

# Физика гейзера

Космаков Е., Кротов П.  
Лицей № 149, г. Омск

## *Комментарий методиста*

Широко известны слова выдающегося физика двадцатого века, лауреата Нобелевской премии по физике, одного из основателей знаменитого Физтеха П. Л. Капицы: «Школьник понимает физический опыт только тогда хорошо, когда он его делает сам. Но еще лучше он понимает его, если он сам делает прибор для эксперимента. Поэтому привлечение школьников к изготовлению приборов надо всячески приветствовать... надо стремиться показать физические явления так, чтобы оно не было оторвано от жизни. Это позволит сделать для ученика очевидной связь между теорией и практикой еще на школьной скамье и будет способствовать уничтожению самой большой болезни нашей учебы — ее абстрактности, когда знание существует само по себе, а жизнь идет сама по себе» [1, с. 182].

Предлагаемый учебный проект (текст дан в сокращении) является, по нашему мнению, удачным примером моделирования физических процессов, протекающих в природном объекте, и позволяет актуализировать теоретические знания учащихся. Так, в частности, при выполнении проекта было необходимо:

- рассчитать избыточное давление, создаваемое водяным столбом в модели гейзера;
- оценить, какова должна быть мощность электронагревательного элемента, используемого для повышения температуры воды;
- оценить коэффициент опустошения гейзера при его однократном извержении.

Особо хотелось бы обратить внимание на использованный в работе метод определения давления насыщенного водяного пара [2, с. 41], что вполне может стать содержанием отдельной лабораторной работы в классах физико-математического профиля. Для проведения измерения давления насыщенного водяного пара необходим химический стакан, наполненный водой, в который погружена перевернутая вверх дном пробирка с нанесенными на ее стенки делениями, термометр и электроплитка. Газ в пробирке представляет собой смесь воздуха и насыщенных паров воды; их суммарное давление равно внешнему давлению. (Если пробирка находится в химическом стакане, то внешнее давление равно атмосферному давлению. При проведении измерений в модели гейзера, когда пробирку помещают в колбу, имитирующую внутренний резервуар гейзера, внешнее давление увеличивается на величину гидростатического давления столба жидкости.) Применяя уравнение Клапейрона, несложно получить формулу для определения давления насыщенного водяного пара:

$$P_{\text{н}}(T) = P_{\text{внеш}} \left( 1 - \frac{T}{T_0} \cdot \frac{V_0}{V} \right),$$

где  $p_n(T)$  – давление насыщенного водяного пара при температуре  $T$  ;

$p_{\text{внеш}}$  – внешнее давление;

$V_0$  - начальный объем воздуха в пробирке при температуре  $T_0$ ;

$V$  - объем воздуха в пробирке при температуре  $T$  .

С. М. Андрюшечкин

## Введение

Люди живут в мире тепловых явлений. Один из ярких примеров таких явлений являются тепловые процессы, происходящие в недрах Земли, которые проявляют себя в виде землетрясений, извержений вулканов, работе гейзеров. «Гейзер (исл., geysir, от geysa - хлынуть) – это источники, периодически выбрасывающие фонтаны горячей воду и пара до высоты 20 - 40 м и более. Гейзеры – одно из проявлений поздних стадий вулканизма» [3, с. 282]. Они широко распространены в районах с активной вулканической деятельностью, где происходит интенсивный приток тепла из вулканического очага. До настоящего времени учёные не могут в полной мере спрогнозировать эту вулканическую деятельность, а потому является **актуальным** изучение и моделирование процессов, её сопровождающих. По этой причине **целью** данной работы является изучение физических процессов происходящих в гейзере и создание его физической модели. В работе ставились и решались следующие **задачи**:

1. Выяснить особенности кипения воды.
2. Провести анализ физических процессов происходящих в гейзере.
3. Изготовить экспериментальную установку - модель гейзера, провести измерение температуры кипения воды и сравнить полученные результаты с теоретическими.

В соответствии с целью работы **объектом исследования** являются тепловые процессы, связанные с переходом вещества из жидкого в газообразное состояние, а **предметом исследования** - кипение воды при повышенном давлении. **Теоретическая значимость** работы заключается в том, что предложен способ расчета, позволяющий оценить, какое количество воды превращается в пар при однократном извержении гейзера. Работа так же имеет **практическое значение**, так как изготовлена установка (модель гейзера), которая позволяет демонстрировать зависимость температуры кипения воды от внешнего давления.

## Основная часть

Гейзеры располагаются вблизи действующих или сравнительно недавно уснувших вулканов. Распространяющаяся от магматического очага теплота нагревает почти до кипения подземные воды, которые заполняют трещины и разломы вблизи земной поверхности (рис. 1). Механизм действия гейзера

впервые был объяснен в XIX веке Г. Бунзеном, который исследовал гейзеры в Исландии [4].

Напомним, в чём заключается процесс кипения жидкости и почему температура кипения воды зависит от внешнего давления. «В воде и на стенках сосуда всегда имеются пузырьки воздуха, часто настолько малые, что не видны глазом. На поверхности каждого пузырька непрерывно идёт испарение жидкости и конденсация пара. В результате пузырьки наполнены насыщенным паром» (5, с. 69). При повышении температуры давление насыщенного пара возрастает.

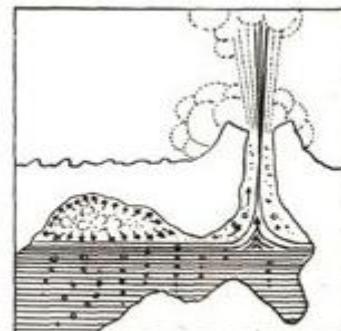


Рис. 1

Как только давление пара в пузырьке сравняется с атмосферным давлением (и немного его превысит), пузырёк начнёт увеличиваться в размере. При увеличении объёма пузырька увеличивается и действующая на него архимедова сила. Пузырёк отрывается от стенки сосуда и всплывает. Так происходит кипение.

Роль насыщенных паров в процессе кипения отчетливо проявляется при наблюдении пограничного кипения. Рассмотрим границу двух слоев жидкости - воды и керосина. На границе раздела в пузырёк испаряется и вода, и керосин. В итоге в пузырьке давление равно сумме давлений воды и керосина:

$$P = P_{\text{н.вод}} + P_{\text{н.кер}}.$$

По этой причине кипение на границе начинается при более низкой температуре, чем температура кипения воды и температура кипения керосина. При опытном наблюдении такого явления пробирка была наполнена водой и керосином, затем ее поместили в водяную баню, которая нагревалась на электроплитке. В опыте было отчетливо видно, что кипение начинается именно на границе раздела двух жидкостей.

Нормальное атмосферное давление составляет 101300 Па. Такое давление насыщенный водяной пар имеет при температуре 100 °С. По этой причине при нормальном атмосферном давлении вода кипит именно при 100°С. Если же внешнее давление на жидкость будет больше, то и давление насыщенного пара внутри пузырька тоже должно быть больше. Это достигается уже при более высокой температуре жидкости.

Вновь обратимся к гейзеру. Так как трубка гейзера наполнена водой, то температура кипения воды в гейзере будет больше 100°С. Подробно происходящие в гейзере физические процессы изложены в книге А. В. Тарасова «Физика в природе» (6, стр. 248 - 249).

Представим себе гейзерную трубку, наполненную горячей водой. По мере увеличения глубины воды давление в трубке растет - оно складывается из атмосферного давления и давления столба воды. При этом везде по длине трубки температура воды оказывается немного ниже температуры кипения, соответствующей давлению на той или иной глубине. Предположим, что по одному из боковых протоков в трубку поступила порция пара. Пар вошел в

трубку на некоторой глубине и поднял воду вверх; при этом гидростатическое давление, производимое на воду, уменьшится. Теперь температура кипения воды в рассматриваемой области трубки оказывается выше температуры кипения. Вода немедленно закипает. При кипении образуется пар, который еще выше поднимает воду в верхней половине трубки, заставляя ее выливаться в бассейн. По мере перехода воды из трубки в бассейн, давление на нижние слои воды в трубке продолжает уменьшаться, и наступает момент, когда закипает вся оставшаяся в трубке масса воды. В этот момент образуется сразу большое количество пара; расширяясь, он с огромной скоростью устремляется вверх, выбрасывая остатки воды из трубки и часть воды из бассейна - происходит извержение гейзера.

Гейзер может работать и без боковых каналов, если в нижней части его трубки есть дополнительный приток тепла. Это можно показать на действующей модели гейзера.

Для наблюдения работы гейзера нами была изготовлена действующая модель (рис. 2) Колба, наполненная водой, закрыта узкой стеклянной трубкой длиной около 2,5 м. Трубка наполняется водой. По этой причине давление в колбе больше атмосферного на величину гидростатического столба жидкости:

$$p = \rho gh,$$

где  $\rho$  – плотность воды,  
 $h$  - высота столба жидкости.

Вода в колбе нагревается с помощью электронагревателя. Он представляет собой проволочную спираль, подключённую к источнику напряжения. Температура воды в колбе измеряется с помощью электронного термометра марки ТЭН–5. В ходе проведения экспериментов нами была измерена температура кипения воды  $t_{\text{кип}}$  при различной высоте водяного столба  $h$ .

Выясним, какова должна быть мощность электронагревателя для эффективной работы модели гейзера. В качестве электронагревательного элемента используется проволочная спираль сопротивлением 4 Ом, напряжение источника питания – 30 В. Электрическая мощность нагревателя определяется силой тока  $I$  и напряжением  $U$ :

$$P = IU.$$

В соответствии с законом Ома:

$$I = U/R.$$

Тогда

$$P = U^2/R.$$

$$P = 230 \text{ Вт.}$$



Рис. 2

При вместимости колбы 1 л и наполнении ее горячей водой для дальнейшего нагревания воды на 15 °С – 20 °С потребуется, как легко оценить, время 5 – 10 минут, что вполне приемлемо.

Измерения проводились при атмосферном давлении 767 мм.рт. ст, что на 0,9 % отличается от нормального атмосферного давления. Так как отличие от нормального значения невелико, то в открытой колбе (при незаполненной трубке) температура кипения воды должна быть 100°С. Однако при кипении воды показания электронного термометра были равны 98,6°С. Расхождение может быть объяснимо погрешностью прибора и его тепловой инертностью. По этой причине все показания термометра, приведённые в таблице 1, даны с учётом поправки «+ 1,4°С».

Таблица 1.

Температура кипения воды  $t_{кип}$  в модели гейзера при различной высоте водяного столба  $h$

$h$ , см	40	80	120	160	200	240
$t_{кип}$ , °С	101,0	101,9	103,5	105,4	106,9	108,4

График зависимости температуры кипения воды от давления, построенный по данным, полученным в эксперименте, приведен на рисунке 3. Из опыта следует, что температура кипения воды действительно, как и показывает теория, повышается с ростом внешнего давления. Результаты согласуются с табличными данными, указанными в справочнике (6, с. 106).



Рис. 3

Давление насыщенного водяного пара также измерялось по методу, описанному в [2, с. 41].

### Заключение

Разработанная модель гейзера позволила изучить особенности процесса кипения при повышенном давлении. Данным прибор может найти применение при изучении темы «Кипение» в курсе физики в школе.

В дальнейшем представляет интерес выяснить на опыте, как температура кипения связана с концентрацией соли в воде, как действие гейзера зависит от мощности нагревателя и его расположения в трубке гейзера.

Следующим результатом, который можно получить в эксперименте – это определение отношения массы пара образовавшейся при извержении гейзера к полной массе воды, наполняющей гейзер.

Пусть масса пара образовавшегося при извержении гейзера  $m_{\text{п}}$ , а масса воды в гейзере –  $m_{\text{в}}$ . Обозначим их отношение через  $K$  и назовём это отношение коэффициентом опустошения гейзера:

$$K = m_{\text{п}}/m_{\text{в}}.$$

Проведем теоретический расчёт коэффициента опустошения. Предположим, что за счет избыточного гидростатического давления (определяемого высотой гейзерной трубки) температура кипения воды выше  $100^{\circ}\text{C}$  на  $\Delta t$ . Тогда количество «избыточно» полученной теплоты  $Q_1$  будет равно:

$$Q_1 = m_{\text{в}}c\Delta t,$$

где  $c$  – теплоемкость воды.

На образование пара в момент извержения гейзера потребуется количество теплоты  $Q_2$ , равное:

$$Q_2 = Lm_{\text{п}},$$

где  $L$  – удельная теплота парообразования воды.

Считая  $Q_1$  и  $Q_2$  равными, имеем:

$$Lm_{\text{п}} = m_{\text{в}}c\Delta t.$$

Отсюда

$$K = (c\Delta t)/L.$$

### Библиографический список

1. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. М.: Наука, 1977 – 354 с.
2. Буздин А. И., Сорокин В. В. Кипение жидкостей // Квант, № 6, 1987, С. 39 – 41.
3. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров – 3-е

изд. – М.: Сов. Энциклопедия, 1982 – 1600 с.

4. Электронный ресурс: Точка доступа: [wikipedia.ru](http://wikipedia.ru). Гейзер.

5. Андриюшечкин С. М. Физика: учеб. для 8 класса – Омск: Изд. СибАДИ, 2010 – 246 с.

6. Тарасов А. В. Физика в природе: Кн. для учащихся. – М.: Просвещение, 1988. – 351 с.

7. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике, - 10-е изд., испр. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 256 с.