

Тепловая машина

Выполнили:

Аленович Анастасия Александровна (11А),
Мартинкевич Илья Валерьевич (11А)

Научный руководитель:

Матюк Анатолий Эдуардович, учитель
физики СШ №1 г. Лиды

Оглавление

Введение.....	2
Основная часть	4
Заключение	6
Литература	7

Введение

Высокий стеклянный цилиндр заполняется наполовину горячей водой, затем, аккуратно, холодной. В него опускается небольшая ампула, содержащая несколько капель эфира или спирта и закрытая резиновым колпачком от медицинской пипетки. Опишите наблюдаемые процессы. Как меняется движение ампулы со временем?

На тело, полностью погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила – сила Архимеда, которая находится по формуле:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_T,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, V_T – объем тела, погруженного в жидкость.

Характер движения тела в жидкости зависит от соотношения силы тяжести и силы Архимеда. Как мы видим, сила Архимеда прямо пропорциональна объему тела V_T , значит, для тела переменного объема, но постоянной массы можно получить различные соотношения силы Архимеда и силы тяжести, изменяя его объем. В нашем случае таким телом является ампула, закрытая резиновым колпачком. Внутри ампулы находится газ – воздух, смешанный с насыщенными парами спирта, и несколько капель спирта в виде жидкости. При изменении температуры этого газа некоторая часть жидкости испарится (или некоторая часть пара конденсируется), т.е. пар станет насыщенным. Давление внутри ампулы также существенно изменится, а вследствие этого изменится и объем колпачка.

В сосуд сначала наливается горячая вода, а затем – холодная. Конечно, сразу начнет происходить конвекция, холодная вода будет опускаться вниз, а горячая подниматься вверх. Но все же распределение температуры некоторое время будет сохраняться. При опускании ампулы в верхний холодный слой воды температура газа в ампуле уменьшится. Значит, можно подобрать такие параметры, чтобы объем колпачка уменьшился настолько, что сила тяжести стала бы больше силы Архимеда, и ампула начала бы двигаться вниз. При попадании ампулы в нижний горячий слой воды температура газа в ампуле увеличится. И наоборот, можно подобрать такие параметры, чтобы объем колпачка увеличился настолько, что сила Архимеда стала бы больше силы тяжести, и ампула начала бы двигаться вверх, снова попадая в холодный

слой. Таким образом, можно найти такие условия, при которых ампула будет совершать колебательные движения между верхней и нижней границами воды за счет разности температур.

Определим эти условия. Как уже было сказано, характер движения ампулы определяется ее объемом. Зависимость объема от высоты можно получить из уравнения состояния газа:

$$p_B V = \nu RT,$$

$$p_B = \frac{\nu RT}{V},$$

где p_B – давление воздуха внутри ампулы, ν – количество газа, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

Давление насыщенного пара спирта внутри ампулы $p_{сп}$ определяется выражением:

$$p_{сп} = Ae^{\mu T},$$

где $A=0,0011$ Па, $\mu=0,053$ К⁻¹.

Тогда можно записать зависимость объема от высоты.

Из уравнения

$$p_0 + \rho_{ж}g(h_B - h) + k(V - V_0) = p_B + p_{сп},$$

следует, что

$$V(h) = \frac{\sqrt{(p_0 + \rho_{ж}g(h_B - h) - kV_0 - Ae^{\mu T})^2 + 4k\nu RT(h) - (p_0 + \rho_{ж}g(h_B - h) - kV_0 - Ae^{\mu T})}}{2k},$$

где p_0 – атмосферное давление, k – коэффициент упругости колпачка, V_0 – начальный объем колпачка, h_B – высота столба воды.

Определим условия, при которых ампула будет совершать колебательные движения вверх-вниз.

Первое условие: сила тяжести должна быть больше силы Архимеда, когда ампула находится у верхней границы воды, чтобы она начала опускаться (рис. 1):

$$mg > \rho_{ж}gV(h_B),$$

$$m > \frac{\rho_{ж}(\sqrt{(p_0 - kV_0 - Ae^{\mu T_2})^2 + 4k\nu RT_2} - p_0 + kV_0 + Ae^{\mu T_2})}{2k},$$

где T_2 – температура воды у поверхности цилиндра.

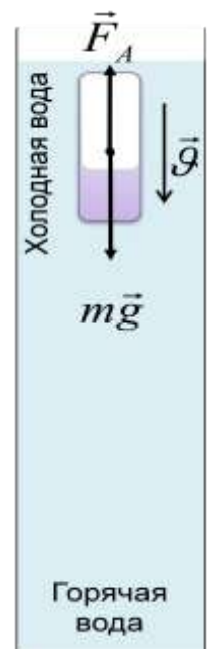


Рис. 1 Ампула находится у верхней границы воды

Второе условие: сила Архимеда должна быть больше силы тяжести, когда ампула находится у дна сосуда, чтобы она начала подниматься (рис. 2):

$$mg < \rho_{\text{ж}} g V(h_0),$$

$$m < \frac{\rho_{\text{ж}} (\sqrt{(p_0 + \rho_{\text{ж}} g h_{\text{в}} - k V_0 - A e^{\mu T_1})^2 + 4 k v R T_1} - p_0 - \rho_{\text{ж}} g h_{\text{в}} + k V_0 + A e^{\mu T_1})}{2k},$$

где T_1 – температура воды у дна цилиндра.

Таким образом, мы определили условия, при которых ампула будет совершать колебательные движения между верхней и нижней границами воды за счет разности температур.



Рис. 2 Ампула находится у нижней границы воды

Основная часть

Для проведения эксперимента мы использовали высокий стеклянный цилиндр (высотой около 60 см). Нижнюю половину цилиндра (около 25 см) заполняли горячей водой, а верхнюю – холодной. Так как плотность горячей воды меньше, чем холодной, происходило довольно быстрое перемешивание горячей и холодной воды за счет явления конвекции. Чтобы исключить конвекционное перемешивание в горячую воду мы добавили поваренной соли, увеличив при этом ее плотность.



Рис. 4 Установка «Тепловая машина»

В небольшую ампулу мы помещали несколько капель спирта и закрывали колпачком от пипетки. При этом средняя плотность ампулы с колпачком получалась меньше плотности холодной воды, и ампула плавала в ней.

Для того, чтобы ампула тонула в холодной воде, внутрь ампулы мы помещали дополнительный баланс в виде маленьких железных гвоздей.

Мы помещали ампулу на некоторую высоту в воду, удерживали некоторое время и отпускали ее. Она действительно начинала совершать колебательные движения, причем эти колебания имели следующий характер: ампула опускалась на дно сосуда, покоилась



Рис. 3 Ампула с колпачком от пипетки



Рис. 5 Колебательное движение ампулы на границе раздела холодной и горячей воды там некоторое время, затем поднималась вверх, достигала верхней границы воды, покоилась там некоторое время, затем опять опускалась вниз и т.д., т.е. колебания не были затухающими. Этот процесс продолжался в течение 5 – 6 мин, пока температура воды существенно не изменилась.

Исследуя движения ампулы, мы определили средние значения периода и амплитуды колебаний и построили графики зависимости высоты нахождения ампулы от времени (график 1 и график 2). Высоту нахождения ампулы определяли по нижнему ее краю.



График 1. Зависимость высоты нахождения ампулы от времени (первая минута наблюдений)

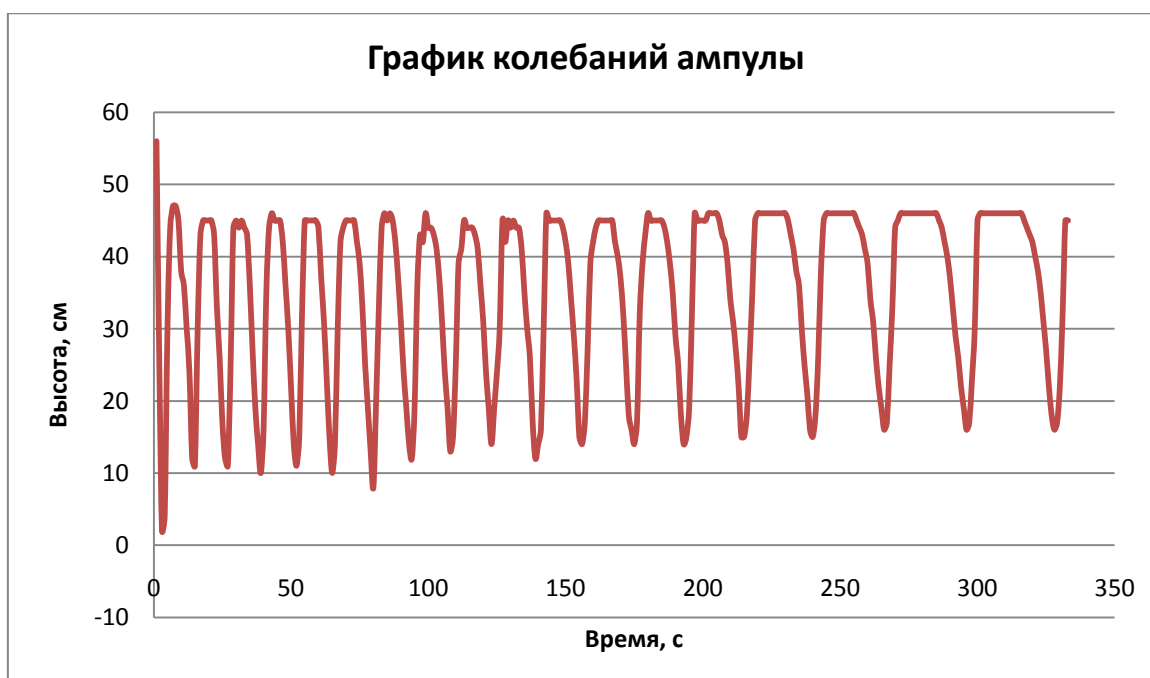


График 2. Зависимость высоты нахождения ампулы от времени

Из графика 1 видно, что колебания ампулы являются периодическими, причем в верхней части трубки ампула останавливается на несколько секунд.

По графику 2 можно сделать вывод, что колебания ампулы на протяжении времени наблюдений (5,5 мин) являлись практически незатухающими с незначительным уменьшением амплитуды колебаний во второй половине наблюдений. С увеличением времени наблюдений период колебаний ампулы постепенно увеличивался из-за увеличения времени задержки ампулы в верхней части трубки. Причиной этому – постепенное прогревание верхних слоев воды и охлаждение нижних. Так в начале наблюдений период колебаний ампулы составлял примерно 12 с, а через 5 минут – 30 с.

Средний период колебаний ампулы составил 17,39 секунды, средняя амплитуда колебаний – 16,37 см.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что колебания ампулы с несколькими каплями спирта являются периодическими и незатухающими, по крайней мере, до тех пор, пока существует разность температур холодной и горячей воды в трубке.

Данные колебания происходят под действием двух сил: силы тяжести и силы Архимеда, действующих на ампулу и ее содержимое. Сила тяжести в данных условиях не изменяется, а сила Архимеда является переменной силой из-за изменения объема резинового колпачка в результате испарения и конденсации спирта.

Литература

1. Насыщенные пары и жидкости. <http://studyport.ru/Волькенштейн/npj> .
2. Сила Архимеда. http://class-fizika.narod.ru/7_archim.htm.
3. Турниры Юных Физиков (ТЮФ). <http://artnek.org.ru/?p=464> .