

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.
2020-21 учебный год. 9 класс. Максимальный балл – 50.**

Задача №1

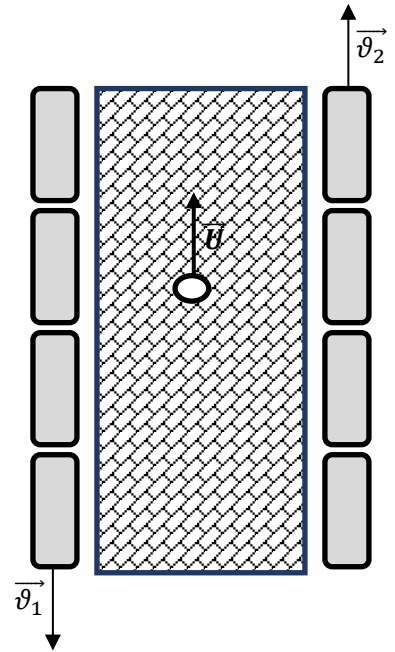
По перрону с постоянной скоростью U идёт носильщик. По левому и правому пути навстречу друг другу движутся поезда с постоянными скоростями v_1 и v_2 соответственно (см. рис.). Носильщик заметил, что проводники левого поезда, которые стоят в дверях каждого вагона, проезжали мимо него каждые $t_1 = 2,4$ с. А проводники правого поезда, которые тоже стоят в дверях каждого вагона, проезжали мимо него каждые $t_2 = 12$ с.

Вопрос №1: через какое время t_3 проводники обоих поездов оказываются напротив друг друга?

Вопрос №2: учитывая, что длина каждого вагона равна 24 м, а величина скорости левого поезда больше величины скорости правого поезда на 4 м/с, определите скорость каждого поезда.

Вопрос №3: В момент, когда проводники обоих поездов опять оказались напротив друг друга из дверей вагона левого поезда выскочил пассажир и побежал относительно земли со скоростью $v_0 = 16$ м/с по направлению к правому поезду с целью попасть в двери любого из вагонов этого состава. Под каким углом α к направлению движения своего поезда он должен двигаться, чтобы достичь цели за наименьшее время? Ширина перрона равна $S = 8$ м.

Автор: Порошин Олег Владимирович



Возможное решение

Вопрос №1:

Если перейти в систему отсчёта связанную с носильщиком, то скорость левого поезда в этой СО будет равна $v_{от1} = v_1 + U$, а скорость второго поезда в этой же СО $v_{от1} = v_2 - U$. Тогда время через которое проводники левого поезда встречают носильщика $t_1 = \frac{L}{v_1 + U}$ (1), аналогично для правого поезда $t_2 = \frac{L}{v_2 - U}$ (2), где L – длина вагона. Тогда искомое время $t_3 = \frac{L}{v_1 + v_2}$ (3).

Решаем получившуюся систему.

Для этого из (1) выразим $v_1 = \frac{L}{t_1} - U$ (4);

Из (2) выразим $v_2 = \frac{L}{t_2} + U$ (5)

(4) и (5) подставим в (3) и получим итоговую формулу $t_3 = \frac{t_2 \cdot t_1}{t_2 + t_1}$.

После подстановки и вычислений получаем: $t_3 = 2$ с.

Вопрос №2:

Из условия задачи следует: $v_1 - v_2 = 4 \frac{м}{с}$ (6)

Если суммировать (4) и (5) то получим $v_1 + v_2 = \frac{L(t_2 + t_1)}{t_2 \cdot t_1} = 12 \frac{м}{с}$ (7)

Складывая теперь (6) и (7) получим $2v_1 = 16$ м/с

Таким образом, ответ: $v_1 = 8$ м/с $v_2 = 4$ м/с

Вопрос №3:

Определим сначала, в каком направлении должен двигаться пассажир, чтобы попасть к тамбуру правого поезда за минимальное время. Очевидно, он должен всё время находиться в движении. Если он будет двигаться перпендикулярно направлению движения поезда ($\alpha = 90^\circ$), то пересечёт перрон за время меньшее, чем необходимо затратить поезду для того, чтобы тамбур следующего вагона подъехал к месту, где находится пассажир. То есть пассажиру придётся ждать и время не будет минимальным. Значит, пассажир должен двигаться под некоторым углом отличным от 90° .

Перейдём в систему отсчёта правого поезда. В этой СО скорость пассажир $\vec{v}_{от} = \vec{v}_0 - \vec{v}_2$. При проецировании этой формулы на оси координат получим:

$$OX: v_{отx} = v_0 \sin \alpha \quad (8)$$

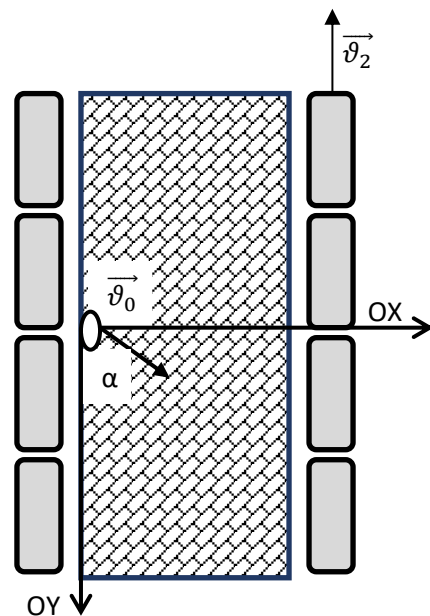
$$OY: v_{отy} = v_0 \cos \alpha + v_2 \quad (9)$$

Вдоль оси OX пассажир должен пройти расстояние равное ширине перрона за время $t = \frac{S}{v_0 \sin \alpha}$. За это же время вдоль оси OY он должен пройти расстояние равное длине вагона $t = \frac{L}{v_0 \cos \alpha + v_2}$. Из последней формулы видно, что если пассажир будет бежать навстречу поезду, то время будет меньше, чем в случае, если он будет бежать в ту же сторону, что и поезд. Приравняв правые части в последних двух формулах получаем: $\frac{S}{v_0 \sin \alpha} = \frac{L}{v_0 \cos \alpha + v_2}$.

Если заменить $\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$, то получится квадратное уравнение относительно $\cos \alpha$

$$\left(1 + \left(\frac{L}{S}\right)^2\right) \cos^2 \alpha + 2 \frac{v_2}{v_0} \cos \alpha + \left(\frac{v_2}{v_0}\right)^2 - \left(\frac{L}{S}\right)^2 = 0$$

Решая это уравнение, получаем: $\cos \alpha = 0,887$; $\alpha \approx 27,5^\circ$ (допускается ответ 28°)



Критерии оценивания

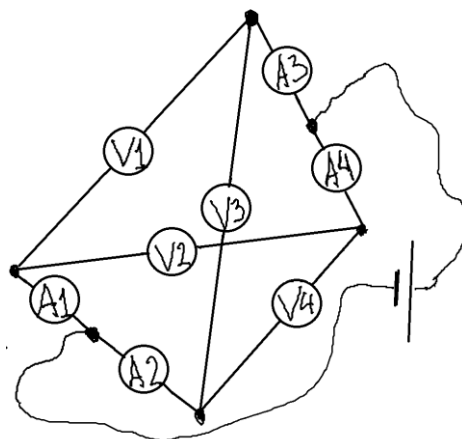
1. При ответе на 1 вопрос получена правильная система уравнений – 1 балл
2. Дан правильный ответ на первый вопрос – 1 балл
3. Получена система уравнений для вычисления скоростей поездов – 1 балл
4. Дан правильный ответ на второй вопрос – 1 балл (по 0,5 балла за каждую скорость)
5. Обоснован выбор направления движения пассажира из условия минимальности времени – 2 балла
6. Описан правильный метод нахождения угла (сделаны чертежи, записаны уравнения) – 2 балла
7. Дан правильный ответ на третий вопрос (в виде угла или значения тригонометрической функции) – 2 балла

Задача №2

Электрическая цепь собрана из четырех одинаковых амперметров и четырех одинаковых вольтметров. Приборы не идеальные. Сопротивление каждого амперметра 2 Ом, сопротивление каждого вольтметра 100 Ом. Ток, протекающий через источник равен 3 А.

- 1) Найдите показания амперметров и вольтметров в цепи.
- 2) Чему равно напряжение источника?
- 3) Рассчитайте сопротивление цепи.

Автор: Степаненко Евгений Николаевич



Возможное решение

1. Ток, подаваемый в цепь, вначале проходит через два одинаковых амперметра, в конце выходит также через два одинаковых амперметра. Поскольку после каждого амперметра на «входе» и до амперметра на «выходе» всегда находится два одинаковых вольтметра, ток в амперметрах распределяется поровну. Поскольку общий ток в цепи 3 А, то каждый из вольтметров показывает $3\text{А}/2=1,5\text{А}$. Найдем напряжение на амперметре. $U_A = 1,5\text{А} * 2\text{Ом} = 3\text{В}$.

2. Рассмотрим ток, выходящий из амперметра А3. Он делится на две части, протекающие по 1 и 3 вольтметрам. Так как оба маршрута для тока являются совершенно одинаковыми, то ток поделится пополам. Аналогично произойдет с током, вышедшим из амперметра А4. Получаем, что через каждый вольтметр течет ток 0,75 А. Тогда напряжение на вольтметре равно $100\text{Ом} * 0,75\text{А} = 75\text{В}$

3. Напряжение на источнике равно сумме напряжений на элементах, через которые проходит заряд, двигаясь от плюса источника к минусу. $U_{ист} = U_A + U_V + U_A = 3\text{В} + 75\text{В} + 3\text{В} = 81\text{В}$.

4. Общее сопротивление схемы можно найти как отношение общего напряжения (напряжение на источнике) к общему току (току через источник). $R_{ц} = 81\text{В} / 3\text{А} = 27\text{Ом}$.

Критерии оценивания

1	Приведено обоснование почему показания всех амперметров одинаковые	1 балл
2	Верно определено показание одного из амперметров 1,5 А	2 балла
3	Приведено обоснование почему показания всех вольтметров одинаковые	1 балл
4	Верно определено показание одного из вольтметров 75 В	2 балла
5	Определено напряжение, подаваемое на схему 81В	2 балла
6	Рассчитано общее сопротивление 27 Ом	2 балла

Задача №3

Известно, что воду можно охладить до отрицательных температур, при этом вода не кристаллизуется и останется жидкой. Так, например, в домашних условиях дистиллированную воду можно охладить до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, и она не замерзает. Такая жидкость будет называться переохлажденной. Если же очистить воду от всех остальных примесей и использовать профессиональное холодильное оборудование, то её получится охладить до минимальной температуры $-48,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1) Домашнему морозильнику требуется $\tau_1 = 10$ мин, чтобы охладить воду от $t_1 = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Через какое время τ дистиллированная вода охладится от $t_1 = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_3 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$? Считайте, что холодильник каждую секунду отбирает у воды постоянное количество тепла. Удельная теплоемкость переохлажденной воды такая же как у обычной.

2) Во сколько раз отличается время охлаждения τ дистиллированной воды от $t_1 = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_3 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени охлаждения τ' обыкновенной воды той же массы при тех же значениях температуры?

3) Какая часть переохлажденной воды при температуре $t_3 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ кристаллизуется, если в нее бросить кристаллик льда? Считайте, что удельная теплота плавления льда не зависит от температуры. Теплообменом с окружающей средой в процессе кристаллизации можно пренебречь.

Удельная теплоемкость воды c_v равна $4200\text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$, удельная теплоемкость льда c_l равна $2100\text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$, удельная теплота плавления льда λ при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна 330 кДж/кг .

Автор: Горюнова Мария Владимировна

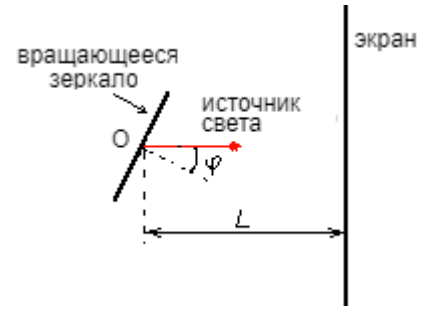
Возможное решение и критерии оценивания:

Номер задания	Решение	Баллы
1	Охлаждение дистиллированной воды от $t_1 = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$: $A_1 = Q_1$ $P\tau_1 = c_v \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$ $\tau_1 = c_v \cdot m \cdot (t_2 - t_1) / P,$ где P – мощность морозильника; m – масса воды.	1 балл
	Охлаждение дистиллированной воды от $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_3 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$: $A_2 = Q_2$ $P\tau_2 = c_v \cdot m \cdot (t_2 - t_3)$ $\tau_2 = c_v \cdot m \cdot (t_2 - t_3) / P,$ где τ_2 – время охлаждения воды от 0 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.	1 балл
	$\tau_2 / \tau_1 = 2,5$ $\tau_2 = 25$ мин	0,5 балла
	Полное время охлаждения дистиллированной воды – τ $\tau = \tau_1 + \tau_2 = 35$ мин	0,5 балла
3	Охлаждение обычной воды от $t_1 = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$: $A_1 = Q_1$ $P\tau_1 = c_v \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$ $\tau_1 = c_v \cdot m \cdot (t_2 - t_1) / P.$	0,5 балла

	<p>Кристаллизация обычной воды:</p> $A_2 = Q_2$ $P\tau_2 = \lambda \cdot m$ $\tau_2 = \lambda \cdot m / P$	0,5 балла
	<p>Охлаждение получившегося льда от $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_3 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$:</p> $A_3 = Q_3$ $P\tau_3 = c_{\text{л}} \cdot m \cdot (t_2 - t_3)$ $\tau_3 = c_{\text{л}} \cdot m \cdot (t_2 - t_3) / P.$	0,5 балла
	$\tau_2 / \tau_1;$ $\tau_2 = 196,4 \text{ мин}$	0,5 балла
	$\tau_3 / \tau_1;$ $\tau_2 = 12,5 \text{ мин}$	0,5 балла
	<p>Полное время охлаждения обычной воды – τ'</p> $\tau' = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 219 \text{ мин}$	0,5 балла
	$\tau' / \tau = 6,26$	1 балл
4	<p>Важно!! В данном пункте учащиеся могут использовать различные модели. Общим является то, что при кристаллизации выделяется тепло. Далее, в зависимости от выбранной модели, это тепло может идти на нагрев воды от $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $0 \text{ }^\circ\text{C}$, или на нагрев льда от $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $0 \text{ }^\circ\text{C}$. В реальности процесс кристаллизации в разных точках сосуда происходит при различных температурах, поэтому в охлаждении от $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $0 \text{ }^\circ\text{C}$ частично участвует вода, а частично лед. Найдем крайние оценки.</p> <p>Уравнение теплового баланса (остывает вода):</p> $\lambda \cdot \Delta m = c_{\text{в}} \cdot m \cdot (t_2 - t_3),$ <p>где Δm – часть переохлажденной воды, которая замерзнет, m – вся масса переохлажденной воды, t_3 – начальная температура переохлажденной воды ($t_3 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$), t_2 – конечная температура переохлажденной воды, при которой возможно наличие льда в системе ($t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$).</p> $\Delta m / m = 0,13$ <p>Уравнение теплового баланса (остывает лед):</p> $\lambda \cdot \Delta m = c_{\text{л}} \cdot m \cdot (t_2 - t_3)$ $\Delta m / m = 0,06$	2 балла (за любую из разумных моделей. Разбор всех случаев не нужен)
	$\Delta m / m$ в интервале от 0,06 до 0,13	1 балла

Задача №4

Луч света отражается от вращающегося с угловой скоростью ω зеркала и попадает на экран (см. рис.). Ось вращения зеркала перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку O . До отражения от зеркала луч перпендикулярен плоскости экрана. Расстояние от зеркала до экрана L много больше размеров зеркала.



Определите скорость «светового зайчика» на экране в момент, когда угол падения луча на зеркало: а) равен нулю; б) равен φ .

Автор: Рогальский Юрий Константинович

Возможное решение

В момент, когда угол падения луча на зеркало равен нулю при отражении луч меняет направление своего движения на противоположное. За малое время Δt после этого зеркало поворачивается на угол $\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$, отраженный зеркалом луч отклоняется на угол:

$$2\Delta\varphi = 2\omega\Delta t \quad 2 \text{ балла}$$

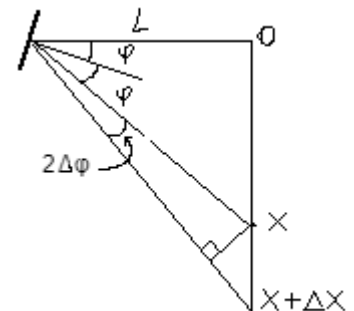
а «зайчик» на экране перемещается на расстояние

$$\Delta x = 2L \cdot \omega\Delta t \quad 2 \text{ балла}$$

А его скорость в этот момент

$$v_0 = \Delta x / \Delta t = 2L\omega. \quad 1 \text{ балл}$$

В момент, когда угол падения луча на зеркало равен φ при отражении луч отклоняется от первоначального направления движения на угол $\pi - 2\varphi$ (см.рис.). За малое время Δt после этого зеркало поворачивается (на рисунке по часовой стрелке) на угол $\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$, отраженный зеркалом луч отклоняется за это время на угол $2\Delta\varphi = 2\omega\Delta t$.



Из подобия треугольников (Δt почти ноль, $\Delta\varphi$ почти ноль) следует:

$$\frac{\Delta x}{\sqrt{L^2 + x^2}} = 2\omega\Delta t \frac{\sqrt{L^2 + x^2}}{L}. \quad 3 \text{ балла}$$

$$\text{tg}(2\varphi) = x/L.$$

Следовательно искомая скорость «зайчика» в этот момент

$$v(\varphi) = \Delta x / \Delta t = 2L\omega / \cos^2(2\varphi). \quad 2 \text{ балла}$$

Примечание (не требовалось от учащихся, написано для общего развития): Заметим, что при $\varphi = 45^\circ$ скорость «зайчика» становится бесконечно большой, хотя известно, что скорости объектов не могут превышать скорость света. Проблема заключается в том, что при решении задачи мы не учитывали время движения лучика света от зеркала до экрана, так как при большинстве углов проходимые лучиком расстояния малы, а скорость света очень большая. Однако при угле близком к $\varphi = 45^\circ$ длина пути лучика начинает стремиться к бесконечности и временем движения света до экрана уже нельзя пренебрегать. То есть при таких углах выбранная нами модель перестает работать.

Задача №5

С помощью предложенного вам оборудования определите:

- 1) Отношение радиусов монеток
- 2) Отношение масс монеток
- 3) Отношение плотностей монеток

Считайте известным, что отношение толщин монеток равно 0,8. Погрешность оценивать не нужно.

Оборудование: монетка номиналом 1 рубль, монетка номиналом 10 копеек, шестигранный карандаш, кусок нити.

Автор: Карманов Максим Леонидович

Возможно решение

Найдем отношение радиусов.

Для этого поочередно положим монетки на стол и обмотаем их по периметру нитью, считая сколько оборотов нити удастся намотать на каждую из монеток. Длины окружностей монеток будут с одной стороны обратно пропорциональны числу оборотов, а с другой стороны пропорциональны радиусам монеток.

Число оборотов вокруг каждой из монет зависит от длины выданного вам кусочка нити.

Правильным является отношение радиусов 0,8-0,85.

Найдем отношение масс.

Для этого сравним массы монет на рычажных весах используя в качестве рычага карандаш. Сначала уравновесим на пальце сам карандаш, затем положим на его концы монеты и не сдвигая пальца добьемся положения равновесия. Отношение масс монет равно обратному отношению плеч.

Правильным является отношение 0,6.

Найдем отношение плотностей.

$$\frac{\rho_{10}}{\rho_1} = \frac{m_{10}}{m_1} \frac{V_1}{V_{10}} = \frac{m_{10}}{m_1} \frac{S_1}{S_{10}} \frac{h_1}{h_{10}} = \frac{m_{10}}{m_1} \left(\frac{r_1}{r_{10}}\right)^2 \frac{h_1}{h_{10}} = 0,6 \left(\frac{1}{0,8}\right)^2 \left(\frac{1}{0,8}\right) = 1,18$$

Критерии оценивания

1	Предложен и качественно описан способ, позволяющий найти отношение радиусов монеток	1 балл
2	Корректные измерения для предложенного способа	1 балл
3	Правильно найдено отношение радиусов (допустимое отклонение 15%)	2 балла
4	Предложен и качественно описан способ, позволяющий найти отношение масс монеток	1 балл
5	Корректные измерения для предложенного способа	1 балл
6	Правильно найдено отношение масс (допустимое отклонение 10%)	2 балла
7	Верная расчетная формула для отношения плотностей через отношение масс, толщин и радиусов	1 балл
8	По формуле верно вычислено отношение плотностей	1 балл

Требования к оборудованию:

Состав комплекта на 1 школьника:

- 1) Монетка номиналом 1 рубль
- 2) Монетка номиналом 10 копеек
- 3) Шестигранный карандаш (длиной не менее 10 см)
- 4) Кусок швейной х/б нити длиной около 50 см.