

Алексей Панов

*Если вы утопнете
И ко дну прилипнете,
Год лежите,*

*два лежите,
А потом привыкнете.*

Фольклор



ЭЙНШТЕЙН, ЧАШКА ЧАЯ И КАРТЕЗИАНСКАЯ МЕДУЗА

Картезианская медуза – это один из вариантов картезианского водолаза. Её ещё часто называют магической медузой – Magic Jellyfish.



Рис. 1. Стандартный водолаз и картезианская медуза: если сжать бутылку, они опускаются, если отпустить – поднимаются; см. kvan.tk/diver и kvan.tk/jellyfish1

Стандартный картезианский водолаз – это маленький сосуд, частично заполненный водой и плавающий вверх дном в закрытой пластиковой бутылке. Если сжать бутылку, водолаз тонет – потому что воздух внутри водолаза тоже сжимается и туда затекает дополнительная порция воды. Если же отпустить бутылку, объём воздуха внутри водолаза восстановится и водолаз поднимется. Картезианская медуза ведёт себя точно так же.

В ГЛУБОКОЙ БУТЫЛКЕ. Представьте себе, что вы плаваете в океане и рядом с вами плавает картезианский водолаз. Потом вы ныряете вместе с ним на большую глубину и там отпускаете его. Как вы думаете, поднимется водолаз наверх или начнёт тонуть? Я склоняюсь к тому, что он потонет. Дело в том, что с глубиной давление воды возрастает, воздух внутри водолаза сжимается, водолаз всё сильнее и сильнее заполняется водой и в некоторый момент уже будет неспособен к всплытию.

Какой же будет эта предельная глубина, после которой водолаз не сможет всплыть? Оказывается, если правильно настроить водолаза, она может составлять

всего лишь несколько сантиметров. Убедитесь в этом, посмотрев ролик kvan.tk/jellyfish2. А правильная настройка – самое трудное дело: надо максимально заполнить водолаза водой так, чтобы он ещё не тонул, но опускался под воду при малейшем толчке.

СПАСТИ ВОДОЛАЗА. Итак, водолаз сначала плавал вверх бутылки, а после её сжатия потонул, можно сказать, прилип ко дну. Как его спасти, заставить подняться? Существует много способов добиться этого – в конце статьи мы дадим соответствующую ссылку. А здесь мы обсудим один новый метод спасения и посмотрим, как он работает для картезианской медузы. Но сперва нам нужно познакомиться с одной работой Эйнштейна.

СТАТЬЯ ЭЙНШТЕЙНА. Она была опубликована в 1926 году и называется «Причины образования извилин рек и так называемый закон Бэра». Имеется русский перевод, доступный на сайте журнала «Успехи физических наук». Посмотрите её, там всего четыре странички и нет ни одной формулы.

Эйнштейн начинает с «маленького эксперимента, который каждый может повторить». Он предлагает налить чай в чашку, раскрутить его ложкой, а затем вынуть ложку и убедиться, что чайники соберутся в центре дна чашки. Эйнштейн объясняет это тем, что в результате взаимодействия вращающейся жидкости с внутренней поверхностью чашки возникают дополнительные потоки (рис. 2). Именно они собирают чайники на дне, вблизи центра чашки.

Потоки эти возникают от того, что вращение отбрасывает жидкость к стенкам центробежной силой. При этом нижняя часть жидкости тормозится об дно, поэтому отбрасывание сильнее в верхней части. Вот вверх жидкость и расходится к краям, возвращаясь в центр по низу.

Для нас важно, что посередине эти дополнительные потоки сливаются в общий поток, направленный вверх вдоль оси чашки.

Рис. 2. Чашка неподвижна, жидкость вращается вокруг оси чашки, обозначены возникающие дополнительные потоки

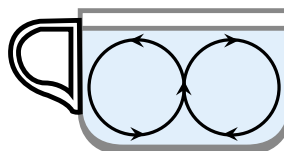
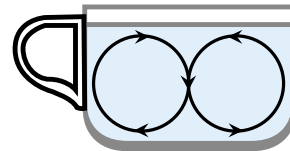


Рис. 3. Вращается чашка, а вместе с ней вращается жидкость, обозначены возникающие дополнительные потоки



Имеется ещё один, дополнительный к эйнштейновскому, сценарий, когда одновременно вращаются и чашка, и увлекаемая ею жидкость (рис. 3). Здесь тоже возникают дополнительные потоки, но на этот раз они направлены в противоположную сторону и создают общий поток, направленный вниз вдоль оси чашки. Наблюдая за поведением медузы, вы сможете самостоятельно убедиться в этом.

Мы готовы прийти на помощь утонувшей медузе.

СПАСЕНИЕ КАРТЕЗИАНСКОЙ МЕДУЗЫ. Итак, сначала медуза плавала вверх. Мы сжали бутылку, и медуза опустилась на дно. Но когда мы отпустили бутылку, медуза не смогла всплыть самостоятельно. К этому времени мы внимательно изучили рисунок 2 и для спасения медузы решили раскрутить жидкость, вращая бутылку. После остановки бутылки жидкость продолжила вращение, и мы оказались в ситуации, показанной на рисунке 2. По центру бутылки возник восходящий поток жидкости, который поднял медузу на некоторую высоту, где давление жидкости стало чуть меньше, воздух внутри медузы чуть расширился и вытеснил из неё небольшой объём воды. Этого оказалось достаточно, чтобы медуза самостоятельно смогла добраться до верха бутылки. Это был пересказ содержания ролика kvan.tk/jellyfish3

Имеется расширенный сценарий, основанный одновременно на обоих рисунках 2 и 3. Посмотрите соответствующий ролик kvan.tk/jellyfish4 и самостоятельно прокомментируйте его. Убедитесь, что в ситуации, обозначенной на рисунке 3, действительно возникает поток, направленный вниз вдоль оси чашки.

Наша спасательная миссия завершена. Подробности насчёт картезианского водолаза и методов его спасения см. в тексте kvan.tk/diver.pdf. Добавлю ссылку на видео kvan.tk/tealeaf про задачу Эйнштейна о парадоксе чайнок. В нём рассказано о потоках, изображённых у нас на рисунках 2 и 3, и показано поведение чайнок во вращающейся жидкости.

Художник Евгений Паненко • Фото автора

