



Ефимов Василий Васильевич

Заслуженный учитель РФ, Почётный работник общего образования РФ. Учитель физики Муниципальной общеобразовательной средней школы №3, г. Березники, Пермский край.

Опыты с кипящей водой и атмосферным давлением

В статье подробно описаны четыре занимательных опыта, в которых образующийся при кипении воды пар вытесняет из сосуда воздух, а после охлаждения и конденсации пара его давление в сосуде резко падает, и тогда атмосферное давление творит настоящие чудеса. Их с большим удовольствием посмотрят как дети, так и взрослые. Особенно полезной статья будет для учителей физики и школьников, увлекающихся физическим экспериментом.

Несколько полезных советов

Так как во всех опытах физические явления протекают очень быстро, будет неплохо, если вы заснимете их на видеокамеру и при повторе рассмотрите более подробно.

Опыты не требуют специального оборудования. Первый из них лучше провести в школе под руководством учителя, остальные можно показать дома при присутствии взрослых, соблюдая осторожность. Не забывайте, что в отсутствие воздуха внутри сосуда на его внешние стенки атмосфера давит с силой 10 ньютонов на каж-

дый квадратный сантиметр поверхности, что эквивалентно силе тяжести тела массой 1 кг. Внутри же сосуда оставшийся насыщенный водяной пар при комнатной температуре имеет давление менее 30 мм рт. ст., что более чем в 25 раз меньше атмосферного давления. Даже если в сосуде после вытеснения паром воздуха останется половина от начального количества воздуха, то перепад давлений снаружи и внутри сосуда будет достаточным для описанных в опытах эффектов.

1. Опыт с колбой

В коническую или круглую плоскостонную колбу объемом 0,3-0,5 лит-

ра налейте примерно 50 мл воды. Колба должна быть огнеупорной, о

чём свидетельствует матовое пятно на её стенке. Колбу плотно закройте резиновой пробкой со стеклянной трубкой, на которую плотно наденьте резиновый шланг длиной около полуметра. Колбу поставьте на плитку, а шланг опустите в сосуд, содержащий 300-500 мл воды комнатной температуры, лучше подкрашенной. Конец шланга на 1 см не должен доходить до дна сосуда (рис. 1).



Рис. 1. Пар, образующийся при кипении воды, вытесняет из колбы воздух

2. Опыт с алюминиевой банкой из-под пепси-колы

Для его проведения потребуется пустая алюминиевая банка из-под пепси-колы или другой аналогичной жидкости. В крышке нераспечатанной банки необходимо шилом проколоть подале друг от друга два отверстия диаметром 2-3 мм и удалить из неё всю жидкость. Затем залить в банку несколько миллилитров воды. Это легко сделать с помощью шприца. Приготовьте две деревянные пробочки, плотно закрывающие отверстия в крышке. Используя отверстие в рычаге для открывания банки, привяжите к ней нитку или тонкую проволоку длиной 20-30 см. Приготовьте большую чашку или кастрюлю с холодной водой. Наденьте перчатку и, удерживая банку с открытым отверстием за нитку, нагрейте и с минуту проки-

Нагрейте воду в колбе и в течение двух-трёх минут её прокипятите. Обратите внимание, что при кипении воды из трубки в сосуд с холодной водой выходят пузырьки воздуха.

Когда выход пузырьков воздуха прекратится, используя сухую тряпку или перчатки, замените плитку подставкой, высота которой примерно равна высоте плитки. Можно использовать такую же, но холодную плитку. Колба начнёт остывать, а находящийся в ней насыщенный водяной пар будет конденсироваться. Его давление станет меньше атмосферного, и холодная вода по трубке под действием атмосферного давления начнёт поступать в колбу, охлаждая находящийся в ней водяной пар. Конденсация пара ускорится, увеличится разность давлений, и вода за 1-2 секунды с шумом заполнит всю колбу. Это доказывает, что при кипении воды её пары вытесняют из сосуда весь воздух.

пятите налитую в неё воду (рис. 2). При кипении из отверстия вырывается



Рис. 2. Удаление паром воздуха из банки

белая струйка сконденсировавшегося пара – тумана, состоящего из мелких капелек воды. Поставьте банку на

стол. Быстро заткните пробочками отверстия и положите её в сосуд с холодной водой. Находящийся в банке пар сконденсируется, и атмосферный воздух с треском раздавит её (рис. 3). Измерив диаметр банки и её высоту, вычислите площадь поверхности банки и оцените, какая, примерно, сила действовала на поверхность банки после конденсации паров.

Автор этой статьи, будучи десятиклассником, получил огромное удовольствие, проведя аналогичный опыт с 20-литровой канистрой, а затем с 200-литровой бочкой из-под бензина. К сожалению, в то время не было возможности снять всё это на видео.



Рис. 3. Банка после конденсации в ней пара

3. Опыт с кастрюлей

Для проведения этого опыта необходимо 2, а лучше 4 человека. Вместо алюминиевой банки в нём используется кастрюля диаметром примерно 15 сантиметров. Не беспокойтесь, железную эмалированную кастрюлю атмосферный воздух раздавить не сможет.



К ручкам кастрюли и к ручке крышки привяжите концы двух прочных веревок длиной около метра. Углубление на крышке, которым она опирается на край кастрюли, для обеспечения герметичности обмажьте тестом, по густоте похожим напельменное, или замазкой для окон (её можно купить в хозяйственном магазине).

Налейте в кастрюлю немного воды так, чтобы высота слоя воды была около сантиметра. Не закрывая кастрюлю, 1-2 минуты прокипятите воду при полной мощности горелки, чтобы водяные пары вытеснили из кастрюли воздух. Затем выключите горелку и сразу плотно прижмите крышку к кастрюле. Поставьте кастрюлю в большой сосуд с холодной водой крышкой вниз или в раковину под холодную воду. Через несколько минут, когда кастрюля остынет, попытайтесь открыть крышку, не прикладывая больших усилий. Если крышка не открылась, опыт можно продолжить (рис. 4).



Рис. 4. Ученики 8-го класса пытаются открыть кастрюлю

Вынесите во двор ваш физический прибор и повторите с ним опыт, проведённый в 1654 году немецким учёным Отто Герике в городе Магдебурге. Это знаменитый опыт с магдебургскими полушариями, которые растягивали 8 пар лошадей. О нём можно прочитать в учебнике: Физика 7, под редакцией А.В. Пёрышкина и Н.А. Родиной, Москва, Просвещение, 1989 г.

Если вам не удалось открыть крышку, так как оторвалась одна из

ручек, не огорчайтесь, опыт у вас получился, просто сила атмосферного давления оказалась больше предела прочности кастрюли. А маме объясните, что наука требует жертв.

Если крышка не оторвалась от кастрюли, потому что у вас было мало помощников или их вовсе не было, тоже не беда. Вашу силу легко удвоить, не удваивая числа людей. Просто привяжите одну из верёвок к толстому дереву или столбу и все вместе тяните за другую верёвку.

В заключение оценим, с какой силой надо тянуть крышку, чтобы открыть кастрюлю. Сила атмосферного давления равна произведению давления на площадь крышки: $F = pS$. При диаметре крышки 20 см площадь крышки примерно 300 см^2 . Тогда сила атмосферного давления, прижимающая крышку к кастрюле, будет около 3000 Н.

Итак, атмосфера прижимала крышку с силой, равной силе тяжести тела массой 300 кг!

4. Опыт с кастрюлей и стеклом

Для опыта необходима кастрюля диаметром около 15–20 см. Вырежьте из оконного стекла толщиной 2–3 мм квадрат, сторона которого на 1 см больше диаметра кастрюли, и такой же квадрат из плотной бумаги. Переверните кастрюлю, поставьте её верхним краем на бумажный квадрат и обведите карандашом. Намажьте с одной стороны всю поверхность стекла любым жидким клеем. Плотнo прижмите бумажный квадрат к стеклу. Нарисованная окружность должна быть со стороны стекла. Для обеспечения герметичности вдоль окружности сделайте кольцо из теста или замазки.

Налейте на дно кастрюли слой



воды высотой 1 см и несколько минут прокипятите воду. Затем быстро снимите кастрюлю с нагревателя и прикройте её приготовленной стеклянной крышкой, чтобы замазка или тесто по всей длине были плотно прижаты к верхнему краю кастрюли. Поставьте кастрюлю в большую чашку или тазик с холодной водой, отойдите от неё и ждите. Примерно через минуту, когда вода в кастрюле остынет и большая часть пара сконденсируется, давление в ней станет много меньше атмосферного, атмосферный воздух выдавит стекло (рис. 5). При этом будет слышен достаточно громкий хлопок. Наклеенная на стекло бумага не даст осколкам стекла разлететься в разные стороны. Все они



Рис. 5. После конденсации пара в кастрюле атмосферное давление сломало закрывающее её стекло

останутся внутри кастрюли.

При диаметре кастрюли 15 см воздух давил на стекло с силой примерно 2000 Н.

5. Интересный исторический факт

В заключение отметим, что первый тепловой двигатель, нашедший практическое применение, был пароатмосферным. Образующийся при кипении воды пар поступал в цилиндр и поднимал поршень площадью в несколько десятков квадратных дециметров. Затем в цилиндр впрыскивали немного воды, пар частично конденсировался, поршень опускался и с помощью соединённого с ним рычага поднимал откачиваемую из шахты воду (рис. 6 из книги П.С. Кудрявцева «Курс истории физики». Москва, «Просвещение», 1974).

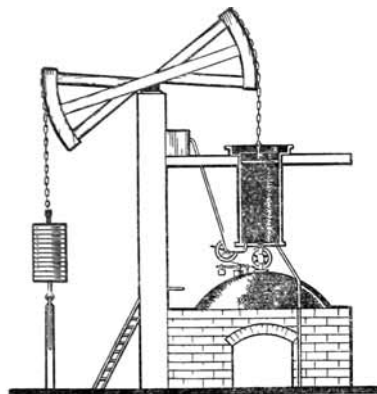


Рис. 6. Схема пароатмосферного двигателя