

**7-9 классы, подготовка к теоретическому туру
олимпиады школьников «Робофест» по физике
Теоретический обзор к занятию 6 основного курса.**

Тема: «ОЛИМПИАДНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ 7-9 КЛАССОВ И РАБОТА С НИМИ».

Заключительное (и самое важное с точки зрения определения победителей и призеров) из испытаний олимпиады «Робофест» - теоретический тур финального этапа. Задание теоретического тура состоит из 4 заданий по четырем темам (каждая тема – по одному разделу: механика, молекулярная физика и теплота, электричество и геометрическая оптика). Каждое задание состоит из «простого» вопроса и задачи. Важная информация для участников состоит в том, что «простые» вопросы выбраны таким образом, чтобы подвести их к решению более сложной задачи. Всегда следует начинать работу над заданием с ответа на вопрос, а потом уже приступать к решению задачи.

Второе важное обстоятельство - то, что многие задания теоретического тура **финального этапа** связаны логически с заданиями по физике **отборочного этапа**, с которыми участники олимпиады уже сталкивались в ходе региональных отборов. Поэтому в ходе подготовки к финалу обязательно нужно проработать задания отборочного этапа. Это, помимо самой подготовки, также позволит понять, какие именно темы могут быть затронуты в каждом из заданий. Обсудим возможные темы финального задания.

Тема 1: раздел – механика, тема – давление и сила Архимеда.

В первую очередь нужно повторить материалы занятия № 5 вводного курса. Для понимания ситуации также полезно разобрать некоторые задания отборочного этапа (здесь важно именно разобрать логику действий).

Вопрос: На весах стоит канистра с машинным маслом. По показаниям весов масса канистры равна 6 кг 800 г. Через открытую крышку в канистру опускают на легкой тонкой нити груз массой 450 г, изготовленный из материала, плотность которого в 3 раза больше плотности масла. Груз целиком погружается в масло, но не касается дна канистры. Что произошло с показаниями весов (уменьшились, увеличились, остались неизменными)? Если они изменились, то на сколько? Ответ объясните. Какими станут показания весов, если груз поставить на дно так, что нить слегка провиснет?

Решение:

В первом случае давление на чашку весов определяется весом пустой канистры и давлением масла на ее дно (до опускания груза сила этого давления, конечно же, равна весу масла). После опускания груза в масло на груз со стороны масла действует сила Архимеда, равная

$$F_A = \rho_M V_{гр} g = \frac{\rho_M}{\rho_{гр}} mg = \frac{1}{3} mg \quad (m - \text{масса груза}).$$
 Точно такая же сила действует со стороны

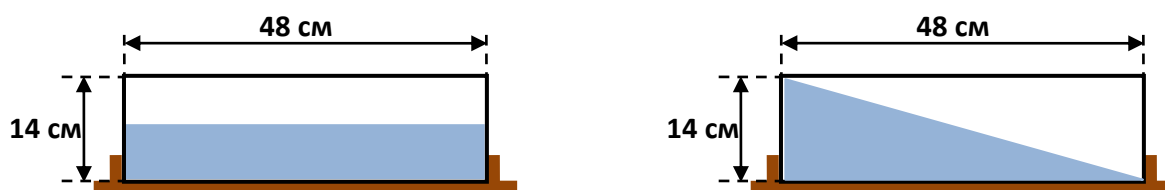
груза на воду, которая передает это действие на дно канистры. Следовательно, показания весов увеличатся на $\Delta m = \frac{m}{3} = 150 \text{ г}$. При опускании груза на дно и провисании нити (сила натяжения нити обратилась в ноль) полный вес груза давит непосредственно на дно

канистры, и теперь показания весов увеличиваются на полную массу груза ($\Delta m' = m = 450\text{г}$), и новые показания весов равны 7 кг 250 г.

Нужно обратить внимание на логику решения: В первую очередь нужно было понять, какие силы обеспечивают равновесие канистры на весах и груза на нити, как эти силы связаны между собой и чему они равны. Именно «качественное» понимание ситуации позволило получить и количественные ответы.

Теперь разберем задание отборочного этапа, соответствующее по схеме задаче из финального задания.

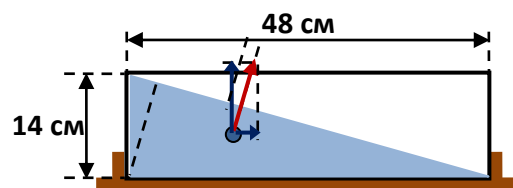
Задача: Аквариум размером 48 см × 14 см × 14 см наполовину заполнен водой. Его закрепили в кузове грузовика (длинной стороной по ходу движения, на горизонтальной поверхности). Грузовик плавно разгонялся, увеличивая свое ускорение. Колебания



поверхности жидкости были малы, и в момент, когда грузовик достиг максимального ускорения, уровень воды с одной стороны достиг крышки аквариума (см. рисунок). В какую сторону (по отношению к рисунку) было направлено ускорение грузовика? Найдите максимальную величину этого ускорения. Во сколько раз увеличилось максимальное давление в жидкости в момент достижения максимального ускорения по сравнению с максимальным давлением жидкости в покоящемся аквариуме? Ускорение свободного падения считать равным $g \approx 10\text{м/с}^2$.

Решение:

Пусть a – искомое ускорение. Для выделенного небольшого объема жидкости оно создается горизонтальной составляющей равнодействующей сил давления. Поверхность жидкости – это поверхность постоянного давления, так что эта равнодействующая (сила Архимеда) направлена вверх перпендикулярно поверхности жидкости. Поэтому ясно, что ускорение грузовика в процессе разгона направлено вправо по отношению к рисунку. Вертикальная составляющая силы Архимеда уравнивает вес жидкости в этом объеме, то есть $F_{гор} = \Delta m \cdot a$ и $F_{верт} = \Delta m \cdot g$. Поэтому, с учетом подобия треугольника, образованного силой Архимеда и ее проекциями и треугольника сечения жидкости, находим, что $\frac{a}{g} = \frac{14}{48} = \frac{7}{24}$. Следовательно, $a = \frac{7}{24}g \approx 2,9\text{м/с}^2$. Давление в воде



максимально в точке, наиболее удаленной от поверхности жидкости (в направлении роста давления, то есть перпендикуляра к поверхности). Как видно, расстояние от поверхности до этой «наиболее удаленной» точки в углу аквариума равно $\frac{48}{\sqrt{14^2 + 48^2}} 14\text{ см} = \frac{336}{25}\text{ см}$. При

этом результирующая сила $F = \Delta m \cdot \sqrt{a^2 + g^2} = \frac{25}{24} \Delta m g$, то есть давление в этой точке равно

$\rho_B \frac{25}{24} g \cdot \frac{336}{25} \text{ см} = \rho_B g \cdot 14 \text{ см}$, то есть давлению в покоящейся воде на глубине 14 см, а это в 2 раза больше, чем было в аквариуме до начала разгона.

ОТВЕТ: Ускорение направлено вправо, максимальное ускорение равно примерно $2,9 \text{ м/с}^2$, максимальное давление в воде при разгоне возрастает в 2 раза.

Тема 2: раздел – механика, тема – сила трения и фрикционные передачи.

Здесь нужно повторить материалы занятия №2 основного курса.
Приведем пример «качественного вопроса» по этой теме.

Вопрос: Небольшой груз с массой 100 г помещен на длинную горизонтальную доску в шероховатой верхней поверхностью, которая находится на гладкой горизонтальной плоскости. Груз подталкивают в горизонтальном направлении, и за некоторое время он сдвинулся относительно неподвижного наблюдателя на 1 м, а доска, увлекаемая силой трения со стороны груза, относительно этого наблюдателя сдвинулась на 50 см в том же направлении. Какое количество теплоты выделилось из-за трения груза о доску за это время? Коэффициент трения между доской и кубиком равен 0,5, ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2 .

Ответ: Так как груз и доска сдвинулись на разное расстояние, то груз скользит по доске. Поэтому сила трения между ними – это сила трения скольжения, и она равна $F_{\text{тр}} = \mu mg = 0,5 \text{ Н}$. Относительное смещение груза и доски равно разности их смещений: $s_{\text{от}} = s_{\text{зп}} - s_{\text{д}} = 0,5 \text{ м}$. Механическая энергия переходит в тепло за счет работы силы трения: $Q = -A_{\text{тр}} = \mu mg \cdot s_{\text{от}} = 0,25 \text{ Дж}$.

Здесь очень важно понимать, что работа силы трения связана именно с относительным смещением скользящих друг по другу тел – если проскальзывания нет, то работа силы трения равна нулю и нет перехода механической энергии в тепло!

Теперь рассмотрим задачу из отборочного этапа, связанную с этим вопросом тематически.

Задача: *Фрикционная передача* может быть реализована с помощью двух валиков, прижатых друг к другу (передача движения осуществляется за счет трения). Пусть в некотором механизме два цилиндрических валика одинаковой высоты с радиусами $r = 3 \text{ см}$ (ведущий валик) и $R = 6 \text{ см}$ прижаты друг к другу равномерно по линии соприкосновения с силой $N = 150 \text{ Н}$. Коэффициент трения между валиками $\mu = 0,8$. Период вращения (время, за которое совершается один оборот) ведущего валика $\tau = 0,8 \text{ с}$, а период вращения второго валика $T = 1,8 \text{ с}$. Найдите КПД (коэффициент полезного действия) передачи – отношение мощности, идущей на вращение ведомого валика к мощности, затрачиваемой на поддержание вращения ведущего валика. Считайте, что единственной причиной энергетических потерь в передаче являются тепловые потери при трении между валиками. Чему равна мощность этих тепловых потерь?

Решение:

Если бы валики не проскальзывали друг по другу (величины скоростей точек их поверхностей в этом случае были бы одинаковы), то отношение периодов равнялось бы отношению радиусов, то есть тогда бы имело место соотношение $T = 2\tau$. У нас $T > 2\tau$, что свидетельствует о наличии проскальзывания – ведомый валик «отстает» от ведущего.

Величина скорости поверхности ведущего валика $v = \frac{2\pi r}{\tau} \approx 0,236 \text{ м/с}$, а ведомого – и

$V = \frac{2\pi R}{T} = \frac{8}{9}v \approx 0,209 \text{ м/с}$. Значит, скорость проскальзывания (относительная скорость

поверхностей валиков) $V_{отн} = v - V = \frac{1}{9}v \approx 0,026 \text{ м/с}$. Величина силы трения, действующей

между валиками, $F_{тр} = \mu N = 120 \text{ Н}$. Мощность, затрачиваемая на вращение ведущего валика

$P = F_{тр} \cdot v$, а мощность, идущая на поддержание вращения ведомого валика $P_{пол} = F_{тр} \cdot V$.

Поэтому КПД передачи $\eta = \frac{P_{пол}}{P} = \frac{V}{v} = \frac{8}{9} \approx 89\%$. Потери на тепловыделение из-за

проскальзывания $P_Q = F_{тр} \cdot V_{отн} = \frac{\mu N v}{9} \approx 3,14 \text{ Вт}$.

ОТВЕТ: КПД передачи примерно 89%, мощность тепловых потерь примерно 3,14 Вт.

Тема 3: раздел – электричество, тема – постоянный ток, закон Ома и закон Джоуля-Ленца.

Эта тема не была представлена в заданиях отборочного этапа, и при подготовке необходимо ориентироваться на материалы занятий подготовительных курсов: вводного занятия №7 и занятия № 5 основного курса.

Приведем пример качественного вопроса по этой теме.

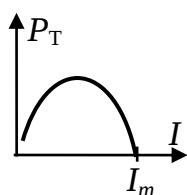
Вопрос: Реостат с переменным сопротивлением подключен к источнику с постоянными ЭДС U_0 и внутренним сопротивлением r . Изобразите график зависимости мощности тепловых потерь в реостате от протекающего через него тока.

Ответ: Пусть R – сопротивление реостата. Тогда вместе с изменением этого сопротивления меняется и сила тока в цепи $I = \frac{U_0}{R+r}$. Как видно, сила тока изменяется от очень малой (при

большом сопротивлении реостата) до максимальной $I_m = \frac{U_0}{r}$ (когда сопротивление реостата

близко к нулю). Мощность тепловых потерь в реостате равна $P_T = U \cdot I$, а напряжение на реостате тоже можно выразить через силу тока: $U = U_0 - rI$. Следовательно,

$P_T = I(U_0 - rI) = r \cdot I(I_m - I)$, и поэтому график – это парабола, показанная на рисунке.



Здесь важно не совершить понятийную ошибку: если исходить из формулы $P_T = R \cdot I^2$, то может показаться, что зависимость – растущая парабола. Но это – явная ошибка, ведь R и I связаны между собой: $I = \frac{U_0}{R+r}$, и поэтому нельзя считать, что при изменении силы тока сопротивление реостата – постоянная величина!

Задача: Номинальное напряжение аккумулятора равняется $U_0 = 12\text{В}$. Из-за частичной разрядки это напряжение уменьшилось – при подключении к клеммам аккумулятора вольтметра с очень большим сопротивлением этот вольтметр показывает напряжение $U_1 = 10\text{В}$. Аккумулятор поставили на зарядку от внешнего источника, который независимо от тока зарядки поддерживает на клеммах аккумулятора напряжение, равное номинальному. Мощность, затрачиваемая внешним источником, равна $P = 5,4\text{Вт}$. Какое количество тепла выделится в схеме за первые 3 секунды зарядки (считать, что это время значительно меньше времени, необходимого для зарядки)?

Решение:

Поскольку заданное время «значительно меньше времени, необходимого для зарядки», то изменением напряжения на аккумуляторе за это время можно пренебречь. Пусть сопротивление контура зарядки аккумулятора равно r . Тогда сила тока, протекающего через аккумулятор, $I = \frac{U_0 - U}{r}$. Мощность, расходуемая зарядным устройством, $P = U_0 I$, а

мощность тепловыделения $P' = I^2 r = \frac{U_0 - U}{U_0} P$. Поэтому искомое количество теплоты

$$Q = P' \tau = \left(1 - \frac{U}{U_0}\right) P \tau = 13,5 \text{ Дж.}$$

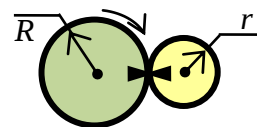
$$\text{ОТВЕТ: } Q = \left(1 - \frac{U}{U_0}\right) P \tau = 13,5 \text{ Дж.}$$

Тема 4: раздел – кинематика, тема – описание движения относительно вращающейся системы отсчета.

Начинать нужно с разбора занятия № 4 вводного курса.

Снова возьмем в качестве примера вопрос из задания отборочного этапа.

Вопрос: Пусть передача вращения от одной вала к другому осуществляется с помощью пары шестеренок с радиусами $R = 3\text{см}$ и $r = 2\text{см}$ (зубцы шестеренок по размеру намного меньше этих радиусов). Ведущая шестеренка (большого радиуса) вращается с частотой 80 оборотов в минуту. На этих шестеренках сделаны две метки. В некоторый момент времени эти метки оказались совмещены (см. рисунок). Какой минимальный интервал времени пройдет до следующего совмещения меток в процессе вращения шестеренок?



Ответ: Так как зубцы шестеренок движутся в постоянном соприкосновении, то величины их скоростей равны: $V = v$. С учетом связи величин линейной и угловой скорости из этого

соотношения следует, что $\Omega R = \omega r \Rightarrow \omega = \frac{R}{r} \Omega$, то есть угловая скорость малой шестеренки в 1,5 раза больше, чем у большой. Во столько же раз будет больше и частота вращения, то есть для малой шестеренки она будет равна 120 об/мин. Значит, период вращения малой шестеренки равен $\tau = 0,5$ с, а большой – $T = 0,75$ с. Период их относительного движения (а это и есть минимальное время между совмещениями меток) есть наименьшее общее кратное τ и T , и поэтому он равен 1,5 с.

Задача: Для шестеренок из вопроса найдите скорость метки на большей шестеренке относительно метки на меньшей шестеренке в момент времени, когда после совмещения меток большая шестеренка повернулась на половину полного оборота. При ответе на этот вопрос учтите, что метка на меньшей шестеренке совершает вращательное движение. Поэтому любая точка, *неподвижная* относительно метки, тоже совершает относительно неподвижного корпуса механизма *такое же* вращательное движение: если эта точка находится на расстоянии l от оси вращения меньшей шестеренки, то она движется со скоростью $v = \omega l$, перпендикулярной линии, соединяющей ее с осью вращения.

Решение:

Пусть точка А в рассматриваемый момент времени совпадает по положению с меткой на большей шестеренке, но при этом неподвижна относительно метки на меньшей шестеренке. Значит, она вращается вместе с меткой на малой шестеренке вокруг оси этой шестеренки с угловой скоростью ω . Значит, скорость точки А относительно неподвижного корпуса механизма равна по величине $V_A = 4v$ (расстояние до оси вращения у нее в 4 раза больше, чем у метки на малой шестеренке) и направлена перпендикулярно отрезку, соединяющему ее с осью малой шестеренки (на рисунке – «вниз»). Скорость же метки на большой шестеренке $V = v$, и она направлена «вверх» по отношению к рисунку. Ясно, что скорость метки на большой шестеренке относительно метки на малой равна скорости метки на большой шестеренке относительно точки А, а она, очевидно, равна $V_{отн} = 5v \approx 1,26$ м/с. Отметим, что скорость точки вращающейся системы отсчета, совпадающей по положению в данный момент времени с изучаемой материальной точкой, часто называют *переносной скоростью* (в нашем случае это V_A).

ОТВЕТ: примерно 1,26 м/с.

