

## ПРИКЛЮЧЕНИЯ В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ

*Ждут туристы за оградой,  
Что вот-вот забьёт фонтан,  
Но желанную прохладу  
Им не даст сей чудо-кран.*

Есть на свете удивительные фонтаны, они действуют сами по себе, без участия человека. Вода в них горячая – кипяток. Бьют они прямо из-под земли на десятки метров вверх. Это гейзеры.

Их можно увидеть в Исландии, в Новой Зеландии, в США, в Японии, в нашей стране – на Камчатке, а один – на сцене Театра Занимательной Науки (ТЗН).

Место действия – сухой бассейн десятисантиметровой глубины (каркас из восьми метровых дощечек, накрытый полиэтиленовой плёнкой с чёрным кружком в центре). На стойке рядом – информация: «Долина гейзеров. Раскрой секрет и насладись!» Сбоку – демонстрационный стол с оборудованием.

А где же исследователи чудес природы – Ведущие научно-познавательного представления?

Один – уже на посту. В резиновых сапогах, белом лабораторном халате и спиннингом в руках, примостился он на четвёртой ступеньке, расставленной над «долиной» стремянки. И уже опустил леску с «наживкой» в чёрную глубину.

– Каков улов? – появляется его товарищ.

– На крючке – датчик температуры и видеокамера, собираюсь поймать данные перед тем, как произойдёт фонтанирование.

– Тогда стоит поторопиться. Этот гейзер работает строго по расписанию. Чем могу помочь делу науки?

– Я буду следить за глубиной погружения, а вы – за температурой и кипением.

На большом экране появляется рисунок канала гейзера и численные результаты измерений, по мере их поступления.

– У самой поверхности...

– 85,5 °С.

– 7 метров...

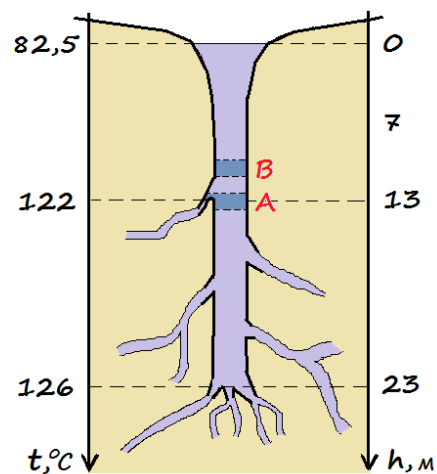
– Температура выше 100, а пузырьков не видно.

– 13 метров.

– 122 °С. Кипения нет!

– 23 метра. Касание «дна».

– 126 °С. А вода так и не закипела!



«Большой гейзер» в Исландии

Откуда-то «из-под земли» раздаются глухие устрашающие звуки, предшественники извержения.

– Сматываем удочки, пока не поздно...

Уже на краю сцены, вместе со зрителями, исследователи анализируют полученные результаты. (Не беспокойтесь, гейзер заработает не ранее того, как будет разгадан его секрет).

Повседневный опыт с кухонным чайником на плите заставляет зрителей усомниться в результатах проведённых измерений. Привычное бурление начинается при 100 °С, а в канале гейзера вода не кипит и при более высоких температурах. Как такое возможно?

Наша природная «плита» – это раскалённая магма вулкана – либо действующего, либо недавно потухшего. Гейзеры всегда соседствуют с вулканами. Канал, заполненный

грунтовыми водами – чайник, подогреваемый снизу, выделяющимися из магмы раскаленными парами и газами.

– Что такое кипение? – озадачивают присутствующих Ведущие.

– Процесс образования по всему объёму пузырьков насыщенного пара, – вспоминается формулировка.

– И когда оно наступает? – остаётся вопрос без ответа...

Давайте разбираться.

Знатока кипения приглашают на сцену, вручают ему ненадутый воздушный шарик, и просят изобразить «рождение, жизнь и смерть пузырька насыщенного пара в процессе кипения». Ведущие руководят *его действиями* и комментируют их.

Оказывается, что при достижении температуры кипения:

пузырьки рождаются не там, где им захочется, а в местах, где имеются центры парообразования – разного рода неоднородности<sup>1</sup>. В случае с чайником – это неровности его нагретого дна. (*Помощник, перевоплотившись, садится на край сцены на подстеленную газету с нарисованным крестиком-центром*);

пузырёк увеличивается в объёме при условии, что давление внутри него, больше чем снаружи (*помощник начинает надувать воздушный шарик*), и наконец, отрывается от дна силой Архимеда (*помощник встаёт с газеты*);

пузырёк всплывает – живёт (*рука помощника с надутым шариком поднимается вверх*) и умирает на поверхности (*лопается, когда Ведущий касается его остриём булавки*).

На сцену приглашается очередной помощник, которому предстоит подтвердить, что кипение (а, следовательно, и температура, при которой оно происходит) зависит от внешнего давления.

Один конец гибкой тонкой трубочки погружается на дно полуметровой прозрачной трубы с водой, другой – подносит к губам помощник.

Он пробует выдуть воздушный пузырёк на максимальной глубине.

Щёки раздуты, результата нет. Увы, давление в зарождающемся пузырьке меньше внешнего: суммы гидростатического и атмосферного. На большее не хватает «духа».

Попытка повторяется на глубине в один метр...

Сложно, но можно. Зрители встречают пузырьки аплодисментами.

На меньшей глубине – совсем просто.

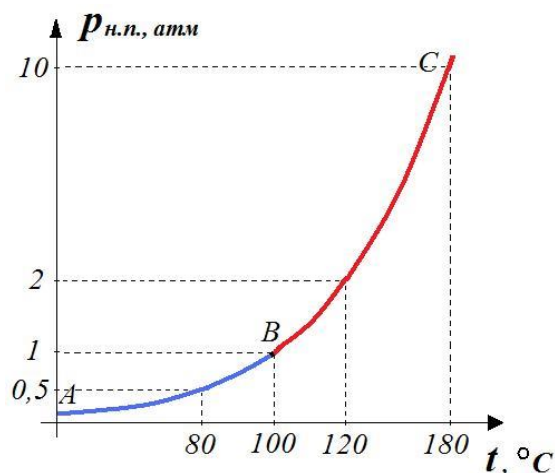
Весьма убедительно. Чем меньше глубина (и внешнее давление соответственно), тем меньше должно быть давление в растущем пузырьке.

Ведущие делают обобщение для пузырьков насыщенного пара: «Давление пара зависит от температуры, следовательно, чем меньше внешнее давление, тем ниже температура кипения, и наоборот!»

В качестве иллюстрации – график зависимости температуры кипения от давления со страницы учебника физики.

Выходит, что «холодная» вода может кипеть при температурах меньше 100 °С и быть «горячей», но не кипящей при температурах выше 100 °С.

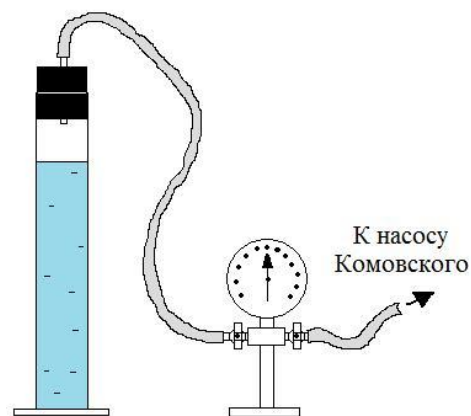
Хотелось бы это увидеть на практике, а не в модельном эксперименте...



AB - «холодный» кипяток  
 B - кипяток  
 BC - «горячий» кипяток

<sup>1</sup> Посторонние включения в воде: пылинки, ионы, пузырьки воздуха и прочие.

Для получения «Холодного кипятка» используется знакомый полутораметровый сосуд с водой<sup>2</sup>. Его плотно закрывают резиновой пробкой, в которую вставлен конец шланга от вакуумного насоса. Можно было бы использовать электромеханический («раз и готово»), но Ведущие уважают старый школьный – Комовского. «В чудеса со слов верится плохо...» Помощник со скрипом вращает его ручку, чавкает масло, и давление на воду постепенно снижается. Об этом свидетельствует стрелка манометра. И вот уже жидкость кипит при комнатной температуре! Прикоснулись к чуду.



Акцент внимания на том, что пузырьки насыщенного пара при данной температуре образуются не по всему объёму жидкости, а только в верхней части сосуда. А снизу, согласно графику, кипению мешает (гидростатическое) давление.

Полученным «холодным кипятком» Ведущие поливают «натруженные» руки помощника – пусть ему запомнится это приключение.

Пора раскрыть секрет гейзера. Для пояснения Ведущие обращаются к знакомому рисунку.

На глубине 13 м вода находится при температуре 122 °С, но не кипит, потому что температура кипения из-за гидростатического давления для неё там чуть выше. Всего на пару градусов<sup>3</sup>. Через каналы в нижней части ствола гейзера поступает раскалённый пар под большим давлением. (Вот и причина, по которой порой возникает подземный грохот). Вслед за этим происходит термодинамическое чудо. Пар приподнимает воду с уровня «А» на уровень «В», где давление а, следовательно, и температура кипения меньше<sup>4</sup>. Жидкость на этом уровне становится перегретой и моментально закипает. Образующийся при этом пар выталкивает вышележащие слои фонтаном вверх. Через некоторое время, вода из бассейна стекает вниз, канал вновь наполняется, жидкость нагревается, и процесс периодически повторяется. Так работает гейзер.

Его тайна раскрыта, хотелось бы «насладиться».

Без перегретой жидкости в этом деле не обойтись.

– Включите фантазию, – призывают Ведущие, доставая из заглазника двухлитровую пластиковую бутылку с диетическим газированным напитком «Кока-кола лайт» (*Coca-Cola Light*, или *Diet Coke*).

– Представьте, что мы выудили эту жидкость из гейзера с большой глубины. Вытащили её на поверхность, где в области пониженного давления, она превратилась в перегретую жидкость.

– Почему же она не закипает? – возникает законный вопрос.

– Это наша фантазия, в которой ход времени зависит от нашего желания. А мы желаем его на время замедлить. Правда, же?.. Сейчас всё осмыслим, приготовимся, и вернёмся к привычному тиканью часов.

Таким образом, к нам в руки попадает напиток, который в процессе приготовления был насыщен углекислым газом под большим давлением. Содержимое бутылки – хо-

<sup>2</sup> «Холодный кипяток» проще получить, если вода горячая.

<sup>3</sup> Кипение возникнет, если давление насыщенного пара в зарождающемся пузырьке сравняется с внешним, равным сумме атмосферного и гидростатического.  $p = p_0 + \rho gh = 101,3 \text{ кПа} + 127,4 \text{ кПа} = 228,7 \text{ кПа}$ . Из справочника выясняем, что подобному давлению насыщенного пара соответствует температура 124 °С, которая является искомой температурой кипения.

<sup>4</sup> Например, на глубине 10 м температура кипения равна 120 °С.

рошая модель перегретой жидкости. При откручивании крышки, давление понижается, жидкость становится перегретой, но «кипит» весьма вяло.

– Видите, пузырьков немного. Кстати, внутри них не насыщенный пар (как во время настоящего кипения), а углекислый газ, но нам без разницы.

Припоминаем условия кипения...

– Чего не хватает?..

– Центров парообразования.

В качестве таких неоднородностей используем жевательные драже «Ментос мята» (*Mentos Pure Fresh*)<sup>5</sup>.

В специальную цилиндрическую насадку помещаем шесть конфеток и металлический шарик, а сбоку – магнит. Насадка навинчивается на горлышко открытой ранее бутылки, и перегретая жидкость выставляется в центр бассейна.

Раздаются тревожные «подземные раскаты» – это один из Ведущих колышет, подвешенный за край, большой лист кровельного железа.

Начинается обратный отсчёт: «Пять, четыре, три, два, один...».

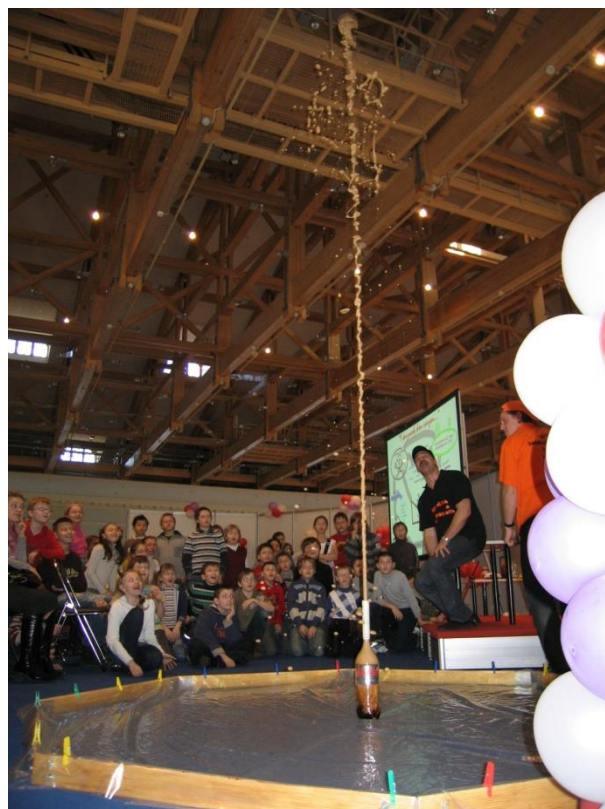
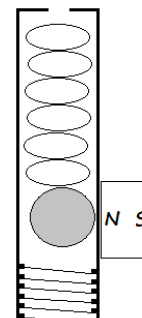
Другой Ведущий отлепляет магнит от бутылки и быстро отходит в сторону.

– Пуск!

Ничем не удерживаемый шарик, падает в сосуд, туда же проваливаются и драже. Все условия образования пузырьков соблюдены, начинается бурное «кипение» (на поверхности драже). В «глубинах» бутылки образуется большое количество пены, давление резко возрастает и содержимое спешит вырваться наружу через небольшое отверстие в верхней части насадки. Одноразовый гейзер срабатывает.

Струя под потолок<sup>6</sup> и восторг!

А иногда и памятное пятно на низком потолке. Гейзеры – они такие озорные, особенно в ТЗН.



25.07.17

<sup>5</sup> Поверхность мятного драже Ментос покрыта множеством маленьких отверстий, которые увеличивают площадь поверхности, доступной для реакции (и, следовательно, количество реагентов, способных вступать в реакцию друг с другом в конкретный момент времени). Заменитель сахара (аспартам), применяемый в диетической Кока-коле, снижает поверхностное натяжение, что так же усиливает реакцию.

<sup>6</sup> Высота фонтанирования зависит от диаметра отверстия в насадке и температуры напитка. ТЗНовский фонтан имеет высоту около 5 м и продолжительность 5 с.