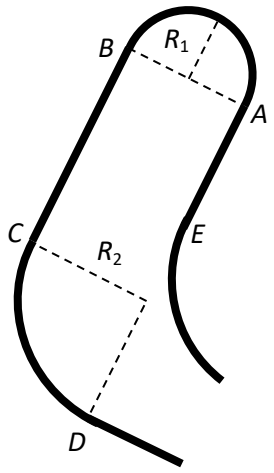
Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике. 2024/25 учебный год. 9 класс. Максимальный балл – 50.

Задача №1

На рисунке изображён участок автодрома, который состоит из двух дуг окружностей радиусами $R_1 = 80$ м и $R_2 = 160$ м и двух параллельных прямых *EA* и *BC*. Длина прямого участка *BC* составляет $l = 300$ м. Максимальное ускорение, которое могут обеспечить шины автомобиля $a = 7$ м/с^2.



Вопрос №1

Определите максимальные скорости, с которыми автомобиль может двигаться по участкам *AB* и *CD*;

Вопрос №2

Определите максимальную скорость, которую автомобиль может развить на участке *ABCD,* при условии, что автомобиль продолжает двигаться по трассе. Считайте, что он въезжает на этот участок с максимальной возможной скоростью.

Вопрос №3

Определите минимальное время, за которое автомобиль может преодолеть участок *ABCD*. Считайте, что он въезжает на этот участок с максимальной возможной скоростью.

Возможное решение.

Вопрос №1

Ускорение автомобиля при движении по дуге окружности является центростремительным. Следовательно, максимальная скорость при движении по дуге *AB* равна $\upsilon_1 = \sqrt{aR_1} \approx 23{,}7$ м/с (2), по дуге *CD* – $\upsilon_2 = \sqrt{aR_2} = 33{,}5$ м/с (3).

Вопрос №2

Для проезда участка *BC* за минимальное время необходимо сначала увеличить скорость от υ_1 до максимального значения υ_{max}, а затем уменьшить до υ_2 (4). Тогда для участка *BC* можно записать $l = \frac{\upsilon_m^2 - \upsilon_1^2}{2a} + \frac{\upsilon_m^2 - \upsilon_2^2}{2a} = \frac{2\upsilon_m^2 - \upsilon_1^2 - \upsilon_2^2}{2a}$ (5), откуда с учётом формул (2) и (3) $\upsilon_m = \sqrt{a(l + (R_1 + R_2)/2)} = 54{,}2$ м/с (6).

Вопрос №3

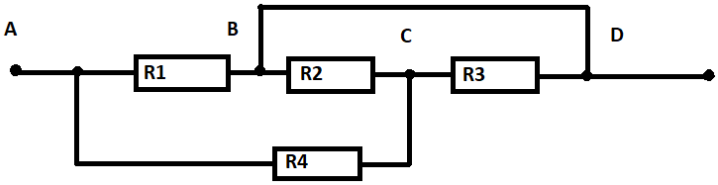
Минимальное время движения по участку *ABCD* $t = \frac{\pi R_1}{\upsilon_1} + \frac{\pi R_2}{2\upsilon_2} + \frac{\upsilon_m - \upsilon_1}{a} + \frac{\upsilon_m - \upsilon_2}{a}$ (7), численно $t \approx 25{,}5$ с (8).

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос 1	
1	Формула $\upsilon_1 = \sqrt{aR_1}$	1
2	Численный ответ 24 м/с	1
3	Формула $\upsilon_2 = \sqrt{aR_2}$	1
4	Численный ответ 34 м/с	1
	Вопрос 2	
5	Идея, что скорость на участке ВС нужно увеличить от υ_1 до	2

	максимального значения υ_{max}, а затем уменьшить до υ_2	
6	Формула для расстояния $l = \frac{\upsilon_m^2 - \upsilon_1^2}{2a} + \frac{\upsilon_m^2 - \upsilon_2^2}{2a}$	1
7	Численный ответ для максимальной скорости 54 м/с	1
	Вопрос 3	
8	Формула (7) для определения полного времени движения	1
9	Численный результат для времени движения 26 с	1
	Итого	10

Задача №2



На рисунке дана схема из четырех резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 5$ Ом и перемычки BD. Схема подключена к источнику с напряжением U = 12В в точках A и D. Перемычка – это участок цепи с нулевым сопротивлением.

Вопрос №1 Найти эквивалентное сопротивление участка AD

Вопрос №2 Определить силу тока через перемычку BD

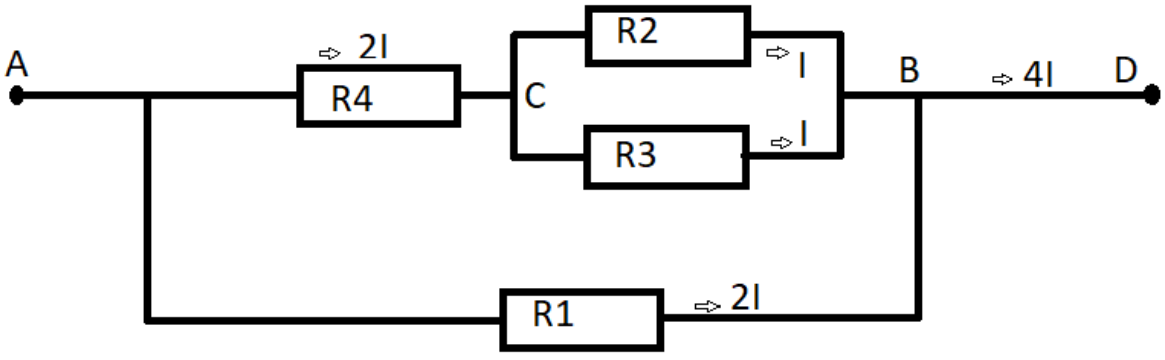
Вопрос №3 Резистор R4 заменили на нелинейный элемент, вольт-амперная характеристика, которого описывается выражением $U = \alpha I^2$,где $\alpha = 1{,}5625$ В/А^2.

Какая мощность будет выделяться на этом элементе?

Возможное решение:

Вопрос №1

Перестроим схему с перемычкой и получим эквивалентную схему

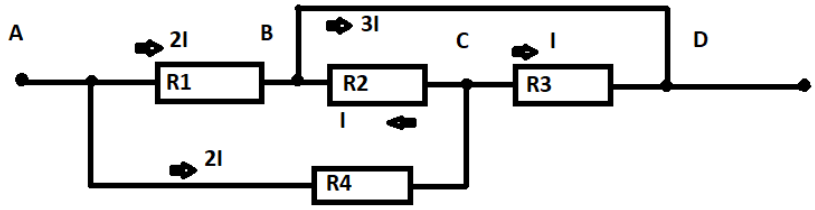


Рассчитаем эквивалентное сопротивление $R_0 = 5$ Ом

Вопрос №2

Общий ток найдем как U/ R_0 = 2,4 А. Следовательно I = I_0/4 = 0,6 А.

Перенесем токи на исходную схему.



По первому правилу Кирхгофа для узла B ток через перемычку BD равен 3I = 1,8А

Вопрос №3

После замены R4 на нелинейный элемент получаем, что

U = $U_{\sim}$ + I_* R

$U_{\sim}$ =αI_*^2

Решаем полученную систему относительно I_*

αI_*^2 + RI_* – U = 0, получаем, что I_* = 1,6 А, а $U_{\sim}$ = 4 В. Следовательно P = $I_*U_{\sim}$= 6,4 Вт.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Получение эквивалентной схемы без перемычки	1
2	Расчет эквивалентного сопротивления R_0 = 5 Ом	1
3	Нахождение общего тока I_0 = 2,4 А	1
4	Нахождение тока через резисторы R1 и R2 I_1 = 1,2А I_2 = 0,6 А	1
5	Ток через перемычку BD I_{BD} = 1,8 А	1
6	Составление системы уравнений U = $U_{\sim}$ + I_* R и $U_{\sim}$ =αI_*^2	1
7	Решение квадратного уравнения относительно I_* и получено I_* = 1,6 А	2
8	$U_{\sim}$ = 4 В	1
9	P = $I_*U_{\sim}$= 6,4 Вт	1
	Итого	10

Задача № 3

Саша проводил эксперименты с жидкостями. Он взял два одинаковых стакана, в один из которых налил 100 грамм воды, а в другой 100 грамм спирта. Температура сосудов с жидкостями была одинаковой и равной 20^0C. Затем в стаканы Саша опустил одинаковые железные шарики (по одному на стакан), нагретые до температуры 80^0C. После установления теплового равновесия температура воды оказалась равной $23{,}0^0$C, а спирта $24{,}5^0$C.

Вопрос №1

Чему равна теплоемкость стакана?

Вопрос №2

Какова масса каждого шарика?

Теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·^{0}C), удельная теплоемкость спирта 2500 Дж/(кг·^{0}C), удельная теплоемкость железа 460 Дж/(кг·^{0}C). Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Возможное решение:

Пусть $t_0 = 20^0$C, $t_ж = 80^0$C, $t_1 = 23^0$C, $t_2 = 24{,}5^0$C.

Запишем уравнение теплового баланса для стакана с водой:

$c_ж m(t_1 - t_ж) + (C_{ст} + m_в c_в)(t_1 - t_0) = 0$ или $c_ж m(t_ж - t_1) = (C_{ст} + m_в c_в)(t_1 - t_0)$.

Для стакана со спиртом получим:

$c_ж m(t_2 - t_ж) + (C_{ст} + m_с c_с)(t_2 - t_0) = 0$ или $c_ж m(t_ж - t_2) = (C_{ст} + m_с c_с)(t_2 - t_0)$.

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{c_ж m(t_ж - t_1)}{c_ж m(t_ж - t_2)} = \frac{(C_{ст} + m_в c_в)(t_1 - t_0)}{(C_{ст} + m_с c_с)(t_2 - t_0)},$$

откуда

$$(t_ж - t_1)(C_{ст} + m_с c_с)(t_2 - t_0) = (C_{ст} + m_в c_в)(t_1 - t_0)(t_ж - t_2).$$

Выразим искомую величину $C_{ст}$:

$$C_{ст} = \frac{m_в c_в (t_1 - t_0)(t_ж - t_2) - m_с c_с (t_ж - t_1)(t_2 - t_0)}{(t_ж - t_1)(t_2 - t_0) - (t_1 - t_0)(t_ж - t_2)} = 64{,}5 \text{ Дж/градус}.$$

Тогда масса шарика равна:

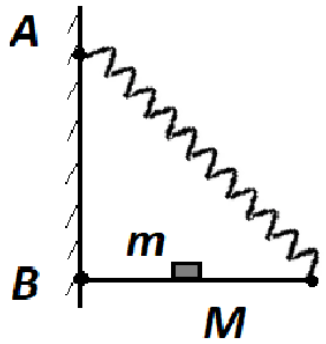
$$m = \frac{(C_{ст} + m_в c_в)(t_1 - t_0)}{c_ж (t_ж - t_1)} = 0{,}554 \text{ кг} \approx 55{,}4 \text{ г}.$$

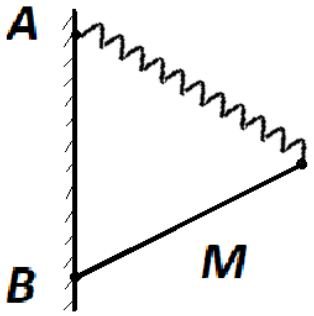
Критерии оценивания.

№	Критерий	Баллы
1	Верно записано уравнение теплового баланса для стакана с водой	3
2	Верно записано уравнение теплового баланса для стакана со спиртом	3
3	Найдена теплоёмкость стакана	2
4	Найдена масса шарика	2
	Итого	10

Задача №4

Однородный стержень массы M=2 кг с одной стороны с помощью шарнира прикреплён к вертикальной стенке AB, а с другой стороны к пружине. Пружина другой стороной прикреплена к стенке в точке A. На стержне ровно посередине лежит груз массы m. При этом стержень горизонтален, а угол между пружиной и стенкой $\alpha=45^O$.





После того как груз убрали, величина деформации пружины изменилась в k=1,5 раза. При этом угол между пружиной и стенкой стал равным $\beta=60^{O}$.

Вопрос №1

Определите значение массы m.

Вопрос №2

Если известно, что длина пружины уменьшилась на $\Delta l=1$ см, то чему равно значение жёсткости этой пружины?

Возможное решение:

Вопрос №1

Условия равновесия для рассматриваемых ситуаций:

$(mg + Mg)\frac{l}{2} = k\Delta x_1 l \cos 45,$

$Mg\frac{l}{2}\sin 60 = k\Delta x_2 l \sin 60.$

Решая данную систему уравнений, получаем:

$m = (k\cos\alpha - 1)M = \left(1{,}5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1\right) \cdot 2 \approx 0{,}12$ кг.

Вопрос №2

Из условия:

$\Delta x_1 - \Delta x_2 = 1$ см,

и

$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = 1{,}5.$

Получаем: $\Delta x_1 = 3$ см.

Из первого условия равновесия получаем:

$k = \frac{(mg+Mg)}{2\Delta x_1 \cos 45} \approx 500\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Условие равновесия для ситуации с грузом	2
2	Условие равновесия для ситуации без груза	2
3	Решена система уравнений и определена масса 0,12 кг.	2
4	Определена деформация пружины для любой из ситуаций	2
5	Найдена жесткость пружины $500\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.	2
	Итого	10

Задача №5

Оказывается, можно выполнять достаточно серьезные эксперименты используя простейшее оборудование. В данной работе вам предлагается выполнить ряд экспериментов с инсулиновым шприцем. Его шкала проградуирована в сотых долях миллилитра и максимальное значение шкалы соответствует внутреннему объему шприца в 1 мл. Длину шкалы шприца l, то есть расстояние от деления 0 до деления 100, вам сообщит организатор в аудитории.

Вопрос №1

Определите, чему равен внешний диаметр корпуса шприца.

Вопрос №2

Определите, чему равна толщина стенки корпуса шприца.

Вопрос №3

Определите отношение массы корпуса шприца к массе поршня со штоком (внутренней подвижной части шприца).

Важно! При ответе на каждый вопрос опишите выполненный вами эксперимент. Помните, что при выполнении экспериментов можно использовать только оборудование, указанное в условии задачи. Например, использовать свою линейку, карандаш или что-либо еще категорически запрещается. При использовании оборудования, не указанного в условии задачи ваше решение будет аннулировано.

Оборудование: шприц инсулиновый, кусок нити.

Возможное решение.

Вопрос №1

Для ответа на данный вопрос сравним длину внешней окружности корпуса шприца с длиной шкалы. Для этого определим сколько раз можно отложить отрезок, равный длине шкалы шприца, на выданном нам куске нити. Пусть на длине нити укладывается N_1 длин шкалы (оставшийся кусок нити пометим, загнем, оторвем, и не будем учитывать). Теперь обмотаем корпус шприца нитью и измерим количество полных оборотов N_2. Длину нашего куска нити L мы можем выразить двумя способами: $L = N_1 l = N_2 \pi D$, где D – внешний диаметр корпуса шприца. Из уравнения $D = \frac{N_1 l}{N_2 \pi}$.

Вопрос №2

Для начала определим диаметр внутренней части корпуса шприца d. Это можно сделать, зная, что при перемещении поршня шприца к делению 100 объем внутренней части $V = 1$ мл $= 1$ см^3. С другой стороны можем записать $V = l\pi\frac{d^2}{4}$. Откуда $d = \sqrt{\frac{4V}{l\pi}}$ и h = (D - d)/2

Вопрос №3

Для ответа на третий вопрос определим положение центра масс шприца в двух случаях: когда поршень находится у отметки 0 и когда он находится у отметки 80. Для определения центра масс подвесим шприц на нити и добьёмся его равновесия. Координату центра масс шприца будем определять по его шкале. Обозначим координату центра масс в первом случае x_0, а во втором случае - x_{80}. Пусть $x_к$ – координата центра масс корпуса шприца, а $x_п$ – координата центра масс поршня

шприца (вместо со штоком), когда он расположен в положении 0. Обозначим $m_к$ и $m_п$ – массы корпуса шприца и его поршня (вместе со штоком). Тогда можем записать два уравнения:

$x_0 = \frac{x_к m_к + x_п m_п}{m_к + m_п}$ и $x_{80} = \frac{x_к m_к + (x_п + 80) m_п}{m_к + m_п}$.

Откуда $x_{80} - x_0 = \frac{80 m_п}{m_к + m_п}$. Поделив числитель и знаменатель на $m_п$ можем выразить $\frac{m_к}{m_п} = \frac{80}{x_{80} - x_0} - 1$

ВАЖНО!! В решении задачи не приведены численные ответы, так как они сильно зависят от использовавшегося на площадке оборудования.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос №1	
1	Описан корректный метод, позволяющий получить ответ на вопрос	1
2	Выполнены необходимые измерения	1
3	Верно определен внешний диаметр корпуса шприца	1
	Вопрос №2	
4	Описан корректный метод, позволяющий получить ответ на вопрос	1
5	Верно определен внутренний диаметр корпуса шприца	1
	Вопрос №3	
6	Описан корректный метод, позволяющий получить ответ на вопрос	1
7	Записаны верные уравнения, из которых может быть получена итоговая формула	1
8	Получена правильная итоговая формула	1
9	Выполнены необходимые измерения	1
10	Верно определено отношение масс. Если определено обратное отношение, то ставится половина баллов.	1
	Итого	10