

Здравствуйтесь команды соперницы, уважаемые члены жюри. Я – представитель команды Беларуси предлагаю вашему вниманию наше решение задачи «Поединок бутылок». Напомню условие задачи: «Возьмите две открытые стеклянные бутылки колы и резко столкните их друг с другом. После небольшого промежутка времени кола ударит струёй из какой-то бутылки. Исследуйте и объясните явление.»

Рассмотрение данного вопроса начнём с эксперимента. Сначала столкнём бутылки бок о бок.

При этом нужного нам явления не наблюдается. Тогда столкнём бутылки дном одной по горлышку другой.

При этом мы наблюдаем то, о чём говорится в условии задачи: кола бьёт струёй из нижней бутылки. Объясним происходящее с физической точки зрения.

После удара нижняя бутылка приобретает начальную скорость и начинает двигаться вниз. Однако в следствие инерционности движение жидкости в ней не успевает за перемещением самой бутылки. Таким образом сразу же после удара между дном этой бутылки и нижней поверхностью жидкости образуется область с пониженным давлением. С уменьшением давления уменьшается и растворимость газа в жидкости. Излишки растворённого у дна бутылки газа начинают выделяться из колы, собираясь в небольшие пузырьки. После этого, под действием архимедовой силы, пузырьки с газом начинают подниматься со дна к поверхности жидкости, где идёт интенсивное образование пены, которая и бьёт струёй из бутылки.

Вообще пена – это система, состоящая из газа, жидкости и поверхностно-активных веществ. Пены представляют собой множество газовых пузырьков, разделённых тонкими жидкими плёнками. Стоит заметить, что без поверхностно-активных веществ образование пены невозможно – она сразу же разрушается. Для подтверждения этого мы проведём ещё один похожий опыт, только теперь вместо колы возьмём чистую минеральную газированную воду, поверхностно-активные вещества в которой отсутствуют.

Как вы убедились, в этом случае пена сразу же разрушается.

В коле молекулы поверхностно-активных веществ, адсорбируясь на поверхности жидкости, образуют слой, в котором их концентрация выше, чем в объёме колы. Эти вещества снижают поверхностное натяжение жидкости. Таким образом, наличие на поверхности адсорбционного слоя молекул делает жидкую плёнку более устойчивой, что и позволяет получить из колы пену. Заметим также, что пена образуется не только на поверхности жидкости, но и во всём объёме колы, т.к. и там после удара присутствуют все три необходимые компоненты: поверхностно-активные вещества, пузырьки с газом и жидкость.

Для того, чтобы оценить пониженное давление у дна бутылки, проведём следующий опыт. Поместим под стеклянный колокол стакан с колой и начнём откачивать из-под него воздух. При некотором значении давления под колоколом, начнётся интенсивное выделения газа из колы в стакане,

наподобие того, как это происходит в бутылке после удара. Значение давления, которое покажет при этом манометр, будет приблизительно равно тому, которое возникает у дна бутылки после удара. Эксперимент показал, что пониженное давление у дна бутылки равно: $P =$

Но инерционность жидкости не единственная причина образования пены в коле. При соударении бутылок в стекле каждой из них возникает упругая волна, распространяющаяся со скоростью звука в стекле. Эта волна приводит к вовлечению в процесс колебания дно и стенки бутылки. А колебания дна и стенок сосуда приведут к распространению в жидкости механических волн, которые образуют области микросжатий и микроразряжений среды в объёме жидкости. Таким образом в этом случае в местах разряжений также начнётся образование зародышей пузырьков, имеющих такие маленькие размеры, что их невозможно разглядеть невооружённым глазом.

Явление возникновения волны имеет место и при боковом соударении бутылок. Сейчас вы сможете увидеть видеозапись, где отчётливо видно образование пены под действием звуковой волны. Здесь бутылка находится на бетонном полу, поэтому двигаться вниз после удара она не может и пена образуется только за счёт возникновения волны. А на следующей видеозаписи видно образование пены при боковом ударе, если над поверхностью жидкости находится пониженное давление.

Таким образом мы имеем дело сразу с двумя явлениями: предварительным образованием зародышей пузырьков под действием звуковой волны и появлением области с пониженным давлением в результате инерционного характера движения жидкости.

Теперь объясним, почему кола будет бить струёй из бутылки. Пузырёк газа, образовавшийся на дне бутылки, начинает всплывать по действием архимедовой силы. Поднимаясь выше, пузырёк приходит в слои жидкости с меньшим гидростатическим давлением, в связи с чем его объём увеличивается, а значит увеличивается и выталкивающая сила, действующая на него. Это приводит к увеличению скорости всплывающего пузырька. К тому же скорость течения жидкости больше в тех местах, где сечение бутылки меньше, т.е. в месте сужения бутылки скорость движущейся пены будет увеличиваться, и когда она достигнет горлышка у неё уже будет некоторая начальная скорость, с которой пена и вылетит из бутылки. Если же проделать опыт не с бутылкой, а со стаканом, у которого нет узкого горлышка, то пена не будет подниматься в нём так высоко, как в бутылке.

После соударения бутылок, у дна верхней бутылки, в отличие от нижней, вследствие инерционности жидкости возникает область повышенного давления, поэтому рассмотренный нами эффект здесь не достигается.

Таким образом, мы разобрали процессы, происходящие в системе, предложив своё теоритическое объяснение данного явления. Теперь займёмся экспериментальной частью задачи и определим насколько правильна наша теория.

Так как часть жидкости покидает пределы бутылки, то мы решили рассмотреть зависимость объёма вылитой колы от начальной скорости бутылки, которую она приобретает сразу же после удара, и от температуры колы.

Для того, чтобы определить зависимость объёма вылитой колы от начальной скорости бутылки, воспользуемся следующей экспериментальной установкой. Здесь в обрезанной пластиковой бутылке (1), с прикреплённой к ней линейкой (2), помещена пружина (3). На пружину ставится исследуемая бутылка колы (4). Затем по её горлышку наносится удар другой бутылкой (5). После удара бутылка (4) приходит в движение и начинает сжимать пружину (3). Весь этот процесс снимается на видеокамеру (6). Затем, после тщательного просмотра записи, определяется максимальное значение сжатия пружины, при помощи закреплённой линейки. Для проведения опытов использовалась пружина известной длины и жёсткости: $k=650\text{Н/м}$, $l=9\text{см}$, а также бутылка с колой, масса которой равна: $m=0.9\text{кг}$.

Из закона сохранения энергии, формула (1.4), найдём начальную скорость бутылки, формула (1.5). Таким образом при известных значениях жёсткости пружины и массы бутылки для нахождения её начальной скорости нужно измерять только амплитуду A . Для этого мы воспользовались видеокамерой и видеоманитофоном.

Проведя многочисленные эксперименты, мы определили зависимость объёма вылитой колы от начальной скорости бутылки. Как видно из графика, при увеличении начальной скорости бутылки увеличивается и объём вылитой колы, что соответствует нашей теории, по которой чем быстрее начинает двигаться бутылка, тем большая область пониженного давления образуется. Поэтому здесь начинается более интенсивное выделение газа из колы, который впоследствии образует пену на поверхности. Заметим также, что при скорости бутылки меньшей, чем приблизительно 30 см/с , пены образуется слишком мало и она не выливается из бутылки. График обрывается на значении начальной скорости, равной около 90 см/с . Это объясняется тем, что при некоторой силе удара по бутылке, она разбивается. Из-за этого становится невозможным сообщить бутылке начальную скорость, большую, чем 90 см/с .

Для проведения второй серии опытов с изменяющейся температурой колы, воспользуемся той же экспериментальной установкой, только теперь будем наносить удары по бутылке с одинаковой силой. Бутылки с колой будем нагревать посредством водяной бани. Проведя серию экспериментов, был получен следующий график зависимости, из которого можно сделать вывод, что чем выше температура колы, тем больше её выльется из бутылки. Это объясняется тем, что при увеличении температуры растворимость газа в коле падает. Таким образом в пузыри, которые образуются в области пониженного давления, попадает больше нерастворённого газа и они, всплывая, образуют больше пены, которая бьёт струёй из бутылки.

Поскольку в условии не оговорена форма и объём бутылок, а также производитель колы, мы решили провести ещё несколько сравнительных экспериментов для различных напитков. Нами были выбраны три вида колы: Бела-Кола в бутылке объёмом 330мл, Кола-Лайт в бутылке объёмом 500мл и Кока-Кола в бутылке объёмом 250мл. Как видно, формы всех бутылок различны. Нами был проведён следующий опыт. По всем бутылкам, температура которых была одинаковой, наносились удары с равной силой. После этого замерялись объёмы вылитой из бутылок колы. Т.к. в разных бутылках разные объёмы напитка, то мы решили определить относительные показатели вылитых объёмов, т.е. сколько процентов от всей колы в бутылке вылилось. После проведения серии опытов была получена следующая диаграмма. Как видно, самый высокий показатель отношения вылитой после удара колы ко всему объёму колы в бутылке имеет напиток Кола-Лайт, который мы и использовали во всех своих экспериментах.

Ещё одним важным параметром является высота поднятия струи колы. Нам уже известно, что чем выше температура и начальная скорость бутылки, тем больший объём колы выльется из неё. Значит при этих же условиях высота струи колы будет максимальной. Таким образом, проведя соответствующий эксперимент, при помощи видеокамеры и видеоманитофона, была определена максимальная высота поднятия колы над бутылкой. Она оказалась равной 27см.

Итак, как мы видим, все экспериментальные данные легко объясняются нашей теорией быстрого образования большого объёма пены. Она также объясняет и зависимости, полученные в ходе проведения экспериментов.

Таким образом мы рассмотрели несколько возможных соударений бутылок, разобрали динамику образования пены, собрали экспериментальную установку, позволившую нам получить графики зависимости объёма вылитой из бутылки колы от начальной скорости этой бутылки и температуры, рассмотрели несколько различных видов колы и форм бутылок, а также мы предложили теорию, подтверждённую многочисленными экспериментами, которая правдиво описывает интересующее нас явление.

На этом всё. Спасибо за внимание.