

**7-9 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 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 (статика, молекулярная физика, нелинейные цепи постоянного тока 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.

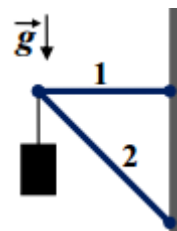
Второе важное обстоятельство - то, что многие задания теоретического тура **финального этапа** связаны логически с заданиями по физике **отборочного этапа**, с которыми участники олимпиады уже сталкивались в ходе региональных отборов. Поэтому в ходе подготовки к финалу обязательно нужно проработать задания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

Для участников из 7 класса первое задание посвящено теме «равномерное движение и средняя скорость», и для подготовки к его выполнению рекомендуется посмотреть вводное занятие 1 (тема «движение») и первое занятие основного курса («механика»), а также первое задание отборочного этапа. Это задание у 7 класса заменяет задание по теме «нелинейные цепи постоянного тока».

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

В первую очередь надо повторить материалы вводных занятий 2 («ускорение и силы») и 5 («гидростатика») и основного занятия по теме «механика», а также разобрать задания отборочного этапа. Рассмотрим пример вопроса.

Вопрос: Из двух невесомых жестких стержней, соединенных легкими шарнирами друг с другом и с вертикальной стенкой, собрали «кронштейн» для подвески груза массы m (см. рисунок) на невесомой нити. В состоянии равновесия стержень 1 горизонтален, а стержень 2 составляет с горизонтом угол 45° . Найдите величины сил упругости обоих стержней. Ускорение свободного падения равно g .



Ответ: Прежде всего заметим, что каждый из стержней находится в равновесии под действием двух сил, действующих на него со стороны соседних шарниров (силу тяжести для «невесомого» стержня считаем равной нулю). Сумма этих сил равна нулю, поэтому силы реакций двух шарниров всегда направлены в противоположные стороны и равны по

величине. Если бы линии их действия не совпадали, то такая пара сил создавала бы ненулевой момент, чего не может быть в состоянии равновесия. Поэтому эти силы направлены вдоль одной прямой, и, поскольку они приложены к разным концам стержня, то они обязательно направлены вдоль стержня. Ясно, что так же направлены и силы упругости каждого стержня, действующие на соседние с ним шарниры. Рассмотрим равновесие шарнира, соединяющего стержни между собой (к нему же подвешен груз). Он находится в равновесии, и сумма приложенных к нему сил (силы упругости шарниров и силы тяжести груза, переданной через нить подвеса) равна нулю. Горизонтальные проекции сил упругости стержней должны уравновесить друг друга, и поэтому один из них должен быть растянут, а другой сжат. При этом сумма их вертикальных проекций должна уравновесить силу тяжести, так что стержень 1 растянут, а стержень 2 сжат. Записывая условия равновесия сил в проекциях на горизонтальную ось x и вертикальную ось y (см.

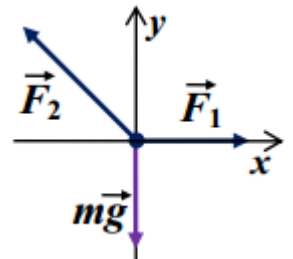
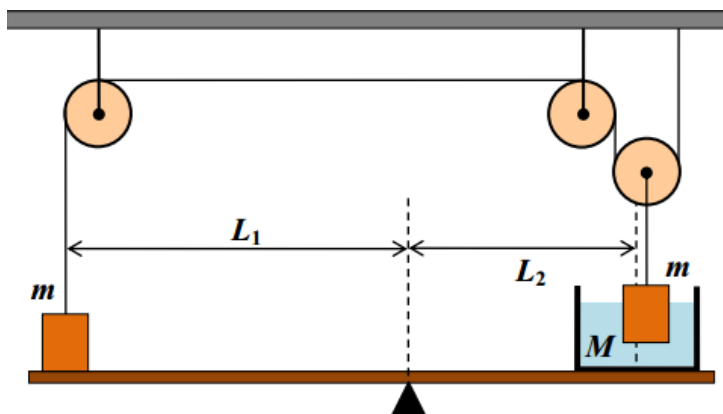


рисунок), находим, что $F_2 \cdot \sin(45^\circ) = mg \Rightarrow F_2 = \sqrt{2}mg$ и $F_1 = F_2 \cos(45^\circ) = mg$.

В качестве примера задачи разберем задание отборочного этапа.

Задача: Два одинаковых пластиковых цилиндра массой по $m = 800$ г прикреплены к концам легкой нерастяжимой нити и подвешены к потолку с помощью трех идеальных блоков (см. рисунок). Первый цилиндр стоит на одной из сторон легкого рычага, а второй – опущен в сосуд с водой, который помещен на другую сторону того же рычага. Массы сосуда с водой $M = 500$ г. Расстояния от точки опоры рычага до центров площадей опоры первого груза и сосуда с водой относятся как $L_1:L_2=3:2$. Плотность пластика, из которого изготовлены цилиндры, в 1,5 раза больше плотности воды. Система находится в равновесии. Какая часть объема второго цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде?



Решение: Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны груза, равна по величине силе, действующей на этот груз со стороны рычага, и ее можно найти из условия равновесия груза: $N_1 = mg - T$, где T – сила натяжения нити. Аналогично находим величину силы, действующей на правую сторону рычага со стороны дна сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом): $N_2 = (M + m)g - 2T$. Условие равновесия рычага $L_1 N_1 = L_2 N_2 \Rightarrow 3N_1 = 2N_2$ позволяет нам найти силу натяжения нити: $T = (2M - m)g$. Запишем теперь условие равновесия груза, частично погруженного в воду

$F_A + 2T = mg$, и найдем из него величину действующей на него силы Архимеда $F_A = (3m - 4M)g$. Так как по закону Архимеда $F_A = \rho_B V_{\text{погр}} g$, а $mg = \rho_{\text{пл}} V g$, то $\frac{V_{\text{погр}}}{V} = \frac{\rho_{\text{пл}}}{\rho_B} \frac{3m - 4M}{m} = 0,75$. Итак, под водой находится 75% объема груза.

Тема 2: раздел – молекулярная физика, тема – уравнение теплового баланса.

Полезно повторить материалы занятия вводного курса по теме «теплообмен» и занятия основного курса «теплота и световая энергия», а также разобрать задания отборочного этапа.

Вопрос: Мокрый снег – это смесь ледяных кристаллов и жидкой воды, находящихся в равновесии при температуре 0°C . Как изменится температура мокрого снега, если его посолить и перемешать? Почему?

Ответ: Температура резко уменьшится. Мокрый снег при температуре около 0°C представляет собой смесь воды и ледяных кристалликов, а при растворении соли в воде температура плавления льда понижается (взаимодействие молекул воды с ионами, образующимися из молекул соли, разрушает решетку льда), и ледяные кристаллы плавятся, забирая у окружающих веществ теплоту плавления.

Задача: В трех одинаковых термосах находятся одинаковые количества жидкой воды с одинаковой температурой. В первый бросили кубик замороженного льда массой 54 г, во второй – два точно таких же (по массе и температуре) кубика, а в третий – четыре. В первом термосе до установления равновесия растаяло 39 г льда, во втором – 28 г льда. Какая масса льда растаяла в третьем термосе? Теплоемкостью колбы термоса пренебречь. Ни один термос не переполняется. Пусть все массы из условия известны с ошибкой не более 0,4 г. Оцените максимальную возможную ошибку найденного значения массы растаявшего льда для третьего термоса.

Решение:

Из данных задачи видно (масса растаявшего льда меньше массы брошенного), что в конечном состоянии в термосе лед и вода находятся в равновесии, то есть конечная температура содержимого термоса равна 0°C (вода остыла до этой температуры, а лед до начала таяния прогрелся до нее). Учитывая это, запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия в первом термосе (обозначив M массу воды в термосе, m – массу кубика, $t_1 > 0^\circ\text{C}$ и $t_2 < 0^\circ\text{C}$ – начальные температуры воды и льда, m_1 – масса растаявшего льда): $c_B M t_1 = c_L m (-t_2) + \lambda m_1$, а также аналогичное уравнение для второго термоса: $c_B M t_1 = c_L 2m (-t_2) + \lambda m_2$. Из этих уравнений находим, что $c_L m (-t_2) = \lambda (m_1 - m_2)$. Из первого уравнения и уравнения теплового баланса для установления равновесия в третьем термосе $c_B M t_1 = c_L 4m (-t_2) + \lambda m_3$ аналогично получим $3c_L m (-t_2) = \lambda (m_1 - m_3)$. Из двух полученных соотношений находим массу льда, растаявшего в третьем термосе $m_3 = 3m_2 - 2m_1 = 6$ г. Видно, что лед все же начал таять, так что конечная температура действительно равна 0°C .

Тема 3: раздел – постоянный ток, тема – нелинейные цепи постоянного тока.

Полезно повторить материалы занятия вводного курса по теме «цепи постоянного тока» и занятий основного курса «постоянный ток» и «нелинейные цепи постоянного тока», а также разобрать задания отборочного этапа.

Вопрос: Зависимость силы тока через светодиод I от приложенного напряжения U дается формулой $I(U) = I_0 \left(\frac{U}{U_0} \right)^3$, где $I_0 = 50 \text{ мА}$ и $U_0 = 2 \text{ В}$. Найдите мощность светового

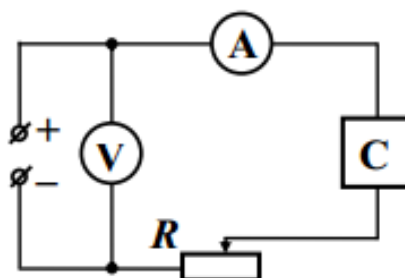
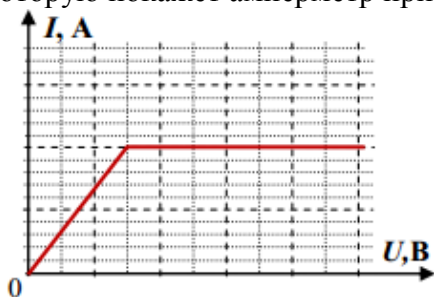
излучения светодиода при подключении к источнику с ЭДС $4,5 \text{ В}$, внутреннее сопротивление которого значительно меньше $0,1 \text{ Ом}$. КПД светодиода в данном режиме 78% . Ответ дайте в Вт, с точностью до десятых.

Ответ: При напряжении $U = 4,5 \text{ В}$ сила тока через светодиод примерно равна $I \approx 570 \text{ мА}$, и характерная величина его сопротивления около 8 Ом , что в несколько сотен раз больше внутреннего сопротивления источника. Поэтому этим внутренним сопротивлением можно пренебречь (с ошибкой явно меньше 1%), и считать, что при подключении к данному источнику напряжение на диоде равно U , а ток через него равен I . С учетом КПД мощность излучения светодиода $P = 0,78 \cdot UI \approx 2,0 \text{ Вт}$. Как видно, при нашей точности расчетов ошибка явно меньше $0,1 \text{ Вт}$.

Задача: Стабилизатор тока – нелинейный элемент электрических цепей, то есть он не всегда подчиняется закону Ома. Школьники нашли в лаборатории стабилизатор тока и паспорт к нему. Однако текст и многие надписи в паспорте выцвели, и они не смогли прочесть числа в подписях к осям на графике ВАХ стабилизатора, показанной на рисунке слева. Тогда они собрали цепь по схеме, приведенной на правом рисунке, и измерили с помощью практически идеальных приборов напряжение и силу тока при разных сопротивлениях реостата. Результаты измерений они занесли в таблицу:

$R, \text{ Ом}$	15	30	45
$U, \text{ В}$	$9,0 \pm 0,1$	$9,0 \pm 0,1$	$9,0 \pm 0,1$
$I, \text{ А}$	$0,20 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,01$

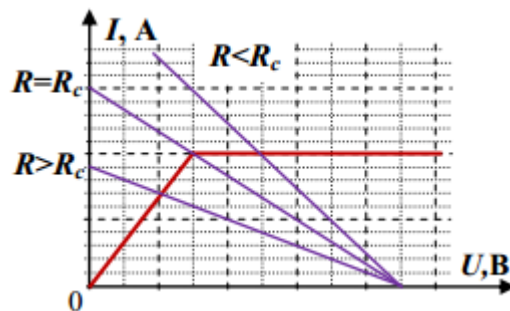
Найдите координаты точки излома на ВАХ стабилизатора и предскажите величину силы тока, которую покажет амперметр при $R = 60 \text{ Ом}$.



Решение: Постоянство напряжения, фиксируемого вольтметром, в данной схеме означает, что напряжение источника практически не зависит от сопротивления нагрузки, то есть источник можно считать идеальным и не учитывать его внутреннее сопротивление. Более того, ясно, что напряжение, создаваемое этим идеальным источником равно $U_0 \approx 9,0 \text{ В}$.

Напряжение на стабилизаторе равно $U = U_0 - IR$, и поэтому сила тока при каждом значении определяется точкой пересечения прямой $I = \frac{U_0 - U}{R}$

с графиком ВАХ стабилизатора. Представив себе ход этой прямой, можно заметить, что существует «критическое» значение сопротивления резистора R_c , при котором эта прямая проходит точно через точку излома ВАХ стабилизатора (U_c, I_c). При любом $R < R_c$ сила тока в цепи равна I_c . Из результатов измерений видно, что значения 15 Ом и 30 Ом принадлежат области $R \leq R_c$, и



$I_c = 0,2 \text{ А}$. На наклонном участке ВАХ зависимость напряжения от силы тока можно описать выражением $U = \frac{I}{I_c} U_c$. Значит, сила тока определяется из уравнения $U_0 - IR = \frac{I}{I_c} U_c$, откуда ясно, что при $R > R_c$ сила тока убывает с ростом R по закону $I = \frac{U_0}{(U_c / I_c) + R}$. Ясно, что значение 45 Ом и 60 Ом относится к этой области, то есть $0,15 \text{ А} \approx \frac{9,0 \text{ В}}{(U_c / I_c) + 45 \text{ Ом}}$. Следовательно $\frac{U_c}{I_c} \approx 15 \text{ Ом}$, и $U_c \approx 3,0 \text{ В}$. Теперь можно предсказать силу тока при $R = 60 \text{ Ом}$: $I \approx \frac{9,0 \text{ В}}{15 \text{ Ом} + 60 \text{ Ом}} = 0,12 \text{ А}$.

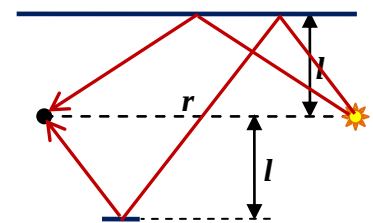
Тема 4: раздел – оптика, темы – энергия светового излучения, явление дисперсии.

Полезно повторить материалы занятия вводного курса по теме «оптика» и занятия основного курса по теме «теплота и световая энергия», 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 $I_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 I_1 = 4 \text{ мА}$.

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 $l = 2 \text{ м}$ от плоской зеркальной стенки. Расстояние между роботом и лампочкой $r = 3 \text{ м}$. 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 $2l = 4 \text{ м}$ 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, отвечающий 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 $r_1 = \sqrt{r^2 + (2l)^2} = 5\text{ м}$, а для испытавших два – равен $r_2 = \sqrt{r^2 + (4l)^2} = \sqrt{73}\text{ м}$. Поэтому

$$I_1 = \frac{8}{9} \left(\frac{r}{r_1} \right)^2 I_0 = \frac{8}{25} I_0, \text{ а } I_2 = \left(\frac{8}{9} \right)^2 \left(\frac{r}{r_2} \right)^2 I_0 = \frac{64}{657} I_0.$$