

РЕШЕНИЕ

9.1. Пружина (Кармазин С.)

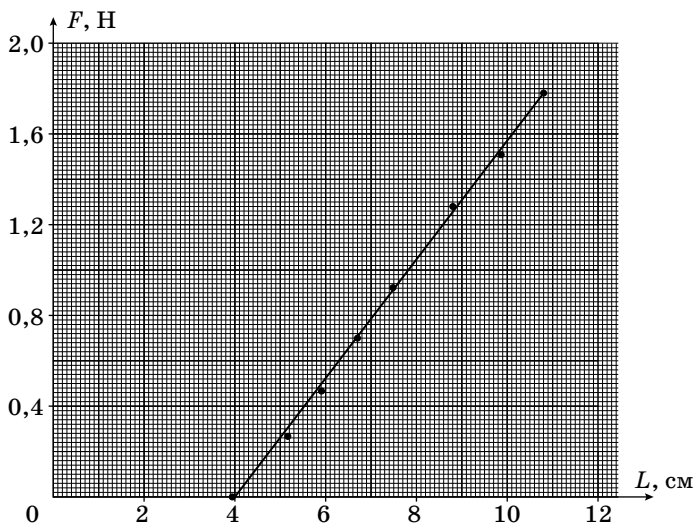
Способ 1. Количество витков пружины, задействованных при ее растяжении, можно изменять, перемещая пластину, к которой крепится крючок. Обозначим N – общее количество витков в пружине, n – количество витков, на которое пружина укорочена.

Закрепим рядом линейкой пружину с грузом на штативе, а под груз поставим весы. Опуская муфту штатива, ослабляем натяжение пружины и увеличиваем нагрузку на весы. Обозначим M – показание весов, m_0 – масса груза, $F = (m_0 - M)g$ – сила натяжения пружины. При различных

n снимаем зависимость длины внешней части пружины L от силы натяжения F (см. таблицу) и строим ее график. Ниже представлен график $F(L)$ для $n = 6$, из которого получаем коэффициент

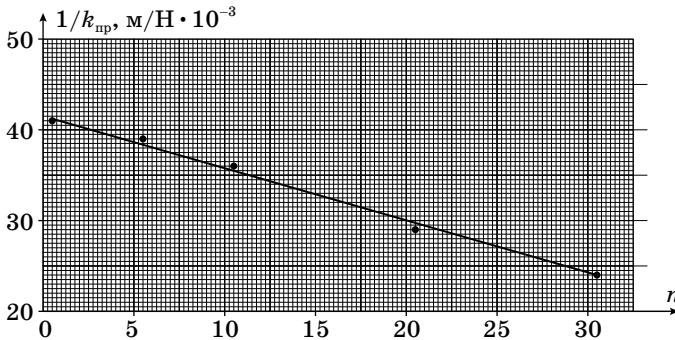
n	$k_{\text{пр}}$ Н/м	$1/k_{\text{пр}}$, м/Н $\cdot 10^{-3}$
1	24,5	41
6	25,7	39
11	27,8	36
21	34,0	29
31	42,4	24

жесткости пружины, укороченной на $n = 6$ витков $k_6 = 25,4$ Н/м.



Коэффициент жесткости пружины, состоящей из $N - n$ витков равен $k_{\text{пр}} = k_1 / (N - n)$, где k_1 – коэффициент жесткости одного витка. Откуда $1/k_{\text{пр}} = N/k_1 - n/k_1(1)$.

Ниже представлен график зависимости $1/k_{\text{пр}}$ от n , которая является линейной функцией. По наклону прямой определяем $k_1 = 1710 \text{ Н/м}$, а по пересечению прямой с вертикальной осью находим $N = 0,042k_1 = 72$ витка. Случайная погрешность определения k_1 составила 12%. Получаем $k_1 = 1710 \pm 200 \text{ Н/м}$.



Способ 2. Пусть расстояние от точки крепления пружины внутри экрана до нижнего края экрана L_0 , а выступающей из экрана части пружины L_1 . Одновременно с измерением зависимости L_1 от силы растяжения полной пружины F определяем количество витков m на длине L_1 . Из пропорции $(L_0 + L_1)/N = L_1/m$ получаем зависимость $1/m = 1/N + L_0/(L_1N)$, линейный график которой в осях $1/L_1$, $1/m$ отсекает значение $1/N$ на вертикальной оси. Для пружины, измеренной с помощью первого способа, вторым способом получен результат $N=69$. По зависимости $L_1(F)$ определяем коэффициент жесткости полной пружины $k_N = 24,5 \text{ Н/м}$, а коэффициент жесткости одного витка $k_1 = k_N N = 1690 \text{ Н/м}$.

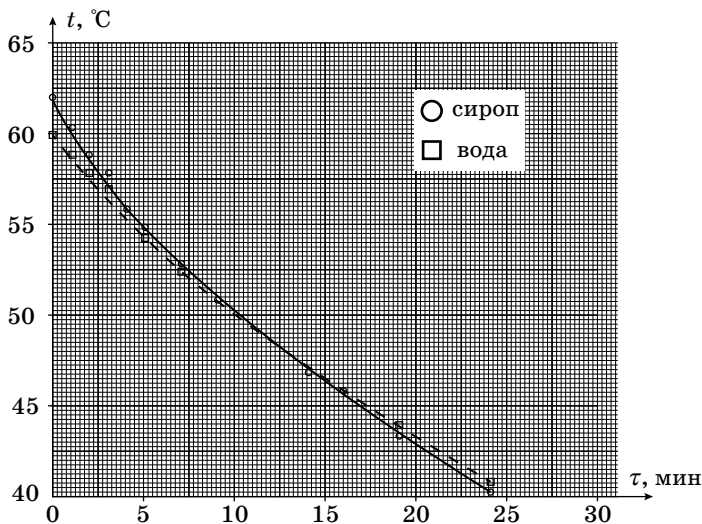
9.2. Сироп (Кармазин С.)

Определим коэффициент теплоотдачи пикнометра, заполненного водой до 50 мл. Для этого заливаем в пикнометр горячую воду, помещаем в центральную часть объема пикнометра термометр и снимаем зависимость температуры воды от времени.

τ , мин	t_b , °C	t_c , °C
0	60	62
1	59	60,5
2	58	59
3	57	58
4	56	56
5	54,5	55
7	52,5	53
9	51	51
14	47	47
16	46	46
19	44	43,5
24	41	40,5

Количество теплоты ΔQ , отданное заполненным пикнометром в окружающую среду за время Δt из уравнения теплового баланса равно $\Delta Q = (c_b m_b + c_c m_c) \Delta t = \alpha (t - t_0) \Delta \tau$, где c_b – удельная теплоемкость воды, m_b – масса воды, c_c – удельная теплоемкость лабораторного стекла, m_c – масса пикнометра, t_0 – температура воздуха в комнате. Необходимость учитывать теплоемкость пикнометра при выполнении данной задачи можно будет оценить на заключительном этапе ее решения. График зависимости температуры воды от времени представлен на рисунке ниже (пунктирная линия). Для наглядности при построении графика от измеренных значений температуры вычтены 40 °C. Проведя касательную к графику, вычисляем скорость изменения температуры воды при любой интересующей нас температуре. В данном решении вычисления проводились при температуре 52 °C. Комнатная температура равнялась 20 °C. Для скорости изменения температуры пикнометра с водой получено значение $(\Delta t / \Delta \tau)_b = 0,017$ °C/с, а для коэффициента $\alpha = 0,12$ Вт/°C. Для воды:

$$\alpha = \left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_b \frac{c_b m_b + c_c m_c}{t - t_0}$$



Далее, приготовим 50%-ый раствор сахара (сироп). Для этого в стакан с «носиком» насыпем 50 г сахарного песка, а затем нальем 50 г воды. Полученную смесь тщательно перемешаем до полного растворения сахара. Перельем сироп в пикнометр до отметки 50 мл. Определим массу 50 мл раствора. Она равна $61,1 \pm 0,1$ г. Таким образом, плотность сиропа $\rho = 1,22$ г/см³.

Подогреем сироп в пикнометре до температуры на 5 – 10 °С больше, чем температура, на которой проводился расчет коэффициента теплоотдачи для чистой воды. Вновь снимаем зависимость температуры содержимого пикнометра от времени. Результаты также представлены в таблице и на графике (сплошная линия). Из графика по наклону касательной опять находим скорость остывания пикнометра с сиропом $(\Delta t / \Delta \tau)_c$ при 52 °С. Видно, что скорости остывания пикнометра с чистой водой и с сиропом практически одинаковы.

Уравнение теплового баланса для сиропа имеет вид $\Delta Q = (c_p m_p + c_c m_c) \Delta t = \alpha (t - t_0) \Delta \tau$. В случае если скорости остывания с водой и с сиропом определялись при одинаковой температуре, удельную теплоемкость сиропа находим с помощью выражения:

$$c_p m_p + c_c m_c = \frac{\alpha (t - t_0)}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_p}$$

$$c_p m_p = \frac{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_B}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_P} (c_B m_B + c_C m_C) - c_C m_C = c_B m_B \frac{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_B}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_P} + c_C m_C \left(\frac{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_B}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_P} - 1 \right)$$

Оценка показывает, что второе слагаемое, учитывающее теплоемкость стекла пикнометра, не превышает 1,5% от величины первого слагаемого. Поэтому теплоемкость пикнометра можно не учитывать.

Окончательно получаем $c_p = 3000 \pm 300$ Дж/(кг · °С). Основная погрешность обусловлена точностью нахождения скорости остывания по экспериментальной кривой графическим методом. Скорость остывания можно определить с точностью порядка 5%. Так как в окончательное выражение входит отношение двух скоростей остывания, то погрешность c_p составит 10 %.

Основное отличие экспериментально полученной теплоемкости сиропа от теплоемкости чистой воды при практически одинаковых скоростях остывания обусловлено существенным отличием массы 50 мл сиропа от массы 50 мл воды.