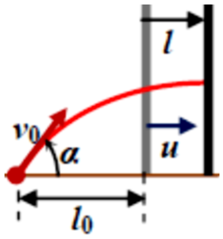
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2025-2026 года, вопросы по физике.

Вариант 4 (11 класс)

Задача 1. Массивная вертикальная гладкая упругая стенка движется по ровной горизонтальной поверхности поступательно с постоянной скоростью u = 2,5 м/с. Вслед ей с этой же поверхности выстреливают маленьким шариком, начальная скорость которого направлена вверх под некоторым углом к горизонту (см. рисунок). В момент выстрела расстояние от шарика до стенки равнялось l_0 = 5 м, а к тому моменту, когда шарик ударился о стенку, стенка сдвинулась от положения в момент выстрела на расстояние l = 2,5 м. Известно также, что перед самым ударом шарик летел горизонтально.



1.1. Найдите модуль начальной скорости шарика. Ускорение свободного падения считайте равным $g \approx 10$ м/с^2. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых.

1.2. На каком расстоянии L от точки выстрела шарик после отражения от стенки упадет на горизонтальную поверхность? Ответ запишите в метрах.

Ответы: 1.1. **12,5**. 1.2. **5**.

Возможное решение

Время «погони» шарика за стенкой $t_1 = \frac{l_0}{v_0 \cdot \cos(\alpha) - u} = \frac{l}{u}$, и поэтому горизонтальная компонента скорости шарика

$$v_0 \cdot \cos(\alpha) = \left(1 + \frac{l_0}{l}\right) u = 3u = 7{,}5 \text{ м/с}.$$

За время этой «погони» t_1 вертикальная компонента скорости шарика обращается в ноль:

$$v_y(t_1) = v_0 \cdot \sin(\alpha) - g \cdot t_1 = 0 \Rightarrow v_0 \cdot \sin(\alpha) = \frac{gl}{u} = 4u = 10 \text{ м/с}.$$

Возводя полученные выражения в квадрат и складывая, получаем:

$$v_0^2 = \left(1 + \frac{l_0}{l}\right)^2 u^2 + \frac{g^2 l^2}{u^2} = 25u^2 \Rightarrow v_0 = 5u = 12{,}5 \text{ м/с}.$$

Ясно, что удар шарика о стену произойдет на высоте

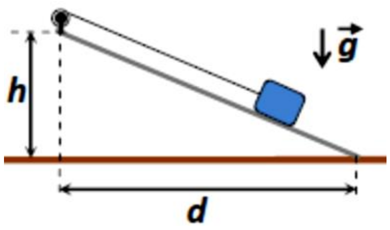
$$h = v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t_1 - \frac{g}{2} t_1^2 = \frac{gl^2}{2u^2}.$$

Это позволяет нам найти время падения шарика после удара от стенку $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{l}{u}$. Впрочем, мы могли просто понять, что в процессе падения вертикальная компонента скорости меняется на ту же величину, что и в ходе подъема, хоть и в другом направлении. Поскольку величина ускорения тоже не изменилась, то и время падения рано времени подъема $t_1 = \frac{l}{u}$.

Для определения горизонтальной компоненты скорости шарика после удара удобно рассмотреть удар в Системе Отсчета, связанной с массивной стенкой. В этой СО шарик налетает на стенку горизонтально со скоростью $v_0 \cdot \cos(\alpha) - u = \frac{l_0}{l} u = 2u$, и отскакивает точно с такой же по величине горизонтальной скоростью, изменив направление движения. Поэтому относительно поверхности горизонтальная компонента скорости после удара направлена противоположно начальной и имеет величину $v'_1 = \left(\frac{l_0}{l} - 1\right) u = u$. Значит, от момента удара до момента падения шарик сместится против оси x на расстояние $v'_1 t_2 = \left(\frac{l_0}{l} - 1\right) u \frac{l}{u} = l_0 - l = l$. В результате он упадет точно в место, где находилась стенка в момент выстрела, и

$$L = l_0 + l - (l_0 - l) = 2l = l_0 = 5 \text{ м}.$$

Задача 2. Ящики с грузом постоянной массы поднимают по наклонной плоскости с помощью лебедки и легкого нерастяжимого троса. Высота плоскости по вертикали h = 5 м, ее горизонтальная проекция d = 12 м. Изначально у плоскости было такое покрытие, что коэффициент трения ящика о плоскость равнялся μ_1 = 0,45.



2.1. Найдите отношение величины силы натяжения троса к величине силы тяжести, действующей на ящик, при движении ящика с постоянной скоростью $v_1 = 1{,}20$ м/с. Ответ запишите с точностью до десятых.

Двигатель лебедки подключен к аккумулятору, создающему постоянное напряжение, его статор – постоянный магнит, сопротивление цепи ротора можно считать постоянным. Известно, что сила натяжения троса, возникающая за счет работы лебедки, прямо пропорциональна силе тока, текущего в цепи ротора ее двигателя.

2.2. Определите характер зависимости скорости движения ящика в установившемся режиме v от силы тока в цепи ротора I. Выберите правильную зависимость из списка ниже и укажите ее номер в ответе:

(1) прямая пропорциональность;
(2) обратная пропорциональность;
(3) линейная, но не прямая пропорциональность;
(4) квадратичная;
(5) кубическая.

При замене покрытия плоскости, в результате которой коэффициент трения ящика о плоскость стал равен μ_2 = 0,32, скорость движения ящика в установившемся режиме (при том же аккумуляторе и той же лебедке) увеличилась до $v_2 = 1{,}56$ м/с. Затем покрытие еще раз заменили, и теперь коэффициент трения ящика о плоскость стал равен μ_3 = 0,19.

2.3. Какой теперь стала скорость движения ящика в установившемся режиме? Ответ запишите в м/с с точностью до сотых.

Ответы: 2.1. **0,8**. 2.2. **3**. 2.3. **1,92**.

Возможное решение

Сила трения груза о плоскость, которая в данном случае является силой трения скольжения, равна $F_{тр} = \mu N = \mu mg \cdot \cos(\alpha)$. Так как груз движется с постоянной скоростью, то сила, с которой двигатель тянет трос, постоянна и равна сумме силы трения и проекции силы тяжести на плоскость: $F = mg \cdot [\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha)]$. Отметим, что $\mathrm{tg}(\alpha) = \dfrac{h}{d} = \dfrac{5}{12}$, и поэтому $\cos(\alpha) = \dfrac{1}{\sqrt{1+(5/12)^2}} = \dfrac{12}{13}$, а $\sin(\alpha) = \dfrac{5}{13}$. Значит, искомое отношение $z \equiv \dfrac{F}{mg} = \sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha) = \dfrac{5+12\mu}{13}$. Для μ_1 = 0,45получаем z_1 = 0,8.

Обозначим ЭДС аккумулятора $\mathcal{E}$, а R – сопротивление цепи ротора. Мощность затрат аккумулятора $\mathcal{E} \cdot I$ идет на компенсацию джоулевых потерь в цепи ротора $P_Q = RI^2$ и полезную мощность $P_n = F \cdot v$. Согласно условию, $F = k \cdot I$, где k – постоянный коэффициент. Следовательно, $\mathcal{E} \cdot I = RI^2 + k \cdot I \cdot v \Rightarrow v = \dfrac{\mathcal{E}}{k} - \dfrac{R}{k} I$. Таким образом, зависимость скорости движения ящика в установившемся режиме от силы тока в цепи ротора является линейной (но не прямой пропорциональностью). Правильный вариант – 3.

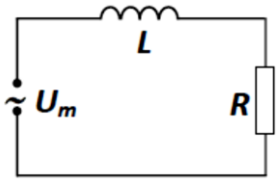
Удобно переписать полученную зависимость через величину, меняющуюся вместе с коэффициентом трения – например, через z. Это достаточно легко сделать:

$$v = \frac{\mathcal{E}}{k} - \frac{R}{k} I = \frac{\mathcal{E}}{k} - \frac{R}{k^2} F = \frac{\mathcal{E}}{k} - \frac{mgR}{k^2} z \equiv A - B \cdot z.$$

Используя два известных значения скорости, находим постоянные коэффициенты А и В:

$$\begin{cases} v_1 = A - B \cdot z_1 = A - 0{,}8B \\ v_2 = A - B \cdot z_2 = A - 0{,}68B \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = \dfrac{20v_2 - 17v_1}{3} = 3{,}6 \text{ м/с} \\ B = \dfrac{v_2 - v_1}{0{,}12} = 3 \text{м/с} \end{cases}.$$

Мы получили явную связь скорости и z: $v(z) = (3{,}6 - 3 \cdot z)$ м/с. Поскольку z_3 = 0,56, то v_3 =1,92 м/с.



Задача 3. К источнику синусоидального напряжения частотой ν = 50 Гц с амплитудой $U_m = 300$ В подключена цепь с омическим сопротивлением R = 75 Ом и индуктивностью L = 318 мГн (см. рисунок).

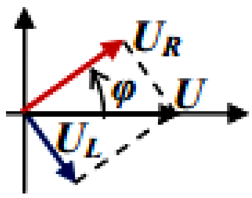
3.1. Найдите амплитуду колебаний силы тока в этой цепи. Ответ запишите в амперах с точностью до десятых.

3.2. Найдите среднюю (за период колебаний) мощность, потребляемую этой цепью от источника. Ответ запишите в ваттах с точностью до целого значения.

Ответы: 3.1. **2,4**. 3.2. **0,58**.

Возможное решение

Для решения этой задачи можно воспользоваться одним из методов расчета цепей переменного тока – например, методом векторных диаграмм. Пусть искомая амплитуда колебаний силы тока в этой цепи равна I_m. Тогда амплитуда колебания напряжения на омическом сопротивлении $U_m^{(R)} = RI_m$, и эти колебания происходят синфазно с колебаниями силы тока. Амплитуда колебаний напряжения на индуктивности $U_m^{(L)} = \omega L I_m$, и они отстают по фазе от колебаний силы тока на $\frac{\pi}{2}$. С учетом этого строим векторную диаграмму (см. рисунок), отвечающую сложению напряжений $U_R(t) + U_L(t) = U(t)$. Из теоремы Пифагора для получившегося прямоугольного треугольника находим, что $U_m = \sqrt{R^2 I_m^2 + \omega^2 L^2 I_m^2}$, и поэтому амплитуда колебаний силы тока



$I_m = \dfrac{U_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \approx 2{,}4$ А. В этой цепи только один активный (то есть потребляющий энергию) элемент – это омическое сопротивление, и средняя мощность потребления $P_{ср} = \dfrac{1}{2} R I_m^2 = \dfrac{R U_m^2}{2(R^2 + \omega^2 L^2)} \approx 216$ Вт.

Задача 4. Две одинаковых по форме призмы, сечением которых является равнобедренный треугольник с углом при основании 30°, изготовлены из разных специальных стекол: у первой показатель преломления n_1 = 1,95, а у второй – n_2 = 2,05. Лазерный луч (который можно считать узким пучком параллельных световых лучей) падает из воздуха нормально на поверхности этих призм, как показано на рисунке. Вещество призмы считайте полностью прозрачным (то есть поглощением энергии света можно пренебречь). Кроме того, при анализе хода лучей считайте, что при падении луча на любую поверхность призмы с углом, меньшим угла полного внутреннего отражения, интенсивность отраженного луча заметно меньше интенсивности падающего, и при третьем таком отражении существованием отраженного луча можно пренебречь.

4.1. Какое количество лучей выйдет наружу из первой призмы?

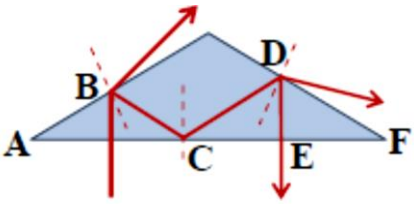
4.2. Какое количество лучей выйдет наружу из второй призмы?

4.3. На каком ненулевом расстоянии от точки входа выйдет из призмы 2 луч на оси пучка, развернувшийся на 180° по отношению к падающему? Длина основания призмы равна D = 12 см. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Ответы: 4.1 **3**. 4.2 **2**. 4.3 **6**.

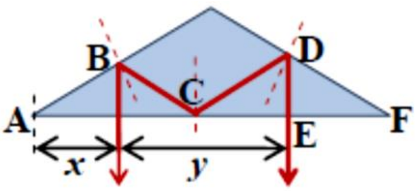
Возможное решение

Начнем с того, что определим для заданных величин показателя преломления углы полного внутреннего отражения: $\alpha_{ПВО1} = \arcsin\left(\frac{1}{n_1}\right) \approx 30{,}5°$ и $\alpha_{ПВО2} = \arcsin\left(\frac{1}{n_2}\right) \approx 29{,}20°$. Выполнив построение хода лучей в призмах, мы обнаруживаем, что для первой призмы углы падения в точках



B (30°), D (30°) и E (0°) меньше угла полного внутреннего отражения, и в этих точках есть преломленные лучи, выходящие из призмы наружи. В точке C угол падения (60°) больше угла полного внутреннего отражения, и в ней преломленного луча нет. Отражение в точке E является уже третьим «неполным» отражением, и мы (согласно условию) пренебрегаем интенсивностью отраженного луча, и цепочка отражений прерывается – других вышедших из призмы лучей уже не будет. Итак, из первой призмы выйдут наружу **3 луча**.

Во второй призме происходят три полных внутренних отражения (углы падения в точках B и D равны 30°, а в точке C - 60°), а затем – в точке E луч падает нормально. Преломленных лучей в точках B, C и D нет, а в точке E есть отраженный луч небольшой интенсивности, который



возвращается по тому же пути, снова испытывая три полных внутренних отражения и выходит в точке падения (конечно, его не так легко будет заметить, так как он будет «накладываться» не падающий, но в принципе это возможно). Там тоже есть отраженный луч, и он (после еще трех полных отражений) выйдет снова в точке E, и только теперь происходит третье «неполное» отражение, после которого мы считаем интенсивность отраженного луча пренебрежимо малой. Но всего в случае второй призмы мы увидим **два вышедших луча**, и у обоих угол поворота от направления падающего луча равен 180°. Ненулевое смещение у луча, выходящего из точки E. Его можно найти следующим образом: пусть расстояние от точки A до точки входа луча равно x. Тогда, с учетом того, треугольник ABC равнобедренный (у него одинаковые углы при основании) найдем, что расстояние от точки входа до C тоже равно x. Поэтому $|\mathrm{CF}| = D - 2x$, и, поскольку треугольник CDF тоже равнобедренный, то точка выхода находится на расстоянии $\frac{|\mathrm{CF}|}{2} = \frac{D}{2} - x$ от точки C.

Итак, искомое смещение $y = x + \frac{D}{2} - x = \frac{D}{2} = 6$ см. Отметим, что это расстояние не зависит от x!

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**12,5**	**5**
	в интервале [12,4;12,6]	**1**
1.2	**5**	**5**
	в интервале [4,9;5,1]	**2**
2.1	**0,8**	**5**
	в интервале [0,75;0,85]	**1**
2.2	**3**	**5**
	1	**1**
2.3	**1,92**	**5**
	в интервале [1,90;1,94]	**2**
3.1	**2,4**	**5**
	в интервале [2,3;2,5]	**1**
3.2	**216**	**5**
	в интервале [212;220]	**1**
4.1	**3**	**5**
	2 или 4	**2**
4.2	**2**	**5**
	1	**3**
4.3	**6**	**5**
	5 или 7	**1**
Максимальная оценка		**50**