

Перед Вами – вариант вступительного экзамена в 11 класс СУНЦ УрФУ с профильным изучением физики. Перед нами (кафедра физики и астрономии СУНЦ УрФУ) стоит задача: за год научить Вас тому, что позволит Вам успешно сдать ЕГЭ по физике и быть готовым к обучению в университетах на физических или инженерных специальностях. Поэтому задание почти полностью сформировано из оригинальных задач, которые требуют не простого знания формул и формулировок физических законов, но и понимания физических процессов, происходящих в задачах, умения быстро и правильно считать, делать математические преобразования, умения работать с графиками.

В начале работы внимательно прочитайте всё задание, найдите известные задачи, либо задачи, которые Вы понимаете, как решать и определите порядок решения задач. Вы не обязаны решать задачи по порядку. В задачах много вопросов, они формируют цепочку подсказок, если сумеете ими воспользоваться, то сможете решить задачу. Если не можете решить задачу полностью, то можете отвечать на некоторые вопросы задачи.

Все ответы необходимо перенести в лист ответов.

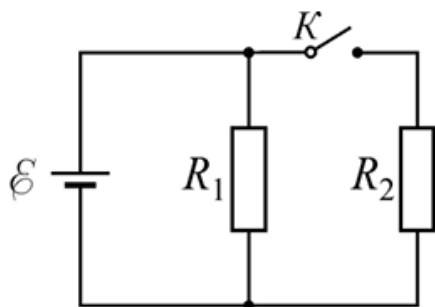
Черновик не проверяется, проверяется ТОЛЬКО чистовик.

Желаем успехов!

Во всех задачах, где это необходимо, ускорение силы тяжести, следует считать равным $g = 10 \text{ Н/кг}$

11.1. Постоянный ток (5 баллов)

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, ключ K сначала был разомкнут, а затем его замкнули. На сколько после этого изменилась тепловая мощность P , выделяющаяся в резисторе сопротивлением $R_1 = 10 \text{ Ом}$, если напряжение на участке цепи 12 В , сопротивление $r = 2 \text{ Ом}$, а сопротивление резистора $R_2 = 15 \text{ Ом}$? Ответ дайте с учётом знака.



11.1.1 Определите величину силы тока, протекавшего через R_1 до замыкания ключа (1 балл)

11.1.2 Определите величину тепловой мощности, выделявшейся на R_1 до замыкания ключа (1 балл)

11.1.3 Определите величину силы тока, протекающего через R_1 после замыкания ключа (1 балл)

11.1.4 Определите величину тепловой мощности, выделяющейся на R_1 после замыкания ключа (1 балл)

11.1.5 На сколько после этого изменилась тепловая мощность P , выделяющаяся в резисторе сопротивлением R_1 (1 балл)

Возможное решение

1. До замыкания ключа K в левой части цепи по закону Ома для полной цепи

течёт ток $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1} = 1 \text{ А,}$ и в резисторе R_1 выделяется тепловая мощность

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R_1}{(r + R_1)^2} = 10 \text{ Вт.}$$

2. После замыкания ключа ток течёт уже через оба резистора R_1 и R_2 . Согласно закону Ома для полной цепи, через батарейку течёт ток

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{r + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 1,5 \text{ А.}$$

При этом оба резистора R_1 и R_2 находятся под напряжением

$$U_2 = \mathcal{E} - I_2 r = \frac{\mathcal{E} R_1 R_2}{R_1 + R_2} = I_2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3. В резисторе R_1 при этом выделяется мощность

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_1} = I_2^2 \frac{R_1 R_2^2}{(R_1 + R_2)^2} = 8,1 \text{ Вт.}$$

4. Таким образом, изменение мощности после замыкания ключа равно:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -1,9 \text{ Вт.}$$

ОТВЕТ: $\Delta P = -1,9 \text{ Вт.}$

Задание	Ответ	Балл
10.7.1 Определите величину силы тока, протекавшего через R_1 до замыкания ключа	$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1} = 1 \text{ А,}$	1
10.7.2 Определите величину тепловой мощности, выделявшейся на R_1 до замыкания ключа	$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R_1}{(r + R_1)^2} = 10 \text{ Вт.}$	1
10.7.3 Определите величину силы тока, протекающего через R_1 после замыкания ключа	$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{r + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 1,5 \text{ А.}$	1

10.7.4 Определите величину тепловой мощности, выделяющейся на R1 после замыкания ключа	$P_2 = \frac{U_2^2}{R_1} = I_2^2 \frac{R_1 R_2^2}{(R_1 + R_2)^2} = 8,1 \text{ Вт.}$	1
10.7.5 На сколько после этого изменилась тепловая мощность Р, выделяющаяся в резисторе сопротивлением R1	$\Delta P = P_2 - P_1 = -1,9 \text{ Вт.}$	1

11.2. Система охлаждения лазера (5 баллов)

Лазер излучает световые импульсы с энергией 0,1 Дж и частотой повторения 10 Гц. КПД лазера, определяемый отношением излучаемой энергии к потребляемой, составляет 1%.

11.2.1 Запишите формулу КПД для лазера (1 балл)

11.2.2 Определите энергию, излучаемую лазером, за указанное время. (1 балл)

11.2.3 Запишите закон изменения энергии для лазера. (1 балл)

11.2.4 Какую массу воды необходимо прокачать за 1 ч через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась на 10 °С? (1 балл)

10.2.5 Насколько придется увеличить расход воды (л/мин) ,если в результате поломки эффективность охлаждения уменьшится на 30%? (1 балл)

Примечание: частота 1 Гц соответствует 1 импульсу в секунду.

Возможное решение

КПД лазера определяется формулой: $\eta = E_{\text{изл}}/E_{\text{потр}}$.

Излучаемая лазером энергия $E_{\text{изл}} = Wvt$, где W - энергия одного импульса, v - частота повторения, t - время работы лазера.

Потребляемая энергия расходуется на энергию лазерного излучения и на нагревание воды в охлаждающей системе: $E_{\text{потр}} = E_{\text{изл}} + Q$, где $Q = cm\Delta T$, c - удельная теплоёмкость воды, m - масса воды, ΔT - изменение температуры воды. Тогда КПД лазера будет равен: $\eta = Wvt/(Wvt+cm\Delta T)$ Отсюда получим: $m = (1-\eta)Wvt/\eta c\Delta T = 8,5 \text{ кг.}$

В результате поломки масса прокачанной через систему охлаждения воды возрастет до 11,05 кг, следовательно расход достигнет значения 0,18 л/мин.

Поскольку он был до поломки 0,14 л, то расход возрастет на 0,04 л/мин

Задание	Ответ	Балл
10.2.1 Определите КПД лазера	$\eta = E_{\text{изл}}/E_{\text{потр}}$	1
10.2.2 Энергия, излученная лазером за время t	$E_{\text{изл}} = Wvt$	1
10.2.3 Запишите закон изменения энергии для лазера.	$E_{\text{потр}} = E_{\text{изл}} + Q$, где $Q = cm\Delta T$	1

10.2.4Какую массу воды необходимо прокачать за 1 ч через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась на 10 °С?	$m = (1-\eta)W_{vt}/\eta c\Delta T = 8,5 \text{ кг}$	1
10.2.5Насколько придется увеличить расход воды (л/мин) ,если в результате поломки эффективность охлаждения уменьшится на 30%?	До поломки - 0,14 л/мин После поломки 0,18 л/мин Возрастет на 0,04 л/мин	1

11.3. Новые горизонты (5 баллов)

На неизвестной планете, лишённой атмосферы, космонавт уронил предмет без начальной скорости. Четыре последовательных положения которого через каждую секунду показаны на рисунке.

11.3.1 Какой путь прошел предмет за первую секунду? За вторую секунду? За третью секунду? Ответ оформите в виде таблицы.

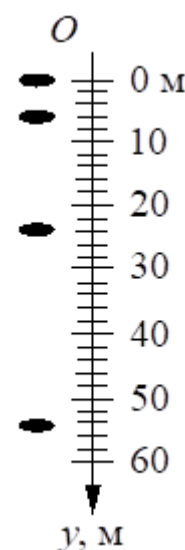
11.3.2 Обоснуйте, что движение предмета равноускоренное.

11.3.3 Определите проекцию вектора ускорения, с которым падает предмет, на направление оси у.

11.3.4 Запишите зависимость скорости предмета от времени для данного движения.

11.3.5 Запишите зависимость координаты у предмета от времени.

11.3.6 Какой путь прошел предмет за четыре секунды? За четвертую секунду?



Возможное решение:

Какой путь прошел предмет за первую секунду? За вторую секунду? За третью секунду? Ответ оформите в виде таблицы. (0,5 б)

1-я секунда	2-я секунда	3-я секунда
6 м	18 м	30 м

Обоснуйте, что движение предмета равноускоренное.

При равноускоренном движении с $v_0=0$ перемещения относятся как нечетные числа (1:3:5) (16)

Определите проекцию вектора ускорения, с которым падает предмет, на направление оси у.

Рассмотрим перемещение за 1-ю секунду. $s = \frac{at^2}{2}$ значит $a = \frac{2s}{t^2} = 12 \text{ м/с}^2$
(16)

Запишите зависимость скорости предмета от времени для данного движения..

$$v=12 \cdot t \text{ (0,5б)}$$

Запишите зависимость координаты у предмета от времени.

$$s = \frac{at^2}{2} \quad s = 6t^2 \text{ (0,5б)}$$

Какой путь прошел предмет за четыре секунды? За четвертую секунду?

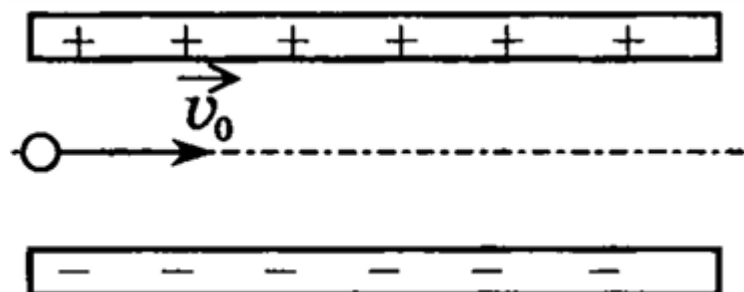
$$s = 6 \cdot 4^2 = 96 \text{ м} \quad \text{(0,5б)}$$

$$s_4 = 96 - 54 = 42 \text{ м} \quad \text{(1б)}$$

Задание	Ответ	Балл
10.3.1 Какой путь прошел предмет за первую секунду? За вторую секунду? За третью секунду?	Путь за первую секунду, м Путь за вторую секунду, м Путь за третью секунду, м 6 18 30	0,5
10.3.2 Приведите обоснование того, что движение предмета равноускоренное	При равноускоренном движении с $v_0=0$ перемещения относятся как нечетные числа (1:3:5)	1
10.3.3 Определите проекцию вектора ускорения, с которым падает предмет, на направление оси у.	$a=2 \cdot s/t^2=12 \text{ м/с}^2$	1
10.3.4 Запишите зависимость скорости предмета от времени для данного движения.	$v=12 \cdot t$	0,5
10.3.5 Запишите зависимость координаты у предмета от времени.	$s = 6t^2$	0,5
10.3.6 Какой путь прошел предмет за четыре секунды? За четвертую секунду?	$s = 6 \cdot 4^2 = 96 \text{ м}$ $s_4 = 96 - 54 = 42 \text{ м}$	1,5

11.4. Полет электрона (5 баллов)

Электрон влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $v_0 = 10^7 \text{ м/с}$ (см. рисунок). Длина пластин конденсатора $l = 5 \text{ см}$, напряженность электрического поля конденсатора $E = 10 \text{ кВ/м}$. Действием на электрон силы тяжести пренебречь. Модуль заряда электрона равен $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.



11.4.1 Определите величину и направление силы Кулона, действующей на электрон. Найдите величину и направление ускорения электрона (1 балл)

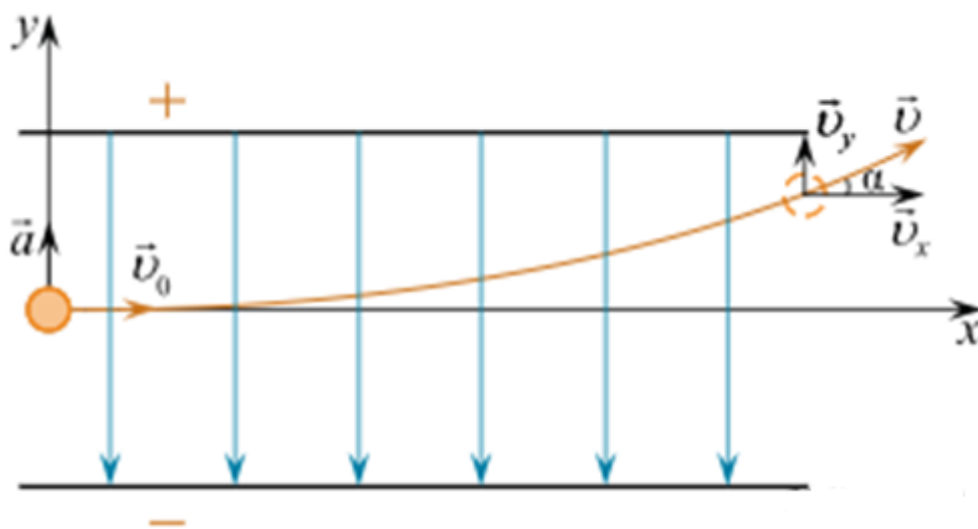
11.4.2 Определите время движения электрона внутри конденсатора (1 балл)

11.4.3 Найдите величину скорости электрона в момент вылета из конденсатора (1,5 балла)

11.4.4 Определите угол, на который отклонится вектор скорости электрона от первоначального направления движения за время пролета конденсатора (1,5 балла)

Возможное решение

Рисунок не обязателен



Напряженность поля, созданного между пластинами конденсатора, направлена от положительной пластины к отрицательной. Данное электрическое поле можно считать однородным. Оно действует на электрон с силой, равной по модулю $F = eE$ и направленной против линий напряженности, так как электрон имеет отрицательный заряд.

Под действием этой силы электрон приобретает ускорение, которое по второму закону Ньютона равно $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ и направлено так же, как действующая сила.

Проекции вектора ускорения на координатные оси равны $a_x = 0$, $a_y = a$, то есть ускорение электрона определяется по формуле $a = \frac{eE}{m}$

Таким образом, движение электрона по оси Ox является равномерным, а по оси Oy – равноускоренным без начальной скорости, поскольку $v_{0y} = 0$, траекторией является парабола.

Тогда зависимость координат электрона от времени имеет вид:

$$\begin{cases} x = v_0 t, \\ y = \frac{at^2}{2}. \end{cases}$$

Скорость электрона в момент вылета из конденсатора $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$.

Уравнения для проекции скорости: $v_x = v_0$, $v_y = at$, при этом скорость при вылете направлена по касательной к траектории.

В момент вылета из конденсатора $x = l = v_0 t$ поэтому $t = \frac{l}{v_0}$

Модуль скорости электрона в момент вылета из конденсатора

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (at)^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{eE}{m} \cdot \frac{l}{v_0}\right)^2},$$

$$v = \sqrt{(10^7)^2 + \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,05}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^7}\right)^2} = 1,33 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Определим косинус угла между вектором скорости и горизонталью

$$\cos \alpha = \frac{v_x}{v} = \frac{v_0}{v}$$

Следовательно, электрон вылетает под углом к горизонтали

$$\alpha = \arccos\left(\frac{v_0}{v}\right) = \arccos\left(\frac{10^7}{1,33 \cdot 10^7}\right) \approx 41^\circ$$

Возможно найти тангенс угла между вектором скорости и горизонталью

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{at}{v_0} = \frac{eE}{m} \cdot \frac{l}{v_0^2}$$

Следовательно, электрон вылетает под углом к горизонтали

$$\alpha = \arctg\left(\frac{eE}{m} \cdot \frac{l}{v_0^2}\right) \approx 41^\circ$$

Ответ $v = 1,33 \cdot 10^7 \text{ м/с}$, $\alpha \approx 41^\circ$

Задание	Ответ	Балл
11.4.1 Определите величину и направление силы Кулона, действующей на электрон. Найдите величину и направление ускорения электрона	$F = eE$, $1,6 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$ $a = \frac{eE}{m}$, $1,75 \cdot 10^{15} \text{ м/с}^2$	1
11.4.2 Определите время движения электрона внутри конденсатора	$t = \frac{l}{v_0}$	1
11.4.3 Найдите величину скорости электрона в момент вылета из конденсатора	$v = \sqrt{(10^7)^2 + \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,05}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^7}\right)^2} = 1,33 \cdot 10^7$	1,5

11.4.4	Определите угол, на который отклонится вектор скорости электрона от первоначального направления движения за время пролета	$\alpha = \arctg\left(\frac{eE}{m} \cdot \frac{l}{v_0^2}\right) \approx 41^\circ$	1,5
--------	---	---	-----

11.5. Импульс (5 баллов)

Два пластилиновых шарика с массами $3m$ и m ($m=100$ г), летящие навстречу друг другу с

одинаковыми по модулю скоростями, при столкновении слипаются.

11.5.1 Каким был модуль скорости каждого из шариков перед столкновением, если сразу после столкновения скорость шариков стала равной $0,5$ м/с? Временем взаимодействия шариков пренебречь. (1 балл)

11.5.2 На сколько изменилась кинетическая энергия каждого из шариков в результате столкновения? Как изменилась полная энергия системы в результате столкновения? (0,5 балла)

11.5.3 Найдите количество теплоты, которое выделилось в результате столкновения шариков? (0,5 балла)

11.5.4 Вместо пластилиновых шариков сталкиваются два абсолютно упругих стальных шарика с массами $3m$ и m ($m=100$ г), летящие навстречу друг другу с такими же одинаковыми по модулю скоростями. Как теперь изменилась полная энергия системы в результате столкновения? (0,5 балла)

11.5.5 Какими станут скорости этих стальных шариков после этого абсолютно упругого столкновения? Найдите модули и направления векторов этих скоростей. (1,5 балла)

Возможное решение:

- Каким был модуль скорости каждого из шариков перед столкновением, если сразу после столкновения скорость шариков стала равной $0,5$ м/с? Временем взаимодействия шариков пренебречь.

$$3mv - mv = 4m \cdot 0,5v$$

$$v = 1 \text{ м/с} \quad (1 \text{ б})$$

- На сколько изменилась кинетическая энергия каждого из шариков в результате столкновения? Как изменилась полная энергия системы в результате столкновения?

Изменение кинетической энергии тела массой $3m$:

$$\Delta E_1 = \frac{3m(0,5v)^2}{2} - \frac{3mv^2}{2} = \frac{3mv^2(0,25-1)}{2} = -0,1125 \text{ Дж}$$

Изменение кинетической энергии тела массой m :

$$\Delta E_2 = \frac{m(0,5v)^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = \frac{mv^2(0,25-1)}{2} = -0,0375 \text{ Дж} \quad (0,25 \text{ б})$$

Изменение полной энергии системы:

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = -0,15 \text{ Дж} \quad (0,25 \text{ б})$$

- Найдите количество теплоты, которое выделилось в результате столкновения шариков? Изменение полной энергии и будет равно выделившемуся количеству теплоты.

$$Q = 0,15 \text{ Дж} \quad (0,5 \text{ б})$$

- Вместо пластилиновых шариков сталкиваются два абсолютно упругих стальных шарика с массами $3m$ и m ($m=100 \text{ г}$), летящие навстречу друг другу с такими же одинаковыми по модулю скоростями (1 м/с). Как теперь изменилась полная энергия системы в результате столкновения?

При абсолютно упругом ударе полная энергия системы не изменяется. **(0,5 б)**

- Какими станут скорости этих стальных шариков после этого абсолютно упругого столкновения? Найдите модули и направления векторов этих скоростей.

$$\begin{aligned} 3mv - mv &= 3m \cdot v_{1x} + m \cdot v_{2x} \\ \frac{3mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} &= \frac{3mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \end{aligned}$$

(1 б)

После решения этой системы уравнений получаем 2 решения

Первое: $v_{1x} = 1 \text{ м/с} \quad v_{2x} = -1 \text{ м/с}$

Данное решение не имеет физического смысла (шарики прошли сквозь друг друга) **(0,5 б)**

Второе: $v_{1x} = 0 \text{ м/с} \quad v_{2x} = 2 \text{ м/с}$

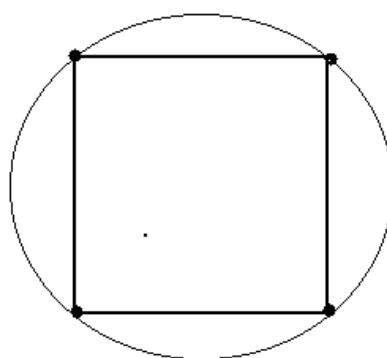
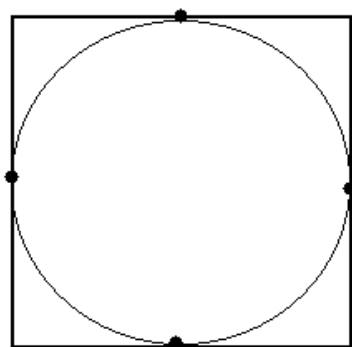
Решение имеет физический смысл. **(1 б)**

Задание	Ответ	Балл
10.5.1 Каким был модуль скорости каждого из шариков перед столкновением, если сразу после столкновения скорость шариков стала равной $0,5 \text{ м/с}$? Временем взаимодействия шариков пренебречь.	$3mv - mv = 4m \cdot 0,5v$ $v = 1 \text{ м/с}$	1
10.5.2 На сколько изменилась кинетическая энергия каждого из шариков в результате столкновения? Как изменилась полная энергия системы в результате столкновения?	$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = -0,15 \text{ Дж}$	0,5
10.5.3 Найдите количество теплоты, которое выделилось в результате столкновения шариков?	$Q = 0,15 \text{ Дж}$	0,5
10.5.4 Вместо пластилиновых шариков сталкиваются два абсолютно упругих стальных шарика с массами $3m$ и m ($m=100 \text{ г}$), летящие навстречу друг другу с такими же одинаковыми по модулю скоростями. Как теперь изменилась полная энергия системы в результате столкновения?	При абсолютно упругом ударе полная энергия системы не изменяется	0,5

10.5.5	Какими станут скорости этих стальных шариков после этого абсолютно упругого столкновения? Найдите модули и направления векторов этих скоростей.	Первое: $v_{1x} = 1$ м/с $v_{2x} = -1$ м/с Данное решение не имеет физического смысла (шарики прошли сквозь друг друга) Второе: $v_{1x} = 0$ м/с $v_{2x} = 2$ м/с Решение имеет физический смысл.	2,5
--------	---	--	-----

11.6. Квадратура круга(5 баллов)

Имеющий неумное любопытство, кусачки и две одинаковые проволоки длиной L ученик решил проверить, при каком способе соединения сопротивление получившейся цепи будет наибольшим. Он нарезал, согнул и спаял каждую проволоку так, что в одном случае получилась окружность вписанная в квадрат, а во втором - квадрат, вписанный в окружность. Сопротивление он измерял, подключив омметр в лежащие напротив, через центр окружности, точки касания для обеих полученных цепей.



11.6.1 Сделайте чертеж электрической цепи, полученной из этих проволок и преобразуйте его (1,5 балла)

11.6.2 Определите, как в результате проделанных манипуляций изменились удельное электрическое сопротивление проволок и площадь их поперечного сечения (0,5 балла)

11.6.3 Выразите все характерные геометрические размеры через длину проволоки L (1 балл)

11.6.4 Найдите величину электрического сопротивления каждой из цепей (1,5 балла)

11.6.5 Найдите величину отношения электрических сопротивлений цепей (0,5 балла)

Возможное решение:

:

Поскольку круг и квадрат правильные фигуры, то в силу симметрии, получается цепь, состоящая из четырех одинаковых элементов сопротивления, включенных последовательно по два в две ветви. Таким образом в каждом случае сопротивление всей цепи сводится к величине сопротивления отдельного участка параллельного включения.

Для расчета величины сопротивления заметим, что сечение проволоки и ее материал остаются неизменными.

Заметим, что в первом случае, при касании внутренним образом круга и квадрата, сторона квадрата будет $2R$, где R - радиус окружности. Во втором случае, когда квадрат внутренним образом касается круга, обозначим его сторону A , тогда

радиус окружности $\frac{\pi A\sqrt{2}}{2}$

$L = 8R + 2\pi R$ и $L = 4A + \pi A\sqrt{2}$ - выражения для длин проволоки в первом и втором случае. Тогда сопротивления упомянутых участков можно найти через выражения

$$R_1 = \frac{\rho}{S} \left(\frac{\frac{\pi R}{2} 2R}{\frac{\pi R}{2} + 2R} \right) \quad R_2 = \frac{\rho}{S} \left(\frac{\frac{\pi A\sqrt{2}}{2} A}{\frac{\pi A\sqrt{2}}{2} + A} \right)$$

Преобразуя выражения, находим, что отношение примерно равно 0.75

Задание	Ответ	Балл
10.6.1 Сделайте чертеж электрической цепи, полученной из этих проволок и преобразуйте его		1.5
10.6.2 Определите, как в результате проделанных манипуляций изменились удельное электрическое сопротивление проволок и площадь их поперечного сечения	Не изменились	0,5
10.6.3 Выразите все характерные геометрические размеры через длину проволоки L	$R = \frac{L}{8 + 2\pi} \quad A = \frac{L}{4 + \pi\sqrt{2}}$	1
10.6.4 Найдите величину электрического сопротивления каждой из цепей	$R_1 = \frac{\rho}{S} \left(\frac{\frac{\pi R}{2} 2R}{\frac{\pi R}{2} + 2R} \right) \quad R_2 = \frac{\rho}{S} \left(\frac{\frac{\pi A\sqrt{2}}{2} A}{\frac{\pi A\sqrt{2}}{2} + A} \right)$	1.5
10.6.5 Найдите величину отношения электрических сопротивлений цепей	0.75	0.5

11.7. Брошенный мячик (5 баллов)

Мячик бросили вверх под углом 60° к горизонту с начальной скоростью 10 м/с. Какой угол к горизонту будет составлять скорость мячика через 0,366 с? Сопротивлением воздуха пренебречь.

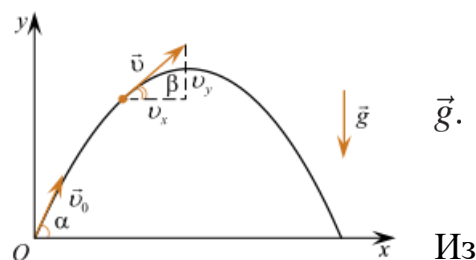
11.7.1 Определите характер движения тела.

11.7.2 Сделайте рисунок, укажите на нем положение мячика и направление его скорости в начальный момент времени и через 0,366 с

11.7.3 Запишите уравнения для скорости и проекций скорости тела

11.7.4 Найдите угол, который будет составлять скорость мячика через 0,366 с

Возможное решение. Поскольку сопротивление воздуха отсутствует, то движение мяча - равноускоренное с ускорением $\vec{g}$. Траекторией движения мячика будет являться парабола. В любой момент времени скорость тела направлена по касательной к траектории.



Из

рисунка следует, что $\operatorname{tg} \beta = \frac{v_y}{v_x}$.

Так как $g_x = 0$, то по оси Ox движение равномерное.

Следовательно, $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$.

По оси Oy движение с ускорением g , поэтому:

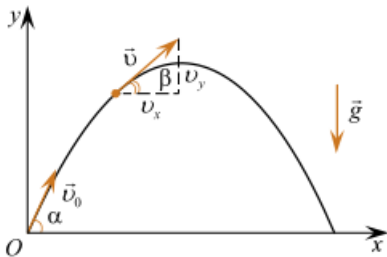
$$v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt.$$

Таким образом, получаем:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{v_0 \sin \alpha - gt}{v_0 \cos \alpha} = \frac{10 \cdot \sin 60^\circ - 10 \cdot 0,366}{10 \cdot 0,5} \approx 1.$$

Следовательно, скорость мяча будет составлять с горизонтом угол $\beta \approx 45^\circ$.

Ответ: 45° .

Задание	Ответ	Балл
11.7.1 Определите характер движения тела.	Поскольку сопротивление воздуха отсутствует, то движение мяча - равноускоренное с ускорением $\vec{g}$. Траекторией движения мячика будет являться парабола	1
11.7.2 Сделайте рисунок, укажите на нем положение мячика и направление его скорости в начальный момент времени и через 0,366 с		1
11.7.3 Запишите уравнения для скорости и	Так как $g_x = 0$, то по оси Ox движение равномерное.	1

проекций скорости тела	Следовательно, $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$.	
11.7.4 Найдите угол, который будет составлять скорость мячика через 0,366 с	$\operatorname{tg} \beta = \frac{v_y}{v_x} \quad \beta \approx 45^\circ.$ $\operatorname{tg} \beta = \frac{v_0 \sin \alpha - gt}{v_0 \cos \alpha} = \frac{10 \cdot \sin 60^\circ - 10 \cdot 0,366}{10 \cdot 0,5} \approx 1,$	2

11.8 Влажность (5 баллов)

Сосуд разделён тонкой перегородкой на две части, отношение объёмов которых $\frac{V_2}{V_1} = 3$.

В первой части сосуда находится воздух с относительной влажностью $\varphi_1 = 80\%$. Какой была влажность воздуха во второй части сосуда, если после того, как перегородку убрали, в сосуде установилась относительная влажность 50%? Считать, что температура воздуха в частях сосуда одинакова и не изменилась после снятия перегородки.

11.8.1 Запишите, как изменилась суммарная масса водяного пара после снятия перегородки (1 балл)

11.8.2 Определите относительную влажность в каждом из трех случаев (1 балл)

11.8.3 Как меняется плотность насыщенного водяного пара в описанном процессе? (1 балла)

11.8.4 Определите относительную влажность воздуха во второй части сосуда до снятия перегородки (2 балла)

Возможный вариант решения:

После снятия перегородки суммарная масса паров воды сохраняется прежней:

$$\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 = \rho (V_1 + V_2),$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотности паров воды в объёмах V_1 и V_2 соответственно, ρ – плотность паров после устранения перегородки. Поделим все части уравнения на плотность насыщенных паров воды ρ_i при той же температуре:

$$\frac{\rho_1}{\rho_i} V_1 + \frac{\rho_2}{\rho_i} V_2 = \frac{\rho}{\rho_i} (V_1 + V_2).$$

Согласно определению относительной влажности

$$\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\rho_i},$$

$$\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\rho_i}, \quad \varphi_2 = \frac{\rho_2}{\rho_i}, \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_i},$$

так что имеем:

$$\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2 = \varphi (V_1 + V_2).$$

Отсюда:

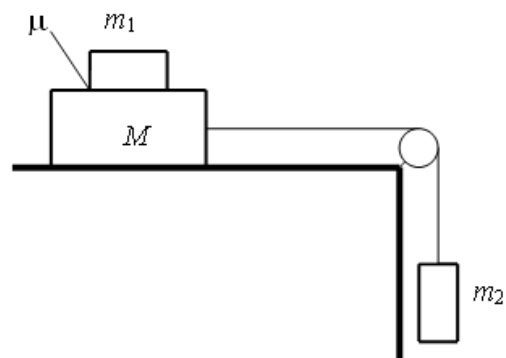
$$\varphi_2 = \frac{\varphi(V_1 + V_2) - \varphi_1 V_1}{V_2} = \frac{\varphi(1 + \frac{V_2}{V_1}) - \varphi_1}{\frac{V_2}{V_1}} = \frac{0,5 \cdot (1 + 3) - 0,8}{3} = 0,4 = 40\%$$

Ответ: $\varphi_2 = 40\%$

Задание	Ответ	Балл
11.8.1 Запишите, как изменилась суммарная масса водяного пара после снятия перегородки	После снятия перегородки суммарная масса паров воды сохраняется прежней: $\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 = \rho(V_1 + V_2)$	1
11.8.2 Определите относительную влажность в каждом из трех случаев	$\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\rho_i}, \quad \varphi_2 = \frac{\rho_2}{\rho_i}, \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_i}$	1
11.8.3 Как меняется плотность насыщенного водяного пара в описанном процессе?	Плотность насыщенного водяного пара не меняется из-за постоянства температуры	1
11.8.4 Определите относительную влажность воздуха во второй части сосуда до снятия перегородки	$\varphi_2 = \frac{\varphi(V_1 + V_2) - \varphi_1 V_1}{V_2} = \frac{\varphi(1 + \frac{V_2}{V_1}) - \varphi_1}{\frac{V_2}{V_1}} = \frac{0,5 \cdot (1 + 3) - 0,8}{3} = 0,4 = 40\%$	2

11.9 Динамика (5 баллов)

Система грузов M , m_1 и m_2 , показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола – горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами M и m_1 равен $\mu = 0,2$. Грузы M и m_2 связаны невесомой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть $M = 1,2$ кг, $m_1 = m_2 = m$.



11.9.1 Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. (1 балл)

11.9.2 Запишите второй закон Ньютона для указанной системы тел. (1 балл)

11.9.3 При каких значениях m грузы M и m_1 движутся как одно целое? (3 балла)

Возможное решение

Обоснование

1. Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной со столом. При нахождении ускорений тел будем применять второй закон Ньютона, сформулированный для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и о воздух пренебрежём; блок будем считать невесомым.

Пока грузы M и m_1 движутся как одно целое, будем считать их одним телом $M + m$ сложной формы. На рисунке показаны внешние силы, действующие на это тело и на груз m_2 .

2. Так как нить нерастяжима, ускорения грузов равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a. \quad (1)$$

3. Так как блок и нить невесомы и трения в блоке нет, то силы натяжения нити, действующие на грузы, соединенные нитью, одинаковы по модулю: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$

Решение

Запишем второй закон Ньютона для каждого из тел в проекциях на оси Ox и Oy введенной системы координат:

$$\left. \begin{array}{l} Ox: (M + m)a_1 = T_1 \\ Oy: ma_2 = mg - T_2 \end{array} \right\}$$

Учтем, что

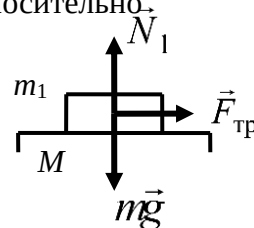
$$T_1 = T_2 = T, \quad a_1 = a_2 = a \text{ и сложим уравнения.}$$

Получим:

$$(M + 2m)a = mg, \text{ откуда } a = g \frac{m}{M + 2m}.$$

3. Рассмотрим груз m_1 отдельно. Запишем для него второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy и учтем, что груз m_1 покоится относительно груза M :

$$\left. \begin{array}{l} Ox: ma = F_{\text{тр}} \\ Oy: mg - N_1 = 0 \\ F_{\text{тр}} \leq \mu N_1 \end{array} \right\}$$



Получим:

$$ma \leq \mu N_1 = \mu mg, \text{ откуда } a = g \frac{m}{M + 2m} \leq \mu g.$$

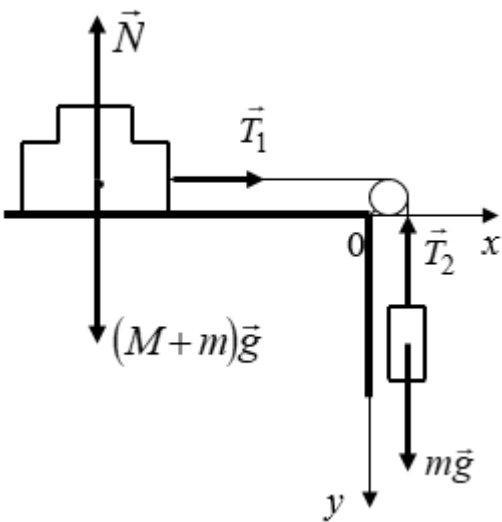
Решая неравенство

$$\frac{m}{M + 2m} \leq \mu$$

относительно m , получим:

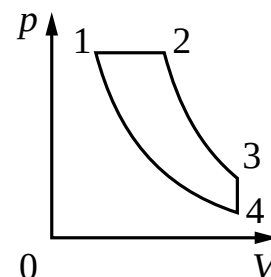
$$m \leq \frac{\mu M}{1 - 2\mu} = 0,4 \text{ кг.}$$

Задание	Ответ	Балл
---------	-------	------

11.9.1 Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела		1
11.9.2 Запишите второй закон Ньютона для указанной системы тел.	$\left. \begin{aligned} O_x: ma &= F_{\text{тр}} \\ O_y: mg - N_1 &= 0 \\ F_{\text{тр}} &\leq \mu N_1 \end{aligned} \right\}$	1
11.9.3 При каких значениях m грузы M и m1 движутся как одно целое?	$m \leq \frac{\mu M}{1 - 2\mu} = 0,4 \text{ кг}$	3

11.10 Термодинамика (5 баллов)

Тепловой двигатель использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображён на pV -диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры, изобары. КПД этого цикла $\eta = 15\%$, а минимальная и максимальная температуры газа при изохорном процессе $t_{\min} = 37^\circ\text{C}$ и $t_{\max} = 302^\circ\text{C}$



11.10.1 Укажите тип для каждого из приведенных на графике процессов (1 балл)

11.10.2 Определите, в каких точках на графике температура будет максимальной и минимальной. (1 балл)

11.10.3 Запишите формулу КПД для данного цикла. (0,5 балла)

11.10.4 Запишите первое начало термодинамики для определения количества теплоты отданного холодильнику и полученного от нагревателя с указанием процессов, в которых это происходило (2 балла)

11.10.5 Определите количество теплоты, полученное газом за цикл (0,5 балла)

Возможный вариант решения:

При изобарном расширении на участке 1–2 газ получает от нагревателя количество теплоты Q_{12} , а на участке 3–4 отдаёт холодильнику в изохорном процессе количество теплоты Q_{34} . На других участках теплообмен отсутствует. В соответствии с первым началом термодинамики работа газа за цикл A равна

разности количества теплоты, полученной от нагревателя и отданной холодильнику: $A = Q_{12} - Q_{34}$.

По определению КПД теплового двигателя $\eta = \frac{A}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}}$, что позволяет

найти теплоту, полученную от нагревателя: $Q_{12} = \frac{Q_{34}}{1 - \eta}$, если известно Q_{34} .

Количество теплоты Q_{34} , отданное при изохорном охлаждении на участке 3–4, равно уменьшению внутренней энергии газа этом участке: $Q_{34} = |\Delta U_{34}|$.

Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна абсолютной

температуре, и для 1 моль одноатомного газа $U = \frac{3}{2}RT$,

а модуль её изменения на участке 3–4

$$|\Delta U_{34}| = \frac{3}{2}R(T_3 - T_4) = \frac{3}{2}R(t_3 - t_4).$$

В итоге получим:

$$Q_{12} = \frac{Q_{34}}{1 - \eta} = \frac{3}{2} \frac{R(t_{\max} - t_{\min})}{1 - \eta},$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,31 \cdot 265}{0,85} \approx 3886 \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q_{12} \approx 3886 \text{ Дж}$

.

11.10 Термодинамика

Задание	Ответ	Балл
11.10.1 Укажите тип для каждого из приведенных на графике процессов	12 – изобара 23 – адиабата 34 – изохора 41- адиабата	1
11.10.2 Определите, в каких точках на графике температура будет максимальной и минимальной	T2 – max T4 - min	1
11.10.3 Запишите формулу КПД для данного цикла	$\eta = \frac{A}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}}$	0,5
11.10.4 Запишите первое начало термодинамики для определения количества теплоты отданного холодильнику и полученного от нагревателя с указанием процессов, в которых это происходило	$ \Delta U_{34} = \frac{3}{2} R(T_3 - T_4) = \frac{3}{2} R(t_3 - t_4)$ $Q_{12} = \frac{Q_{34}}{1 - \eta} = \frac{3}{2} \frac{R(t_{\max} - t_{\min})}{1 - \eta}$	2
11.10.5 Определите количество теплоты, полученное газом за цикл	$Q_{12} \approx 3886 \text{ Дж}$	0.5