

ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ 2023 – 2024 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
10 КЛАСС

Задача 1

Мальчик бросает мячик под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту со скоростью $V=10$ м/с. В точке падения мяча, находящейся на одном уровне с точкой бросания, установлена тяжелая гладкая пластинка. Под каким углом к горизонту нужно расположить эту пластинку, чтобы после абсолютно упругого соударения с ней мячик вернулся в точку бросания? Найдите время, через которое мальчик поймает мячик.

Решение.

Из выражения для дальности полета шарика $L = \frac{2V^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$ следует, что при фиксированной

начальной скорости V существуют две траектории, двигаясь по которым шарик попадет в заданную точку. Эти траектории соответствуют двум углам бросания α_1 и α_2 , связанным соотношением $\alpha_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1$. Поскольку модуль скорости шарика после упругого соударения с

пластинкой не изменяется, вектор скорости шарика после удара должен составлять с горизонтом один из этих углов. Таким образом, пластинку следует установить либо перпендикулярно к

направлению скорости шарика перед ударом, т. е. под углом $\beta_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{3} = 60^\circ$ к горизонтали,

либо перпендикулярно биссектрисе угла между двумя возможными направлениями скорости, т. е. под углом $\beta_2 = 45^\circ$ к горизонтали. Время необходимое для возвращения мячика в первоначальную точку:

первый случай: $t_1 = 2 \frac{2V \sin \alpha}{g} = \frac{4V \sin \alpha}{g}$;

второй случай: $t_2 = \frac{2V \sin \alpha}{g} + \frac{2V \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)}{g} = \frac{2V (\sin \alpha + \cos \alpha)}{g}$.

Ответ: Первый случай $t_1 = \frac{4V \sin \alpha}{g}$, второй случай $t_2 = \frac{2V (\sin \alpha + \cos \alpha)}{g}$.

Критерии оценивания

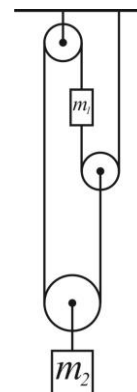
Обосновано наличие двух случаев	3
Найдено время полета в одну сторону	1
Найдены один угол наклона пластины	2
Найдены один угол наклона пластины	2
Найдены два времени полета мяча до мальчика	1
Найден ответ	1

Задача 2

Механическую систему, состоящую из трех невесомых подвижных блоков, двух тел массой m_1 и m_2 и невесомой и нерастяжимой нити, удерживают в определенном положении (см. рис.). В некоторый момент времени систему отпускают. Найдите ускорения тел.

Решение

Запишем баланс скоростей для каждого блока



$$\begin{cases} V_2 = \frac{V_{n1} + V_{n2}}{2} \\ 0 = \frac{V_{n2} + V_1}{2} \\ V_{n1} = \frac{V_1 + V_{n3}}{2} \end{cases},$$

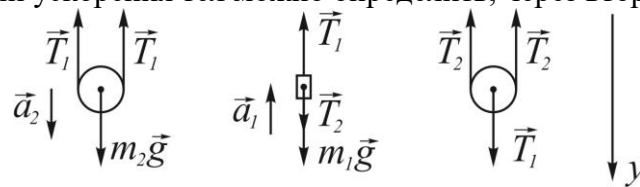
где V_{n1} , V_{n2} , V_{n3} - скорости различных участков нити. Третий участок нити закреплен к верхней опоре, следовательно $V_{n3} = 0$. Откуда получим связь со скоростями для тел

$$4V_2 + V_1 = 0.$$

За малый промежуток времени изменения скоростей приведет к соотношению ускорений тел

$$4a_2 + a_1 = 0.$$

Для определения значений ускорения тел можно определить, через второй закон Ньютона



$$\begin{cases} m_2 a_2 = m_2 g - 2T_1 \\ -m_1 a_1 = m_1 g + T_2 - T_1 \\ 2T_2 = T_1 \end{cases}$$

Откуда получим значения ускорений

$$a_2 = g \frac{m_2 - 4m_1}{m_2 + 16m_1} \text{ и } a_1 = 4g \frac{m_2 - 4m_1}{m_2 + 16m_1}.$$

Ответ: $a_1 = 4g \frac{m_2 - 4m_1}{m_2 + 16m_1}$ и $a_2 = g \frac{m_2 - 4m_1}{m_2 + 16m_1}$.

Критерии оценивания

Найдена связь ускорений тел	3
Записаны законы Ньютона	3
Найдены ускорения тел	3
Найден ответ	1

Задача 3

Жак-Ив Кусто брал с собой для подводного плавания баллоны со сжатым воздухом объемом $V=20$ л. Найти разность времени пребывания Кусто на глубинах 5 и 25 м, считая, что масса воздуха, потребляемая им в этих условиях, остается такой же, как и без акваланга. В обычных условиях человек делает 20 вдохов в минуту, потребляя при каждом вдохе $V_1=2,5$ л воздуха. Газовая постоянная равна $R=8,31$ Дж/(моль·К), температуру считать постоянной и равной $t=17^\circ\text{C}$.

Решение

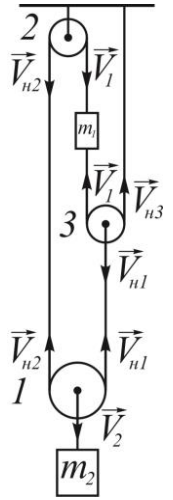
Разница во время определяется различием в массах воздуха, остающихся в баллонах на глубине 5 м (под давлением $p_1 = p_{атм} + \rho g h_1 = 1,5 \cdot 10^5$ Па) и на глубине 25 м (под давлением $p_1 = p_{атм} + \rho g h_1 = 3,5 \cdot 10^5$ Па). Разность этих масс

$$\Delta m = \frac{\mu \Delta P V}{RT} \approx 0,048 \text{ кг}.$$

Расход воздуха для дыхания аквалангиста

$$\Delta m_1 = 20 \frac{\mu P_{атм} V}{RT} \approx 0,06 \text{ кг/мин}.$$

Разность времени будет равна



$$\frac{\Delta t}{\Delta t_1} \approx 0,8 \text{ мин} = 48 \text{ с}$$

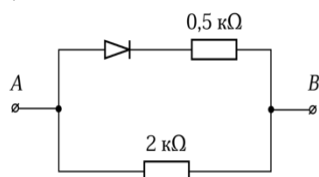
Ответ: 48 с.

Критерии оценивания

Найдены давления для двух глубин	2
Найдена разница масс воздуха остающихся в баллонах	3
Найдено расхождение воздуха	2
Найдена разность времени пребывания на глубине	2
Найдено ответ	1

Задача 4

Изобразите вольтамперную характеристику участка AB при условии, что: 1) диод идеальный, 2) диод имеет напряжение открытия 1 В .



Решение

Обозначим напряжение на участке как разность потенциалов $U = \varphi_A - \varphi_B$, а за положительное напряжение тока через участок выберем направление от A и B . Пусть диод вначале идеальный. При $U > 0$ диод открыт, так что участок эквивалентен двум параллельно соединенным резисторам, их общее сопротивление равно $R_1 = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3 + 0,5 \cdot 10^3} = 0,4 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, а ток через участок

равен $I = \frac{U}{R_1} = \frac{U}{0,4 \text{ кОм}}$. Если $U < 0$, то диод закрыт, так что ток потечет только по нижней

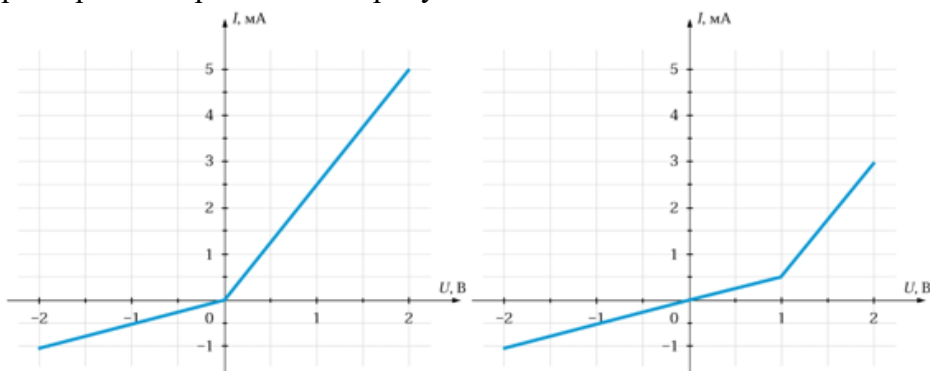
ветви, его сила будет равна $I = \frac{U}{2 \text{ кОм}}$.

Пусть теперь диод неидеальный. Будем увеличивать напряжение на участке, пока диод не откроется, и рассмотрим момент открытия. В этот момент падение напряжения на диоде равно 1 В , ток через диод, а значит, и через резистор $0,5 \text{ кОм}$ не течет, падение напряжения на этом резисторе равно нулю. Значит, полное напряжение на участке равно 1 В . Таким образом, при $U < 1 \text{ В}$ диод закрыт, и полный ток через участок равен току через нижний резистор $I = \frac{U}{2 \text{ кОм}}$.

Если же $U > 1 \text{ В}$, то диод открыт, через нижний резистор течет ток $I_1 = \frac{U}{2 \text{ кОм}}$, а через верхний

резистор $I_2 = \frac{U - 1 \text{ В}}{0,5 \text{ кОм}}$. Полный ток равен $I = I_1 + I_2 = \frac{U}{2 \text{ кОм}} + \frac{U - 1 \text{ В}}{0,5 \text{ кОм}}$. Графики вольтамперных

характеристик приведены на рисунке.

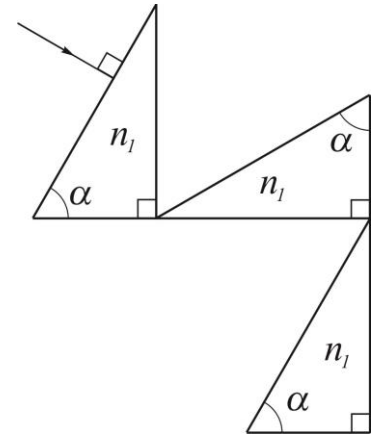


Критерии оценивания

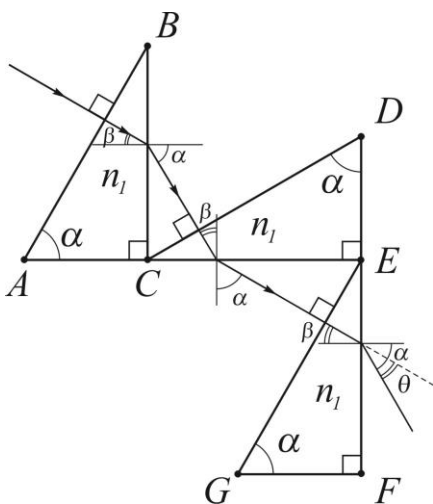
Объяснено построения ВАХ для первого случая	2
Объяснено построения ВАХ для второго случая	2
Построены графики ВАХ для первого случая	3
Построены графики ВАХ для второго случая	3

Задача 5

Три одинаковых прямоугольные призмы, такие что угол $\alpha=60^\circ$, расположены в воздухе так, как показано на рисунке (вид сверху). Показатель преломления материала призм равен $n = \sqrt{3}$. На одну из призм перпендикулярно ее грани падает луч света. Постройте дальнейший ход луча. Определите угол, на который отклонится луч после выхода из системы. Отражения от граней призм не учитывайте. Показатель преломления воздуха $n_0 = 1$.



Решение



Поскольку луч перпендикулярен границе AB (см. рис.), то в первую призму он заходит не преломляясь, причем угол падения на границу BC равен $\beta = 90^\circ - \alpha = 30^\circ$. Пусть угол преломления на этой границе γ . Запишем закон преломления на границе BC :

$$n_1 \sin \beta = n_0 \sin \gamma$$

Следовательно,

$$\sin \gamma = \frac{n_1 \sin \beta}{n_0} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{2}}{1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ и } \gamma = 60^\circ = \alpha.$$

В таком случае луч попадает на границу CD перпендикулярно ее. Повторяя рассуждения, которые мы применяли для преломления в первой призме, получаем, что угол преломления на границе CE равен α . Значит, на границе GE третьей призмы луч опять попадет под прямым углом. Из третьей призмы луч выйдет под углом α .

По условию, границы AB и GE параллельны друг другу, следовательно, падающий луч и луч, идущий внутри третьей призмы, параллельны друг другу. Тогда угол отклонения луча от первоначального направления после преломления в системе равен $\theta = \alpha - \beta = 30^\circ$.

Ответ: $\theta = \alpha - \beta = 30^\circ$.

Критерии оценивания

Определение угла выхода из первой призмы	2
Определение угла выхода из второй призмы	3
Определение угла выхода из третьей призмы	3
Найден угол на который отклонился луч	2