$ , в результате... открыла эту самую трехкислородную! Молекула этого химического соединения имеет зигзагообразный вид (похожий на созвездие Кассиопеи):



Само это вещество устойчиво только при низких температурах (намного ниже  $0^\circ\text{C}$ ), а при незначительном нагреве легко разлагается на обычную воду и кислород. – *Прим. авт.*



**Рис. 6.** Примерный вид молекулы воды с учетом размеров атомов (слева) и структура молекулы воды (справа)



**Рис. 7.** Молекулы воды и возникающие между ними водородные связи (точечные линии)

ческим, ни внутриатомным, а, скорее, электрическим. Из-за этого вода приобретает свойства полимера – можно даже в какой-то степени утверждать, что вся вода морей и океанов нашей планеты представляет собой одну огромную единую молекулу.

Водородные связи заставляют каждую молекулу воды «цепляться» с четырьмя соседними молекулами, образуя упорядоченную структуру – свойство, характерное для твердых кристаллов, но не для жидкостей (рис. 7).

Конечно, водородные связи – короткоживущие, они быстро разрываются, а затем спонтанно возникают вновь. Но из-за этого вода приобретает поистине удивительные свойства, благодаря которым вообще возможна жизнь на Земле.

Например, благодаря водородным связям, температура кипения воды гораздо выше, чем должна была бы быть. Существует закономерность: для элементов, принадлежащих к одной и той же группе в таблице Менделеева, чем меньше атомный вес элемента (и, соответственно, чем меньше его атомный номер), тем ниже температура кипения его соединений. И если сравнить воду (по своему химическому составу – гидрид кислорода) с ее ближайшими «родственниками» – гидридами теллура, селена и серы, то получается, что вода должна была закипать... уже при  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ! А вода, как мы знаем, закипает только при  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то есть на целых 180 градусов (!) горячее. Так что если бы не водородные связи, которые заставляют молекулы воды «дружить» между собой более тесно и не дают им при нагреве слишком быстро «разбежаться» друг от друга, то на нашей планете не было бы не только льда,

но и обычной жидкой воды – она давно вся превратилась бы в пар.

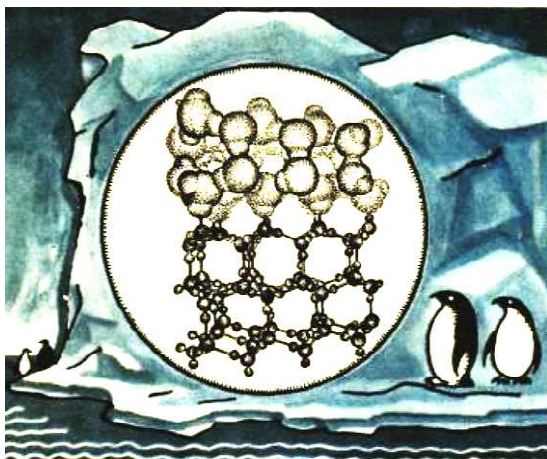
Кстати, и лед со снегом тоже должны быть «благодарны» водородным связям за свое существование. Согласно расположению кислорода в таблице Менделеева, вода должна была бы замерзать при температуре  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Более того, именно благодаря тому, что водородные связи образуются только под определенным углом, лед имеет особую кристаллическую структуру, составленную из правильных шестиугольников. По этой же причине и снежинки приобретают при замерзании капелек воды такие красивые геометрические формы в виде шестилучевых звезд.

Но дело даже не в красоте. Пространственная структура льда получается очень рыхлой, в ней очень много пустот. Поэтому, в отличие от большинства других веществ, вода в твердом состоянии легче, чем в жидком. Даже после плавления льда при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в образующейся жидкой воде еще растворе-



*...снежинки приобретают... такие красивые геометрические формы...*





**Рис. 8.** Пространственная структура льда очень рыхлая

ны остатки кристаллической структуры воды твердой («раствор воды в воде!»), поэтому наибольшую плотность вода имеет при температуре +4 °С (рис. 8).

Благодаря тому, что лед легче жидкой воды, на нашей планете зимой водоемы обычно не промерзают до самого дна: лед намерзает сверху и укрывает остающуюся жидкой воду, словно одеялом. А если бы не было этого замечательного свойства, то образующийся лед сразу же опускался бы на дно, взамен него намерзали бы все новые слои льда, и так – пока вся жидкая вода не превратилась бы в твердый лед. В итоге, как легко догадаться, на Земле не смогли бы выжить никакие обитатели рек, озер, прудов и морей, – впрочем, равно как и наземные обитатели.

Другое порождаемое водородными связями чудо – это *поверхностное натяжение*. Данный эффект в той или иной мере харак-



**Рис. 9.** Жук-водомерка на поверхности воды (видно, как «пленка» поверхностного натяжения прогибается под лапками жука)

терен для любой жидкости: некоторый ее объем всегда стремится уменьшить площадь образуемой поверхности. Поэтому, например, в невесомости капли всегда приобретают шарообразную форму (сфера – это как раз и есть поверхность наименьшей площади для заданного объема).

Из-за того, что молекулы воды так крепко держатся друг за друга, вода – один из «рекордсменов» по силе поверхностного натяжения (при нормальной комнатной температуре разве только ртуть имеет существенно большее значение силы поверхностного натяжения, чем вода). А благодаря силе поверхностного натяжения становится реальным целый ряд интереснейших физических эффектов. Именно благодаря возникающей на границе между водой и воздухом «пленке» поверхностного натяжения по воде могут так быстро бегать жуки-водомерки (рис. 9), плавают и не тонут мелкие объекты, плотность которых больше, чем плотность воды (рис. 10), и т. д.

Впрочем, в этих чудесах значительную роль играет и интересующий нас эффект смачивания, который тоже порожден дипольной структурой молекул воды.

Если молекулы воды хорошо «прилипают» к гидрофильным молекулам других веществ и сила этой взаимосвязи больше, чем сила связей между молекулами воды, то при последующем отрыве смачиваемой поверхности от воды часть молекул воды остается на этой поверхности, и она остается мокрой. Для гидрофобных же веществ сила связей между молекулами воды больше, чем сила «прилипания» молекул воды к поверхности

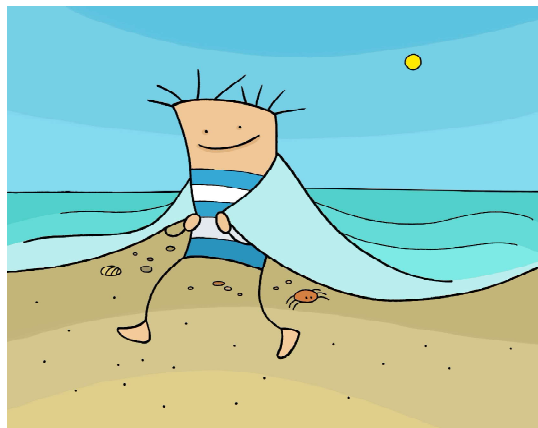


**Рис. 10.** Монета плавает на поверхности воды за счет сил поверхностного натяжения, которые вместе с архимедовой силой уравнивают силу тяжести

таких веществ, и на этой поверхности воды почти не остается – тогда мы говорим, что смачивание отсутствует.

В зависимости от того, происходит ли смачивание, капля по-разному ведет себя, оказавшись на плоской поверхности. В одном случае (например на стекле) она «старается» сформировать как можно большую по площади поверхность соприкосновения, в другом (например на поверхности из полистирола) – минимизировать площадь соприкосновения. Соответственно, капли или растекаются, или собираются в шарики (рис. 11).

А что будет, если смачиваемая поверхность расположена не горизонтально, а вертикально? Тогда ровная (теоретически) горизонтальная поверхность воды изогнется и превратится в мениск: если смачивание происходит (как в случае со стеклом), то вода по краям сосуда будет стремиться «всползти» вверх, несмотря на действие силы тяже-



...молекулы воды хорошо «прилипают» к гидрофильным молекулам других веществ...

сти (правда, совсем невысоко – все же это не сверхтекучий гелий!), и поверхность воды станет вогнутой. А если смачивания не происходит – тогда по краям вода будет, наоборот, «отталкиваться» от стенок сосуда, и поверхность воды станет выпуклой (рис. 12).

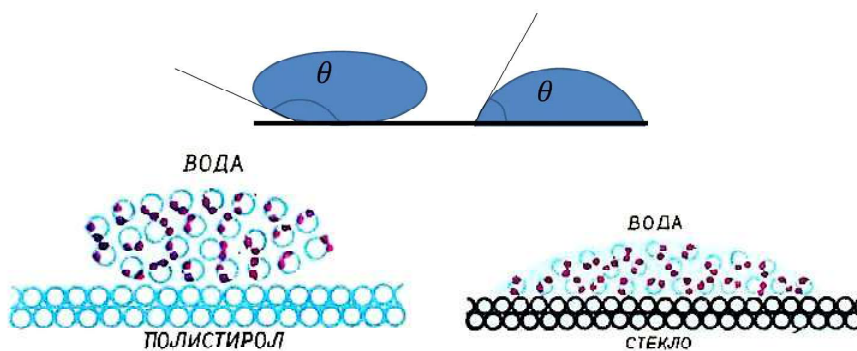


Рис. 11. Смачивание водой стекла (справа) и несмачивание полистирола (слева)

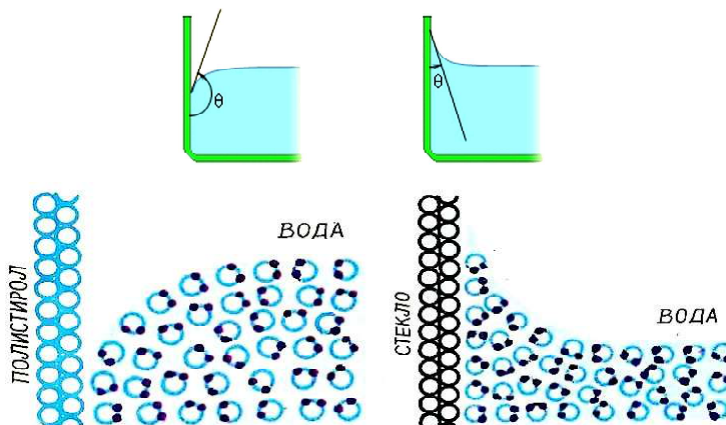


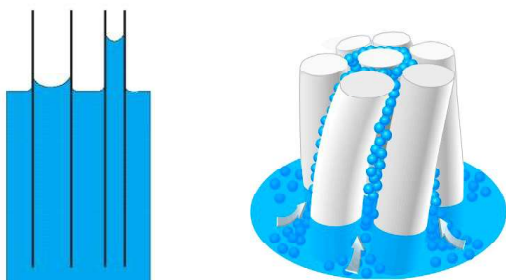
Рис.12. Образование мениска при смачивании водой стекла (справа) и несмачивании полистирола (слева)

Описанные выше эффекты смачивания порождают целый ряд интересных явлений, при обсуждении которых нужно, однако, не забывать, что поверхности предметов, которые нас окружают, практически всегда чем-то загрязнены. В частности, тем самым гидрофобным кожным жиром, который всегда есть у нас на руках.

Вот, например, показанный выше «фокус» с монетой, лежащей на поверхности воды. Монета, которую до этого, наверное, очень многие люди держали в руках, наверняка покрыта тонким жировым слоем. Он отталкивает воду, и это помогает монете удержаться «на плаву» за счет силы поверхностного натяжения.

Точно так же покрытыми жиром оказываются стенки (особенно края) посуды, и это позволяет дать оригинальный ответ на загадку: как налить в стакан воды больше его объема? Если доливать воду достаточно аккуратно, то за счет отталкивания от краев стакана поверхность воды выгнется «пузырем» и поднимется над краями стакана. (Кстати, если заранее смазать эти края маслом, фокус станет еще более наглядным.)

Другое интересное явление – капиллярный эффект. Как мы только что видели, вода стремится подняться вверх по стенке сосуда, если эта стенка водой хорошо смачивается. Но воде в этом мешает сила тяжести, поэтому средняя часть поверхности воды остается горизонтальной. А что будет, если убрать эту среднюю часть поверхности? То есть сделать сосуд таким узким, что практически все его сечение будет представлять



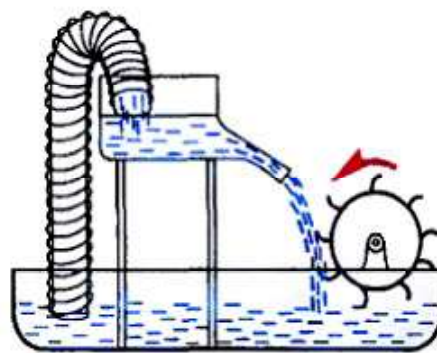
**Рис. 13.** Капиллярный эффект: чем тоньше сосуд, тем на большую высоту поднимается вода за счет смачивания его поверхности (слева). В тряпичном фитиле промежутки между волокнами представляют собой капилляры (справа)

собой области возле его стенок? Тогда вода поползет вверх, и, чем тоньше будет наш сосуд, тем на большую высоту в нем поднимется вода за счет сил смачивания: ведь величина этих сил, «тянущих» воду вверх, зависит от площади смачиваемых стенок, а масса капли воды в более тонком канале становится все меньше (рис. 13)!

И если сделать сосуд (канал) совсем уж тонкосенным – а такие сверхтонкие «трубочки» как раз и называют *капиллярами*, то вода, невзирая на силы земного тяготения, поползет по нему вверх! Правда, и сверху она выливаться тоже не будет: ее удержат в канале те же самые силы смачивания, так что «вечный двигатель» таким способом получить не удастся (рис. 14).

А что собой представляет ткань? Не что иное, как набор все тех же капилляров в виде просветов между нитями! Именно поэтому в воде так легко намокает полотенце, которое ну хоть уголком случайно по недосмотру угодит в таз с водой. А если это полотенце еще и свешивается вниз, то оно и вовсе сработает как сифон и постепенно вытянет и выльет наружу всю воду из таза, до которой только «дотянется».

А что будет, если стенки капилляра гидрофобны? Очевидно, уровень воды в капилляре будет становиться тем ниже, чем тонь-



**Рис. 14.** Проект «вечного двигателя» с использованием капиллярных эффектов: по задумке его автора вода из нижнего бассейна должна по фитилю подниматься в верхний бассейн за счет капиллярного эффекта, а затем стекать вниз, вращая колесо. В реальности такой «вечный двигатель» невозможен, так как те же самые капиллярные силы удержат воду в фитиле, не давая ей стекать в верхний бассейн



ше капилляр. А в идеале – вода будет просто вытолкнута из капилляра наружу. То есть нам вовсе не обязательно делать гидрофобную поверхность сплошной, если она будет пористой, то воздух сквозь нее проходить будет, а вот вода окажется такой «стенкой» из капилляров надежно остановлена.

Именно так работают водоотталкивающие пропитки ткани: они обволакивают каждую нить, заключая ее как бы в «чехол» из гидрофобного вещества. И, хотя промежутки между нитями остаются свободными, так что телу в такой одежде легко «дышится», а водяные пары при испарении пота практически беспрепятственно выходят наружу, жидкая вода (скажем, дождевая) сквозь эту ткань не просочится.

При желании указанный эффект можно воспроизвести и в «макро-объеме», демонстрируя окружающим забавный фокус, опровергающий всем известную поговорку про «воду в решетке»: если старое решето покрыть, например, парафином (обладающим водоотталкивающим свойством), предварительно его растопив, то в это решето можно будет налить воды, и она (если, конечно, при переноске решето не очень трясти) выливаться из него не будет! Хотя ячейки решета останутся практически свободными, и при желании сквозь него можно даже просеивать муку...

Подобное происходит и для ткани: если она покрыта гидрофобным составом, то микронеровности усиливают эффект водоотталкивания. На этом основан, например, так называемый «эффект лотоса». Лотос издревле почитается на Востоке как символ чистоты, поскольку его лепестки даже в болотной грязи всегда остаются сухими и белоснежными. Почему это так, ученые выяснили сравнительно недавно. Оказалось, что причина – не только в гидрофобном воскоподобном покрытии лепестков, но и в особой микроструктуре их поверхности. Рельеф лепестка лотоса представляет собой сочетание «холмов» и «впадин» микронного размера, покрытых отдельными крупинками гидрофобного вещества диаметром в несколько нанометров. Попав на такую поверхность, капля принимает форму, близкую к



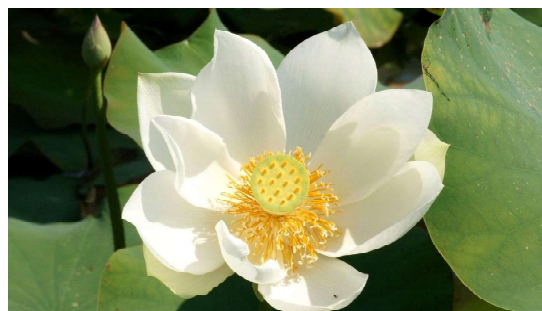
*Но если это полотенце еще и свешивается вниз, то оно... постепенно вытянет и выльет наружу всю воду...*

сферической, и легко скатывается с нее, унося с собой и частицы загрязнений (рис. 15).

А как работают поверхностно-активные вещества (ПАВ), например, мыло? Почему они заставляют воду растворять даже гидрофобные вещества (скажем, жир)?

Особенность молекулы ПАВ – в том, что она тоже «дипольна». Причем один ее полюс гидрофилен, а другой гидрофобен, но обладает хорошим «средством» с отмываемым веществом (жиром). Поэтому обычно молекулу ПАВ условно изображают в виде «головастика» с круглой гидрофильной «головкой» и длинным «хвостиком».

В результате если ПАВ растворить в воде, то такие молекулы своими «хвостами» легко прилипают к жировым загрязнениям. А вода «тянет» к себе «головки» этих молекул, так что частички жира просто отрываются от своего первоначального место-



**Рис. 15.** Благодаря капиллярным эффектам в сочетании с гидрофобным покрытием, лепестки лотоса остаются чистыми и белыми даже в болотной грязи



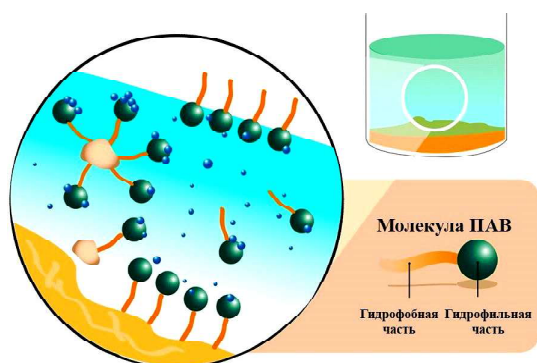


Рис. 16. «Принцип действия»  
поверхностно-активных веществ (ПАВ)

положения и оказываются вместе с молекулами ПАВ в воде, – именно так отмываются и отстирываются различные загрязнения. Молекулы же ПАВ при этом сами «загрязняются» (их рабочие «хвостики» оказываются уже занятыми частичками жира), поэтому уже имеющееся мыло перестает «мылить»: приходится добавлять свежее (рис. 16).

Итак, мы узнали, наконец, почему вода «мокрая». И даже узнали, в каких случаях она «мокрая», а в каких – нет.

А может ли вода быть вообще не мокрой? Оказывается, может! Об этом, в частности упоминает академик И. В. Петрянов, автор замечательной научно-популярной книги о воде – «Самое необыкновенное вещество в мире».

Чтобы сделать сухую воду, к обычной воде нужно добавить немного (5–10 %) тонкого порошка несмачиваемой кремниевой кислоты и полученную смесь сильно встряхнуть. И вода... становится вдруг сухой и сыпучей – ее можно пересыпать и перевозить в пакетах, а на ощупь такая сухая вода совсем не влажная, а сухая и холодная.

Образование такого порошка ученые объясняют следующим образом. В результате встряхивания в воде образуются миллиарды мельчайших капель (диаметром около 0,002 миллиметра), которые мгновенно покрываются тонким слоем кремниевой кислоты. А поскольку она отталкивает воду, капельки больше не могут соединиться вновь. Та что «сухая вода», или «водяная пудра» представляет собою огромное количество изолированных друг от друга водяных капель.



Усенков Дмитрий Юрьевич,  
ГБОУ СОШ № 1360, г. Москва.