81-я Московская олимпиада школьников по физике
2020 год
10 класс

Условия задач, ответы и авторские решения

1. Измерение отклонений (10 баллов)

Крюков П. А.

Сопротивление терморезистора сильно зависит от температуры (график показан на рисунке), поэтому их используют в точных измерителях отклонения температуры ΔT от заданного значения T_0.

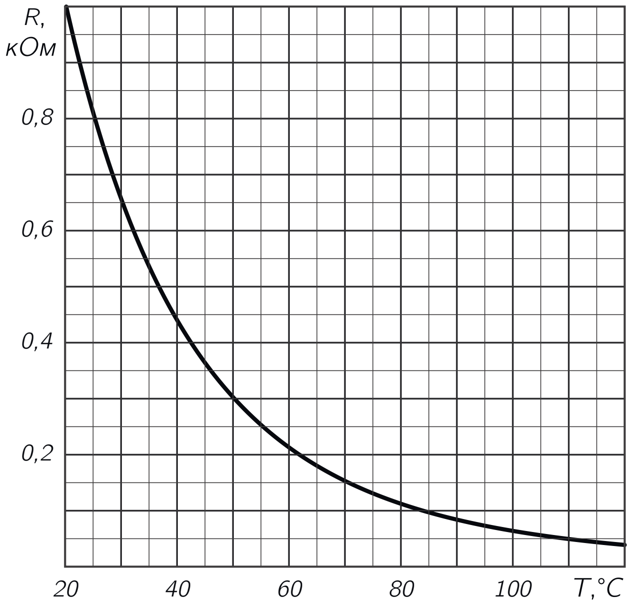
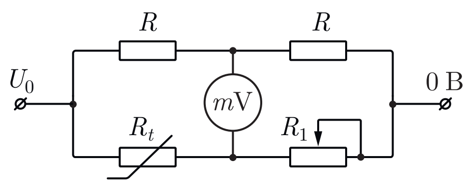


Схема измерителя показана на втором рисунке. Терморезистор обозначен R_t. Сопротивление переменного резистора R_1 можно изменять в диапазоне от 0 до 900 Ом. Выводы подключают к идеальному источнику с напряжением $U_0 = 6$ В. Перед началом измерения отклонения ΔT от температуры T_0 измеритель калибруют, подбирая сопротивление резистора R_1 так, чтобы идеальный стрелочный милливольтметр показывал ноль. В дальнейшем при изменении температуры на величину ΔT сопротивление терморезистора изменяется, милливольтметр показывает напряжение U.



1) Для температуры $T_0 = 50\,^\circ$C определите зависимость $U(\Delta T)$, считая изменение сопротивления терморезистора малым. В области каких температур (высоких или низких) измеритель обеспечивает меньшую относительную погрешность измерения? (*7 баллов*)

Примечание. Может оказаться полезной приближённая формула $(1+x)^{-1} \approx 1 - x$, справедливая для малых x ($x \ll 1$).

2) В каком диапазоне температур может работать данный измеритель, если нежелательно, чтобы на терморезисторе выделялась тепловая мощность больше $P_0 = 0{,}15$ Вт? (*3 балла*)

Решение

1) Очевидно, что в процессе калибровки сопротивление переменного резистора устанавливается равным сопротивлению терморезистора при температуре T_0. Обозначим это сопротивление R_1. Легко видеть, что при изменении сопротивления терморезистора на величину ΔR_t, вольтметр показывает напряжение

$$U = \frac{U_0}{2} - \frac{U_0 R_1}{2R_1 + \Delta R_t}. \qquad (1)$$

Мы сейчас не обсуждаем знак напряжения в формуле (1), поскольку полярность подключения прибора не задана. Используя приближённую формулу из условия, выражение (1) можно преобразовать к виду

$$U = U_0 \frac{\Delta R_t}{4R_1} = U_0 \cdot \frac{\Delta R_t}{4R_t(T_0)}. \qquad (2)$$

Зависимость сопротивления от температуры вблизи исходной точки $T_0 = 50\,^\circ$C можно считать линейной. Необходимый для решения коэффициент пропорциональности k из соотношения $\Delta R_t = -k\Delta T$ определяется по графику. Легко видеть, что этот коэффициент равен $k \approx 10$ Ом/°C. Таким образом, искомая зависимость следует из равенства (2) и даётся формулой

$$U(\Delta T) = \frac{U_0 k}{4R_t(T_0)} \cdot \Delta T = \Delta T \cdot 50 \text{ мВ/°C}. \qquad (3)$$

Обратите внимание на то, что при уменьшении температуры T_0 численный коэффициент в формуле (3) увеличивается, что означает повышение чувствительности прибора. Поскольку U и ΔT пропорциональны при любой температуре T_0 (с коэффициентом, зависящим от T_0) относительные погрешности измерения разности температур ΔT и напряжения равны:

$$\varepsilon_U = \varepsilon_{\Delta T}. \qquad (4)$$

Относительная погрешность измерения напряжения ε_U для стрелочного прибора с ростом величины измеряемого напряжения уменьшается, поэтому в области низких температур измеритель обеспечивает лучшую точность.

2) Температурный диапазон снизу ограничен максимально возможным сопротивлением терморезистора, которое должно быть не более 900 Ом. Оценивая по графику температуру, при которой сопротивление равно 900 Ом, получаем нижнюю границу диапазона температур $T_{\min} = 23\,^\circ$C. Поскольку после калибровки измерителя выполняется равенство $R_t = R_1$, на терморезисторе при измерениях выделяется мощность, приближённо равная

$$P = \frac{U_0^2}{4R_t}.$$

Отсюда имеем значение минимально возможного сопротивления терморезистора

$$R_t^{(\min)} = \frac{U_0^2}{4P_0} = 60 \text{ Ом}.$$

График не позволяет точно указать температуру, при которой достигается значение сопротивления, равное 60 Ом. Тем не менее, можно с уверенностью сказать, что искомая максимальная температура лежит в интервале от 95 °C до 105 °C, поэтому разумно выбрать в качестве верхней границы среднее значение: $T_{\max} = 100\,^\circ$C.

Ответ: 1) $U(\Delta T) = \dfrac{U_0 k}{4R_t(T_0)} \cdot \Delta T$,
$U(\Delta T) = \Delta T \cdot 50$ мВ/°C; меньшая относительная погрешность обеспечивается при низких температурах.
2) $23\,^\circ\text{C} < T < 100\,^\circ\text{C}$.

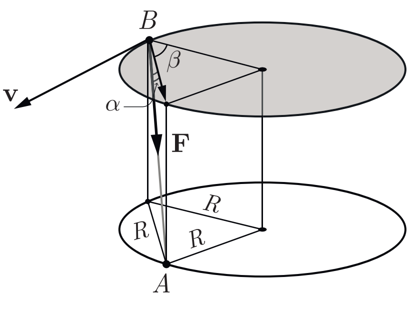
2. Мальчик с шариком (10 баллов)

Варламов С. Д., Крюков П. А.

Мальчик Влад бегает по кругу, держа в руке конец нитки длиной $2\sqrt{2}$ м, к другому концу которой прикреплен небольшой надувной шарик с гелием внутри. Один круг Влад пробегает за 2π секунд. Рука, держащая нить, движется по окружности радиусом 2 м. Шарик движется по окружности такого же радиуса на 2 метра выше руки по вертикали. С какой установившейся скоростью будет взлетать шарик, если нить отпустить. Можно считать, что сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости, а радиус шарика много меньше длины нити. Ускорение свободного падения равно $g = 10$ м/с^2.

Решение

Поскольку в условии даны только численные значения величин, но не введены их буквенные обозначения, будем вводить их самостоятельно. Обозначим символом R величину радиусов окружностей, по которым движутся разные концы нитей (т. A и т. B на рисунке), символом m — массу шарика и символом v — скорость его движения. Согласно условию задачи длина нити составляет $2\sqrt{2}$ м $= R \cdot \sqrt{2}$, при этом разница высот, на которых располагаются окружности, равна $R = 2$ м, это означает, что угол между нитью и вертикалью (нитью и горизонтальной плоскостью) равен $\alpha = 45^\circ$. Если смотреть сверху, и видеть проекцию всех тел на горизонтальную плоскость, то центры окружностей (которые совпадают), и проекции точек, соответствующих концам нити, находятся в вершинах треугольника, у которого все стороны имеют одинаковую длину $R = 2$ м.



Получается, что между скоростью шарика $\mathbf{v}$ и горизонтальной проекцией силы натяжения нити $\mathbf{F}$, которая равна по величине $\dfrac{F}{\sqrt{2}}$, угол β равен 60°. Сумма всех сил, действующих на шарик, обеспечивает движение шарика по окружности, поэтому она равна $\dfrac{mv^2}{R}$ и направлена к центру верхней окружности, по которой движется шарик. Эта сила равна проекции силы натяжения нити на горизонтальное направление, перпендикулярное скорости шарика:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{F}{\sqrt{2}} \cdot \cos 60^\circ.$$

Проекция скорости шарика на вертикальное направление равна нулю, а это значит, что вертикальная проекция силы натяжения нити вместе с силой тяжести компенсируются выталкивающей силой Архимеда $F_{\text{А}}$:

$$F_{\text{А}} - mg = \frac{F}{\sqrt{2}}. \qquad (1)$$

Скорость шарика при движении по окружности не меняется по величине, поэтому продольная (вдоль скорости) составляющая силы натяжения нити компенсирует силу трения, действующую на шарик со стороны воздуха, которая по условию пропорциональна квадрату скорости. То есть, выполняются соотношения:

$$\frac{F}{\sqrt{2}} \cdot \sin 60^\circ = kv^2 \;\Rightarrow\; \frac{F\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} = kv^2. \qquad (2)$$

Здесь k – это коэффициент пропорциональности. Когда нить отпустят, и шарик будет двигаться вверх с установившейся скоростью u, сумма всех сил, действующих на шарик, станет равной нулю. Отсюда получается соотношение:

$$F_{\text{А}} - mg = ku^2. \qquad (3)$$

Комбинируя выражения (1), (2) и (3), получаем содержащее неизвестную скорость u соотношение

$$\frac{u^2}{v^2} = \frac{2}{\sqrt{3}}.$$

Отсюда получаем равенство

$$u = v\sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}}.$$

Из условия, что один круг с радиусом 2 м мальчик пробегает за 2π секунд, можно найти скорость его движения $v = 2$ м/с, поэтому установившаяся скорость шарика равна $u \approx 2{,}1$ м/с.

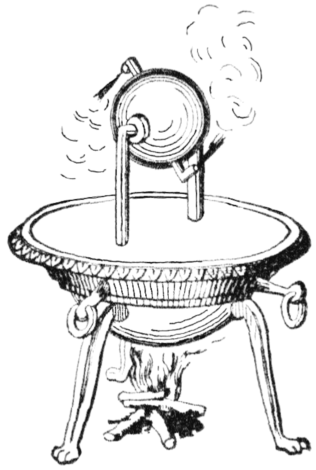
Ответ: $u = \sqrt{\dfrac{8}{\sqrt{3}}}$ м/с $\approx 2{,}1$ м/с.

3. Эолипил (10 баллов)

Ромашка М. Ю.

Эолипил (паровой двигатель, изобретённый в Древней Греции) представляет собой металлический котёл с двумя трубками на крышке, на которых, как на оси, может вращаться турбина в виде полого шара с двумя одинаковыми Г-образными патрубками (соплами). В котел заливают воду, герметично закрывают его и ставят на огонь. Образовавшийся при кипении водяной пар по трубкам поступает в шар и выходит с большой скоростью через сопла, заставляя шар вращаться (см. рисунок из «Википедии» ниже).

Пусть мощность подвода тепла к воде равна $P = 1$ кВт, площадь сечения патрубка $S = 0{,}1$ см^2, а расстояние от сопла до оси вращения $d = 10$ см. Считайте, что из сопла выходит насыщенный пар при атмосферном давлении, равном $p_0 = 10^5$ Па. Молярная масса воды и её удельная теплота парообразования равны: $\mu = 18$ г/моль, $L = 2{,}2 \cdot 10^6$ Дж/кг. Трением в оси и сопротивлением воздуха можно пренебречь.



1) Определите момент сил, действующих на шар со стороны пара, если шар зафиксирован.

2) Какое максимальное количество оборотов в минуту будет делать шар, если ему позволить свободно вращаться?

Решение

По условию на выходе из сопла пар насыщенный, следовательно его температура равна $T_0 = 373$ К. Из уравнения состояния идеального газа можно найти плотность пара на выходе из сопла

$$\rho = \frac{p_0\mu}{RT_0} = 0{,}58 \text{ кг/м}^3. \qquad (1)$$

Пусть u — скорость выходящего из сопла пара. Реактивную силу, действующую на один патрубок с соплом со стороны пара, можно найти как отношение импульса Δp порции пара ко времени Δt, за которое вышла эта порция:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = u\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho S u^2. \qquad (2)$$

где Δm — масса порции пара. С другой стороны, отношение $\dfrac{\Delta m}{\Delta t}$ выражается через мощность подвода тепла к воде P и удельную теплоту парообразования L:

$$\frac{2\Delta m}{\Delta t} = \frac{P}{L}. \qquad (3)$$

Коэффициент 2 в последней формуле возникает из-за того, что пар выходит через два патрубка. Изменение массы Δm за малое время Δt равно $\Delta m = 2\rho u S$. Из уравнения (3) получаем выражение для скорости пара

$$u = \frac{P}{2L\rho S}. \qquad (4)$$

Подставляя (4) и (1) в (2), находим силу

$$F = \frac{P^2 RT_0}{4Sp_0\mu L^2}.$$

Суммарный момент сил, действующих на шар со стороны пара, выходящего через оба сопла, равен

$$M = \frac{P^2 RT_0 d}{2Sp_0\mu L^2} \approx 1{,}8\cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2) Рассмотрим теперь режим, когда эолипил вращается с максимальной угловой скоростью. В этом режиме суммарный момент сил, действующих на шар, равен нулю. Поэтому скорость пара относительно земли сразу после выхода близка к нулю. А это, в свою очередь, означает, что линейная скорость концов патрубков вычисляется по формуле (4). Тогда угловая скорость вращения шара равна

$$\omega_{\max} = \frac{u}{d} = \frac{P}{2L\rho S d},$$

а количество оборотов в минуту равно

$$n_{\max} = \frac{60}{2\pi}\omega_{\max} = \frac{15P}{\pi L\rho S d}. \qquad (5)$$

Подставляя (1) в (5), получаем:

$$n_{\max} = \frac{15PRT_0}{\pi p_0\mu L S d} \approx 3700 \text{ об/м}.$$

<u>Ответ</u>: 1) $M = \dfrac{P^2RT_0d}{2Sp_0\mu L^2} \approx 1{,}8\cdot 10^{-3}$ Н · м;

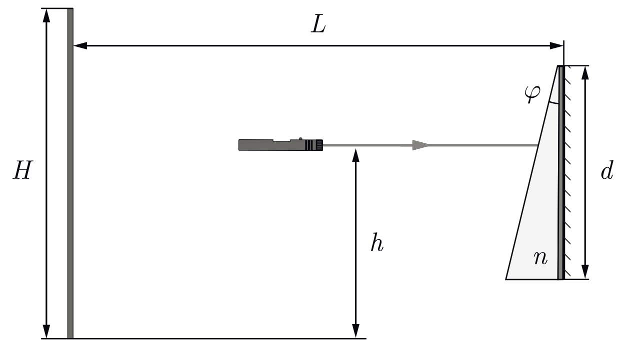
2) $n_{\max} = \dfrac{15PRT_0}{\pi p_0\mu LSd} \approx 3700$ об/м.

4. Автомобильное зеркало (10 баллов)

Бычков А. И.

При падении света на границу раздела воздух-стекло (показатель преломления стекла равен $n = 1{,}5$) под малым углом к нормали доля, равная $R = 4\,\%$, энергии падающего излучения отражается, а $T = 96\,\%$ энергии проходит во вторую среду. При этом не важно, в какую сторону распространяется свет: из воздуха в стекло или из стекла в воздух.

К идеальному зеркалу (отражающему весь падающий свет) прислонили стеклянный клин (призму) размером $d = 10$ см с малым углом $\varphi = 0{,}06$ рад при вершине (см. рисунок). На призму падает лазерный луч, направленный по нормали к зеркалу. При этом на экране высотой $H = 40$ см, расположенном параллельно зеркалу на расстоянии $L = 1$ м от него, наблюдают несколько пятен разной яркости. Показатель преломления стекла равен $n = 1{,}5$. Расстояние от лазерного луча до нижнего края экрана по вертикали равно $h = 25$ см.



1) Найдите приближённо расстояние от верхнего края экрана до каждого пятна и подсчитайте долю энергии падающего излучения (в процентах, округлив до целых), приходящуюся на лучи, формирующие это пятно. Учтите, что приближённые соотношения: $\sin\alpha \approx \alpha$ и $\operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$ с хорошей точностью выполняются даже для углов около 0,4 рад. (*6 баллов*)

2) На какой угол следует повернуть зеркало с призмой в плоскости рисунка, чтобы на месте самого яркого пятна оказалось другое, следующее по яркости? (*3 балла*)

3) Компания Chrysler в 1958 г. использовала зеркало с призмой в качестве зеркала заднего вида с двумя режимами работы. С помощью специального рычажка его можно было перевести из «дневного» ре-

жима в «ночной», так чтобы свет фар автомобилей, едущих сзади, отраженный зеркалом, не слепил водителя. Объясните принцип работы такого автомобильного зеркала. (*1 балл*)

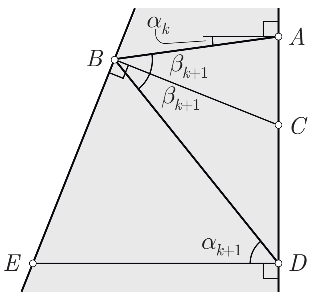
Решение

1) При падении на переднюю грань призмы 4% света сразу отразится назад под углом $2\varphi = = 0{,}12$ рад к горизонтали. Эти лучи сформируют пятно вблизи верхнего края экрана. Используя малость угла φ, можно найти расстояние от верхнего края экрана до этого пятна. Легко видеть, что это расстояние равно

$$x_0 = H - h - L \cdot 2\varphi = 3 \text{ см}. \qquad (1)$$

Имеет смысл качественно изобразить ход лучей, выходящих из призмы и распространяющихся внутри неё. После первого преломления на границе раздела воздух-стекло луч пойдёт под углом $\theta = \varphi - \dfrac{\varphi}{n} = = 0{,}02$ рад к горизонтали. С другой стороны угол, θ — это угол падения луча на зеркало. Поскольку лучи в призме многократно преломляются и отражаются, имеет смысл обозначить последовательность, образованную значениями углов падения лучей на зеркало $\{\alpha_i\}$, $i = 0, 1, 2, \ldots$ Последовательность, образованную углами падения отражённых лучей на границу раздела стекло-воздух, обозначим $\{\beta_j\}$, $j = 1, 2, \ldots$ Очевидно, что для нулевого члена последовательности $\{\alpha_i\}$ справедливо равенство

$$\alpha_0 = \theta = \varphi - \frac{\varphi}{n} = 0{,}02 \text{ рад}. \qquad (2)$$



Рассмотрим отражение лучей в клине. Ломанная ABD на рисунке — фрагмент траектории луча, распространяющегося внутри клина. Используя теорему о сумме углов для треугольников ABC и BDE, можно убедиться в том, что выполняются равенства:

$$\beta_{k+1} = \alpha_k + \varphi, \quad \alpha_k = \beta_k + \varphi, \qquad (3)$$

из которых легко выводятся рекуррентные соотношения:

$$\beta_{k+1} = \beta_k + 2\varphi, \quad \alpha_{k+1} = \alpha_k + 2\varphi. \qquad (4)$$

Теперь, используя найденный первый угол (2) и первое равенство из (3), из соотношений (4) можно получить формулу

$$\beta_k = 2k\varphi - \frac{\varphi}{n}. \qquad (5)$$

Подсчитаем несколько первых членов последовательности $\{\beta_i\}$:

$$\beta_1 = 0{,}08 \text{ рад}, \ \beta_2 = 0{,}20 \text{ рад}, \ \beta_3 = 0{,}32 \text{ рад}. \qquad (6)$$

Следующие пока считать не будем, поскольку применять для них закон преломления, заменяя углы на синусы, уже не получится. Рассмотрим для начала углы, даваемые равенствами (6). Лучу, падающему на границу раздела под углом β_k с нормалью, соответствует расстояние x_k от верхнего края экрана до пятна. Определим эти расстояния. После преломления лучи, формирующие пятно с номером k ($k = 1, 2, 3$), составляют с горизонталью угол

$$\gamma_k = n\beta_k - \varphi = 2\varphi(nk - 1),$$

подставляя числа, находим углы:

$$\gamma_1 = 0{,}06 \text{ рад}, \ \gamma_2 = 0{,}24 \text{ рад}, \ \gamma_3 = 0{,}42 \text{ рад}. \qquad (7)$$

Можно легко показать, сделав численные оценки, что расстоянием по вертикали между точкой выхода лучей из клина и точкой падения можно пренебречь (углы очень маленькие). Применяя приближённую формулу $\operatorname{tg}\gamma_k \approx \gamma_k$, получаем для расстояния от верхнего края экрана до пятна формулу

$$x_k = H - h + L\gamma_k,$$

подставляя в которую числовые значения, находим для $k = 1$ и $k = 2$ значения расстояний:

$$x_1 = 21 \text{ см}, \quad x_2 = 39 \text{ см}.$$

Как видим, расчёт для угла γ_3, который уже нельзя считать малым, не требуется, поскольку очевидно, что лучи идущие под таким углом на экран не попадут. Итак на экране будет видно три пятна. На второе пятно приходится доля света, равная $N_1 = 0{,}96 \cdot 0{,}96 \approx 92\,\%$, а на третье — доля, равная $N_2 = 0{,}96 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}96 \approx 0{,}037 \approx 4\,\%$.

2) Для того, чтобы на месте самого яркого пятна оказалось следующее по яркости пятно, которое располагается выше него на экране и обозначается индексом «0», призму с зеркалом следует повернуть на угол $\varphi + \dfrac{\gamma_1}{2} = 0{,}09$ рад против часовой стрелки.

3) В дневном режиме лучи, формирующие самое яркое изображение ($N_1 = 92\,\%$), распространяются в направлении лица водителя. В ночном режиме в глаза водителю попадает свет, формирующий одно из двух «приглушенных» отражений (обозначаются индексами «0» и «2»), в то время как лучи, формирующие яркое изображение, будут направлены либо в потолок, либо в пол. Водителя такое излучение не слепит, так как оно примерно в 24 раза слабее яркого излучения.

Ответ: 1) Будет видно три пятна. $x_0 = 3$ см, $N_0 = 4\,\%$; $x_1 = 21$ см, $N_1 = 92\,\%$; $x_2 = 39$ см, $N_2 = 4\,\%$. 2) на угол $\varphi + \dfrac{\gamma_1}{2} = 0{,}09$ рад против часовой стрелки.

5. Морозильник с горячей стенкой

(10 баллов), Крюков П. А., Дергачёв А. А.

Задняя стенка не очень современного морозильника, на которой располагаются трубки конденсатора холодильной машины, работающей по обращённому циклу Карно, греется, так что её средняя температура T_S в рабочем режиме выше температуры в комнате T_R. Внутри морозильной камеры холодильная машина поддерживает температуру $T_C = -23\,°\text{C}$.

Известно, что в стационарном режиме, когда температура задней стенки и температура в камере установились, а температура в комнате не меняется со временем, мотор компрессора этого не очень современного морозильника работает без остановки.

В жару, когда температура в комнате поднимается до $T_R^{(0)} = +27\,°\text{C}$, задняя стенка нагревается до $T_S^{(0)} = +47\,°\text{C}$. Определите температуру задней стенки морозильника зимой в холодный день, когда температура воздуха в комнате уменьшается до значения $T_R^{(1)} = +17\,^\circ\mathrm{C}$.

Мощность передачи тепла от горячего тела холодному за счёт теплопроводности (например, от воздуха в комнате холодильной камере через уплотнительные прокладки на дверце) пропорциональна разности соответствующих температур. При этом следует считать, что от горячей стенки за счёт теплопроводности внутрь морозильника тепло не поступает.

Решение

Поскольку тепловая изоляция морозильника несовершенна существует тепловой поток из комнаты в морозильную камеру. С другой стороны, тепло отводится от горячей задней в комнату.

Из комнаты в морозильник поступает за время Δt количество теплоты, равное

$$P_1\Delta t = k_1 \cdot (T_R - T_C), \tag{1}$$

где k_1 — коэффициент описывающий теплопроводные свойства теплоизоляции. За то же время Δt с задней стенки отводится в комнату количество теплоты, равное

$$P_2\Delta t = k_2 \cdot (T_S - T_R), \tag{2}$$

коэффициент k_2 количественно характеризует теплообмен между воздухом в комнате и задней стенкой. Легко видеть, что холодильная машина работает по обращённому циклу Карно с изотермами при температурах T_S и T_C. Для прямого цикла Карно справедливо соотношение

$$\frac{A}{Q_{\text{н}}} = \frac{T_S - T_C}{T_S}. \tag{3}$$

В нашем случае цикл — обращённый, однако соотношение (3) остаётся верным, надо только правильно понимать физический смысл, входящих в него величин $Q_{\text{н}}$ и A. В случае холодильной машины A — это работа, совершаемая компрессором над рабочим телом (хладагентом), поэтому за время Δt она равна $P\Delta t$. Легко понять, что $Q_{\text{н}}$ — это количество теплоты, отдаваемое хладагентом в трубках конденсатора на задней стенке, которое в стационарном режиме равно количеству теплоты, которое отводится в комнату с задней стенки и даётся равенством (2). Поэтому соотношение (3) можно переписать так:

$$\frac{P}{k_2 \cdot (T_S - T_R)} = \frac{T_S - T_C}{T_S}. \tag{4}$$

Подставим в соотношение (3) равенство $Q_{\text{н}} = A + |Q_{\text{х}}|$, справедливое для любой тепловой машины. В нашем случае $|Q_{\text{х}}|$ — это количество теплоты, отводимое в процессе работы холодильной машины от содержимого морозильника, равное в стационарном режиме количеству теплоты, поступающему в него извне. Последнее даётся формулой (1). Отсюда имеем равенство

$$\frac{P}{P + k_1 \cdot (T_R - T_C)} = \frac{T_S - T_C}{T_S},$$

которое лучше переписать в виде

$$\frac{P + k_1 \cdot (T_R - T_C)}{P} = \frac{T_S}{T_S - T_C}. \tag{5}$$

Уравнения (4) и (5) образуют систему, на основе которой решается задача. Если эта система составлена, то далее на пути к ответу предстоят только технические трудности.

Для того, чтобы найти температуру задней стенки, следует исключить из уравнений мощность P. Удобно сделать это, записав уравнение (5) в виде

$$\frac{k_1 \cdot (T_R - T_C)}{P} = \frac{T_S}{T_S - T_C} - 1,$$

а затем умножив полученное выражение на уравнение (4). В результате после преобразований получим соотношение

$$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{T_R - T_C}{T_S - T_R} = \frac{T_C}{T_S},$$

и далее равенство, удобное для вычислений

$$\frac{k_1}{k_2} \cdot \left(\frac{T_R}{T_C} - 1\right) = 1 - \frac{T_R}{T_S}. \tag{6}$$

Теперь можно подставлять числа. Из формулы (6) имеем соотношение

$$\frac{k_1}{k_2} \cdot \left(\frac{6}{5} - 1\right) = 1 - \frac{15}{16}.$$

Таким образом, находим отношение коэффициентов

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{5}{16}. \tag{7}$$

Подставляем найденное значение (7) в соотношение (6), вместо температуры комнаты ставим $T_R^{(1)} = 17\,^\circ\mathrm{C}$ и получаем уравнение для определения $T_S^{(1)}$

$$\frac{5}{16} \cdot \left(\frac{29}{25} - 1\right) = 1 - \frac{290\ \mathrm{K}}{T_S^{(1)}},$$

решая которое, легко находим $T_S^{(1)} \approx 32{,}3\,^\circ\mathrm{C}$.

Ответ: $T_S^{(1)} \approx 32{,}3\,^\circ\mathrm{C}$.