**2.6** Из графика видно, что удлинение пути произошло из-за того, что третья встреча произошла дальше, чем запланировано, при этом

$$\Delta L = 2\left(x_3' - x_3\right) = 2 \cdot \left(2250 - 1500\right) = 1500\,м = 1{,}5\,км\,. \tag{18}$$

***Делайте все вовремя!***

## Задача 9. 2. Тепловая разминка

1. Определим массу льда $m_1$ и массу воды $m_2$, находящейся в сосуде, из системы уравнений, следующих из условия

$$\begin{cases} m = m_1 + m_2 \\ c_1 m_1 = c_2 m_2 \end{cases}. \tag{1}$$

Решение системы имеет вид

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{c_2}{c_1 + c_2} m = 0{,}40\,\text{кг} \\ m_2 &= \frac{c_1}{c_1 + c_2} m = 0{,}20\,\text{кг} \end{aligned}. \tag{2}$$

Количество теплоты $Q_1$, необходимое для повышения температуры системы на $\Delta t_1 = 1{,}0\,°C$, складывается из количества теплоты $Q_{11}$, идущей на плавление льда

$$Q_{11} = \lambda \cdot m_1 = 132\,\text{кДж} \tag{3}$$

и количества теплоты $Q_{12}$, идущего на последующее нагревание воды массой $m = m_1 + m_2$ на $\Delta t_1 = 1{,}0\,°C$. Расчет в данном случае дает

$$Q_{12} = c_2(m_1 + m_2)\Delta t_1 = 2{,}52\,\text{кДж}\,. \tag{4}$$

Суммарное количество теплоты при данной процедуре

$$Q_1 = Q_{11} + Q_{12} = 135\,\text{кДж}\,. \tag{5}$$

Соответственно, количество теплоты $Q_2$, необходимое для понижения температуры системы на тот же градус $\Delta t_1 = 1{,}0\,°C$ складывается из количества теплоты $Q_{21}$, идущей на замораживание воды

$$Q_{21} = \lambda \cdot m_2 = 66{,}0\,\text{кДж}$$

и количества теплоты $Q_{22}$, необходимого для последующего охлаждения льда массой $m = m_1 + m_2$ на $\Delta t_1 = 1{,}0\,°C$

$$Q_{22} = c_1(m_1 + m_2)\Delta t_1 = 1{,}26\,\text{кДж}\,.$$

Суммарное количество теплоты, необходимое для этого

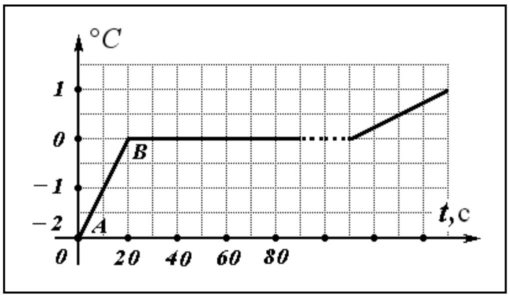
$$Q_2 = Q_{21} + Q_{22} = 67{,}3\,\text{кДж}\,.$$

Таким образом, отношение средних теплоемкостей системы при данных тепловых процессах

$$\eta = \frac{C_1}{C_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = 2{,}0\,. \tag{6}$$

Результат (6) вполне понятен, поскольку массы и теплоемкости фаз (льда и воды) в калориметре различны, что приводит к различию теплот $Q_1$ и $Q_2$ в тепловых процессах различных направлений.

2. Рассмотрим начальный (наклонный) участок $AB$ графика (см. рис.). За время $\Delta\tau$ в системе выделится количество теплоты $P\Delta\tau$, где $P$ — искомая мощность нагревателя. Пусть за это время температура системы увеличилась на $\Delta t$, тогда согласно уравнению теплового баланса можем записать




$$P\Delta\tau = (c_1 m_1 + c_2 m_2)\Delta t\,. \tag{7}$$

Из последнего равенства следует, что мощность нагревателя

$$P = (c_1 m_1 + c_2 m_2)\frac{\Delta t}{\Delta\tau}\,. \tag{8}$$

Величина $\frac{\Delta t}{\Delta\tau}$ представляет собой угловой коэффициент наклона начального участка графика, который несложно определить по рисунку

$$\frac{\Delta t}{\Delta\tau} = \frac{2{,}0°C}{20\,\text{с}} = 0{,}10\frac{°C}{\text{с}}\,. \tag{9}$$

Как видно из (9), угловой коэффициент (тангенс угла наклона) прямой в данном случае имеет «экзотическую» размерность, определяемую размерностями величин, приведенных вдоль соответствующих осей координат.

Расчет по формуле (8) с учетом выражения (9) дает

$$P = (c_1 m_1 + c_2 m_2)\frac{\Delta t}{\Delta\tau} = 168\,\text{Вт} = 0{,}17\,\text{кВт}\,. \tag{10}$$

С такой мощностью нагревателя лед расплавится за время

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot \lambda}{P} = 786\,c = 13\ \text{мин}\,. \tag{11}$$

Соответственно, время разогрева системы до температуры $t_2 = 20°C$ найдем как

$$\tau_2 = \frac{c_2(m_1 + m_2)t_2}{P} = 300\,c = 5{,}0\ \text{мин}\,. \tag{12}$$

3. Пусть в сосуде находится масса $m_2$ растворителя, тогда масса растворенной соли будет

$$m_1 = \eta \cdot m_2\,. \tag{13}$$

Соответственно, масса нерастворенной соли в сосуде

$$m_3 = m - m_1 = m - \eta \cdot m_2\,. \tag{14}$$

Для полной теплоемкости системы в данном случае можем записать

$$C = c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 = c_1 \eta\, m_2 + c_2 m_2 + c_3(m - \eta \cdot m_2)\,. \tag{15}$$

Перепишем последнее равенство в виде

$$C = c_2 m_2 + c_3 m + \eta m_2 (c_1 - c_3).$$

Как следует из условия задачи, в данном пункте следует проводить численные расчеты, используя три значащие цифры. Подставляя в (15) численные значения, получим

$$C(t) = \left(4{,}32 + 1{,}20 \cdot \eta(t)\right) \frac{\text{кДж}}{°\text{C}}. \qquad (16)$$

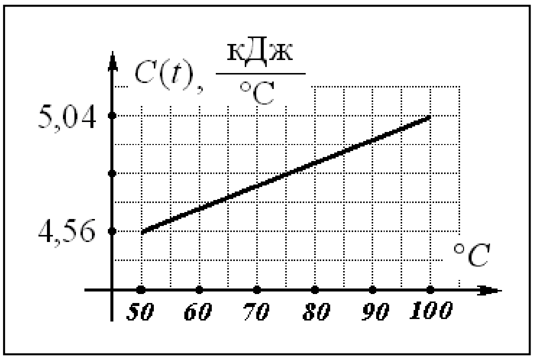



График полученной зависимости представлен на рисунке.

При нагревании системы от температуры $t_1 = 50{,}0°C$ до температуры $t_2 = 100°C$ необходимо подсчитать площадь под приведенным графиком (площадь трапеции).

Расчет с точностью до трех значащих цифр дает

$$Q = 240\text{кДж} = 0{,}240\,\text{МДж}. \qquad (17)$$

## Задача 9- 3. Скольжение.

1. Со стороны стола на шайбу действует сила трения равная

$$F = \mu mg. \qquad (1)$$

Работа этой силы «съест» кинетическую энергию шайбы, поэтому

$$\frac{mv_0^2}{2} = \mu mgS \quad \Rightarrow \quad S = \frac{v_0^2}{2\mu g}. \qquad (2)$$

*<u>Примечание.</u> Эту задачу также можно решать на основании 2 закона Ньютона.*

2. Запишем уравнение 2 закона Ньютона для шайбы

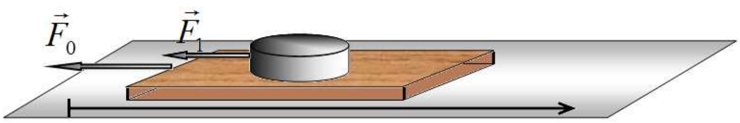
$$ma = -bv \qquad (3)$$

И воспользуемся определениями ускорения и скорости

$$m\frac{\Delta v}{\Delta t} = -b\frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad m\Delta v = -b\Delta x. \qquad (4)$$

Это соотношение справедливо для малых промежутков времени, но если просуммировать по всем промежуткам за все время движения, то его можно рассматривать для полных изменений скорости и координаты, поэтому

$$m\Delta v = -b\Delta v \quad \Rightarrow \quad m(0 - v_0) = -b(S - 0) \quad \Rightarrow \quad S = \frac{mv_0}{b}. \qquad (5)$$




3. Так как массы шайб значительно меньше массы доски, то движение доски можно рассматривать независимо от движения шайб. На доску действует сила трения со стороны стола $F_0 = 2\mu mg$ (силой