

## 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 дождаться 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

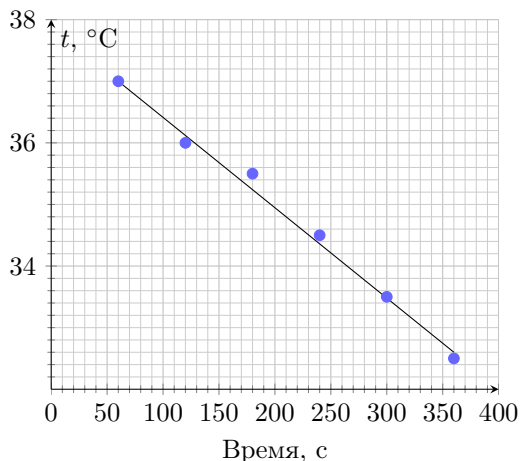
$$\frac{U^2}{R}\Delta\tau = \alpha(t_{\max} - t_{\text{к}})\Delta\tau,$$

где  $\alpha$  – 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  $\tau$  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

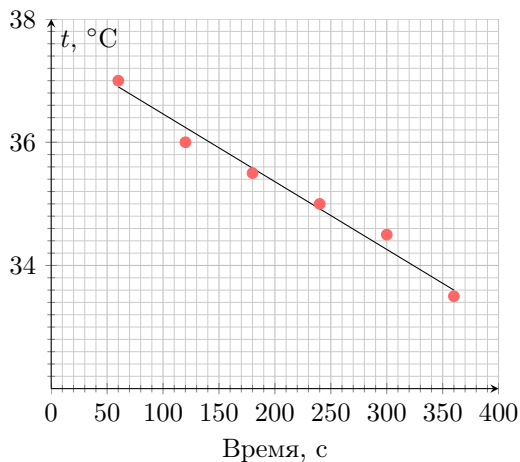
Уравнение теплового баланса

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



где  $C_k$  — теплоемкость системы контейнер-резистор-термометр без гайки. Из графика зависимости  $t(\tau)$  определяем  $\frac{\Delta t^0}{\Delta \tau} = 0.014$  °C/с и находим  $C_k = 107$  Дж/°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  $\frac{\Delta t^0}{\Delta \tau} = 0.011$  °C/с, а теплоемкость контейнера вместе с гайкой  $C_{кг} = 136$  Дж/°C.

Теплоемкость гайки  $C_{г} = C_{кг} - C_k = 29$  Дж/°C.



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

дания желательнее 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 надета 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  $1 \cdot \frac{3.14}{4} (1.094 + 0.776) \cdot 0.041 = 0.06$  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.

Шифр

$\Sigma$
----------

## 9-Е1. Греем гайку

№	Пункт разбалловки	Балл	Пр	Ап
1	Фиксация комнатной температуры	1.0		
	<b>Определение коэффициента теплоотдачи контейнера без гайки</b>			
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 вычисления 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		
	<b>Снятие зависимости температуры от времени в режиме остывания без гайки</b>			
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		
	<b>Вычисление теплоемкости системы без гайки</b>			
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		
	<b>Определение коэффициента теплоотдачи контейнера с гайкой</b>			
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		

	<b>Снятие зависимости температуры от времени в режиме остывания с гайкой</b>			
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		
	<b>Вычисление теплоемкости системы с гайкой</b>			
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

 $\Sigma$ **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 $\rho_n$ (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		
	<b>Определение массы кембрика с использованием правила моментов</b>			
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		
	<b>Определение массы кембрика с использованием силы Архимеда</b>			
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		