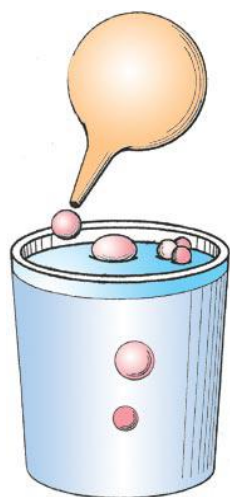


ПРО КАПЛЮ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ («Наука и жизнь» №8, 2005)

Недавно журнал познакомил читателей с необычным явлением – антипузырями (см. «Наука и жизнь» № 12, 2004г.). Много общего с ними имеют плавающие капли, на примере которых легко понять устройство и антипузырей, и мыльных пузырей и оценить удивительную стабильность этих хрупких на вид образований. Демонстрирующие их опыты предельно просты и легко могут быть поставлены с помощью нехитрого оборудования за несколько минут. Но они столь увлекательны, разнообразны и бесконечны в своих вариациях, что иные готовы часами наблюдать рождение, жизнь и гибель плавающих капель, мыльных пузырей и антипузырей.



Вылетающие из спринцовки капли либо остаются плавать на поверхности воды, либо опускаются в глубину в виде антипузырей.

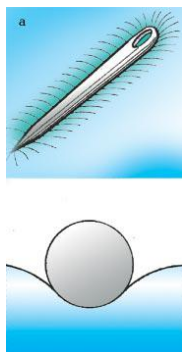
Опыт № 1. Для создания плавающих капель понадобятся стакан, спринцовка (резиновая груша) и мыльный раствор. Его готовят, разводя в стакане воды несколько капель прозрачного шампуня или гелеобразного моющего средства (типа «Fairgy», «Капля», «Pril-gель» и т.п.). Набрав раствор спринцовкой, осторожно сжимают её, чтобы раствор не бил струей, а капал на поверхность жидкости. Постепенно меняя высоту падения капель от исходной сантиметровой, можно получить капли, ненадолго остающиеся на поверхности и плавающие по ней в виде слегка сплюснутых серебристых шариков, раскрашенных цветными кольцами. Это и есть плавающие капли, или глобулы.

Выпуская капли очередью, можно наблюдать, как они притягиваются одна к другой и сталкиваются. Одни в столкновениях гибнут, другие сливаются в одну крупную каплю, третьи слипаются в пары или тройки без слияния, четвертые же упруго отскакивают. Живут капли от секунды до нескольких секунд.

Более резкое и короткое сжатие спринцовки производит быстро летящие струйки, способные пробить поверхность жидкости и уйти вглубь, образовав антипузыри (см. «Наука и жизнь» № 12, 2004г.) – по сути, те же плавающие капли, но уже граничащие с жидкостью не только снизу, а со всех сторон. Описания этих опытов и попытки их объяснить можно также найти в замечательной книге Дж. Уокера «Физический фейерверк» (с. 78, 112). Попробуем и мы разобраться в наблюдаемом и понять, что удерживает капли от поглощения жидкостью.

Многим при виде плавающей капли вспоминается известный опыт с плавающей иглой. Иглу удерживает поверхностное натяжение жидкости: поверхность воды под иглой прогибается, «натягиваясь», словно резиновая плёнка. Вдавлена жидкость и под плавающими каплями (капли потому и притягиваются, что скатываются в образованные друг другом вмятины). Но если иглке не дает утонуть покрывающий её слой жира, отталкиваемый водой (обезжиренная спиртом иглка идет ко дну), то капля, казалось бы, должна всегда

смачиваться однородной жидкостью и тонуть при соприкосновении с ней. Раз этого нет, то нет и контакта: что-то отделяет каплю от жидкости, подобно слою жира, изолирующему иглу

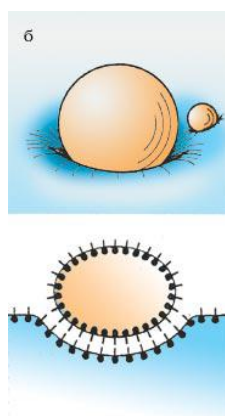


Предмет может плавать, если вода не смачивает его поверхность. Поэтому иголка, покрытая тонким слоем жира, плавает (а).

от воды.

Предполагали, что отделяет их друг от друга слой из молекул мыла или иного поверхностно-активного вещества (ПАВ) – не зря ведь в опытах используется именно мыльный раствор (с простой водой они не проходят). Молекулы эти концентрируются у поверхности, причем из-за своих гидрофобных («боящихся» воды) хвостиков они, словно волосы напуганного человека, становятся дыбом, образуя густой «ёжик». Думали, что на этом «ёжике», «щётке» из молекул, и покоится плавающая капля. Но, как оказалось, каплю от жидкости отделяет тонкая плёнка воздуха. Интерференция света в этой плёнке и создает в капле окрашенные кольца, называемые кольцами Ньютона. Обволакивает плёнка воздуха и антипузыри, о чём судят не только по радужной игре света в них, вызванной, как и в мыльных пузырях, интерференцией, но и по мелким воздушным пузырькам, остающимся от «лопнувшего» антипузыря.

Что же мешает капле упасть в жидкость, пролетев сквозь отделяющий её от поверхности тонкий воздушный промежуток? Часто полагают, что всё дело в электрическом отталкивании между поверхностью жидкости и капли (см. «Наука и жизнь» № 3, 1989г.; № 12, 2004г.). Отталкиванием заряженных границ жидкости иногда объясняют и устойчивость пленки мыльного пузыря, которую не может прорвать заключенный внутри воздух, воздушный пузырь, обязанный по законам физики всплывать в окружающей его пленке жидкости. В следующем опыте мы убедимся в том, что он и всплывает, только делает это



А если в воду добавить немного поверхностно-активного вещества (ПАВ), её капли станут держаться на поверхности воды, не сливаясь с ней (б).

очень медленно.

Опыт № 2. Мыльный пузырь выдувают из того же раствора через трубочку (от коктейля). Когда пузырь повиснет на конце трубки, открытый конец её затыкают пальцем, чтобы шар не сдувался. Спустя время мыльная сфера вместо хаотичных радужных разводов

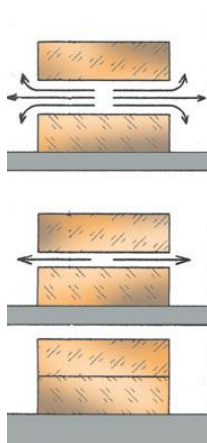


Мыльная плёнка покрыта цветными полосами (результатом интерференции света, отраженного от её стенок).

покроется ровными цветными кольцами. Возникая у вершины пузыря, они медленно сползают к его основанию, где исчезают.

Смещение колец говорит о постепенном утончении стенок пузыря. Стекающая из них жидкость собирается в каплю, растущую вниз. Выходит, воздух в пузыре действительно всплывает, а жидкость опускается, однако процесс этот затянут во времени. То же легко наблюдать на плоской проволочной рамке, обмакнутой в раствор. Затягивающая её мыльная пленка вскорости покрывается горизонтальными интерференционными полосами (фото сверху), постепенно съезжающими вниз. В плавающих каплях и антипузырях также можно наблюдать движение цветных колец, говорящее о снижении капли. Остается понять, что же замедляет всплытие воздушного пузыря или опускание капель, задерживая соприкосновение границ мыльных образований и продлевая тем самым их жизнь. Понять это помогает описываемый ниже опыт.

Опыт № 3. Потребуется две плоские полированные стеклянные пластинки (подойдут предметные стекла микроскопа или пара карманных зеркалец). На горизонтальную пластину плашмя роняют с сантиметровой высоты вторую (стекла должны быть обращены друг к другу гладкой стороной). При этом верхняя пластинка поведет себя странно: вместо того чтобы упасть, она на секунду зависнет над нижней, заскользив без трения в сторону. Осторожно приподнимем за края верхнюю пластину – и странно поведёт себя уже нижняя: она прилипнет к верхней и при этом тоже станет скользить в сторону, пока не отвалится. Зависание стёкол очень напоминает поведение плавающих капель, также не сразу падающих

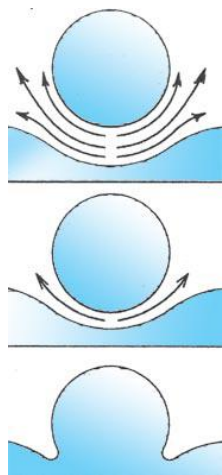


на поверхность, а ненадолго зависающих и скользящих по ней. Легкость скольжения подтверждает отсутствие контакта поверхностей, разделённых слоем воздуха.

Читатель, верно, уже догадался – дело как раз в этой воздушной прослойке. Именно она удерживала и каплю и пластину. Падая, пластинка, сжимала под собой воздух и парила на своеобразной «воздушной подушке». По мере вытекания воздуха она опускалась, снова сжимая газ, пока тот не вышел весь (рис. внизу). Поднятие же верхней пластины создает

разрежение: воздух не успевает затечь в образованную щель, и внешнее давление прижимает нижнюю пластину к верхней.

Отчего же воздух так медленно уходит (и заходит) в зазор меж пластин? Всё дело в вязком трении воздуха о стенки зазора – именно они тормозят вытекающий из щели газ. Чем уже щель, тем большее она создает сопротивление вытекающему воздуху и тем медленнее он выходит. С вязкостью у жидкостей сталкивался каждый, кто наблюдал, как медленно фильтруется вода, стекает по ложке масло или сгущённое молоко. Обладает вязкостью и простой воздух, хотя и гораздо меньшей, чем у жидкостей, потому мы обычно её не замечаем,



Воздух из щели между стеклянными пластинками или из-под капли над поверхностью воды вытекает постепенно. В конце концов, пластинки слипаются, а капля сливается с поверхностью.

не учитываем. Но в узких отверстиях, где трение велико, вязкость воздуха дает о себе знать и даже используется, например, в автомобильных амортизаторах.

У плавающих капель и антипузырей вытекающий в узкую щель воздух тормозится уже самой поверхностью жидкости. Не успевая уходить, он тоже сжимается каплей, образуя поддерживающую её «воздушную подушку». Аналогичная ситуация с мыльными пузырями: жидкость стекает в узком пространстве между границами мыльной плёнки и тормозится ими. Разница лишь в величине вязкости. Вязкость воздуха ничтожна, он течёт быстро, и потому антипузыри с плавающими каплями живут считанные секунды. У мыльного же раствора вязкость заметная – он течёт медленно, и пузырь живет минуты, а то и часы. Зная это, легко создать долгоживущие плавающие капли, поставив ещё один опыт.

Опыт № 4. Для опыта потребуется маленькая рюмка и немного растительного масла. Наполнив рюмку до половины простой водой, следует осторожно налить поверх сантиметровой слой масла. Далее капнем на поверхность масла несколько капель воды (её



Плавающие капли в сосуде с двумя несмешивающимися жидкостями.

можно для наглядности подкрасить). Капли медленно тонут в слое легкого масла, пока не остановятся на границе его с водой. Ведут себя эти водяные шарики подобно знакомым нам

плавающим каплям, но теперь их отделяет от воды не воздух, а плёнка масла, имеющего куда большую вязкость и потому дающего каплям многие минуты жизни.

Остаётся теперь выяснить, зачем в раствор для мыльных пузырей, антипузырей и плавающих капель вводят мыло и другие поверхностно-активные вещества. Здесь их роль состоит не в уменьшении поверхностного натяжения (как иногда считают), а в создании той самой плёнки, монослоя из молекул ПАВ на границе жидкости. Жидкие поверхности пузырей, антипузырей и плавающих капель, в отличие от стенок стеклянных пластин, не могли бы затормозить протекающую между ними среду, а увлекались бы вслед за ней, не будь на них слоя молекул ПАВ.

Слой этот ведёт себя уже не как жидкость, а скорее как твёрдое тело, точнее, как резиновая плёнка – он может упруго растягиваться и сжиматься, но практически не течёт и потому сильно тормозит идущие вдоль него потоки жидкости. Древние греки неосознанно пользовались этим свойством. Испуганные сильным волнением моря, мореплаватели опрокидывали в него бочку оливкового масла, пытаясь «умаслить» Посейдона. Масло, растекаясь по обширной площади (все видели тонкие радужные плёнки масла или нефти), образовывало на границе с водой тончайший монослой, гасящий, точно резиновый демпфер, движение волн и не дающий им разгуляться.

В опыте № 4 молекулы масла образовали на границе его с водой слой, аналогичный тому, что имеется на поверхности мыльного раствора. Подобный поверхностно-активный слой образует не одно лишь масло, но и многие другие пищевые жидкости – молоко, чай, кофе, пиво. Допивая чай, можно даже заметить как тонкая плёнка его, прилипшая к дну стакана, словно резиновая, растягивается и сокращается в такт качающейся жидкости. Благодаря такому слою перечисленные жидкости хорошо пенятся и сравнительно легко образуют пузыри, антипузыри и плавающие капли.

Вообще говоря, в жизни все мы не раз наблюдали загадочным образом не сливающиеся капли жидкости. Взять хотя бы мясной бульон: масляные звездочки в нём не сливаются при касании по той же причине, по которой не сразу сливаются ударяющиеся плавающие капли или пара мыльных пузырей. (Мыльный пузырь можно даже подбрасывать, «чеканить» другим пузырем или «ракеткой» из проволочного кольца, затянутого мыльной плёнкой.) Соприкасаясь, они сдавливают между собой среду, которая, медленно утекая в зазор, мешает контакту границ образований. То же можно видеть в игрушках с двумя несмешивающимися жидкостями (или в опыте № 4). При встряхивании окрашенная жидкость разбивается на множество мелких шариков, которые не скоро сливаются при контакте – получается та «маслянистая антипена», что упомянута в статье про антипузыри.

Напоследок разберём ещё одно интересное свойство плавающих капель. Ставя опыты, можно подметить, что капли движущиеся, скользящие по поверхности живут много дольше стоящих на одном месте. Это демонстрирует следующий опыт.

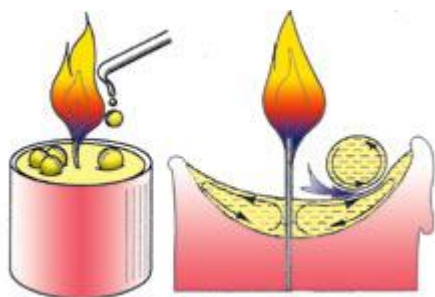
Опыт № 5. Пустите из крана струю тёплой воды, направив её в столовую ложку. Там, где вода, растёкшись по ложке тонким слоем, движется вверх, капайте из спринцовки, пока не получите плавающую каплю. Она уже не утонет, а будет плавать в течение нескольких минут, пока, бегая по ложке и сталкиваясь с другими каплями, случайно не окончит своего существования.



Струйка воды, разбиваясь о ложку, растекается в виде тонкой плёнки, которая засасывает воздух под каплю и поддерживает её жизнь.

Понятно, что капля не стоит на месте, а постоянно скатывается по уклону вниз, ко дну ложки, но стремительный поток жидкости, придающий крупным каплям даже вытянутую форму, возносит её снова. Так капля и бежит по жидкости, для нас – стоя на месте, словно спортсмен на бегущей дорожке тренажёра. Капле, как и человеку, этот постоянный «бег», движение продлевает жизнь. Объясняется это легко. Если под простой каплей запас воздуха ограничен, то под движущуюся он постоянно нагнетается набегающим потоком. (Так же скользит над поверхностью стола игральная карта – тут работает принцип, как у экраноплана.) Капля вдобавок ещё и вращается, засасывая и сжимая воздух в зазоре. Это показывает другой опыт.

Опыт № 6. Потребуются зажжённая свеча и отломанная от неё парафиновая «сосулька». Конец сосульки вносят в пламя: материал её плавится и по капле стекает в озерцо расплавленного парафина у фитиля. Часть капель сразу тонет, но удачные их экземпляры остаются на поверхности в течение многих минут. А если капель несколько, то они объединяются в пары, трио, а то и квартеты.



Капельку расплавленного парафина на поверхности лужицы расплавленного материала свечи удерживает слой воздуха, который затягивают под неё конвекционные потоки.

Как и в ложке с водой, в свече есть невидимые быстрые течения – обнаружить их можно по снующим в парафине частицам копоти. Эти тепловые потоки идут в сторону от фитиля и увлекают за собой шарик расплавленного парафина, который, скатываясь вниз, тоже сжимает под собой новые порции воздуха. По частицам сажи видна и циркуляция жидкости в капле. Вращающийся жидкий шарик и несущаяся под ним поверхность втягивают воздух в образованную ими щель, компенсируя его утечку. (Так отрываются от мокрого асфальта и колеса автомобиля при аквапланировании – неуправляемом скольжении машины на тонкой пленке воды, «засасываемой» под колеса.) Помимо этого вращение капель мешает им слиться при образовании пар и троек. Но капли тут же сольются в одну, если остановить это их вращение, оградив шарики от пламени экраном из картона.

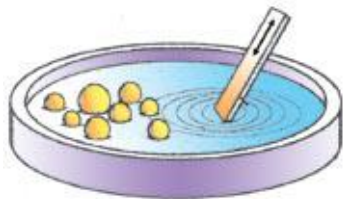
Похожим образом исследователи продлевали и жизнь антипузырей, помещённых во вращающуюся пробирку, где жидкий шарик перекачивался внутри пузыря. Чем-то это напоминает гидродинамический эффект в подшипниках: вращающийся вал увлекает в зазор тонкий слой масла – масляный клин, который и поддерживает вал вдали от стенок подшипника, снижая трение.

Опишем последний опыт, где движение жидкости вы создадите сами.

Опыт № 7. Налив немного мыльного раствора в крышку от майонезной банки, начните интенсивно разбрызгивать жидкость плоской палочкой. Вылетевшие из-под палки капли садятся на поверхность, становясь плавающими. Дальше не зевайте! Пока капли не утонули, начинайте мелко и часто стучать палкой по дну крышки, двигать ею, вызывая волнение. Вы обнаружите, что волны не только не уничтожают капли, но, наоборот, продлевают их жизнь ровно на столько времени, сколько вы стучите. Можно набрызгать ещё капель: они множатся и, притягиваясь, сбиваются в «стадо» серебристых шариков, «голов» эдак в пятнадцать, которое слушается вас как своего пастуха, правда, лишь до тех пор, пока

вы стучите своим «посохом». Стоит прекратить удары или снизить их частоту – и непослушное «стадо» разбежится: одна за другой капли скроются под поверхностью.

В этом опыте жизнь капля также продлевается постоянным их движением, скольжением с гребней волн. Едва оно прекращается, капли тонут. Возможно, рассмотренные способы стабилизации позволят наконец получить долгоживущую антипену, над созданием



«Стадо» плавающих капель на поверхности мыльного раствора, послушное ударам «посоха».

которой давно и тщётно бьются. По сути, именно долгоживущая, вечная антипена и была получена в последнем опыте.

Приведённые опыты подтверждают, что именно вязкому трению, вязкости (воздуха, жидкости и монослоя ПАВ), а вовсе не электрическому взаимодействию границ плёнок обязаны своим существованием плавающие капли, антипузыри и обыкновенные мыльные пузыри.

Литература

Пены. – «Наука и жизнь», 1965 г., № 3, с. 24.

Когда вода не смешивается с водой. – «Наука и жизнь», 1989 г., № 3, с. 80.

Зайцева А. Антипузыри. – «Наука и жизнь», 2004 г., №12, с. 46.

Гегузин Я. Е. Пузыри. – М.: Наука, 1985.

Уокер Дж. Физический фейерверк. – М.: Мир, 1988.

Силин А. А. Трение и мы. – М.: Наука, 1989.

Иванов И. Б., Платиканов Д. Н. Коллоиды. – Л.: Химия, 1975.