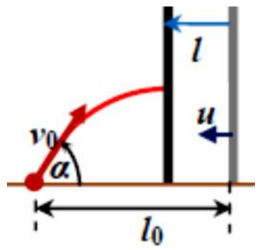
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2025-2026 года, вопросы по физике.

Вариант 8 (11 класс)

Задача 1. Массивная вертикальная гладкая упругая стенка движется по ровной горизонтальной поверхности поступательно с постоянной скоростью u = 4,0 м/с. Навстречу 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 = 7,2 м, а к тому моменту, когда шарик ударился о стенку, стенка сдвинулась от положения в момент выстрела на расстояние l = 2,4 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.

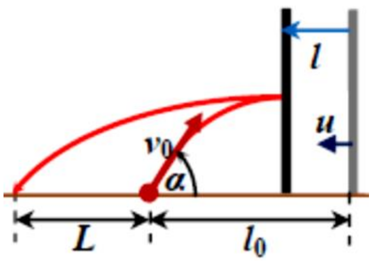
1.2. На каком расстоянии L от точки выстрела шарик после отражения от стенки упадет на горизонтальную поверхность? Ответ запишите в метрах, с точностью до десятых.

Ответы: 1.1. **10**. 1.2. **4,8**.

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

$$v_0 \cdot \cos(\alpha) = \left(\frac{l_0}{l} - 1\right) u = 2u = 8 \text{ м/с}.$$



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

$$v_y(t_1) = v_0 \cdot \sin(\alpha) - g \cdot t_1 = 0 \Rightarrow v_0 \cdot \sin(\alpha) = \frac{gl}{u} = \frac{3}{2}u = 6 \text{ м/с}.$$

Возводя полученные выражения в квадрат и складывая, получаем:

$$v_0^2 = \left(1 + \frac{l_0}{l}\right)^2 u^2 + \frac{g^2 l^2}{u^2} = \frac{25}{4}u^2 \Rightarrow v_0 = \frac{5}{2}u = 10 \text{ м/с}.$$

Ясно, что удар шарика о стену произойдет на высоте

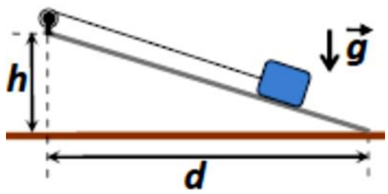
$$h = v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t_1 - \frac{g}{2}t_1^2 = \frac{gl^2}{2u^2}.$$

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 $v_0 \cdot \cos(\alpha) + u = \frac{l_0}{l}u = 3u$, 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 $v'_1 = \left(\frac{l_0}{l} + 1\right)u = 4u$. Значит, от момента удара до момента падения шарик сместится против оси x на расстояние $v'_1 t_2 = \left(\frac{l_0}{l} + 1\right)u\frac{l}{u} = l_0 + l$. В результате расстояние от точки старта до точки падения шарика равно

$$L = |l_0 - l - (l_0 + l)| = 2l = 4{,}8 \text{ м}.$$

Задача 2. Ящики с грузом постоянной массы поднимают по наклонной плоскости с помощью лебедки и легкого нерастяжимого троса. Высота плоскости по вертикали h = 7 м, ее горизонтальная проекция d = 24 м. Изначально у плоскости было такое покрытие, что коэффициент трения ящика о плоскость равнялся μ_1 = 0,50.



2.1. Найдите отношение величины силы натяжения троса к величине силы тяжести, действующей на ящик, если при таком μ ящик движется с постоянной скоростью $v_1 = 2{,}45$ м/с. Ответ запишите с точностью до сотых.

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 вид графика, описывающего зависимость полезной мощности двигателя лебедки P_n (идущей на подъем груза и компенсацию потерь из-за действующей на груз силы трения скольжения) от величины силы тока в обмотке его ротора I в установившемся режиме движения груза. Выберите правильный тип кривой из списка ниже и укажите ее номер в ответе:

(1) прямая, проходящая через начало координат;
(2) парабола, не проходящая через начало координат;
(3) прямая, не проходящая через начало координат;
(4) парабола, проходящая через начало координат;
(5) гипербола.

При замене покрытия плоскости, в результате которой коэффициент трения ящика о плоскость стал равен μ_2 = 0,34, скорость движения ящика в установившемся режиме (при том же аккумуляторе и той же лебедке) увеличилась до $v_2 = 3{,}01$ м/с. Затем покрытие еще раз заменили, и теперь коэффициент трения ящика о плоскость стал равен μ_3 = 0,16.

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

Ответы: 2.1. **0,76**. 2.2. **4**. 2.3. **3,64**.

Возможное решение:

Сила трения груза о плоскость, которая в данном случае является силой трения скольжения, равна $F_{mp} = \mu N = \mu mg \cdot \cos(\alpha)$. 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 $\mathrm{tg}(\alpha) = \dfrac{h}{d} = \dfrac{7}{24}$, и поэтому $\cos(\alpha) = \dfrac{1}{\sqrt{1+(7/24)^2}} = \dfrac{24}{25}$, а $\sin(\alpha) = \dfrac{7}{25}$. Значит, искомое отношение $z \equiv \dfrac{F}{mg} = \sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha) = \dfrac{7+24\mu}{25}$. Для μ_1 = 0,5 получаем z_1 = 0,76.

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 $P_n = F \cdot v$. Следовательно, $P_n(I) = \mathcal{E} \cdot I - RI^2$. График этой зависимости – парабола, проходящая через начало координат. Правильный ответ – 4.

Согласно условию, $F = k \cdot I$, где k – постоянный коэффициент. Следовательно, $\mathcal{E} \cdot I = RI^2 + k \cdot I \cdot v \Rightarrow v = \dfrac{\mathcal{E}}{k} - \dfrac{R}{k} I$. Для исследования зависимости скорости в установившемся режиме от коэффициента трения нужно исключить из этого выражения силу тока (которая также изменятся при изменении μ), оставив в нем только коэффициент трения и неизменные величины:

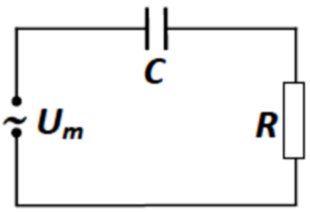
$$v=\frac{\varepsilon}{k}-\frac{R}{k}I=\frac{\varepsilon}{k}-\frac{R}{k^2}F=\frac{\varepsilon}{k}-\frac{mgR}{k^2}\frac{7+24\mu}{25}\equiv A-B\cdot\mu.$$

Коэффициенты A и B сложно зависят от неизвестных нам параметров системы, но их можно найти, используя два известных значения скорости:

$$\left.\begin{cases}v_1=A-B\cdot\mu_1=A-0{,}5\cdot B\\ v_2=A-B\cdot\mu_2=A-0{,}34B\end{cases}\right\}\Rightarrow\begin{cases}A=\dfrac{25v_2-17v_1}{8}=4{,}2\text{ м/с}\\ B=\dfrac{25(v_2-v_1)}{4}=3{,}5\text{ м/с}\end{cases}.$$

Мы получили явную связь скорости и μ: $v(\mu)=(4{,}2-3{,}5\cdot\mu)$ м/с. Поскольку μ_3 = 0,16, то v_3 =3,64 м/с.

Задача 3. К источнику синусоидального напряжения частотой ν = 50 Гц с амплитудой $U_m = 300$ В подключена цепь с омическим сопротивлением R = 77 Ом и конденсатором с емкостью C = 31 мкФ (см. рисунок).



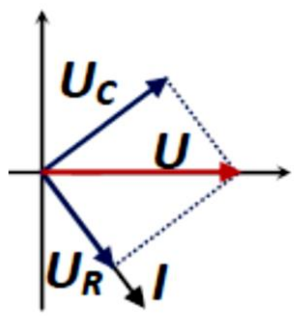
3.1. Найдите амплитуду колебаний силы тока в этой цепи. Ответ запишите в амперах с точностью до десятых.

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. **2,3**. 3.2. **210**.

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 емкости $U_m^{(L)}=\frac{1}{\omega C}I_m$, и они опережают по фазе колебания силы тока на $\frac{\pi}{2}$. С учетом этого строим векторную диаграмму (см. рисунок), отвечающую сложению напряжений $U_R(t)+U_C(t)=U(t)$. Из теоремы Пифагора для получившегося прямоугольного треугольника находим, что $U_m=\sqrt{R^2I_m^2+\frac{I_m^2}{\omega^2C^2}}$, и поэтому амплитуда колебаний силы тока

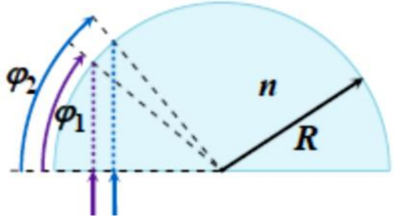


$I_m=\frac{\omega CU_m}{\sqrt{1+(\omega CR)^2}}=\frac{\omega CR}{\sqrt{1+(\omega CR)^2}}\frac{U_m}{R}\approx 2{,}34$ А (отметим, что $\omega CR\approx 0{,}7499$, то есть с большой точностью равно ¾, и $I_m\approx\frac{3}{5}\frac{U_m}{R}$). В ответе нужно указать 2,3 А.

В этой цепи только один активный (то есть потребляющий энергию) элемент – это омическое сопротивление, и средняя мощность потребления $P_{ср}=\frac{1}{2}RI_m^2=\frac{R\omega^2C^2U_m^2}{2(1+\omega^2C^2R^2)}\approx\frac{9}{50}\frac{U_m^2}{R}\approx 210{,}39$ Вт.

Ответ с нужным округлением – 210 Вт.

Задача 4. На плоскую поверхность прозрачного полуцилиндра радиусом R = 12,2 см падают нормально два лазерных луча (которые можно считать узкими пучками параллельных световых лучей) – фиолетовый и синий. Радиусы, проведенные в точки падения лучей от оси полуцилиндра, составляют с этой поверхностью углы $\varphi_1 = 40°$ и $\varphi_2 = 50°$ соответственно. Показатель преломления материала полуцилиндра практически одинаков для этих лучей и с хорошей точностью равен $n = \sqrt{2} \approx 1{,}414$. Поглощением энергии света в этом материале можно пренебречь, но стык поверхностей (цилиндрической и плоской) покрыт полностью поглощающим свет составом. Кроме того, при анализе хода лучей считайте, что при падении луча изнутри на поверхности полуцилиндра с углом, меньшим угла полного внутреннего отражения, интенсивность отраженного луча заметно меньше интенсивности падающего, и при третьем таком отражении существованием отраженного луча можно пренебречь.



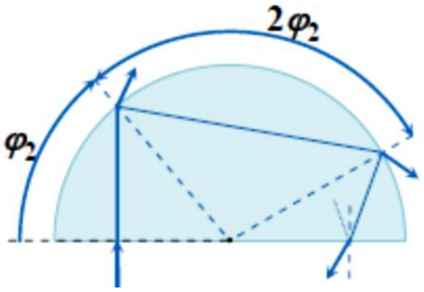
4.1. Какое количество «фиолетовых» лучей выйдет наружу из полуцилиндра?

4.2. Какое количество «синих» лучей выйдет наружу из полуцилиндра?

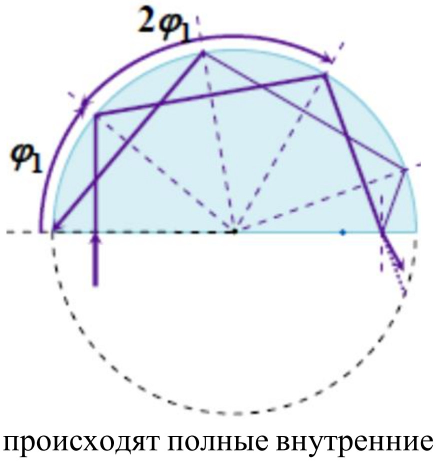
4.3. На каком расстоянии друг от друга находятся точки выхода этих лучей через плоскую поверхность? Ответ запишите в мм с точностью до целого значения.

Ответы: 4.1. **1**. 4.2. **3**. 4.3. **16**.

Возможное решение:
Начнем с того, что определим для материала полуцилиндра угол полного внутреннего отражения: $\alpha_{ПВО} = \arcsin\left(\dfrac{1}{n}\right) = 45°$ и заметим, что углы падения лучей на цилиндрическую поверхность изнутри равны $\alpha = 90° - \varphi$, то есть 50° для фиолетового луча и 40° для синего. Выполнив построение хода лучей, мы обнаруживаем, что для луча, отраженного от цилиндрической поверхности и попадающего на нее же, угол падения в следующей точке не изменится: точки падения и точка на оси полуцилиндра образуют равнобедренный треугольник, в котором углы при основании равны. Кроме того, угол при вершине этого треугольника равен $180° - 2\alpha = 2\varphi$, то есть угловой размер дуги между двумя соседними точками отражения всегда равен 2φ. Рассмотрим с учетом этого ход синего луча. Точка первого отражения соответствует $\varphi_I = \varphi_1 = 50°$, второго – $\varphi_{II} = 3\varphi_1 = 150°$, а в третий раз отражение происходит уже от плоской поверхности. Углы падения в первых двух случаях равны 40°, в третий, как ясно из построения (см. рисунок), 20°, то есть все они меньше $\alpha_{ПВО}$. Во всех трех случаях есть преломленные лучи, и после третьего отражения существованием продолжения луча внутри полуцилиндра (согласно условию) можно пренебречь. Итак, из полуцилиндра наружу **3 синих луча**.



В случае фиолетового луча при отражении от цилиндрической поверхности угол падения равен 50°, и он больше $\alpha_{ПВО}$. Значит, в первых двух точках падения ($\varphi'_I = \varphi_2 = 40°$ и $\varphi'_{II} = 3\varphi_2 = 120°$) происходит полные внутреннее отражение, и только при третьем падении – уже на плоскую поверхность, где угол падения (см. рисунок) равен 20°, впервые появляется преломленный луч. Отраженный луч, идущий от этой точки, симметричен продолжению падающего на нее луча. Точка следующего падения отраженного луча на цилиндрическую поверхность симметрична точке пересечения продолжения падающего луча и продолжения цилиндрической поверхности. Поэтому ясно, что угол падения отраженного луча на цилиндрическую поверхность остается равным 50°, и снова происходят полные внутренние отражения (в четвертой и пятой точках отражения), а затем этот луч



попадает точно на стык поверхностей (это можно было сразу понять, так как после первого отражения угловой размер «оставшейся» до стыка дуги (320°) кратен 80°). На стыке луч будет поглощен, и далее на пойдет. Итак, из полуцилиндра выйдет только **1 фиолетовый луч**.

Для расчета расстояния между точками выхода определим расстояния до этих точек от оси цилиндра *r*. У синего луча высота точки второго отражения над плоской поверхностью $h_1 = R \cdot \sin(30°) = 0{,}5 \cdot R$, и поэтому $r_1 = R \cdot \cos(30°) - 0{,}5 \cdot R \cdot \mathrm{tg}(20°) \approx 0{,}6840 \cdot R$. Для фиолетового луча аналогично $r_2 = R \cdot \cos(60°) + R \cdot \sin(60°) \cdot \mathrm{tg}(20°) \approx 0{,}6840 \cdot R$. Таким образом, $\Delta \equiv r_2 - r_1 \approx 0{,}1312 \cdot R \approx 16{,}002$ мм. В ответе нужно указать $\Delta \approx 16$ мм.