10-11 классы, подготовка к теоретическому туру

олимпиады школьников «Робофест» по физике

Теоретический обзор к итоговому занятию основного курса, 2021/22 учебный год.

Тема: «ОЛИМПИАДНЫЕ ЗАДАНИЯ ОЛИМПИАДЫ ДЛЯ 10-11 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 (статика, термодинамика, переменный ток, оптика и энергия светового излучения). 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.

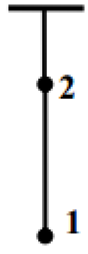
Второе важное обстоятельство - то, что многие задания теоретического тура **финального этапа** связаны логически с заданиями по физике **отборочного этапа**, с которыми участники олимпиады уже сталкивались в ходе региональных отборов. Поэтому в ходе подготовки к финалу обязательно нужно проработать задания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

Для участников из 10 класса следует обратить внимание на тему «переменный ток», так как они не проходили эту тему в школе, более того – для ее полного понимания нужно знать ряд других тем, связанных с изучением электромагнитных явлений. Поэтому для подготовки к выполнению соответствующего задания рекомендуется посмотреть вводное занятие по теме «электромагнитная индукция», занятие этого года по теме «переменный ток» и задание 3 отборочного этапа.

Тема 1: раздел – механика, тема – статика (условие равновесия тел).

В первую очередь надо повторить материалы вводного занятия 3 («взаимодействие») и основного занятия по теме «силы, равновесие и движение», а также разобрать задания отборочного этапа. Рассмотрим пример вопроса.

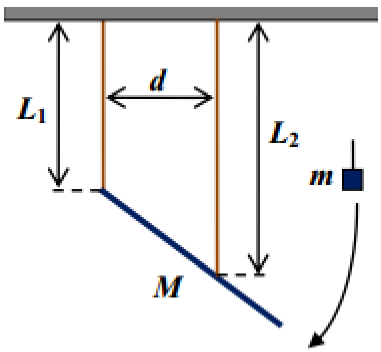
Вопрос: Упругая однородная легкая резинка длиной 1 м под весом груза 1 растягивается на 2 см. Вторая резинка, изготовленная из того же материала и с таким же поперечным сечением, но длиной 2 м, под весом груза 2 растягивается на те же 2 см. Найти <u>суммарное</u> растяжение двух резинок под весом этих двух грузов, подвешенных следующим образом: наверху закреплен конец короткой резинки, к другому ее концу подвешен груз 2, к которому прикреплен верхний конец длинной резинки. Внизу к ней прикреплен груз 1 (см. рисунок).



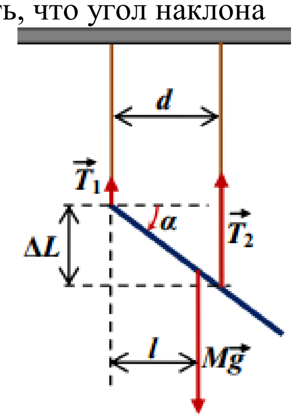
Ответ: Пусть k – коэффициент жесткости короткой веревки, а m – масса груза 1. Тогда ее растяжение под весом этого груза $\Delta l = \dfrac{mg}{k}$. Поскольку длинную веревку можно представить как две последовательно соединенных коротких, то при растяжении длинной веревки на ту же величину каждая из коротких растягивается в два раза меньше. Следовательно, растягивающая сила (вес груза 2) в два раза меньше. То есть масса второго груза $m_2 = \frac{1}{2}m$. Теперь заметим, что в рассматриваемой конструкции короткая веревка растягивается суммарным весом обоих грузов, и поэтому $\Delta l_1' = \frac{(m+m/2)g}{k} = \frac{3}{2}\Delta l$. Длинная веревка растягивается весом груза 1, который в два раза тяжелее груза 2, и $\Delta l_2' = 2\Delta l$. Общее удлинение $\Delta l' = \Delta l_1' + \Delta l_2' = \frac{7}{2}\Delta l = 7$ см.

В качестве примера задачи разберем задание из отборочного этапа.

Задача: Недеформируемый тонкий прямой стержень массой M = 1,5 кг подвешен к недеформируемому горизонтальному потолку на двух отрезках легкой практически нерастяжимой нити (см. рисунок). Длина стержня L = 80 см, длины нитей L_1 = 60 см и L_2 = 90см. В состоянии равновесия обе нити вертикальны и находятся на расстоянии d = 40 см друг от друга. Найдите отношение величин малых деформаций нитей ΔL_2:ΔL_1 . К нижнему концу стержню на еще одном небольшом отрезке той же нити подвесили маленький груз. Во сколько раз увеличилась величина деформации нити 2 при массе груза m = 300 г (по сравнению с ее деформацией в отсутствие груза)?



Решение: В первую очередь изучим геометрию системы: можно отметить, что угол наклона стержня к горизонтали при натянутых нитях определяется соотношением $\mathrm{tg}(\alpha) = \frac{L_2 - L_1}{d} = \frac{3}{4}$. Далее удобно записать правило моментов относительно верхнего конца стержня (точки подвеса верхней нити): $T_2 \cdot d - Mg \cdot l = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{l}{d}Mg$. С учетом того, что плечо силы тяжести $l = \frac{L}{2}\cos(\alpha) = \frac{2}{5}L = 32$см, получаем $T_2 = \frac{4}{5}Mg$. Условие равновесия сил $T_1 + T_2 = Mg$ позволяет найти и вторую силу натяжения:



$T_1 = \frac{1}{5}Mg$. Следовательно, $\frac{T_2}{T_1} = 4$. Каждая из сил натяжения пропорциональна удлинению нити, а коэффициент жесткости обратно пропорционален длине нити (см. вопрос). Значит, $\frac{T_2}{T_1} = \frac{k_2 \Delta L_2}{k_1 \Delta L_1} = \frac{L_1 \Delta L_2}{L_2 \Delta L_1} \Rightarrow \frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} = \frac{L_2}{L_1}\frac{T_2}{T_1} = 6$.

.При подвешивании груза к силам, действующим на стержень, добавляется приложенная к его нижнему концу сила, равная силе тяжести этого груза. Так что теперь правило моментов приведет к новому результату: $T_2 \cdot d - Mg \cdot l - mg \cdot 2l = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{l}{d}(M+2m)g = \frac{4}{5}(M+2m)g$.

Важно понимать, что нам необходимо проверить, действительно ли после подвешивания груза обе нити остались натянутыми – ведь мы использовали такое предположение в решении. Для это нужно найти и T_1: как видно, эта сила остается положительной $T_1 = (M+m)g - \frac{4}{5}(M+2m)g = \frac{1}{5}(M-3m)g > 0$., то есть первая нить остается натянутой.

Следовательно, сила натяжения нити 2 увеличилась из-за подвешивания груза в $\frac{M+2m}{M}=1{,}4$ раза. Ясно, что во столько же раз увеличилась и ее деформация.

Тема 2: раздел – молекулярная физика, тема – термодинамика.

Полезно повторить материалы занятия вводного курса по теме «молекулярная физика» и занятие основного курса «тепловые машины», а также разобрать задания отборочного этапа.

Вопрос: Одноатомный идеальный газ в процессе изобарного расширения совершил работу 1,8 кДж. Какое количество теплоты было подведено к газу в этом процессе?

Ответ: В изобарном процессе давление и количество вещества постоянны, поэтому работа газа $A = p\cdot\Delta V = \Delta(pV)$, и, в соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона $A = \Delta(\nu RT) = \nu R\cdot\Delta T$. По I Началу термодинамики, подведенное тепло $Q = A + \Delta U = A + \frac{3}{2}\nu R\cdot\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\cdot\Delta T$. Следовательно, $Q = \frac{5}{2}A = 4{,}5$ кДж.

Задача: Постоянное количество одноатомного идеального газа нагревают несколько раз. Каждый раз нагревание состоит из двух последовательных процессов – изобары и изотермы. Каждый раз отношение конечного давления к начальному – это одно и то же число, а отношение конечной абсолютной температуры к начальной $n \equiv \frac{T_к}{T_н}$ принимает различные значения. Известно, что при $n_1 = 1{,}2$ газу в процессе нагревания было передано количество теплоты $Q_1 \approx 12{,}24$ кДж, а при $n_2 = 1{,}5$ – количество теплоты $Q_2 \approx 19{,}8$ кДж. Какое количество теплоты Q_3 получил газ в процессе нагревания, в котором $n_3 = 1{,}7$? Найдите постоянное отношение начального давления к конечному.

Решение:

Пусть начальная температура газа равна T_0, а постоянное отношение начального давления к конечному равно x. Как ясно из условия, в изобарном процессе газ расширялся, увеличивая свою температуру. Из ответа на вопрос видно, что подведенное количество теплоты в этом процессе $Q_p = \frac{5}{2}\nu RT_0(n-1)$. В изотермическом процессе газ продолжает расширяться при постоянной температуре nT_0. Газ продолжает получать тепло, и в этом случае подведенное тепло равняется работе газа в изотермическом процессе: $Q_T = A_T = n\nu RT_0\cdot\ln\left(\frac{V_к}{V_н}\right)$.

Поскольку на изотерме $pV = const$, то отношение конечного и начального объемов равно отношению начального и конечного давлений: $\frac{V_к}{V_н} = x$, и поэтому полное сообщенное газу тепло равно $Q = \frac{5}{2}\nu RT_0(n-1) + \nu RT_0\ln(x)n = \frac{5}{2}\nu RT_0\left[\left(1+\frac{2}{5}\ln(x)\right)\cdot n - 1\right] \equiv a\cdot n - b$, то есть оно является линейной функцией n. Значит:

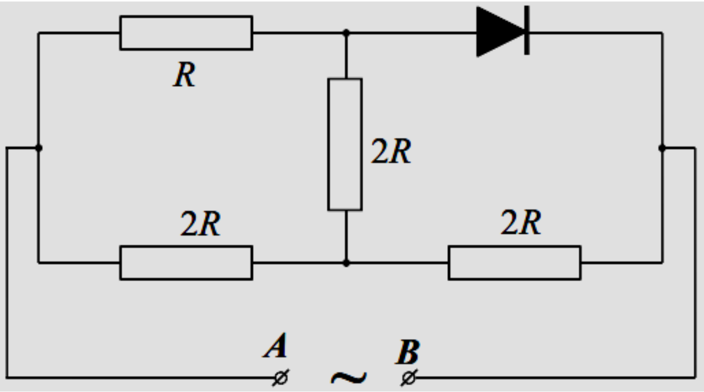
$$\begin{cases} Q_1 = a\cdot n_1 - b \\ Q_2 = a\cdot n_2 - b \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \dfrac{Q_2 - Q_1}{n_2 - n_1} \approx 25{,}2\text{ кДж} \\ b = \dfrac{n_1Q_2 - n_2Q_1}{n_2 - n_1} \approx 18{,}0\text{ кДж} \end{cases}.$$

Для третьего значения находим, что $Q_3 = a \cdot n_3 - b \approx 24{,}84$ кДж. Кроме того, как видно из выражений для a и b, $1+\frac{2}{5}\ln(x) = \frac{a}{b} \approx 1{,}4 \Rightarrow \ln(x) \approx 1$. Таким образом, $\frac{p_н}{p_к} = x \approx e \approx 2{,}72$.

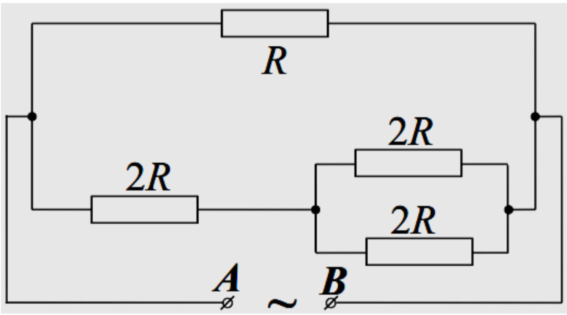
Тема 3: раздел – электродинамика, тема – переменный ток.

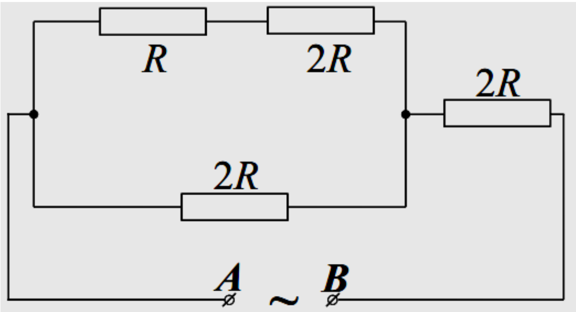
Полезно повторить материалы занятия вводного курса по теме «электромагнитная индукция», занятие этого года по теме «переменный ток», а также разобрать задания отборочного этапа.

Вопрос: Найдите действующее значение силы тока через резистор R в схеме, показанной на рисунке, если на клеммы А и В подается синусоидальное напряжение с амплитудой U_m. Диод идеальный.



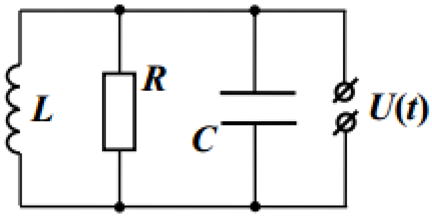
Ответ: В ту половину периода T синусоидального напряжения, когда потенциал А выше потенциала В, диода открыт, и в результате схема эквивалентна показанной на рисунке слева. В другую половину периода диод заперт, и схема эквивалентна показанной на рисунке



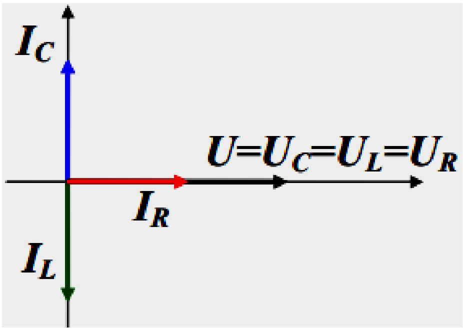


справа. При открытом диоде ток через резистор R течет синусоидальный ток с амплитудой $\frac{U_m}{R}$, поэтому в нем выделяется количество теплоты $Q_I = \frac{1}{2}\left(\frac{U_m}{R}\right)^2 R\frac{T}{2} = \frac{1}{4}\frac{U_m^2 T}{R}$ (здесь U_m – амплитуда подаваемого напряжения, и множитель ½ появляется из-за усреднения квадрата гармонической функции). При запертом диоде через этот резистор течет ток (вторая «половинка синусоиды») с амплитудой $\frac{U_m}{8R}$, и в резисторе R выделяется количество теплоты $Q_{II} = \frac{1}{2}\left(\frac{U_m}{8R}\right)^2 R\frac{T}{2} = \frac{1}{256}\frac{U_m^2 T}{R}$. Полное количество теплоты, выделившееся за период в резисторе R равно $Q = Q_I + Q_{II} = \frac{65}{256}\frac{U_m^2 T}{R}$, и по определению действующего значения силы тока $I_a^2 RT = \frac{65}{256}\frac{U_m^2 T}{R}$, то есть $I_a = \frac{\sqrt{65}}{16}\frac{U_m}{R}$.

Задача: Конденсатор с емкостью C, катушка с индуктивностью L и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, а также резистор с сопротивлением R = 50 Ом подключены параллельно к источнику синусоидального напряжения с амплитудой U_m = 220 В. Известно, что циклическая частота внешнего напряжения в точности равна резонансной для LC-контура: $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Найдите амплитуду общего тока, сдвиг фаз между этим током и напряжением, а также среднюю мощность, потребляемую схемой от источника.



Решение: В данной схеме внешнее напряжение подается независимо на все три элемента. Как известно, ток зарядки конденсатора опережает напряжение на нем по фазе на $\frac{\pi}{2}$, ток индуктивности на столько же отстает, а ток через резистор колеблется синфазно с напряжением. Поэтому ясно, что векторная диаграмма токов выглядит так, как показано на рисунке. Заметим, что амплитуды токов через конденсатор $I_{Cm} = \omega C \cdot U_m$ и через индуктивность $I_{Lm} = \frac{1}{\omega L}\cdot U_m$ благодаря тому, что $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, оказываются равны друг другу, и, поскольку они колеблются в противофазе, то полный ток от источника в этой схеме совпадает с током через резистор, то есть его амплитуда равна $I_m = I_{Rm} = \frac{1}{R}\cdot U_m = 4{,}4$ А, а сдвиг фаз между током и напряжением равен нулю. Кроме того, индуктивность и конденсатор являются реактивными элементами, то есть они не потребляют мощность от источника, так что в данной схеме независимо от величины частоты источника, средняя потребляемая мощность в установившемся режиме определяется только тепловыделением на резисторе, то есть $P = \frac{U_m^2}{2R} = 484$ Вт.



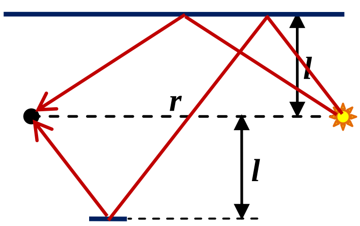
Тема 4: раздел – оптика, темы – энергия светового излучения, явление дисперсии.

Полезно повторить материалы занятия вводного курса по теме «геометрическая оптика» и занятия основного курса по теме «оптика», а также разобрать задания отборочного этапа.

Вопрос: Сила тока фотодатчика прямо пропорциональна энергии светового излучения, поступающего в его «входное окно» в единицу времени. Этот датчик разместили на расстоянии 2 м от маленькой лампы, излучающей свет одинаково во всех направлениях, развернули прямо на центр лампы, и ток датчика оказался равен 9 мА. Датчик отодвинули от лампы, так что он оказался на расстоянии 3 м от лампы, и по-прежнему направлен прямо на ее центр. Какой будет сила тока датчика? Воздух между лампой и фотодатчиком считать полностью прозрачным.

Ответ: В отсутствие поглощения света плотность потока световой энергии (энергия, проходящая в единицу времени через единицу площади поверхности светового фронта) убывает обратно пропорционально квадрату расстоянию от сферически-симметричного источника с постоянной мощностью излучения (поскольку площадь сферы растет прямо пропорционально квадрату радиуса). Площадь «входного окна» естественно считать постоянной, так что новое значение силы тока $I_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 I_1 = 4$ мА.

Задача: Робот оснащен датчиком освещенности, который измеряет световую энергию, попадающую в маленькое «входное окно» датчика. Источником света служит небольшая по размерам лампочка, испускающая свет одинаково во всех направлениях. Робота и лампочку поместили на одинаковом расстоянии $l = 2$м от плоской зеркальной стенки. Расстояние между роботом и лампочкой $r = 3$м. Входное окно датчика освещенности снабдили узкой длинной «направляющей трубой» с черными стенками. Робот вращается на месте. Когда труба направлена на лампочку, датчик показывает освещенность I_0. Во сколько раз отличаются от I_0 показания датчика в момент, когда труба направлено на изображение лампочки в зеркале? Во сколько раз эти показания будут отличаться от I_0, если поместить на расстоянии $2l = 4$м от стенки небольшое плоское зеркало так, чтобы отраженные от стенки и этого зеркала лучи света от лампочки попадали на робота, и направить трубу на это зеркало? Считать, что обе зеркальные поверхности отражают $\frac{8}{9}$ потока падающей на них световой энергии для всех углов падения.



Решение: Мы снова должны понять, что плотность потока световой энергии убывает обратно пропорционально квадрату пройденного светом пути. Отражение от зеркала не изменяет этой зависимости (после отражения вместо расстояния до источника аналогичная зависимость будет от расстояния до его изображения), но появляется множитель, отвечающей доле отраженной энергии. Итак, в новом случае вместо расстояния от лампы нужно брать длину пройденного световыми лучами пути от лампы до датчика, и учитывать потери энергии при отражениях. Для лучей, испытавших одно отражение, путь равен $r_1 = \sqrt{r^2 + (2l)^2} = 5$м, а для испытавших два – равен $r_2 = \sqrt{r^2 + (4l)^2} = \sqrt{73}$м. Поэтому $I_1 = \frac{8}{9}\left(\frac{r}{r_1}\right)^2 I_0 = \frac{8}{25} I_0$, а $I_2 = \left(\frac{8}{9}\right)^2 \left(\frac{r}{r_2}\right)^2 I_0 = \frac{64}{657} I_0$.