

Шифр

Σ

9-Е1. Греем гайку

№	Пункт разбалловки	Балл	Пр	Ап
1	Фиксация комнатной температуры	1.0		
	Определение коэффициента теплоотдачи контейнера без гайки			
2	Измерение установившейся температуры t_{max} в контейнере без гайки.	0.5		
3	Измерение напряжения на резисторе в режиме установившейся температуры в контейнере без гайки.	0.5		
4	Формула для мощности электрического нагревателя.	0.5		
5	Формула для вычисление коэффициента теплоотдачи контейнера без гайки (тепловой баланс).	0.5		
6	Числовое значение коэффициента теплоотдачи контейнера без гайки	2.0		
7	Штраф за неуказанные единицы измерения	-1.0		
	Снятие зависимости температуры от времени в режиме остывания без гайки			
8	Количество точек не менее 5	1.0		
9	Запись данных в таблицу	1.0		
10	График: размер и подпись осей	0.5		
11	График: оцифровка осей	0.5		
12	График: нанесение точек	0.5		
13	График: линия графика	0.5		
	Вычисление теплоемкости системы без гайки			
14	Формула (тепловой баланс)	0.5		
15	Угловой коэффициент касательной	0.5		
16	Найдено значение теплоемкости	1.0		
17	Штраф за неуказанные единицы измерения	-0.5		
	Определение коэффициента теплоотдачи контейнера с гайкой			
18	Измерение установившейся t_{max} температуры в контейнере с гайкой и напряжения на резисторе.	0.5		
19	Числовое значение коэффициента теплоотдачи контейнера с гайкой.	0.5		

	Снятие зависимости температуры от времени в режиме остывания с гайкой			
20	Количество точек не менее 5.	1.0		
21	Оформление таблицы	1.0		
22	График: размер и подпись осей	0.5		
23	График: оцифровка осей	0.5		
24	График: нанесение точек	0.5		
25	График: линия графика	0.5		
	Вычисление теплоемкости системы с гайкой			
26	Найдено значение теплоемкости	1.0		
27	Штраф за неуказанные единицы измерения	-0.5		
28	Теплоемкость гайки отличается от истинной не более чем на 15% — Теплоемкость гайки отличается от истинной не более чем на 30% — Теплоемкость гайки отличается от истинной не более чем на 50%	3.0 2.0 1.0		
29	Штраф за неуказанные или неверные единицы измерения	-1.0		

Шифр

 Σ **9-Е2. Взвесить без весов**

№	Пункт разбалловки	Балл	Пр	Ап
1.1	Измерена длина палочки L	1.0		
1.2	Описание метода определения плотности палочки ρ_n (расчетная формула)	1.0		
1.3	Измерение H или аналогичной величины	0.5		
1.4	Результат для плотности попал в 10% — Результат для плотности попал в 20%	2.0 1.0		
1.5	Штраф за неуказанные единицы измерения	-1.0		
1.6	Указана абсолютная погрешность измерения плотности	0.5		
	Определение массы кембрика с использованием правила моментов			
2.1	Описание метода, чертеж, обозначение используемых величин	0.5		
2.2	Проверка однородности палочки	0.5		
2.3	Измерение длины кембрика	0.5		
2.4	Измерение положения центра масс палочки с кембриком	0.5		
2.5	Уравнение моментов сил	1.0		
2.6	Результат для массы кембрика попал в 10% — Результат для массы кембрика попал в 20%	2.0 1.0		
2.7	Штраф за неуказанные единицы измерения	-1.0		
2.8	Указана абсолютная погрешность измерения массы кембрика	0.5		
	Определение массы кембрика с использованием силы Архимеда			
2.9	Описание метода, чертеж, обозначение используемых величин	0.5		
2.10	Расчетная формула для условие плавания палочки	2.0		
2.11	Расчетная формула формула для массы кембрика	0.5		
2.12	Измерение h или аналогичной величины	0.5		
2.13	Измерение диаметра палочки d , методом, дающим точность не ниже 3%	1.0		
2.14	Измерение диаметра кембрика D , методом, дающим точность не ниже 3%	1.0		

2.15	Корректно оценены погрешности d и D , и их относительные величины не превышают 3%	0.5		
2.16	Результат для массы кембрика попадает в 20% — Результат для массы кембрика попадает в 30% — Результат для массы кембрика попадает в 40%	3.0 2.0 1.0		
2.17	Штраф за неуказанные единицы измерения	-1.0		
2.18	Корректно оценена абсолютная погрешность m	0.5		

9 класс

Задача №9-Е1. Греем гайку

Прежде всего необходимо определить теплоемкость системы контейнер-резистор-термометр без гайки. Закроем контейнер, вставим термометр и зафиксируем его с помощью отверстий в картонном фиксаторе. К выводам резистора подключим три последовательно соединенные пальчиковые батарейки АА. К этим же выводам подключим мультиметр в режиме вольтметра. В соответствии с примечанием к условию задачи во время нагревания системы никакие измерения проводить не будем. Нам необходимо лишь дожидаться прекращения роста температуры и зафиксировать ее максимальное значение $t_{\max}$, а также напряжение на резисторе U в этот момент. Критерием прекращения роста температуры можно считать ее изменение менее чем на полградуса в течение двух минут. В авторском исполнении нагревание длилось 15-20 минут. При этом были получены следующие значения физических величин: комнатная температура $t_{\text{к}} = 25^\circ\text{C}$, максимальная температура в контейнере $t_{\max} = 37^\circ\text{C}$, напряжение на резисторе $U = 2.43\text{ В}$. В стационарном режиме количество теплоты, полученное от нагревателя за время $\Delta\tau$, равно количеству теплоты, отданному контейнером за то же время в окружающую среду (в комнату), а согласно закону Ньютона-Рихмана количество теплоты, отдаваемое нагретым телом холодному в единицу времени, пропорционально разности температур между телами

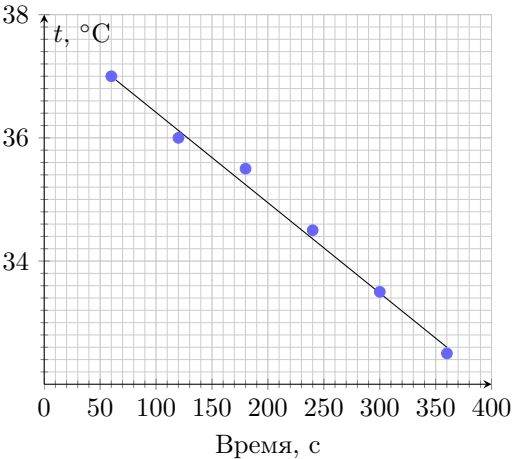
$$\frac{U^2}{R}\Delta\tau = \alpha(t_{\max} - t_{\text{к}})\Delta\tau,$$

где α – коэффициент теплоотдачи контейнера. Подставляя экспериментальные значения получаем $\alpha = 0.15\text{ Вт}/^\circ\text{C}$. Теперь отключаем батарейку и снимаем зависимость температуры t в контейнере от времени τ в окрестности 35 градусов. График этой зависимости представлен на рисунке ниже.

$\tau, \text{с}$	$t, ^\circ\text{C}$ (без гайки)	$t, ^\circ\text{C}$ (с гайкой)
60	37.0	37.0
120	36.0	36.0
180	35.5	35.5
240	34.5	35.0
300	33.5	34.5
360	32.5	33.5

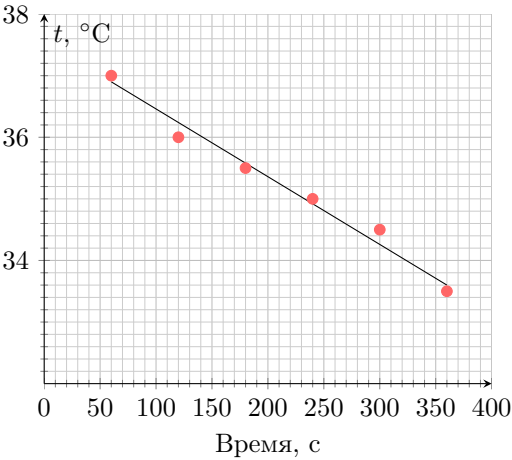
Уравнение теплового баланса

$$C_{\text{к}}\Delta t^0 = \alpha(t_{35} - t_{\text{к}})\Delta\tau,$$



где $C_{\text{к}}$ — теплоемкость системы контейнер-резистор-термометр без гайки. Из графика зависимости $t(\tau)$ определяем $\frac{\Delta t^0}{\Delta \tau} = 0.014\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ и находим $C_{\text{к}} = 107\text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$. Аналогичные измерения в режиме остывания проводим при наличии гайки в контейнере. Их результаты также представлены в таблице и на рисунке ниже. Прямая остывания в этом случае идет более полого, и для нее $\frac{\Delta t^0}{\Delta \tau} = 0.011\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$, а теплоемкость контейнера вместе с гайкой $C_{\text{кг}} = 136\text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$.

Теплоемкость гайки $C_{\text{г}} = C_{\text{кг}} - C_{\text{к}} = 29\text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$.



Примечание: При наличии резерва времени в процессе выполнения этого за-

дания желательно убедиться в том, что коэффициент теплоотдачи контейнера одинаков при наличии и при отсутствии гайки в нем. Если коэффициенты теплоотдачи в этих двух случаях отличаются, то при расчете теплоемкостей следует использовать соответствующие значения коэффициентов.

Задача №9-Е2. Взвесить без весов

В авторском комплекте оборудования масса палочки $M = 1.02 \pm 0.02$ г, погрешность 2 единицы последнего разряда весов, относительная погрешность 2%.

Измерим длину палочки линейкой. Длина палочки $L = 240 \pm 1$ мм погрешность определяется ценой деления линейки, относительная погрешность 0.4%.

Определим плотность палочки с помощью силы Архимеда, для этого опустим палочку в мерный стакан и измерим длину H выступающей над водой части палочки: $H = 62 \pm 1$ мм. Длину выступающей части измерять удобнее, чем длину погруженной в воду части палочки, так как в первом случае удастся расположить линейку и палочку достаточно близко друг к другу. По закону Архимеда плотность палочки:

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{в}} \cdot \frac{L - H}{L} = 1.00 \cdot \frac{240 - 62}{240} = 0.74 \text{ г/см}^3.$$

Абсолютная погрешность числителя в этой формуле составляет 2 мм, так как при сложении и вычитании абсолютные погрешности складываются. Относительная погрешность числителя $\frac{2}{240-62} = 0.011 = 1.1\%$. При делении физических величин складываются относительные погрешности. Следовательно, относительная погрешность измерения плотности $0.4\% + 1.1\% = 1.5\%$. Окончательно для плотности:

$$\rho_{\text{п}} = 0.74 \pm 0.01 \text{ г/см}^3.$$

Определение массы трубки методом рычага. Для определения массы трубки m с использованием правила моментов сил найдем положение y центра масс палочки (y — расстояние от края палочки, на который в дальнейшем будет надет трубка). В авторском комплекте $y = 120 \pm 1$ мм, т.е. палочка является однородной. Наденем трубку на край палочки так, чтобы их торцы совпадали (заподлицо). Длина трубки $z = 49 \pm 1$ мм. Теперь определим положение центра масс системы палочка-трубка относительно того же торца: $x = 92 \pm 1$ мм. Правило моментов для этого случая имеет вид:

$$mg \left(x - \frac{z}{2} \right) = Mg(y - x),$$

откуда:

$$m = M \frac{y - x}{x - z/2} = 0.42 \text{ г}.$$

Абсолютная погрешность числителя этой дроби 2 мм, относительная $\frac{2}{28} = 0.07 = 7\%$. Абсолютная погрешность знаменателя 1.5 мм. Относительная $\frac{1.5}{67.5} = 0.02 = 2\%$. Относительная погрешность массы трубки $2\% + 7\% + 2\% = 11\%$, $0.11 \cdot 0.420 = 0.046$ г. Окончательно

$$m = 0.42 \pm 0.05 \text{ г.}$$

Определение массы трубки с помощью силы Архимеда. Опустим палочку с надетой трубкой в мерный стакан тяжелым концом вниз. Палочка должна плавать не касаясь дна. Измерим длину h выступающей над водой части палочки $h = 42 \pm 1$ мм. Условие равновесия палочки:

$$(m + M)g = \rho_0 g \frac{\pi}{4} (D^2 z + d^2 (L - z - h)),$$

где D — внешний диаметр трубки на палочке, d — диаметр палочки, $(L - z - h)$ — длина части палочки без трубки, находящейся в воде. D и d определим методом прокрутки, сделав десять оборотов с помощью двух линеек:

$$10\pi d = 85 \pm 1 \text{ мм}, \quad d = 2.71 \pm 0.03 \text{ мм},$$

относительная погрешность, $\frac{1}{85} = 0.012 = 1.2\%$,

$$10\pi D = 125 \pm 1 \text{ мм}, \quad D = 3.98 \pm 0.03 \text{ мм},$$

относительная погрешность $\frac{1}{125} = 0.008 = 0.8\%$. Из условия равновесия палочки находим

$$m = \rho_0 \frac{\pi}{4} (D^2 z + d^2 (L - z - h)) - M = 0.45 \text{ г.}$$

Последовательно оценим погрешность:

- Абсолютная погрешность $(L - z - h)$ равна 3 мм. Относительная $\frac{3}{149} = 0.02 = 2\%$.
- Относительная погрешность $d^2 (L - z - h)$ равна $1.2\% + 1.2\% + 2\% = 4.4\%$. Абсолютная погрешность $d^2 (L - z - h)$ равна $2.71 \cdot 2.71 \cdot 149 \cdot 0.044 = 48 \text{ мм}^3$.
- Окончательно $d^2 (L - z - h) = 1094 \pm 48 \text{ мм}^3$.
- Относительная погрешность $D^2 z$ равна $0.8\% + 0.8\% + 2\% = 3.6\%$. Абсолютная погрешность $D^2 z$ равна $3.98 \cdot 3.98 \cdot 49 \cdot 0.036 = 28 \text{ мм}^3$.
- Окончательно $D^2 z = 776 \pm 28 \text{ мм}^3$.
- Абсолютная погрешность $(D^2 z + d^2 (L - z - h))$ равна $28 + 48 = 76 \text{ мм}^3$. Относительная погрешность $(D^2 z + d^2 (L - z - h))$ равна $\frac{76}{776 + 1094} = 0.041 = 4.1\%$.
- Абсолютная погрешность $\rho_0 \frac{\pi}{4} (D^2 z + d^2 (L - z - h))$ равна $1 \cdot \frac{3.14}{4} (1.094 + 0.776) \cdot 0.041 = 0.06 \text{ г.}$

- Абсолютная погрешность $\rho_0 \frac{\pi}{4} (D^2 z + d^2 (L - z - h)) - M$ (окончательного результата) равна $0.06 + 0.02 = 0.08$ г.
- Итоговое значение: $m = 1 \cdot \frac{3.14}{4} (1.094 + 0.776) - 1.02 = 0.45$ г.

$$m = 0.45 \pm 0.08 \text{ г}$$

Относительная погрешность результата, полученного с использованием силы Архимеда, равна 18%. Реальное значение массы трубки, полученное непосредственно с помощью весов $m = (0.44 \pm 0.02)$ г.