

Возможные решения

9 класс

Задача 1. Песочные часы

Часть 1. Масса песка.

1.1. Расположим часы вертикально и пересыпем весь песок полностью в одну половину часов. Перевернём часы и засечём время t_1 . Затем быстро перевернём часы и измерим время t_2 , за которое песок высыпется обратно. Эти времена равны в пределах погрешности. В первом случае высота столба максимальна, а во втором во много раз меньше. Равенство времён указывает на то, что массовый расход от высоты не зависит.

1.2. Пересыпем весь песок полностью в одну половину часов и расположим часы горизонтально. Добьёмся того, чтобы поверхность песка была горизонтальной. Поместим часы одной опорой на весы, а другой — на брусок (измерение 1). Затем пересыпем песок в другую колбу и положим часы так же (колба с песком на весах, измерение 2). Обозначим m_0 — масса часов вместе с песком, m — масса песка, m_1 — показания весов в измерении 1, m_2 — показания весов в измерении 2. Пусть центр масс часов без песка находится на расстоянии x от перемычки, а длины колб составляют l_1 и l_2 соответственно. Запишем уравнения моментов для обоих измерений:

$$m_1(l_1 + l_2) = m(l_2 + \frac{l_1}{2}) + (m_0 - m)(l_2 - x),$$

$$m_2(l_1 + l_2) = m\left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) + (m_0 - m)(l_1 + x).$$

Сложив эти уравнения, получим:

$$(m_1 + m_2)(l_1 + l_2) = m \cdot \frac{3}{2}(l_1 + l_2) + (m_0 - m)(l_1 + l_2)$$

Отсюда:

$$m = 2(m_1 + m_2 - m_0).$$

Часть 2. Скорость хода часов.

2.1. В пункте 1.1 установлено, что массовый расход от высоты не зависит, значит $\gamma = 0$. Размерности $[g] = \text{м}/\text{с}^2$, $[D - d] = \text{м}$, $[\rho] = \text{кг}/\text{м}^3$, $[\mu] = \text{кг}/\text{с}$. Размерность времени входит только в g , отсюда определяем, что $\beta = 1/2$. Размерность массы входит только в ρ , отсюда определяем, что $\alpha = 1$. Чтобы размерность длины была правильной, $\delta = 5/2$, значит:

$$\mu = C\rho g^{1/2}(D - d)^{5/2}.$$

2.2. С помощью секундомера и весов снимем зависимость массового расхода песка от диаметра отверстия. Для наименьшего диаметра проведем несколько

измерений, результаты усредним. Разброс значений от среднего примерно 5 %, следовательно, значения массового расхода при остальных диаметрах можно находить по 1 точке. Данные занесём в таблицу.

| μ , г/с | d , мм | $\mu^{2/5}$, (г/с) ^{2/5} |
|-------------|----------|------------------------------------|
| 0,73 | 3 | 0,88 |
| 1,67 | 4 | 1,23 |
| 2,83 | 5 | 1,52 |
| 4,86 | 6 | 1,88 |

2.3. Для нахождения величины d линеаризуем зависимость, полученную в п. 2.1 и построим график в координатах $\mu^{2/5}(D)$, он будет пересекать ось абсцисс при $D = d$. Найдём из графика $d = 0,56$ мм.

Задача 2. Грелка

1. Для решения пункта необходимо активировать первую грелку.

При этом от кнопки активатора начнет распространяться волна кристаллизации ацетата, которая в течении нескольких секунд распространится на всю грелку. Однако это не означает, что кристаллизация прошла полностью, ведь грелка остается мягкой на ощупь и продолжает нагреваться. Следовательно, между первичными кристаллами, формирующими видимый фронт кристаллизации, захватываются объемы жидкого раствора (процесс инклюзии), а их кристаллизация происходит уже значительно позднее.

Достаточно долгое время ацетат будет находиться в состоянии смеси твердого и жидкого вещества при определенной температуре. Этой температурой будет температура кристаллизации, потому что в состоянии устойчивого теплового равновесия система жидкость-твердое тело может существовать только при этой температуре. Ее можно измерить непосредственно термометром, обернув активированную грелку вокруг него. Когда температура перестанет расти, термометр покажет искомое значение. Ответ: $T_{кр} = 53$ °С.

2. При подготовке к выполнению эксперимента необходимо измерить массы кюветы m_k , воды m_v и грелки $m_{гр}$ (можно считать равной массе ацетата ввиду тонкости пленки и легкости активатора). При этом нужно следить за тем, не превышает ли масса кюветы с содержимым 290 грамм, иначе измерения на весах провести невозможно. Также необходимо измерить начальную температуру воды $T_{в0}$ и окружающей среды (холодной грелки) T_c , они могут немного отличаться. После того, как залитая водой грелка будет готова к выполнению задания, необходимо запомнить уровень воды, это можно сделать с помощью стикера.

а) Для более точного исследования зависимости $T(t)$, показания термометра необходимо снимать не менее чем через каждые 30 секунд до выхода на установившуюся температуру. Далее измерения следует проводить не реже, чем через минуту для отсечки времени начала спада.

б) График зависимости $T(t)$ должен включать в себя 3 участка:

- Быстрый рост температуры (0; $t_1 \approx 4-5$ минут).
- Постоянная температура ($T = T_B$) ($t_1; t_2 \approx 15-25$ минут).
- Медленно убывающая температура ($t_2; t_3 \approx 30$ минут).

в) На втором участке мощность тепловых потерь системы в окружающую среду равна мощности тепла, поступающего от грелки. Эти мощности зависят от разности температур между водой и окружающей средой и между водой и грелкой соответственно. Поскольку температура среды и воды постоянны, постоянна и температура грелки, а значит в ней продолжается кристаллизация. Уменьшение температуры воды говорит о начале падения температуры грелки, что в свою очередь свидетельствует о прекращении процесса кристаллизации. Следовательно, время кристаллизации $t_{кр} = t_2$.

3. Пусть за малый промежуток времени Δt температура воды изменилась на ΔT . Вместе с водой остывает и кювета, поэтому энергия, выделившаяся из системы равна $(c_B m_B + c_K m_K) \Delta T$, а мощность тепловых потерь равна

$$P = \frac{(c_B m_B + c_K m_K) \Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

Задача этого пункта — как можно точнее определить значение величины $\alpha = \Delta T / \Delta t$ в окрестности $T = T_B$. Очевидно, что $T(t)$ не является линейной. Следовательно, α лучше всего определить с помощью касательной ($T = \alpha t + B$) к $T(t)$.

Снимем зависимость $T(t)$ кюветы с водой. Цена деления термометра достаточно велика, поэтому самым лучшим методом будет измерение температуры через одинаковые (30–60 с) промежутки времени. После построения графика, проведем касательную к точке, соответствующей температуре $T = T_B$. По угловому коэффициенту ее наклона определим α . Подставив значение α в (1) получим:

$$P = (c_B m_B + c_K m_K) \alpha = 5,0 \text{ Вт.}$$

4. Уравнение теплового баланса за время кристаллизации должно учитывать:

- Нагревание грелки до температуры $T_{кр}$ (до окончания кристаллизации она не остывает!): $Q_1 = c_{гр} m_{гр} (T_{кр} - T_c)$.
- Нагревание воды до температуры T_B : $Q_2 = c_B m_B (T_B - T_{B0})$.
- Нагревание кюветы до температуры T_B : $Q_3 = c_K m_K (T_B - T_{B0})$.
- Тепловые потери в окружающую среду: $Q_4 = P (t_{кр} - \frac{t_1}{2})$.
- Количество теплоты, выделившееся при полной кристаллизации грелки: $\lambda m_{гр}$.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\lambda m_{гр} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

откуда численное значение $\lambda = 2,0 \cdot 10^5$ Дж/кг.