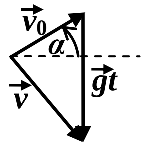
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2020-2021 года, вопросы по физике. 9 класс.

ПРИМЕР ВАРИАНТА: ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ

1. Робот на соревнованиях отправляет в полет небольшой массивный шарик с помощью катапульты. Известно, что катапульта отправляет шарик в полет со скоростью $v_0 = 3{,}5$ м/с под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Спустя время $t = 1{,}5$ с после броска шарик еще находится в полете. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите скорость шарика в этот момент. Ускорение свободного падения считать равным $g = 9{,}8$ м/с^2. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

Возможное решение: Закон изменения скорости в векторной форме при движении с постоянным ускорением $\vec{g}$ имеет вид $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{g}t$. Заметим, что угол между векторами $\vec{v}_0$ и $\vec{g}$ равен $90° - \alpha$ (см. рисунок). После возведения этого равенства в квадрат получаем: $v^2 = v_0^2 + g^2t^2 + 2v_0g\cos(90° + \alpha) = v_0^2 + g^2t^2 - 2v_0g\sin(\alpha)$. Таким образом, $v = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2 - v_0gt} = 13{,}3$ м/с.



МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
5	**13,3**	**100%**
	13,6	**50%**

2. Робот располагается на ровном горизонтальном полу, и производит бросок. Задача состоит в том, чтобы шарик попал в круглую лунку в полу, центр которой находится на расстоянии $l = 2{,}1$ м от точки броска по горизонтали. Конструкция катапульты такова, что высота точки броска (центра шарика в момент броска) над полом $h = 35$ см и угол вылета шарика к горизонту $\alpha = 30°$ фиксированы с высокой точностью, и настройкой катапульты можно изменять только скорость вылета шарика v_0. Ускорение свободного падения считать равным $g = 9{,}8$ м/с^2.

2.1. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите величину v_0, при которой шарик попадет точно в центр лунки. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

2.2. Радиус лунки равен $R = 5$ см, а радиус шарика $r = 5$ см. В рамках тех же приближений найдите максимальное относительное отклонение скорости от найденной величины $\left(\left|\frac{\Delta v_{\max}}{v_0}\right|\right)$, при котором шарик все-таки упадет в лунку. Пол вокруг лунки довольно гладкий и очень упругий, а стенки лунки покрыты очень шероховатым амортизирующим материалом, так что при касании они отбирают у шарика почти всю его кинетическую энергию. Ответ запишите в процентах, округляя до десятых <u>в меньшую сторону</u>, без указания единиц.

Возможное решение: Введем систему координат, в которой ось x направлена горизонтально, ось y – вертикально, а начало координат совмещено с точкой броска. Закон движения шарика в этой системе координат позволяет найти уравнение его траектории:

$$\begin{cases} x(t) = v_0\cos(\alpha)t \\ y(t) = v_0\sin(\alpha)t - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases} \Rightarrow y(x) = \mathrm{tg}(\alpha)\cdot x - \frac{g\,x^2}{2v_0^2\cos^2(\alpha)}.$$

Попадание в центр лунки означает, что $y(l) = -h$. Из этого уравнения находим необходимую величину начальной скорости броска $v_0 = l\sqrt{\dfrac{g}{2\cos(\alpha)[l\sin(\alpha) + h\cos(\alpha)]}} \approx 4{,}294$ м/с.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
10	**4,3**	**100%**

Для определения допустимого отклонения скорости нужно заметить, что в соответствии с условием шарик падает в лунку, если «хотя бы чуть-чуть» коснется ее стенок. Тогда ясно, что условие для минимальной скорости – это $y(l-R)=-h+r$, а для максимальной – $y(l+R)=-h+r$. Соответственно $v_{\min}=(l-R)\sqrt{\dfrac{g}{2\cos(\alpha)[(l-R)\sin(\alpha)+(h-r)\cos(\alpha)]}}\approx 4{,}245$ м/с, и $v_{\min}=(l+R)\sqrt{\dfrac{g}{2\cos(\alpha)[(l+R)\sin(\alpha)+(h-r)\cos(\alpha)]}}\approx 4{,}370$ м/с. Максимальное относительное отклонение соответствует случаю большей скорости, и оно примерно равно 1,77%. При округлении в меньшую сторону получаем 1,7 %.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
5	**1,7**	**100%**
	1,8	**60%**
	1,6	**40%**

3. К источнику постоянного напряжения подключили параллельно реостат и вольтметр. Реостат проградуирован – на шкале рядом с движком указана доля $0{,}1\le x\le 1$ от его полного сопротивления. Вольтметр раньше был очень точным, но из-за паразитного контакта между клеммами его входное сопротивление оказалось очень низким.

3.1. Если установить на шкале реостата $x_1=0{,}25$, то вольтметр показывает напряжение $U_1=9{,}80$ В. При $x_2=0{,}5$ показания вольтметра $U_2=18{,}90$ В. Какими будут показания вольтметра, если установить $x_3=1$? Ответ запишите в вольтах, с точностью до сотых, без указания единиц измерения.

3.2. Допустим, что ЭДС источника равно 260 В, а его внутреннее сопротивление 5 Ом. Найдите входное сопротивление вольтметра. Ответ запишите в омах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

Возможное решение: Пусть $\mathcal{E}$ и r – ЭДС и внутреннее сопротивление источника, R_V – входное сопротивление вольтметра, а R – полное сопротивление реостата. Так как вольтметр показывает напряжение U на себе самом и на реостате, то силы текущих через них токов равны $I_V=\dfrac{U}{R_V}$ и $I_x=\dfrac{U}{xR}$. Такое же напряжение и на ветви с источником, в которой течет суммарный ток с силой I_V+I_x, то есть $U=\mathcal{E}-r(I_V+I_x)$. Подставляя в это соотношение выражения для сил тока, получаем уравнение для U, из которого находим, что $\dfrac{\mathcal{E}}{U}=1+\dfrac{r}{R_V}+\dfrac{r}{R}\dfrac{1}{x}\equiv a+b\dfrac{1}{x}$. Мы обнаружили, что величина $\dfrac{\mathcal{E}}{U}$ является линейной функцией $\dfrac{1}{x}$. Соответственно $\dfrac{\mathcal{E}}{U_1}=a+4b$, $\dfrac{\mathcal{E}}{U_2}=a+2b$, а $\dfrac{\mathcal{E}}{U_3}=a+b$. Комбинируя эти уравнения, получаем: $2\dfrac{\mathcal{E}}{U_3}=3\dfrac{\mathcal{E}}{U_1}-\dfrac{\mathcal{E}}{U_1}$. Значит, $\dfrac{2}{U_3}=\dfrac{3}{U_2}-\dfrac{1}{U_1}\Rightarrow U_3=\dfrac{2U_1U_2}{3U_1-U_2}=35{,}28$ В.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
10	**35,28**	**100%**
	35,3	**70%**
	35	**40%**

Из полученных выше уравнений следует, что $1+\dfrac{r}{R_V}\equiv a=2\dfrac{\mathcal{E}}{U_2}-\dfrac{\mathcal{E}}{U_1}=\mathcal{E}\dfrac{2U_1-U_2}{U_1U_2}$. Теперь мы можем выразить входное сопротивление вольтметра: $R_V=\dfrac{U_1U_2}{\mathcal{E}(2U_1-U_2)-U_1U_2}\approx 282{,}6$ Ом. Действительно, это слишком мало для «точного» вольтметра.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
5	**283**	**100%**
	282	**70%**
	284	**70%**
	281	**40%**
	285	**40%**

4. Груз массой $m = 40$кг тянут вверх легким прочным тросом по наклонной поверхности с постоянной скоростью $V = 3,3$ м/с. Трос закреплен на валу неподвижного электродвигателя. Двигатель подключен к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 112$В, внутреннее сопротивление которого намного меньше сопротивления обмотки двигателя $R = 5$Ом. Угол наклона поверхности по отношению к горизонту $\alpha = 30°$, а коэффициент трения между грузом и поверхностью равен $\mu = \frac{1}{2\sqrt{3}} \approx 0,29$. Ускорение свободного падения равно $g = 9,8$м/с^2. Найдите КПД **двигателя** (полезной мощностью считайте полную развиваемую механическую мощность, а потерями – тепловые потери в обмотке). Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения, без указания единиц.

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: $F_0 = mg \cdot [\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha)]$. Таким образом, полезная мощность должна быть $P_n = F_0 \cdot V = 970,2$Вт. Мощность затрат аккумулятора $\mathcal{E} \cdot I$ идет на компенсацию джоулевых потерь в цепи обмотки двигателя и полезную мощность. Мощность тепловых потерь $P_Q \approx RI^2$. Поэтому $\mathcal{E} \cdot I \approx RI^2 + P_n$. Значит, сила тока определяется из уравнения $I^2 - \frac{\mathcal{E}}{R} I + \frac{FV}{R} = 0$. При нулевой полезной мощности ток должен равняться $I_0 = \frac{\mathrm{E}}{R}$, и поэтому нужный корень этого уравнения – со знаком «+»: $I = \frac{\mathcal{E}}{2R} + \sqrt{\frac{\mathcal{E}^2}{4R^2} - \frac{FV}{R}}$. Но в данном случае дискриминант уравнения отрицателен! Таким образом, при заданном значении ЭДС аккумулятор не способен обеспечить питание двигателя для выполнения поставленной задачи. Значит, при запуске груза с заданной скоростью, аккумулятор будет работать с максимально возможной механической мощностью, которая соответствует нулевому значению дискриминанта, то есть $P_n = FV = \frac{\mathcal{E}^2}{4R} = 627,2$Вт. Ясно, что при этом $F < F_0$, и скорость будет уменьшатся, пока не достигнет значения $V = \frac{\mathcal{E}^2}{4RF} \approx 2,13$м/с. Тогда сила тока $I = \frac{\mathcal{E}}{2R} = 11,2$А, а мощность затрат $\mathcal{E} \cdot I = 1254,4$Вт. Значит, КПД двигателя в этом режиме 50%.

Впрочем, можно понять задание по другому: при обнаружении невозможности заданного режима можно считать, что двигатель «не справляется» с нагрузкой, и прийти к выводу, что КПД равен нулю. Поскольку в этом случае участник обнаружил главную особенность рассматриваемой системы, то такой ответ приравнивался к правильному.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
15	**0**	**100%**
	50	**100%**