

ТЕПЛО

Условие

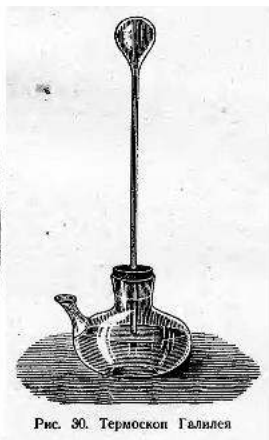


Рис. 30. Термоскоп Галилея

Задание 1. Термоскоп Галилея.

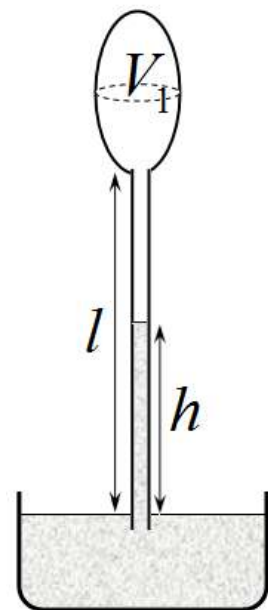
Первый термоскоп сконструировал итальянский физик Галилео Галилей примерно в 1592—1600 годах.

Термоскоп (греч. $\Theta\acute{\epsilon}\rho\mu\eta$ [термо] «тепло» + $\sigma\kappa\omicron\pi\acute{\epsilon}\omega$ [скопео] «смотрю») — устройство, которое показывает изменения температуры, родоначальник современных термометров. Типичная конструкция термоскопа представляет собой трубку, в которой жидкость поднимается и опускается при изменении температуры.

Молодой, но талантливый белорусский физик Федор, прочитав это сообщение, решил превзойти знаменитого итальянского ученого: не только самостоятельно сконструировать и изготовить подобный прибор, но и снабдить его точно рассчитанной температурной шкалой. Тем, более, что Федор только что изучил газовый законы, еще не известные во времена Г.Галилея.

Часть 1. Конструирование и градуировка в идеальном случае.

Федор нашел стеклянную трубку, измерил ее размеры: Длина трубки $l = 50$ см; внутренний диаметр $d = 0,50$ см. Федор закрепил трубку вертикально, нижний конец трубки опустил в широкий сосуд с водой. Погруженной в воду частью трубки можно пренебречь, также можно считать, что уровень воды в нижнем сосуде постоянен. К верхней части трубки прикрепил сосуд, объем которого V_1 Федор тщательно рассчитал. Рядом с трубкой располагается шкала, по которой можно измерять высоту h , на которую поднимается вода в трубке. Для расчетов используйте следующие параметры: Плотность воды $\rho = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и не зависит от температуры; Атмосферное давление постоянно и равно $P_0 = 1,00 \cdot 10^5$ Па; Ускорение свободного падения $g = 10,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; Абсолютный нуль температуры $\tau = -273^\circ\text{C}$. Федор решил, что с помощью данного прибора необходимо измерять температуру в диапазоне от $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$ до $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$ (по его мнению, именно в таком диапазоне изменяется температура в квартирах). Федор рассудил, **что давлением насыщенных паров воды внутри термоскопа можно пренебречь** так, как в выбранном диапазоне температур оно значительно (более, чем в 10 раз) меньше атмосферного давления. Настройку термоскопа Федор проводил следующим образом. Трубку с сосудом сверху вертикально опускают в воду в ниж-



нем сосуде, так, она незначительно погружается в воду. Погруженной в воду частью трубки можно пренебречь, также можно считать, что уровень воды в нижнем сосуде постоянен. После этого воду нагревают до температуры $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$, воздух в трубке также нагревается до этой же температуры. Воздух частично выходит из трубки, тем самым оказывается, что при этой температуре высота уровня воды в трубке равна

$h = 0$. При остывании уровень воды в трубке повышается, тем самым данный прибор можно использовать в качестве комнатного термометра.

1.1 Рассчитайте, при каком объеме верхнего сосуда V_1 вода полностью заполнит трубку (т.е. высота уровня воды в трубке станет равной $h = l$), если температура опустится до значения $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$.

Для дальнейших расчетов удобно использовать следующие параметры:

$\alpha = \frac{\rho g l}{P_0}$ — отношение гидростатического давления воды в полностью заполненной трубке;

$\beta = \frac{lS}{V_1 + lS}$ — отношение объема трубки к полному объему термоскопа (верхнего сосуда и трубки);

$z = \frac{h}{l}$ — относительная высота уровня воды в трубке (отношение высоты уровня к длине трубки).

1.2 Рассчитайте численные значения параметров установки α и β .

1.3 Получите уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате $z(t)$. В качестве параметров этого уравнения должны входить только безразмерные параметры α, β и минимальная температура $t_{\min}$.

1.4 Постройте градуировочный график зависимости $z(t)$. Результаты расчетов (в том числе и промежуточные) приведите в Таблице 1 Листов ответов. График постройте на приведённом бланке Листов ответов.

Часть 2. Реальные измерения.

В ходе экспериментальной проверки изготовленного термоскопа Федор обнаружил, что показания прибора заметно отличаются от рассчитанных значений. Федор понял, что **давлением водяных паров внутри термоскопа пренебрегать нельзя**. Найти зависимость давления насыщенных водяных паров от температуры не представляет труда. Эта зависимость в используемом диапазоне температур приведена в Таблице 2 Листов ответов. Там же для наглядности приведен график этой зависимости. В этой части вы должны провести расчет зависимости высоты поднятия воды в трубке от температуры с учетом влияния водяных паров. Все параметры прибора остались прежними.

2.1 Получите уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате $z(t)$. В качестве параметров этого уравнения должны входить только безразмерные параметры α, β , минимальная температура $t_{\min}$, а также отношение давления насыщенных паров воды к атмосферному давлению $\gamma = \frac{P_{\text{нас}}}{P_0}$.

2.2 Рассчитайте значения относительной высоты уровня воды в трубке от температуры $z(t)$, для температур, приведенных в Таблице 2. Постройте график полученной зависимости.