

Условие

Задача 2. Изучение теплового расширения.

В данной работе вам необходимо исследовать законы теплового расширения воды и воздуха.

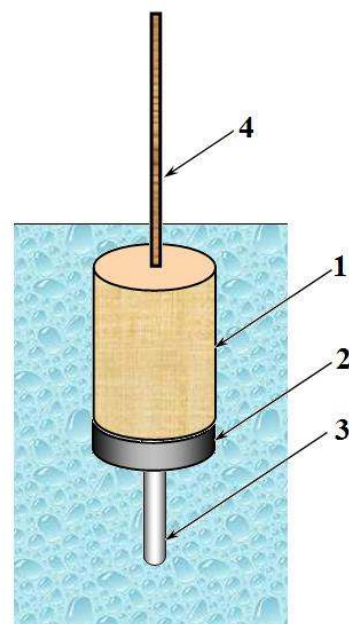
Плотность воды при комнатной температуре считайте равной $\rho_0 = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Приборы и оборудование: самодельный ареометр, сосуд для воды, термометр, линейка, штангенциркуль, набор грузов (канцелярские скрепки), горячая и холодная вода, стакан, салфетки.

Самодельный ареометр состоит из деревянного цилиндра 1, с дополнительными грузами 2, к которому снизу прикреплена алюминиевая трубка 3, а сверху тонкий деревянный стержень 4 (палочка от пашлыка). Для предотвращения намокания цилиндр покрыт лаком. Трубку можно закрывать с помощью пробки.

На цилиндр сверху вы можете помещать дополнительные грузы (скрепки), чтобы добиться нужной вам глубины погружения.

При проведении измерений ареометр погружайте в воду вертикально и очень аккуратно. В ходе измерений вы можете регулировать температуру воды, добавляя в нее горячую или холодную воду. Достаать ареометр из воды во время измерений не следует (подумайте, почему?). После окончания измерений обязательно доставайте ареометр из воды, во избежание дополнительного намокания.



Часть 1. Открытая трубка.

Опустите ареометр с открытой снизу трубкой в горячую воду. Используя дополнительные грузы, добейтесь того, чтобы цилиндр был полностью погружен в воду, а часть палочки торчала над поверхностью воды.

1.1 Измерьте зависимость изменения глубины погружения ареометра Δh от температуры воды $t^\circ\text{C}$.

1.2 Погружается или всплывает ареометр при остывании воды? Объясните, почему?

1.3 Постройте график полученной зависимости.

1.4 Рассчитайте отношение изменения глубины погружения к изменению температуры

$$K_1 = \frac{\Delta h}{\Delta t}.$$

Часть 2. Закрытая трубка.

Закройте трубку ареометра пробкой.

Опустите ареометр в горячую воду. Используя дополнительные грузы, добейтесь того, чтобы цилиндр был полностью погружен в воду, а часть палочки торчала над поверхностью воды.

2.1 Измерьте зависимость изменения глубины погружения ареометра Δh от температуры воды $t^{\circ}C$.

2.2 Погружается или всплывает ареометр при остывании воды? Объясните, почему?

2.3 Постройте график полученной зависимости.

2.4 Рассчитайте отношение изменения глубины погружения к изменению температуры

$$K_2 = \frac{\Delta h}{\Delta t}.$$

Часть 3. Расчетная.

При изменении температуры изменение объемов тел подчиняется формуле

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta t^{\circ}. \quad (1)$$

Где V_0 - начальный объем тела, ΔV - изменение объема при изменении температуры на величину Δt° , α - коэффициент теплового расширения вещества.

Используя полученные экспериментальные данные, рассчитайте коэффициенты объемного расширения воздуха и воды.

Приведите формулы, позволяющие провести необходимые расчеты.

Необходимые вам геометрические размеры измерьте самостоятельно. Укажите, какие величины вы измеряли и их численные значения.

Оцените погрешность измерения коэффициента теплового расширения воздуха.

Оценивать погрешность коэффициента теплового расширения воды не требуется.

Решение

Задача 9-2. Изучение теплового расширения.

Результаты измерений в данной задаче сильно зависят от параметров прибора, который используется в данной установке, поэтому кратко остановимся только на качественном описании наблюдаемых эффектов.

Часть 1. Открытая трубка.

При открытом нижнем конце трубки при ее опускании в горячую воду в трубке остается воздух. По мере остывания воды объем воздуха в трубке уменьшается – воды заходит в трубку снизу. При этом уменьшается сила Архимеда, действующая на поплавок. Поэтому **поплавок начинает погружаться!*** Пусть высота столбика воздуха в трубке уменьшилась на величину ΔH . При этом сила Архимеда также уменьшится на величину

$$\Delta F_A = \rho g \Delta V = \rho g S \Delta H, \quad (1)$$

Здесь S - площадь поперечного сечения трубки, ρ - плотность воды. Этому уменьшению выталкивающей силы должно компенсироваться увеличением силы Архимеда вследствие погружения стержня 4 (вместе с поплавком) на величину

$$\Delta F_A = \rho g s \Delta h \quad (2)$$

Здесь s - площадь поперечного сечения стержня. Приравняв эти выражения, получим

$$\Delta h = \frac{S}{s} \Delta H = \left(\frac{D}{d} \right)^2 \Delta H, \quad (3)$$

Где D, d - диаметры трубки и стержня, соответственно. Проще эту формулу получить из условия того, что объем погруженной части поплавка в состоянии равновесия остается неизменным.

Величина ΔH связана с изменением температуры соотношением

$$\Delta H = H_0 (1 + \alpha \Delta t). \quad (4)$$

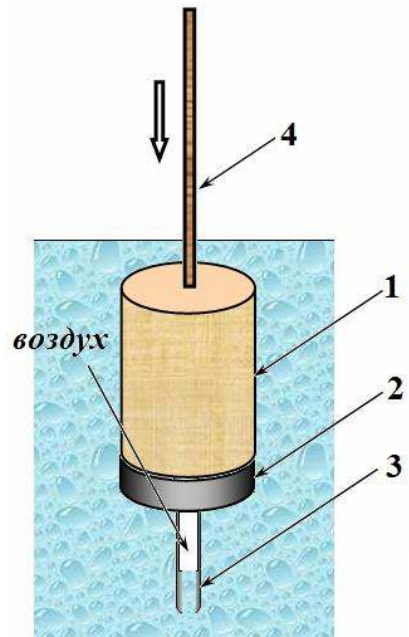
Где α - коэффициент теплового расширения воздуха. Следовательно, зависимость Δh глубины погружения от температуры линейная. Коэффициент наклона этой зависимости равен

$$K_1 = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \alpha H_0 \left(\frac{D}{d} \right)^2. \quad (5)$$

По экспериментальному значению этого коэффициента наклона можно рассчитать коэффициент теплового расширения воздуха. Отметим, что при изменении температуры изменяется и плотность воды. Но так как коэффициент теплового расширения воздуха значительно больше коэффициента теплового расширения воды, то последним можно пренебречь.

Часть 2. Закрытая трубка.

Когда трубка закрыта, объем поплавка можно считать неизменным (тепловое расширение твердых тел еще меньше, чем тепловое расширение воды). Поэтому основным фактором, влияющим



яющим на положение поплавок, является изменение плотности воды. Так как при остывании плотность воды возрастает, то в *этом эксперименте поплавок всплывает!** Учитывая постоянство силы Архимеда (численно равное весу поплавок), можно записать

$$(\rho_0 + \Delta\rho)g(V_0 + \Delta V) = \rho_0 g V_0 \quad (6)$$

Откуда следует

$$\Delta\rho V_0 + \rho_0 s \Delta h = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta h = -\frac{V_0}{\rho_0 s} \Delta\rho \quad (7)$$

Здесь $s\Delta h = \Delta V$ - изменение объема погруженной части поплавок. Таким образом, коэффициент наклона зависимости глубины погружения от температуры в данном случае равен

$$K_2 = \frac{\Delta h}{\Delta t} = -\frac{V_0}{\rho_0 s} \frac{\Delta\rho}{\Delta t} \quad (2)$$

И определяется изменением плотности воды при изменении температуры.