

ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ

Леонид Свистов



ПОЧЕМУ ВОДА КИПИТ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 100 ГРАДУСОВ?

Чтобы разобраться чем замечательно на эта температура, давайте, как и в статье «Фотографии кипящей воды» из прошлого номера, поставим кастрюлю с водой на нагреватель и закроем её крышкой. При закипании крышка со звоном приоткрывается, из-под неё начинает выходить газ. Поскольку газ выходит наружу, то давление под крышкой кастрюли с кипящей водой чуть больше атмосферного! (Давление внутри и снаружи крышки различается не сильно, поскольку крышка только стучит, а не слетает с кастрюли.)

Что происходит внутри? С поверхности воды идёт процесс испарения: переход молекул жидкости в газ. Одновременно происходит обратный процесс – конденсация пара в воду. Если скорость испарения равна скорости конденсации, пар называется *насыщенным*. Именно такой пар можно найти над поверхностью воды в от-

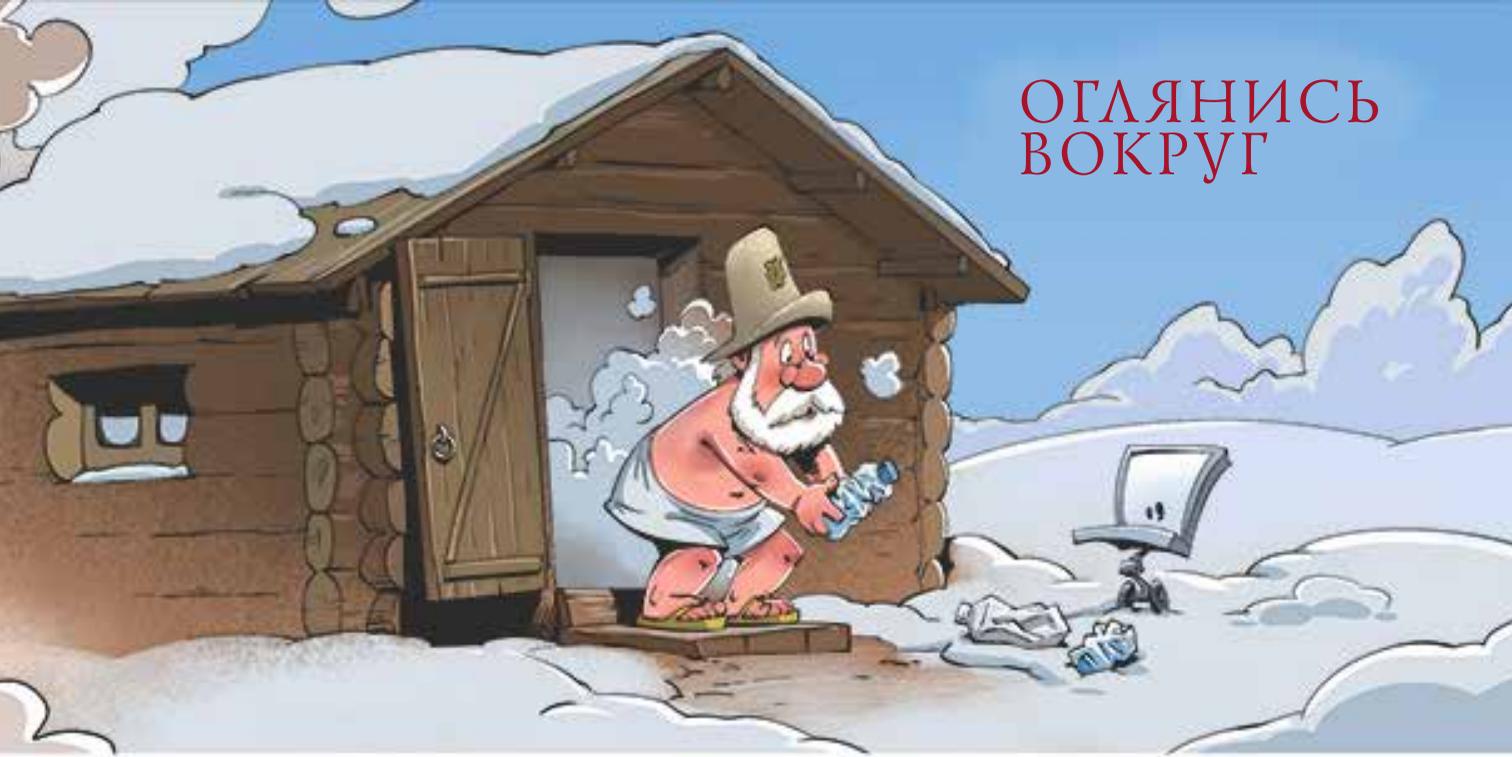
сутствии сквозняка – например, в кастрюле с водой, накрытой крышкой.

Чем выше температура, тем большее количество молекул воды может вырваться из жидкости и тем быстрее они двигаются в газе. Поэтому давление насыщенного пара растёт с повышением температуры. Под крышкой находится смесь воздуха и пара. Если температура воды комнатная, то газ в основном состоит из воздуха, так как давление насыщенного пара составляет приблизительно одну пятидесятую часть атмосферного давления. Остальные 49 частей приходится на воздух.

При нагреве под крышкой становится больше пара, а воздуха – меньше. Вы, наверное, замечали, что в парном отделении русской бани становится труднее дышать, после того как банщик плеснёт на раскалённые камни воды. Это связано с тем, что пары воды вытесняют из парилки воздух.

Чтобы убедиться, что над горячей

ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



водой воздуха меньше, чем над холодной, сделаем эксперимент. Возьмём пустую пластиковую бутылку с закручивающейся крышкой и аккуратно нальём в неё немного горячей воды из недавно кипевшего чайника. Выльем воду, *быстро* закроем бутылку крышкой и оставим охлаждаться. Остудить её быстрее можно струёй холодной воды из-под крана. На фото 1 и 2 – бутылки, обработанные описанным способом. Они выглядят так, будто их топтали ногами! Что произошло?

Когда мы закрывали крышку, давление газа внутри и снаружи бутылки равнялось атмосферному. После её охлаждения давление насыщенного пара в бутылке стало во много раз меньше атмосферного, поскольку избыток пара сконденсировался в капельки воды на внутренней поверхности бутылки. Давление газа в холодной бутылке оказалось меньше, чем давление атмосферы снаружи. Пластиковая бутылка не выдержала перепада давления и деформировалась, уменьшив свой объём.



Фото 1



Фото 2

ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



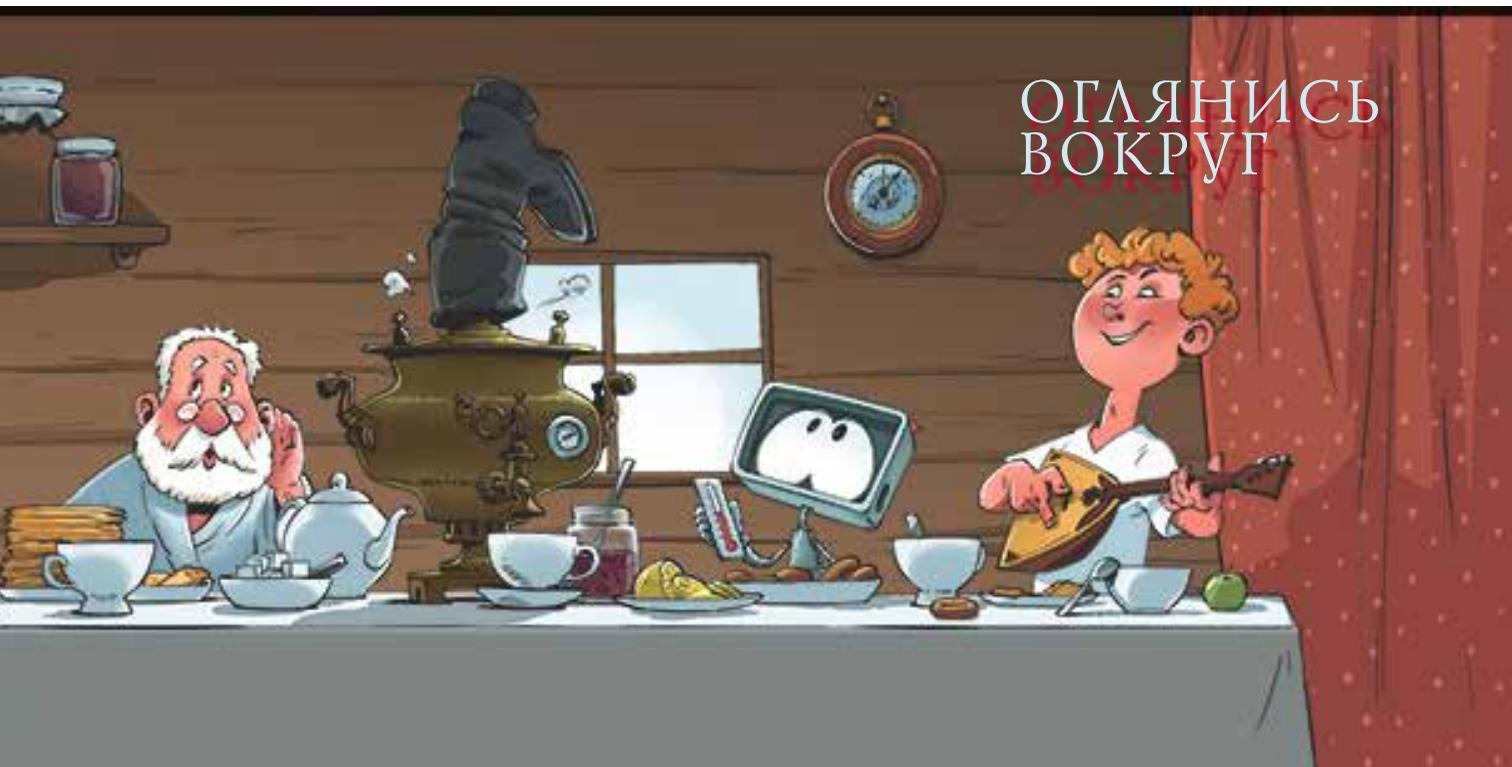
Конечно, в бутылке есть ещё и воздух, давление которого также при охлаждении уменьшается. Но воздуха в бутылке мало (см. далее решение задачи 1) и тепловое изменение объёма этого воздуха незначительное. Сомневающийся читатель может сам экспериментально измерить, во сколько раз меняется объём сухого воздуха при охлаждении от $90 - 100^\circ\text{C}$ до комнатной температуры. В наших экспериментах с сухим воздухом объём уменьшался всего на четверть, чего недостаточно для объяснения деформации бутылок в эксперименте.

Если вы решились повторить этот эксперимент, то, во-первых, будьте аккуратны с кипятком, а во-вторых, пластиковые тонкостенные бутылки (фото 1) деформируются при высокой температуре. Поэтому ополаскивайте их малым количеством кипятка (1/4 стакана). Этого достаточно для заполнения их горячим паром. На фото 2 – ёмкости на бумажной основе, которым разогрев до 100°C не страшен. Об-

ратите внимание, что при выборе сосуда на бумажной основе его горлышко должно быть вварено в сосуд (как на фото 2), а не наклеено, как это часто бывает на упаковках соков и молочной продукции. Клей не выдерживает нагрева!

Теперь, вооружившись знанием о насыщенном паре над поверхностью воды в кастрюле, мы можем вернуться к пузырькам в кипящей воде, о которых шла речь в статье из прошлого номера. С ними всё проще! Внутри них может быть только пар, поскольку воздух из воды вышел на ранних стадиях её нагрева. Вспомним, что на последней стадии кипения пузырёк, образовавшийся у дна кастрюли, всплывает и увеличивается в своих размерах. Отсюда заключаем, что испарение в пузырёк идёт интенсивнее, чем конденсация, то есть давление насыщенного пара внутри пузыря больше, чем атмосферное.

Если же пузырёк, всплывая, попадает в более холодную воду, пар на-



чинает конденсироваться, и пузырёк уменьшается и исчезает. Такое схлопывание пузырьков можно услышать, как характерный шум от воды незадолго до закипания. Таким образом, ответ на поставленный вопрос такой: при температуре кипения ($\sim 100^\circ\text{C}$) давление насыщенного пара становится равным атмосферному и испарение с участием пузырей, или кипение, становится возможным.



Фото 3

Задача 1. Измерьте, во сколько раз плотность воздуха над поверхностью воды, кипящей в кастрюле с открытой крышкой, меньше, чем в комнате.

Для решения этой задачи мы воспользовались стеклянной пробиркой, которую сперва согрели в кипящей воде (фото 3). После чего вылили из неё воду так, чтобы открытый конец пробирки всё время находился рядом с поверхностью кипящей воды. За-



Фото 4



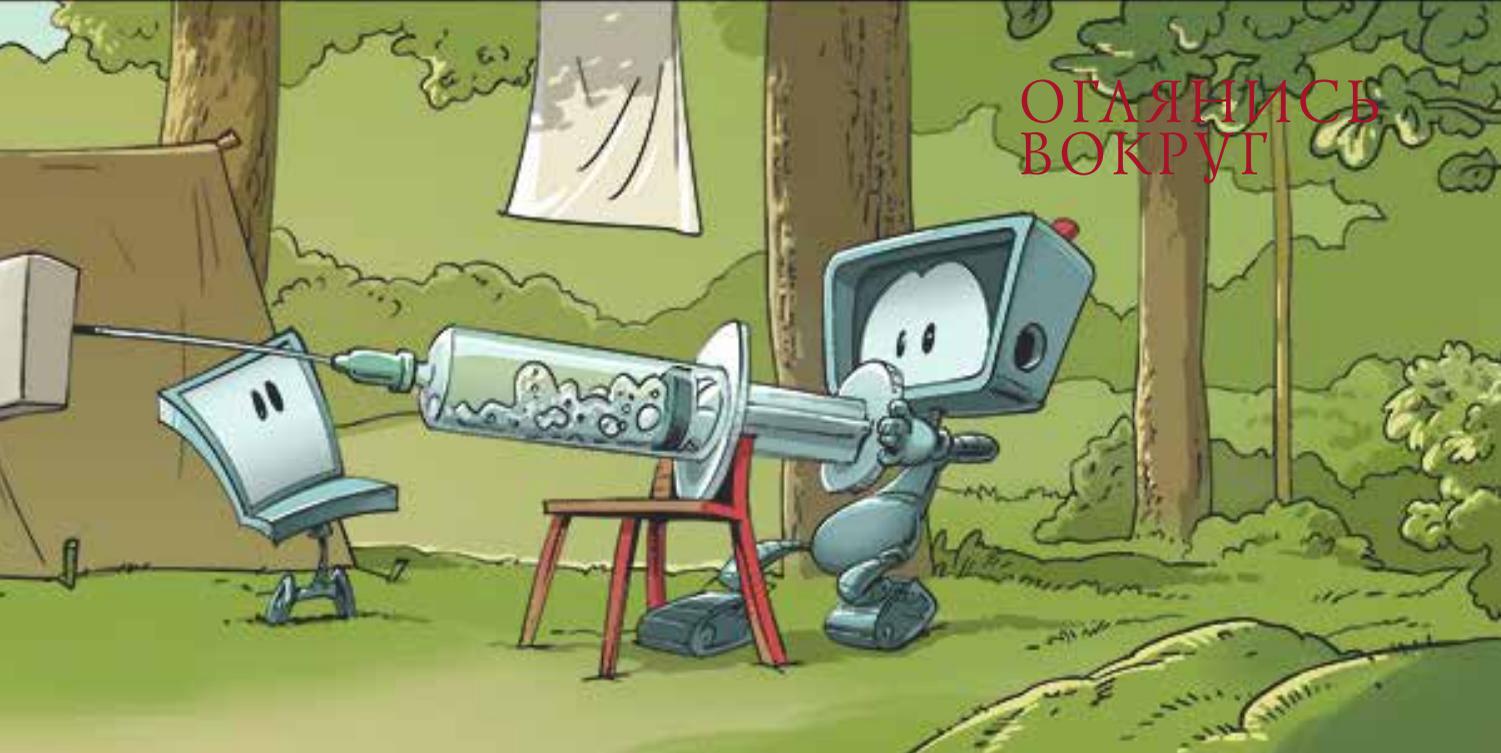
тем опустили открытый конец в воду, установили пробирку вертикально и выключили нагреватель. На фото 4 – пробирка и кастрюля после охлаждения до комнатной температуры. Воздушный пузырь сверху пробирки составляет приблизительно треть от всей высоты. Из этого эксперимента мы можем заключить, что над поверхностью кипящей воды в нашем эксперименте плотность воздуха приблизительно в три раза меньше, чем плотность воздуха в комнате. Верёвочка, привязанная к пробирке, помогала нам выливать воду из горячей пробирки и устанавливать её вертикально.

Задача 2. Как вскипятить воду, не нагревая её?

Вспомним, что кипение – это испарение в пузыри в объёме жидкости, и такие пузыри будут расти, если давление насыщенного пара в них превосходит давление в жидкости. Давление

вблизи поверхности жидкости равно давлению газа над ней, поэтому чтобы вскипятить воду при комнатной температуре, необходимо понизить давление воздуха в 50 раз (до величины давления насыщенного пара: 17 мм ртутного столба при 20 °С).

Мы предлагаем создать такое низкое давление с помощью медицинского шприца. Присоедините плотно иголку к шприцу. Насадите на иглу кусочек эластичной резины, например обыкновенный ластик. Теперь внутренний объём шприца изолирован от атмосферы. Проверьте это. Выдвиньте поршень и через некоторое время дайте ему плавно вернуться в исходное состояние. Если в шприце не появилось воздуха, то ваш прибор готов к исследованию воды при низком давлении. Теперь снимите резинку с иголки и заполните часть шприца водой. Поверните шприц иголкой вверх и выдавите немного воды. Это нужно для того,



чтобы избавиться от случайно попавшего воздуха. Теперь нужно снова наколоть на иглу резинку, немного выдвинуть поршень шприца, и можно наслаждаться кипением воды при комнатной температуре (фото 5)! Кипение воды происходит интенсивно сразу после выдвигания поршня. Через некоторое время рост пузырей останавливается, поскольку давление пара над водой растёт при кипении. Заставить пузыри снова расти и всплывать можно, если дополнительно понизить давление, выдвигая поршень. При плавном возврате поршня в исходное состояние пузыри и объём пара над водой уменьшаются и пропадают. Пар конденсируется в воду.

Температура кипящей воды в этом эксперименте комфортная для купальщика, но давление настолько низкое, что версию использования Коньком-Горбунком такой воды для купания Иванушки и царя можно определённо

исключить (см. статью из прошлого номера).



Фото 5