

Ершова Лариса Вячеславовна
*Учитель физики МБОУ «СОШ № 2»,
 г. Гусь-Хрустальный.
 Заслуженный учитель РФ.*



Четыре ноги, два уха, один нос и брюхо

Помните эту детскую загадку про самовар? Сколько про них всего написано, а всё равно манит самоварная тема физиков. А в России знать про самовар, понимать принципы его работы – просто часть общей национальной культуры!

Велико разнообразие самоваров – от самовара-малютки, что каплю воды вскипятит, до гигантов, вмещающих 555 литров воды, способных напоить чаем более двух тысяч человек! Раньше большая семья после бани испивала ведро чая, а в трактирах, например, использовался трёхведёрный самовар. Самыми популярными для домашнего пользования были самовары на пять литров, их и сейчас довольно часто можно встретить в деревне или на даче. За ароматным чаем собирается семья; неспешно, с наслаждением ведётся разговор...

Попробуем поразмышлять над процессами нагревания и охлаждения такого пятилитрового самовара.

Вопросы для размышления

1. Оценить количество теплоты, необходимое для нагрева воды в самоваре до кипения.

2. Оценить количество теплоты, необходимое для нагрева самого самовара при этом.

3. Оценить, какое количество топлива понадобилось бы для нагрева воды и самовара.

4. Оценить время охлаждения нагретого самовара.

Возможное решение

1. По условию задачи самовар 5-литровый, то есть содержит пять литров воды. Массу воды в самоваре определим по формуле

$$m = \rho V = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,005 \text{ м}^3 = 5 \text{ кг}.$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева воды от комнатной температуры примерно в 20°C до кипения при 100°C определяется по формуле

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_2 - t_1) =$$

$$= 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ кг} \cdot 80^\circ\text{C} = 1,68 \text{ МДж}.$$

2. Из энциклопедии узнаём, что основную массу самоваров изготавливали из зеленой меди (латуни). Дюжина средних самоваров на 5 литров весила более 4 пудов.

Итак, один самовар по массе примерно составлял

$$m = \frac{4 \text{ пуда}}{12} = \frac{1}{3} \text{ пуда}.$$

Пуд – это единица массы, равнялся 49 фунтам (около 16,38 кг). Выходит, что масса одного самовара в среднем составляла

$$m = \frac{1}{3} \cdot 16,38 \text{ кг} = 5,46 \text{ кг}.$$

Удельную теплоёмкость латуни находим из табличных дан-

ных: $c = 377 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Количество теплоты, необходимое для нагрева латуни от комнатной температуры примерно в 20°C до температуры кипения воды 100°C определяется по формуле

$$Q_{\text{л}} = c_{\text{л}} m_{\text{л}} (t_2 - t_1) = 377 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \times$$

$$\times 5,46 \text{ кг} \cdot 80^\circ\text{C} \approx 0,16 \text{ МДж}.$$

Стоит отметить, что самовар без воды нагревать нельзя.

3. Количество теплоты, необходимое для нагрева воды и самовара, выделяется в процессе сгорания топлива:

$$Q = Q_{\text{в}} + Q_{\text{л}} = 1,68 \text{ МДж} + 0,16 \text{ МДж} =$$

$$= 1,84 \text{ МДж}.$$

Лучшее топливо для самовара – древесный уголь, сухие чурки и щепки. При использовании древесного угля самая высокая температура будет в области очага горения, то есть снизу, поэтому более горячая вода, как более лёгкая, поднимается вверх, а холодная в соответствии с законом Архимеда вверх, а холодная с учётом конвекции опускается вниз, происходит равномерное перемешивание воды разной температуры.

Предположим, что наш самовар топили древесным углём, это оптимальное топливо по мнению многих специалистов: древесный уголь при сгорании выделяет максимум тепла, процесс топки регулируется подачей воздуха, в процессе сгорания образуется малое количество золы. Выберем уголь с удельной теплоёмкостью сгорания $q = 32\,000 \text{ кДж/кг} = 32 \text{ МДж/кг}$, так как табличные данные удельной теплоёмкости сгорания древесного угля колеблются от 31 500 до 34 000 кДж/кг. Массу древесного угля определяем по формуле

$$m = \frac{Q_{\text{топлива}}}{q}.$$

Из справочной литературы узнаём, что коэффициент полезного действия самовара на дровах не выше, чем у паровоза, и в лучшем случае составляет где-то $\eta = 0,15$, или 15%.

С учётом тепловых потерь по закону сохранения энергии

$$Q_{\text{воды}} = \eta \cdot Q_{\text{топлива}},$$

и масса древесного угля

$$m = \frac{Q_{\text{воды}}}{\eta \cdot q} = \frac{1,68 \text{ МДж}}{0,15 \cdot 32 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}} =$$

$$= 0,35 \text{ кг} = 350 \text{ г}.$$

Попробуем оценить потери тепла во время нагревания самовара. Коэффициент полезного действия самовара можно определить по формуле

$$\eta = \frac{Q_{\text{воды}}}{Q_{\text{общ}}},$$

где

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{воды}} + Q_{\text{самого самовара}} + Q_{\text{переданное воздуху}},$$

откуда можно оценить потери тепла во время нагревания:

$$Q_{\text{переданное воздуху}} = Q_{\text{воды}} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) -$$

$$- Q_{\text{самого самовара}} = 1,68 \text{ МДж} \left(\frac{1}{0,15} - 1 \right) -$$

$$- 0,16 \text{ МДж} = 9,36 \text{ МДж}$$

из 11,2 МДж, полученных от топлива!

Стоит заметить, что коэффициент полезного действия самовара зависит от используемого топлива. Например, если в качестве топлива использовать уголь, то КПД довольно высокий, не менее 70% («Наука и жизнь», №12, 2001. «Самовар с точки зрения теплотехники»).

4. Разумно устроен самовар: его жаровая труба помещается во внутреннюю часть ёмкости и со всех сторон окружена водой, что снижает тепловые потери, но они всё же есть. Существует математическая модель для приближённого описания теплообмена тела с окружающей средой при постоянной температуре этой

среды – закон Ньютона–Рихмана, согласно которому тепловой поток (количество теплоты, отдаваемое горячим телом за единицу времени) прямо пропорционален разности температур между горячим и холодным телом, а также площади теплового контакта:

$$Q = \frac{cm \cdot dT_{\text{в}}}{dt} = -\alpha S (T_{\text{в}} - T_{\text{к}}), \quad (1)$$

где Q – тепловой поток, S – площадь теплообмена, $T_{\text{в}}$ – температура воды, $T_{\text{к}}$ – температура окружающей среды (комнаты), α – коэффициент пропорциональности, учитывающий конкретные условия процесса теплоотдачи.

Попробуем оценить время, за которое охладится вода в самоваре после её закипания на чайном столе. Из формулы (1) имеем:

$\frac{dT_{\text{в}}}{T_{\text{в}} - T_{\text{к}}} = -\frac{\alpha S}{cm} dt$. Возьмём интегралы от обеих частей:

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT_{\text{в}}}{T_{\text{в}} - T_{\text{к}}} = -\int_0^{\tau} \frac{\alpha S}{cm} dt,$$

откуда $\ln \frac{T_1 - T_{\text{к}}}{T_2 - T_{\text{к}}} = \frac{\alpha S}{cm} \tau$, и время охлаждения воды

$$\tau = \frac{cm}{\alpha S} \ln \frac{T_1 - T_{\text{к}}}{T_2 - T_{\text{к}}}. \quad (2)$$

Коэффициент теплообмена α практически всегда берут из эксперимента, а не рассчитывают, поскольку он зависит от многих факторов, определяющих процесс теплообмена. Из табличных данных для спокойной воды и металлических стенок ориентировочно

$$\alpha = 450 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}.$$

Сорта чая разные, но самая минимальная температура, при которой

ещё можно заварить чай, 70°C . С точки зрения тепловых потерь, оптимальная форма самовара – шар. Для пятилитрового объёма соответствующая площадь охлаждаемой поверхности примерно

$$S = 3000 \text{ см}^2 = 0,003 \text{ м}^2,$$

при охлаждении воды массой 5 кг от $T_1 = 100^\circ\text{C}$ до $T_2 = 70^\circ\text{C}$ в окружающей среде с температурой $T_k = 15^\circ\text{C}$ получаем

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ кг}}{450 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,003 \text{ м}^2} \ln \frac{100^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}}{70^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}} = \\ &= 6772 \text{ с} \approx 113 \text{ мин} \approx 2 \text{ ч}. \end{aligned}$$

Это правдоподобная оценка – примерно за два часа и охлаждается в действительности 5-литровый самовар.

Это лишь небольшая часть вопросов, связанных с физикой самовара. Есть и другие вопросы для размышления, связанные со старым добрым знакомым – самоваром: можно оценить время нагрева в нём воды до кипения; задуматься, как образуется тяга, и т.д.

Желаю радости открытий в изучении физики привычных и не очень привычных вещей!

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Неразрешимая задача

Голландский физик Петер Дебай в 40-х годах XX века работал в США. Он читал там лекции в университетах двух городов, находящихся на одной железнодорожной линии, и ездил в них на поезде. Однажды контролёр, знавший уже его в лицо, попросил учёного предъявить билет. Дебай стал рыться в карманах, портфеле, но билета не находил... Контролёр прервал его поиски успокаивающей фразой:

– Наверное, вы уронили билет под сиденье. Я потом его найду.

– Но как же, – обеспокоенно ответил Дебай, – я узнаю без билета, куда я еду сегодня?

Обрадовал

Когда ученик пришёл домой после уроков в последний день учебного года, напряжённо ждавшие его родители тут же поинтересовались, каков же результат учёбы. И услышали бодрый ответ:

– Вам очень повезло: учебники покупать не нужно!

– Почему?

– В следующем году я буду учиться по тем же книгам, что были куплены для прошедшего года.