

ВОДОЛАЗ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

Хочу добавить несколько деталей к рассказу о декартовом водолазе (см. «Квантик» № 9 за 2015 год). Начну с того, что хоть водолаз и называется декартовым, впервые описал его итальянский монах Рафаэлло Маджотти – последователь Галилея и друг Торричелли.

Напомню, что для изготовления водолаза нужна пластиковая бутылка с завинчивающейся пробкой и небольшой стеклянный флакончик. Бутылку наполните водой доверху, а флакончик – частично, чтобы опущенный в воду горлышком вниз он плавал, почти целиком погрузившись в воду, – обладал минимальной положительной плавучестью.

Теперь флакончик погрузите в бутылку, поплотнее заверните пробку, и водолаз готов. Стоит сжать бутылку – объём воздуха в флакончике уменьшится и флакончик начнёт опускаться. Отпустишь бутылку – флакончик всплывёт. Это и есть декартов водолаз.

СПАСЁМ ВОДОЛАЗА

Бывает, накапаешь в флакончик чуть больше, чем нужно, и водолаз в бутылке сразу тонет – перестаёт работать. Не расстраивайтесь – ничего переделывать не нужно. Просто перед тем как завинчивать пробку, чуть сожмите бутылку и, не ослабляя нажима, заверните пробку. После того, как бутылка будет отпущена, начнут работать упругие силы, стремящиеся вернуть ей прежнюю форму. Они противодействуют внешнему давлению воздуха и увеличивают объём бутылки, в том числе объём воздуха в флакончике. Водолаз приобретёт положительную плавучесть, всплывёт и станет готов к работе.

В ГЛУБОКОЙ БУТЫЛКЕ

Представьте, что бутылка имеет высоту не десятки сантиметров, а десятки метров. Сожмём её



Рис. 1. Флакончики, пипетка Пастера и водолаз





и заставим водолаза спуститься на самое дно. Как вы думаете, поднимется водолаз или нет? Скорее всего, нет. Дело в том, что когда водолаз опускается вниз, гидростатическое давление жидкости на него возрастает, значит, объём воздуха внутри флакончика уменьшается, значит, плавучесть водолаза тоже уменьшается. И если бутылка достаточно высокая, то на некоторой высоте плавучесть станет отрицательной и водолаз сам собой потонет.

Выходит, что у такого водолаза есть два *устойчивых* положения равновесия внутри глубокой бутылки: когда водолаз плавает в верхнем положении и когда он покоится на дне. Если он находится в одном из этих состояний, то после малого возмущения туда же и вернётся.

При этом в верхнем положении его плавучесть положительная, в нижнем – отрицательная. Но тогда выходит, что на некоторой промежуточной высоте его плавучесть должна быть равна нулю. И это ещё одно положение равновесия – водолаз парит внутри бутылки. Только в отличие от первых двух оно *неустойчивое*. Если водолаз из этого положения чуть сместится вверх, то у него появится положительная плавучесть, и он продолжит своё ускоряющееся восхождение. Если же отклонится чуть вниз, то у него появится отрицательная плавучесть, и он потонет.

ВОДОЛАЗ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

Какой на самом деле должна быть глубина бутылки, чтобы в ней разместилось три положения равновесия, неужели несколько метров? Вот, скажем, водолаз, изображённый на рисунке 1, находится в бутылке высотой около 20 см, а у него имеются все три положения равновесия. Именно для настройки этого водолаза понадобилась пипетка Пастера, представленная на рисунке 1. Дело в том, что если вы хотите получить водолаза с тремя равновесиями в невысокой бутылке, вы должны добиться, чтобы у флакончика была *минимальная* положительная плавучесть, и этого можно достичь, добавляя в него воду буквально по одной капельке.

Что же хорошего в таком водолазе? Мы сожмём бутылку, он опустится вниз, и что дальше? Оказывается, есть несколько способов заставить водолаза подняться

наверх. Итак, у нас есть водолаз с тремя положениями равновесия, и в данный момент он на дне бутылки.

- Если ударить дном бутылки об стол, то водолаз подскочит, как на батуте, поднимется выше неустойчивого состояния равновесия, после чего приобретёт положительную плавучесть и сам поднимется наверх. Вместо того чтобы бить бутылкой об стол, можно стукнуть кулаком по столу – эффект тот же.

- А вот способ, который годится для высоких бутылок – литровых молочных и большего объёма. Пусть водолаз находится на дне; возьмёмся за пробку и приподнимем бутылку – водолаз всплывёт. Оказывается, под действием силы тяжести не опирающаяся на стол высокая круглая бутылка увеличивает свой объём, давление воздуха в ней падает и водолаз приобретает положительную плавучесть.

- Ещё один способ. Сильно наклоним бутылку, чтобы высота столба воды над водолазом существенно уменьшилась. На уровне водолаза давление воды уменьшится, воздух в нём расширится и водолаз начнёт подниматься. В некоторый момент поставим бутылку вертикально, и водолаз окажется наверху.

НАДЕВАЕМ ХОМУТ

Вот ещё один простой способ получить водолаза с тремя положениями равновесия. Поместим в бутылку флакончик с положительной плавучестью и наденем на неё червячный хомут (рис. 2).

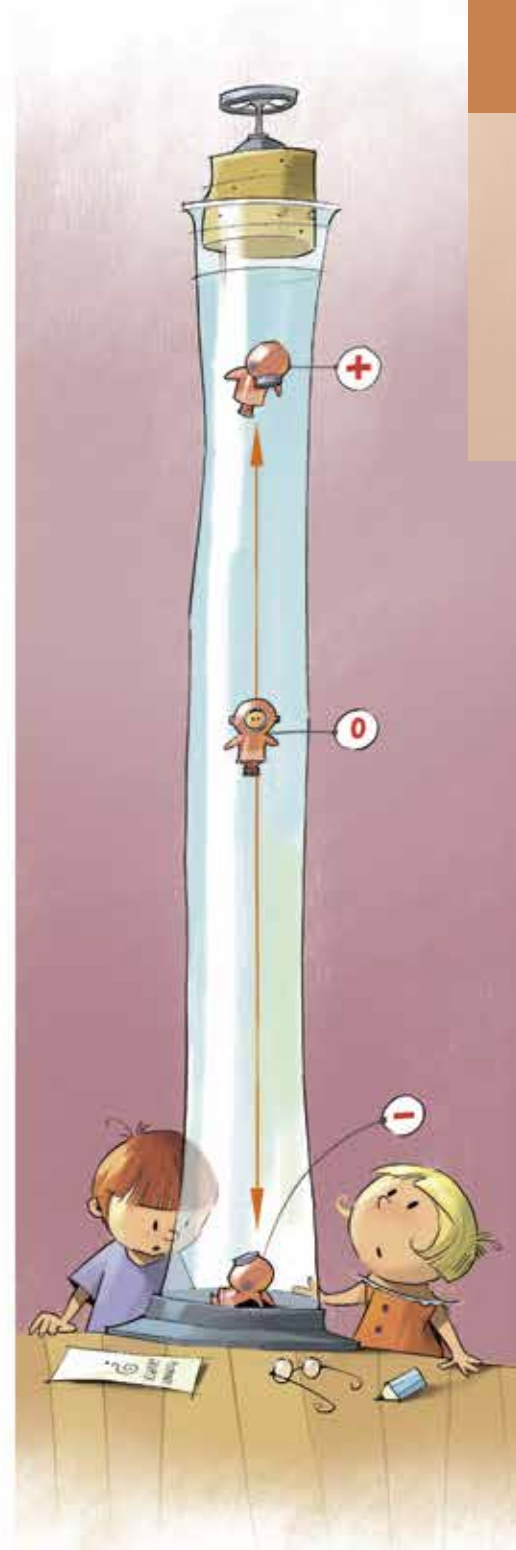
Начнём потихоньку сжимать хомут, каждый раз проверяя, не стало ли нижнее положение водолаза устойчивым. Когда это произойдёт, получим водолаза с тремя положениями равновесия.



Рис. 2. Бутылка с хомутом, очень удобная для настройки водолаза

ВОДОЛАЗ СИММЕТРИЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

Какой-то несимметричный у нас получился водолаз. Опускаешь водолаза вниз нажатием на бутылку, а чтобы поднять его, нужно постучать об стол, или приподнять бутылку, или наклонить её. Можно устранить





эту асимметрию, используя бутылку с овальным сечением (рис. 3).

Пусть водолаз с тремя положениями равновесия находится в самом верху такой бутылки. Сожмём в направлении друг к другу противоположные плоские стороны бутылки – её объём уменьшится, и водолаз опустится вниз. Если водолаз уже внизу, сожмём в направлении друг к другу противоположные закруглённые стороны – объём бутылки увеличится и водолаз пойдёт вверх.



Рис. 3.
Овальная бутылка

Для этих же целей можно использовать пластиковые бутылки с прямоугольным или, скажем, с треугольным сечением – такие тоже встречаются.

ДЕЛАЕМ ИЗ КРУГЛОЙ БУТЫЛКИ ОВАЛЬНУЮ

В овальных бутылках обычно продаются моющие средства и другая химия. Чтобы сделать водолаза, приходится долго ждать, пока они опустеют. Другое дело молочные бутылки, они опорожняются быстро, правда, имеют круглое сечение. Тем не менее возьмём полуторалитровую молочную бутылку и поместим в неё флакончик с минимальной отрицательной плавучестью – он сразу опустится на дно бутылки. Будем действовать, как при спасении водолаза. Сожмём бутылку, чтобы из неё вышло немного воздуха – чуть-чуть меньше, чем нужно для спасения водолаза, и, не ослабляя нажима, закрутим пробку. После этой процедуры у водолаза появятся два новых состояния равновесия – промежуточное неустойчивое и верхнее устойчивое.

В то же время упругие силы будут стремиться вернуть бутылке прежнюю круглую форму, а внешнее избыточное давление воздуха будет препятствовать этому. В итоге бутылка приобретёт овальную форму, а мы получим водолаза двойного симметричного действия.

Некоторые бутылки меньшего размера приобретают в результате описанной процедуры не овальную, а треугольную форму, и это нас тоже устраивает.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

Для изготовления водолазов удобно использовать флакончики с узким горлышком, наподобие тех, что



Рис. 4. Плаваемость регулируем в отдельном стакане

одну капельку и вернуть в стакан.

А после такой регулировки флакончик следует вниз горлышком перенести в бутылку. Если действовать аккуратно, при переносе вода из такого флакончика не выливается (рис. 5).



Рис. 5. Из этих флакончиков вода не выливается



Рис. 6.
Пипетка-водолаз

Фигурные цветные флакончики ёмкостью 2 мл продаются, например, в магазине «Дом ароматов». Там же можно купить пипетку Пастера, с помощью которой удобно регулировать количество жидкости во флакончике. Пипетка хороша ещё тем, что из нее самой можно соорудить водолаза. Закрепите на пипетке небольшой грузик и отрежьте у неё оставшийся кончик – водолаз готов (рис. 6).

И последнее: перед тем как производить свои эксперименты, обязательно посмотрите видео Beniamino Danese под названием «Le caraffine di Magiotti» на сайте reinventore.it/reinventore-tv/le-caraffine-di-magiotti-2/.



Художник Алексей Вайнер