

МАРК МЕДОВНИК

18+

ЖИДКОСТИ

ПРЕКРАСНЫЕ И ОПАСНЫЕ СУБСТАНЦИИ,
ПРОТЕКАЮЩИЕ ПО НАШЕЙ ЖИЗНИ

КНИГА
2018 ГОДА
ПО ВЕРСИИ
FINANCIAL TIMES

О ТАЙНОМ МИРЕ
ЖИДКОСТЕЙ —
ПРОСТО
И С ЮМОРОМ



ОГЛАВЛЕНИЕ

Список иллюстраций	9
Введение	15
Глава 1. Взрывчатые	23
Глава 2. Опьяняющие	43
Глава 3. Глубокие	57
Глава 4. Клейкие	75
Глава 5. Фантастические	95
Глава 6. Физиологические	109
Глава 7. Освежающие	122
Глава 8. Чистящие	142
Глава 9. Охлаждающие	160
Глава 10. Нестираемые	176
Глава 11. Туманные	190
Глава 12. Твердые	206
Глава 13. Самоподдерживающиеся	217
Эпилог	229
Литература для дальнейшего чтения	236
Благодарности	237
Авторские права на иллюстрации	239

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Структура углеводородной молекулы керосина	24
Копия древней масляной лампы, использовавшейся во времена Ар-Рази	26
Водомерка на поверхности воды	28
Добыча кашалота. Джон Уильям Хилл (1835)	31
Нефтеперегонный завод; высокие колонны — дистилляционные сосуды	33
Смесь углеводородных молекул в составе сырой нефти (показаны только атомы углерода)	34
Структурная формула молекулы нитроглицерина	36
Сравнение химической структуры двух спиртов — метанола и этанола... ..	45
Красное вино в бокале, на стенке которого заметен эффект Марангони	52
Причина, по которой одни вещи плавают, а другие тонут	58
Человек, лежащий на воде в Мертвом море	60
Автор после заплыва возле Форти-Фут в Дублине	62
Приход волны цунами	70
Древний пещерный рисунок большерогого оленя из Ласко (Франция), сделанный древесным углем и охрой	77

Структура формулы 2-метокси-4-метилфенола...	78
Муравей в янтаре — окаменевшей древесной смоле	79
Изменение структуры коллагенового волокна при превращении в костный клей	80
Картина падения Икара...	83
Структура природного каучука...	84
Как из двух жидкостей, фенола и формальдегида, получается мощный клей	87
Фанерный бомбардировщик de Havilland Mosquito	88
Фанерный стул, сконструированный Чарльзом и Рэй Имз	89
Отвердитель раскрывает кольцо молекулы эпоксида, позволяя ей образовать полимерный клей	91
Так молекула воды раскрывает молекулу цианоакрилата с образованием полимерного клея	93
Момент, когда Дориан Грей впервые увидел свой юный портрет	96
Руби Райт «Тайная любовь к лимонаду». Линогравюра	99
Структурная формула 4-циано-4'-пентилбифенила, часто используемого в жидких кристаллах	99
Структурные различия между кристаллом, жидким кристаллом и жидкостью	100
Часы-калькулятор Casio	103
Типичный обед в самолете	110
Структура муцинов...	116
Чайная плантация	124
Образцы жидких растворимых чаев	126
Обжаривание кофе при помощи строительного фена	134
Примерная схема того, как меняется цвет кофейных зерен при обжарке	135

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Кофеварка гейзерного типа, использовавшаяся для приготовления кофе	138
Одна из основных составляющих топленого сала, триглицерид... ..	144
Активный ингредиент мыла — стеарат... ..	145
Мыло очищает за счет действия поверхностно-активных веществ (ПАВ), таких как стеараты... ..	145
Один из ранних образцов коммерческого шампуня	153
Лаурилсульфат натрия (SLS)... ..	153
Структура лауриновой кислоты, которую часто получают из пальмоядрового масла	157
Молекулярная структура хлорфторуглеродного соединения фреона	165
Структура молекулы перфторуглерода	172
Фрагмент папируса из «Книги мертвых» (1500–1480 гг. до н. э.)	178
Таблица смертей, вызванных молниями в США	191
Гипсовая отливка одной из жертв извержения Везувия	214
Эксперимент Квинслендского университета по капанию битума... ..	218
Как текучесть жидкости внутри асфальтовой дороги позволяет трещинам самостоятельно затягиваться	219
Процесс трехмерной печати... ..	222
Пчелы пользовались 3D-печатью при постройке своих сот намного дольше человека	223
Ящерица молох собирает воду через кожу, пользуясь гидрофобными материалами и капиллярным эффектом	231

Светлой памяти моих мамы и папы

ВВЕДЕНИЕ

Служба безопасности в аэропорту конфисковала у меня много полезных вещей: арахисовую пасту, мед, соус песто, зубную пасту и, что самое обидное, бутылку односолодового виски. В таких ситуациях я всегда теряюсь. Я говорю банальности вроде «позовите вашего начальника» и «арахисовая паста — не жидкость», хотя прекрасно знаю, что на самом деле неправ. Арахисовая паста течет и принимает форму сосуда — а именно этим отличаются жидкости, — так что вывод ясен. Но все равно меня бесит, что в мире, полном «умной» техники, охранник аэропорта не в состоянии отличить жидкую пасту для намазывания на хлеб от жидкой взрывчатки.

Пронос более чем 100 мл жидкостей через кордон был запрещен еще в 2006 г., но технологии их обнаружения за это время не слишком усовершенствовались. Рентгеновские аппараты способны просветить багаж и обнаружить в нем разные объекты. В первую очередь работники службы безопасности обращают внимание на подозрительные формы: стараются отличить пистолеты от фенов, а ножи от шариковых ручек. Но жидкости не имеют своей формы. Они принимают форму того, в чем находятся. Сканеры в аэропорту умеют определять плотность веществ и целый ряд химических элементов. Но и здесь есть проблемы. Молекулярный состав взрывчатого вещества нитроглицерина, например, похож на состав арахисовой пасты: углерод, водород, азот и кислород. Но одно из этих веществ — жидкая взрывчатка, а другое... ну, просто вкусное. Есть море опасных токсинов, ядов, дезинфектантов и патогенов, которые невероятно

трудно отличить от более невинных жидкостей — по крайней мере, быстро и надежно. Именно такие аргументы, которые мне доводилось слышать от многих охранников (и их начальников), обычно вынуждают меня согласиться — хотя и не без сожаления, — что арахисовая паста или одна из тех жидкостей, которые я, кажется, регулярно забываю вынуть из ручной клади, представляют серьезную угрозу.

Жидкости — это, можно сказать, альтер эго надежного твердого тела. Если твердые вещества — верные друзья человечества, принимающие постоянную форму одежды, обуви, телефонов, машин и даже аэропортов, то жидкости текучи: они готовы принять любую форму, но только если их в ней что-то удерживает. Если нет, они в вечном движении: просачиваются, разъедают, капают и всячески уходят из-под нашего контроля. Если поместить куда-то твердое вещество, оно там и останется (разве что вы нарочно изымете его оттуда) — и будет выполнять полезную функцию, например поддерживать дом или снабжать электричеством целый населенный пункт. Жидкости же — настоящие анархисты: они обладают врожденной способностью всё разрушать. В ванной приходится постоянно бороться за то, чтобы вода не просачивалась в трещины и не скапливалась под полом. А то там она вытворяет всякие гадости: заставляет гнить и портиться деревянные перекрытия; гладкий плиточный пол превращает в идеальную поверхность для того, чтобы поскользнуться и получить травму. Собираясь в углах ванной, она может стать пристанищем для черного плесневого грибка (ближайший «родственник» «серой гнили») и бактерий, которые способны проникать в наше тело и вызывать болезни. И все же, несмотря на ее вероломство, мы обожаем ее. Нам в радость купаться в воде и принимать душ, окатывая ею всё тело. И какая ванная может считаться таковой без множества бутылочек с жидким мылом, шампунями и кондиционерами, баночек с кремом и тюбиков с зубной пастой? Мы радуемся всем этим чудесным жидкостям и одновременно тревожимся: не вредны ли они для нас? Не вызывают ли рак? Не вредят ли окружающей среде? Когда речь заходит о жидкостях, радость и подозрение всегда идут рука об руку. Они двуличны по своей природе: не газ и не твердое тело, а нечто промежуточное, непостижимое и загадочное.

Возьмите, например, ртуть, которая радовала и травила человечество не одну тысячу лет. В детстве я часто играл с капелькой жидкой ртути, гонял ее по поверхности стола, околдованный ее необычностью — будто она из другого мира, — пока мне не объяснили, насколько она ядовита. Но во многих древних культурах считалось, что ртуть продлевает жизнь, залечивает переломы и вообще полезна для здоровья. Неясно, почему ее ценили так высоко — возможно, потому, что это единственный чистый металл, который может оставаться жидким при комнатной температуре. Первый император Китая Цинь Шихуанди принимал ртутные пилюли для здоровья, а умер в тридцать девять лет (вероятно, именно поэтому). Но его похоронили в гробнице, по которой жидкая ртуть текла ручьями. Древние греки использовали ее в целебных мазях, а алхимики верили, что сочетание ртути и еще одного элементарного вещества, серы, образует основу всех металлов, а верный баланс между ртутью и серой рождает золото. Именно отсюда идет ошибочное представление о том, что разные металлы можно превратить в золото, если смешать в верных пропорциях. Мы уже знаем, что это лишь легенда, но золото действительно растворяется в ртути. И если нагреть такую жидкость после того, как она впитала в себя этот металл, то она испарится, оставив твердый комок золота. Для большинства древних людей этот процесс был неотличим от волшебства.

Ртуть — не единственная жидкость, способная поглотить другое вещество и хранить его в себе. Добавьте соль в воду, и она вскоре исчезнет — где-то есть, но где же? А если проделать то же с растительным маслом, соль никуда не денется: так и будет лежать на дне. Почему? Жидкая ртуть может вобрать в себя твердое золото, но отвергает воду. Почему так? Вода поглощает газы, включая кислород, иначе наш мир был бы совсем другим: именно кислородом, растворенным в воде, дышат рыбы. В воде его накапливается недостаточно, чтобы в ней мог дышать человек, но другие жидкости на это способны. Есть тип масла — перфторуглеродная жидкость, — который проявляет очень низкую химическую и электрическую активность. Эта жидкость настолько инертна, что мобильный телефон, помещенный в сосуд с нею, продолжает нормально работать. Кроме того, перфторуглеродная жидкость способна поглощать кислород в таких высоких концентрациях, что в ней может дышать человек. Такое дыхание

жидкостью вместо воздуха имеет множество возможных применений, важнейшее из которых — уход за недоношенными детьми с синдромом дыхательной недостаточности.

И все же именно жидкая вода обладает высшей способностью дарить жизнь. Она умеет растворять не только кислород, но и многие другие химические вещества, включая молекулы на основе углерода, и потому обеспечивает среду, необходимую для появления жизни — спонтанного возникновения новых организмов. По крайней мере так гласит теория. Вот почему ученые, занятые поисками жизни на других планетах, ищут жидкую воду. Но во Вселенной она редкость. Возможно, она есть на Европе — одной из лун Юпитера, где под ледяной коркой могут скрываться целые океаны. Может, найдется она и на Энцеладе — одной из лун Сатурна. Но Земля — единственное тело в Солнечной системе, где огромное количество воды доступно прямо на поверхности.

Температура и давление на поверхности нашей планеты, допускающие существование на ней жидкой воды, стали результатом интересного сочетания условий. Так, если бы у Земли не было жидкого ядра из расплавленного металла, которое создает вокруг планеты магнитное поле, защищающее нас от солнечного ветра, вся вода, скорее всего, исчезла бы миллиарды лет назад. В общем, на нашей планете одна жидкость породила другую, что привело к возникновению жизни.

Но при этом жидкости разрушительны. Пена на ощупь мягкая, потому что легко сжимается; если прыгнуть на матрац из какого-нибудь пеноматериала, легко почувствовать, как он поддается под вами. Жидкости так не делают; они текут — одна молекула перемещается на место, освобожденное другой. Это можно увидеть в реке, или включив кран в ванной, или помешав ложечкой кофе в чашке. Когда вы прыгаете с трамплина и погружаетесь в воду, ей приходится расступаться перед вами, растекаться в стороны. Но этот процесс требует времени, и если скорость вашего столкновения с поверхностью слишком велика, то вода, не успевшая достаточно быстро утечь из-под вас, толкнет вас в ответ. Именно эта сила вызывает жжение на коже, когда вы неудачно — на живот — прыгаете в бассейн, и делает падение в воду с большой высоты подобным приземлению на асфальт. Из-за несжимаемости

воды волны могут иногда обретать громадную разрушительную мощь и способны в случае цунами сносить здания и разрушать города, а машины бросать играючи, как щепки. Например, в 2004 г. землетрясение в Индийском океане вызвало серию цунами, ставших причиной гибели двухсот тридцати тысяч человек в четырнадцати странах. Эта природная катастрофа стала восьмой по разрушительности из всех зарегистрированных в истории человечества.

Еще одно опасное свойство жидкостей — способность взрываться. Когда я начинал работу над своей докторской диссертацией в Оксфордском университете, мне приходилось готовить небольшие образцы для электронного микроскопа. Помимо прочего, этот процесс предполагал охлаждение жидкости — раствора для электрохимической полировки — до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это была смесь бутоксиэтанола, уксусной кислоты и хлорной кислоты. Другой аспирант из той же лаборатории, Энди Годфри, показал мне, как это делается, и я считал, что вполне освоил процесс. Но через несколько месяцев Энди заметил, что во время электрохимической полировки я нередко позволяю раствору слегка нагреться. «Я не стал бы так делать», — сказал он, заглянув однажды мне через плечо и удивленно подняв брови. Я спросил почему, и он указал мне на висевшее в лаборатории руководство по химической безопасности.

Хлорная кислота агрессивна и разрушительна для тканей человеческого тела. Она может быть опасна для здоровья при вдыхании, проглатывании, попадании на кожу и в глаза. При нагреве до температуры выше комнатной или использовании в концентрации выше 72% (при любой температуре) хлорная кислота становится сильным окислителем. Органические вещества особенно подвержены спонтанному возгоранию в смеси или при контакте с хлорной кислотой. Ее пары могут образовывать в трубопроводах системы вентиляции перхлораты, чувствительные к ударным нагрузкам.

Иными словами, она может взорваться.

При осмотре лаборатории я нашел много похожих прозрачных бесцветных жидкостей, большинство из которых невозможно было отличить

друг от друга. Так, мы использовали в работе плавиковую кислоту, которая мало того что способна проесть себе дорогу сквозь бетон, металлы и плоть, но и является контактным ядом, подавляющим функцию нервной системы. У этого свойства есть одно коварное следствие: человек не чувствует, как кислота сжигает его. Случайный контакт, который легко не заметить, — и она будет постепенно проедать кожу.

Спирт тоже вполне укладывается в категорию ядов. Может быть, таковым он становится только в больших дозах, но в целом он убил намного больше людей, чем плавиковая кислота. Тем не менее он играет громадную роль в обществе и в самых разных культурах по всему земному шару. В разные эпохи его использовали как антисептик, противокашлевое средство, противоядие, транквилизатор и топливо. Главное привлекательное свойство спирта — то, что он угнетает нервную систему. Это психотропное вещество. Многие жить не могут без ежедневного бокала вина, а большинство общественных событий вращается вокруг мест, где подают алкоголь. Мы, может, не доверяем (и справедливо) этим жидкостям, но все равно любим их.

Мы ощущаем физиологическое действие спирта, когда он всасывается в кровотоки. Стук нашего сердца — постоянное напоминание о той роли, которую играет кровь в человеческом организме, и о том, что она должна непрерывно циркулировать в нем: мы живем благодаря мощи насоса, а когда перекачивание крови прекращается, умираем. Из всех жидкостей кровь, безусловно, одна из самых жизненно важных. К счастью, сердце сегодня можно заменить, шунтировать или починить как в теле, так и вне его. Саму кровь можно добавлять и извлекать, хранить, передавать от человека к человеку, замораживать и возвращать к жизни. И правда, если бы у нас не было запасов крови, то каждый год умирали бы миллионы людей, которые подвергаются хирургическим операциям, получают ранения в зонах боевых действий или попадают в автокатастрофы.

Но кровь может быть заражена инфекциями, такими как ВИЧ или гепатит, так что она способна не только исцелить, но и нанести вред. Значит, мы должны всегда учитывать ее двойственный характер (это верно и для всех других жидкостей). Важный вопрос не в том, можем ли мы доверять

какой-то конкретной жидкости, хороша она или дурна, полезна или ядовита, вкусна или отвратительна; скорее в том, достаточно ли хорошо мы понимаем ее, чтобы использовать ее в своих интересах.

Нет лучшего способа проиллюстрировать мощь и радость от управления жидкостями, чем рассмотреть подробно те из них, с которыми мы имеем дело во время полета на самолете. Поэтому в книге речь пойдет о трансатлантическом перелете и всех тех странных и чудесных жидкостях, которые были в нем задействованы. Сам я летел потому, что умудрился не взорвать себя во время работы над диссертацией, но продолжил заниматься материаловедением и со временем стал директором Производственного института (Institute of Making) при Университетском колледже в Лондоне. Наши исследования посвящены, в частности, тому, как жидкости могут притворяться твердыми телами. Например, битумная основа, из которой делаются дороги, как и арахисовая паста, жидкость, хотя и твердая на вид. В связи с нашими исследованиями мы получаем немало приглашений на конференции по всему миру, куда приходится путешествовать на самолетах, и эта книга — рассказ об одном таком перелете из Лондона в Сан-Франциско.

Полет наш описан в книге языком молекул, сердечного ритма и океанских волн. Моя цель — раскрыть загадочные свойства жидкостей и показать, как мы научились полагаться на них. Маршрут наш пройдет над вулканами Исландии, замерзшими просторами Гренландии, россыпью озер вокруг Гудзонова залива, а затем повернет на юг вдоль побережья Тихого океана. Это достаточно разнообразный фон, чтобы поговорить о жидкостях в разных масштабах — от океанов до капелек в облаках, — рассмотрев параллельно занятные жидкие кристаллы в бортовой мультимедийной аппаратуре, напитки, предлагаемые стюардами авиалинии, и, конечно, авиационное топливо, которое позволяет удерживать самолет в стратосфере.

В каждой главе я рассматриваю отдельную часть полета и свойства жидкостей, которые сделали его возможным: в частности, их способности воспламеняться, растворяться или бродить и т. п. Я показываю, как капиллярное впитывание (поднятие), каплеобразование, вязкость,

ЖИДКОСТИ

растворимость, давление, поверхностное натяжение и многие другие странные свойства жидкостей позволяют нам летать вокруг земного шара. Параллельно я рассказываю, почему жидкости текут вверх по стволу дерева, но вниз по склону холма; почему нефть липкая, как волны умудряются проходить такие расстояния, почему одежда сохнет, как жидкости могут быть кристаллами, как не отравиться при изготовлении самогона... и, возможно, главное: как приготовить чашку идеального чая. Так что приглашаю вас в этот перелет вместе со мной и обещаю необычное и чудесное путешествие.