Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада
2019-2020
ФИЗИКА

10 класс

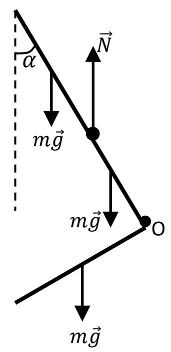
II этап

Задача 1

Однородный металлический стержень согнут под прямым углом в отношении $2:1$ и шарнирно подвешен за середину длинной стороны. Определить угол, который образует длинная сторона с вертикалью.

Оценка задания № 1 – 20 баллов

Решение



Запишем уравнение моментов относительно точки O

$$1{,}5\, l\, mg\ \sin(180-\alpha) + 0{,}5\, l\, mg\ \sin(180-\alpha) +$$
$$+0{,}5\, l\, mg\ \sin(90-\alpha) = \, l\, N\ \sin\alpha.$$

Где l – длина 1 части стержня, а m – масса одной части стержня.

По второму закону Ньютона

$$N = 3mg.$$

Тогда уравнение моментов принимает вид:

$$1{,}5\sin\alpha + 0{,}5\ \sin\alpha + 0{,}5\cos\alpha = \ 3\sin\alpha.$$

Отсюда легко получить

$$\tan\alpha = \frac{1}{2}.$$

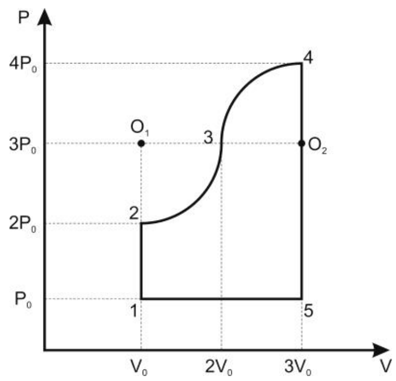
Или

$$\alpha \approx 26{,}57°.$$

Ответ: $\approx\ 26{,}57°$

Критерий	Баллы
Есть рисунок и расставлены силы	**4**
Записано уравнение моментов сил относительно точки O	**6**
Использован второй закон Ньютона для определения силы реакции опоры	**4**
Получено выражение для тангенса или котангенса угла	**4**
Получен ответ	**2**

Задача 2



Определите КПД цикла идеального одноатомного газа, изображённого на рисунке. Участки 2-3 и 3-4 на чертеже представляют собой дуги окружностей с центрами в точках O_1 и O_2 соответственно.

Оценка задания № 2 – 20 баллов

Решение

Для начала вспомним, что КПД цикла можно вычислить, как отношение работы за цикл к подведенному от нагревателя теплу, то есть

$$\eta = \frac{A}{Q_н},$$

где A – работа газа за цикл, $Q_н$ – тепло подведенное от нагревателя.

Работа газа за цикл численно равна площади цикла в координатах PV следовательно

$$A = (3P_0 - P_0)(3V_0 - V_0) = 4P_0V_0.$$

Теперь заметим, что тепло к газу подводится только на участках 1-2, 2-3 и 3-4. На участке 1-2 работа газом не совершается, значит по первому началу термодинамики

$$Q_{12} = \Delta u_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1).$$

Из уравнения Менделеева-Клейперона следует, что

$$2P_0V_0 = \nu RT_2, P_0V_0 = \nu RT_1.$$

Тогда

$$Q_{12} = \frac{3}{2}P_0V_0.$$

Рассмотрим теперь участок 2-3-4. Аналогично имеем

$$Q_{234} = \Delta u_{234} + A_{234}.$$

Работа газа на этом участке определяется площадью под графиком участка 2-3-4 и равна

$$A_{234} = 3P_0(3V_0 - V_0) = 6P_0V_0.$$

Для вычисления изменения внутренней энергии запишем уравнение Менделеева-Клейперона в точке 4:

$$12P_0V_0 = \nu RT_4.$$

Теперь легко видеть, что

$$\Delta u_{234} = \frac{3}{2}\nu R(T_4 - T_2) = \frac{3}{2}(12P_0V_0 - 2P_0V_0) = 15P_0V_0.$$

Наконец, поскольку

$$Q_н = Q_{12} + Q_{234} = \frac{3}{2}P_0V_0 + 6P_0V_0 + 15P_0V_0 = 22{,}5P_0V_0,$$

несложно вычислить значение КПД

$$\eta = \frac{4P_0V_0}{22{,}5P_0V_0} \approx 0{,}18.$$

Ответ: $\approx 0{,}18$

Критерий	Баллы
Записано определение КПД цикла	**2**
Вычислена работа газа за цикл	**4**
Правильно определены участки на которых подводится тепло	**4**
Получено выражение для подведенного тепла на участке 1-2	**2**

Правильно определенно подведенное тепло на участке 2-3-4	**6**
Получен верное выражение для КПД цикла	**2**

Задача 3

Для лабораторных испытаний на мини-плитке с сопротивлением $R = 25$ Ом, её подключили последовательно с сопротивлением $r = 15$ Ом. При длительной работе плитка нагрелась до максимальной температуры $t_m = 50$°C от комнатной $t_0 = 18$°C. Определите максимальную температуру плитки, если параллельно с ней включить ещё одну такую же плитку?

Оценка задания № 3 – 20 баллов

Решение

Заметим, что изменение температуры от комнатной до максимальной пропорционально мощности плитки.

Рассмотрим первый случай. Пусть в этом случае через плитку проходит ток I_1, тогда

$$I_1^2 R = k(t_m - t_0).$$

Поскольку (последовательное соединение):

$$I_1 = \frac{u}{r+R},$$

где u – ЭДС источника, легко видеть

$$\frac{u^2 R}{(r+R)^2} = k(t_m - t_0). \qquad (1)$$

Теперь рассмотрим второй случай. Если ток проходящий через плитку обозначить I_2, тогда

$$I_2^2 R = k(t_x - t_0),$$

где t_x – искомая температура. Так как источник тока остался прежним:

$$I_2 = \frac{1}{2}\frac{u}{r+R/2}.$$

Следовательно

$$\frac{u^2 R}{(2r+R)^2} = k(t_x - t_0). \qquad (2)$$

Разделим уравнение (2) на уравнение (1) и проделаем алгебраические преобразования получим:

$$t_x = t_0 + \frac{(R+r)^2(t_m - t_0)}{(2r+R)^2}.$$

Вычисления дают

$$t_x = 34{,}92\text{°C}.$$

Ответ: 34,92°C

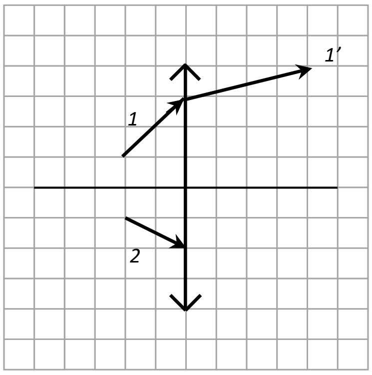
Критерий	Баллы
Сказано о том, что изменение температуры плитки пропорционально мощности	**6**
Записано выражение для тока I_1	**2**
Получена формула (1)	**4**
Записано выражение для тока I_2	**2**

Получена формула (2)	**4**
Верно решена система уравнений (1), (2) и получен правильное выражение для t_x	**2**

Задача 4

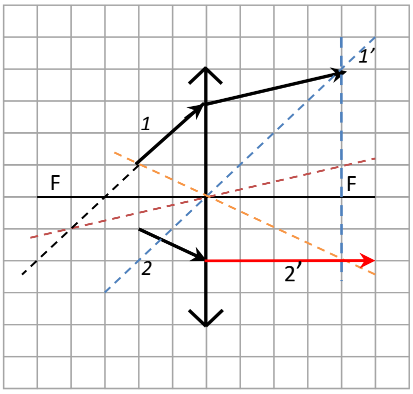
На рисунке показан ход светового луча 1 до линзы и $1'$ после линзы. Найти построением точные положения *каждого* фокуса линзы и ход светового луча 2 после линзы.

Оценка задания № 4 – 20 баллов



Решение

Для построения фокуса справа, проведем побочную оптическую ось (голубым цветом) параллельную лучу 1 до пересечения с лучом 1’. Полученная точка пересечения является побочным фокусом справа от линзы. Опустим из нее перпендикуляр до главной оптической оси (также голубым цветом). Полученная точка пересечения фокальной плоскости справа с главной оптической осью есть главный фокус линзы. Затем построим побочную оптическую ось (оранжевым цветом) параллельную лучу 1’ до пересечения с лучом 1. Это есть побочный фокус линзы слева. Проведем перпендикуляр (фокальную плоскость) из этого побочного фокуса до пересечения с главной оптической осью линзы. Данная точка пересечения – главный фокус линзы справа. Для построения луча 2’ необходимо построить побочную оптическую ось (зеленым цветом) параллельную лучу 2 до пересечения с фокальной плоскостью справа. Данная точка пересечения – побочный фокус, через который проходит луч 2’ (красным цветом). Этот луч параллелен главной оптической оси.



Критерий	Баллы
Используя ход луча 1-1’ получена фокальная плоскость справа от линзы	**6**
Для построения фокуса слева линзы после оси использовано обращение лучей	**8**
Построен ход луча 2’	**6**

Задача 5

Скатываясь равноускоренно с наклонной плоскости, брусок проезжает мимо четырёх меток, отстоящих на одинаковом расстоянии друг от друга. На прохождение между двумя первыми метками он затратил $t_1 = 3\ c$, а между второй и третей проехал за $t_2 = 1{,}32\ c$. Определите время t_3 движения бруска между третьей и четвертой метками.

Оценка задания № 5 – 20 баллов

Решение

Имеют место тождества

$$S = v_0 t_1 + \frac{a t_1^2}{2}, \tag{1}$$

$$S = (v_0 + a t_1) t_2 + \frac{a t_2^2}{2}, \tag{2}$$

$$S = (v_0 + a t_1 + a t_2) t_3 + \frac{a t_3^2}{2}. \tag{3}$$

Из тождества (3) следует квадратное уравнение на t_3

$$\tau^2 = (t_0 + 2t_1 + 2t_2) t_3 + t_3^2,$$

где

$$\tau^2 = \sqrt{\frac{2S}{a}}, t_0 = \frac{2v_0}{a}.$$

Положительный корень этого уравнения имеет вид

$$t_3 = -\left(\frac{t_0}{2} + t_1 + t_2\right) + \sqrt{\left(\frac{t_0}{2} + t_1 + t_2\right)^2 + \tau^2}.$$

Вычислим значения t_0 и τ^2. Из уравнений (1) и (2) после соответствующих переобозначений получим систему:

$$\tau^2 = t_0 t_1 + t_1^2,$$
$$\tau^2 = (t_0 + 2t_1) t_2 + t_2^2.$$

Решение этой системы

$$t_0 = \frac{(t_1 + t_2)^2 - 2t_1^2}{(t_1 - t_2)} \approx 0{,}39\ \text{с},$$
$$\tau^2 = \frac{t_1 t_2 (t_1 + t_2)}{(t_1 - t_2)} \approx 10{,}18\ \text{с}^2.$$

Следовательно

$$t_3 \approx 1{,}01\ \text{с}.$$

Ответ: $\approx 1{,}01$ с

Критерий	Баллы
Записаны тождества (1), (2) и (3)	**6**
Получено квадратное уравнение на t_3 , решено и выбран верный корень уравнения	**4**
Получена система уравнений для определения t_0 и τ^2	**4**
Получены верные значения для t_0 и τ^2	**4**
Правильно вычислено значение t_3	**2**