Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике. 2022-23 учебный год. 10 класс. Максимальный балл – 50.

Задача №1

Кипятильник мощностью $P_1 = 200$ Вт, помещенный в кастрюлю с $V = 1$ литром воды, способен нагреть её максимально до $t_1 = 60$ °C (больше вода не нагревается). Другой кипятильник, мощностью $P_2 = 400$ Вт нагревает эту же воду максимум до $t_2 = 95$ °C. Определите:

1) комнатную температуру t_0;

2) за какое время τ третий кипятильник мощностью $P_3 = 600$ Вт, полностью превратит в пар тоже самое количество воды, уже нагретой до $t_3 = 100$ °C в той же кастрюле.

Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м^3. Удельная теплота парообразования воды $L = 2{,}2 \cdot 10^6$ Дж/кг. Температура окружающего воздуха постоянна. Считать, что рассеяние тепла в окружающее пространство идет только с открытой поверхности воды.

Автор: Гусев Андрей Владиславович

Возможно решение

Вопрос №1.

Максимальная температура нагрева воды определяется условием равенства мощности кипятильника и мощности тепловых потерь, которая зависят от разности температур воды и окружающей среды. Для первого кипятильника:

$P_1 = \alpha(t_1 - t_0)$.

Для второго кипятильника:

$P_2 = \alpha(t_2 - t_0)$.

Решая данную систему из двух уравнений, получаем, что:

$$t_0 = \frac{P_2 t_1 - P_1 t_2}{P_2 - P_1} = \frac{400 \cdot 60 - 200 \cdot 95}{400 - 200} = 25\ °\text{C}.$$

Вопрос №2.

Зная t_0 можем выразить $\alpha = \frac{200}{35} = 5{,}71$ Вт/°C.

Тепло, выделяемое третьим кипятильником идет как на испарение воды, так и отводится в окружающую среду, поэтому можем записать $P_3\tau = \alpha(t_3 - t_0)\tau + Lm$, где $m = \rho V = 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 1$ кг – масса воды.

Подставив численные значения получаем:

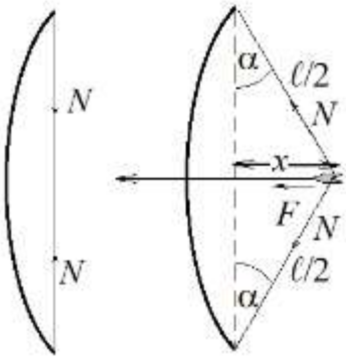
$\tau = \frac{Lm}{P_3 - \alpha(t_3 - t_0)} \approx 12800$ с ≈ 214 мин $\approx 3{,}56$ часа.

Критерии оценивания

№	Критерий	Баллы
1	Уравнение мощности тепловых потерь $P = \alpha(t - t_0)$	1
2	Уравнение для мощности первого кипятильника $P_1 = \alpha(t_1 - t_0)$	1
3	Уравнение для мощности второго кипятильника $P_2 = \alpha(t_2 - t_0)$	1
4	Определена комнатная температура $t_0 = 25$ °C	2
5	Уравнение теплового баланса для третьего кипятильника $P_3\tau = \alpha(t_3 - t_0)\tau + Lm$	2
6	Найдена масса воды	1
7	Определено искомое время (формула + число) $\tau = \frac{Lm}{P_3 - \alpha(t_3 - t_0)} \approx 12800$ с ≈ 214 мин $\approx 3{,}56$ часа	1+1

Задача №2

Большой эльфийский лук можно рассматривать как упругий стержень, согнутый в дугу, концы которой стянуты тонкой нерастяжимой нитью (тетивой). Перед выстрелом стрелок отклоняет предварительно натянутую тетиву, совершая при этом работу своей рукой. Эта работа затрачивается на увеличение потенциальной энергии деформации изгиба лука. В момент выстрела стрелок отпускает тетиву, лук распрямляется, а тетива восстанавливает прямолинейную форму, ускоряя стрелу.



1. В первом приближении можно считать, что сила N натяжения тетивы в процессе выстрела остаётся неизменной. Покажите, что сила F, действующая на стрелу, является упругой, т.е. её величина пропорциональна x – отклонению тетивы от прямолинейного положения (см. рисунок).
2. Найти коэффициент упругости лука $k = \frac{F}{x}$.
3. Выразите максимальную потенциальную энергию деформации лука, через длину тетивы лука l, силу натяжения тетивы N и максимальную величину отклонения тетивы от равновесного положения $x_{\text{макс}}$.
4. Определить максимальную дальность стрельбы из лука, если: масса стрелы $m = 50$ г, $l = 2$м, перед выстрелом лучник удерживает стрелу с силой $F = 200$ Н, величина силы натяжения тетивы $N = 200$ Н.

Автор: Лисицын Сергей Григорьевич

Возможное решение

Вопрос №1.

При натяжении лука половинки тетивы отклоняются от прямолинейного направления, создавая силу, действующую на стрелу $F = 2N sin\alpha$. С другой стороны, согласно рисунку $sin\,\alpha = 2x/l$, поэтому $F = \frac{4N}{l}x$ (1).

Вопрос №2.

Коэффициент упругости, согласно (1), равен $k = \frac{4N}{l}$.

Вопрос №3.

Потенциальная энергия в таком случае, как известно, зависит от квадрата x: $U = \frac{kx^2}{2} = \frac{2N}{l}x^2$, тогда $U_{\text{макс}} = \frac{kx^2}{2} = \frac{2N}{l}x^2_{\text{макс}}$.

Вопрос №4.

Выражая x через F, можно записать потенциальную энергию в различных видах:

$$U = \frac{kx^2}{2} = \frac{Fx}{2} = \frac{F^2}{2k}$$

$$U = \frac{2N}{l}x^2 = \frac{Fx}{2} = \frac{l}{8N}F^2$$

После того как стрелу освободили, она начинает двигаться под действием силы F.

Максимальная скорость стрелы v_0 находится из закона сохранения энергии: $\frac{mv_0^2}{2} = U_{\text{макс}}$.

Дальность S полёта стрелы зависит от квадрата начальной скорости и угла α между направлением начальной скорости и горизонтом $S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.

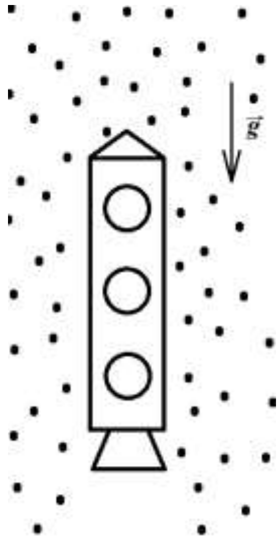
Максимальная дальность достигается при α=45°: $S_{\text{макс}} = \frac{v_0^2}{g}$.

Подставляя сюда найденную скорость стрелы, находим дальность: $S_{\text{макс}} = \frac{U_0^2}{g} = \frac{2U_{\text{макс}}}{mg} = \frac{lF^2}{4mgN} = 200$ м.

Критерии оценивания

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Записано условие равновесия для тетивы F=2N·sinα	1
2	Найдена связь между углом наклона тетивы и перемещением стрелы x sin α = 2x/λ,	1
3	Выражена сила $F = \frac{4N}{l}x$ Примечание: знак не важен.	1
4	Выписано значение коэффициента упругости $k = \frac{4N}{\ell}$.	1
5	Найдена максимальная потенциальна энергия лука $U_{\text{макс}} = \frac{2N}{l}x_{\text{макс}}^2$	1
6	Запись закона сохранения энергии $\frac{mv_0^2}{2} = U_{max}$.	1
7	Записано выражение для дальности полёта тела, брошенного под углом к горизонту $S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.	1
8	Указано, что максимальная дальность достигается при угле 45°	1
9	Определена максимальная дальность стрельбы $S_{\text{макс}} = \frac{lF^2}{4mgN} = 200$ м. Формула + число	1+1

Задача №3



В однородном пылевом облаке вертикально с постоянной сокростью v движется цилиндрическая ракета с площадью поперечного сечения S. Корпус ракеты испытывает неупругие соударения с пылинками, находящимися во взвешенном состоянии (неподвижны относительно земли), которые налипают на ракету. Масса ракеты вместе с топливом, находящимся на борту, и налипшими пылинками остается постоянной и равна M. Массовый расход топлива (масса топлива, выбрасываемая реактивными двигателями в единицу времени) равен μ. Объёмом осевших пылинок можно пренебречь. Ускорение свободного падения g направлено против движения ракеты.

<u>**Вопрос №1**</u>: Выразите плотность пылевого облака ρ.

<u>**Вопрос №2**</u>: Выразите скорость истечения газов u относительно ракеты.

Параллельно первой ракете в том же облаке равномерно движется вторая с той же площадью поперечного сечения S и скоростью истечения газов относительно ракеты u, но с другим массовым расходом топлива $\mu' = \frac{4}{5}\cdot\mu$ и другой массой M', также остающейся постоянной (масса ракеты + масса топлива на борту + масса налипшей пыли).

<u>**Вопрос №3**</u>: Во сколько раз скорость второй ракеты υ' отличается от скорости первой ракеты?

<u>**Вопрос №4**</u>: Определите массу M' второй ракеты.

Автор: Калашников Олег Германович

Возможное решение:

<u>**Вопрос №1**</u>: Рассмотрим процесс движения ракеты за небольшой временной промежуток dt.

На ракету осядет пыль массой $dm_1 = \rho\cdot S\cdot\upsilon\cdot dt$

Выход топлива составит $dm_2 = \mu\cdot dt$

По условию: $M = const$. Значит, $dm_1 = dm_2$. То есть $\rho\cdot S\cdot\upsilon\cdot dt = \mu\cdot dt$. Отсюда $\rho = \frac{\mu}{S\cdot\upsilon}$.

<u>**Вопрос №2**</u>: Запишем закон сохранения (изменения) импульса для ракеты вместе с вылетающим из нее топливом и налипающими пылинками в проекциях на вертикальную ось:

$$\rho\cdot S\cdot\upsilon\cdot dt\cdot(\upsilon-0)+\mu\cdot dt\cdot((\upsilon-u)-\upsilon) = -M\cdot g\cdot dt$$

$$\rho\cdot S\cdot\upsilon\cdot\upsilon+\mu\cdot(-u) = -M\cdot g$$

$$\mu\cdot u = M\cdot g+\rho\cdot S\cdot\upsilon^2 = M\cdot g+\mu\cdot\upsilon$$

$$u = \upsilon+\frac{M\cdot g}{\mu}$$

<u>**Вопрос №3**</u>: $\rho = const$ и $S = const$, $\mu' = \frac{4}{5}\cdot\mu$

Из уравнений пункта 1 получаем прямую пропорциональность μ и υ.

Значит, $\upsilon' = \frac{4}{5}\cdot\upsilon$.

<u>**Вопрос №4**</u>:

$$u = \upsilon'+\frac{M'\cdot g}{\mu'} = \frac{4}{5}\upsilon+\frac{M'\cdot g}{\frac{4}{5}\mu} = \frac{4}{5}\cdot\upsilon+\frac{5}{4}\cdot\frac{M'\cdot g}{\mu}$$

$$\upsilon+\frac{M\cdot g}{\mu} = \frac{4}{5}\cdot\upsilon+\frac{5}{4}\cdot\frac{M'\cdot g}{\mu}$$

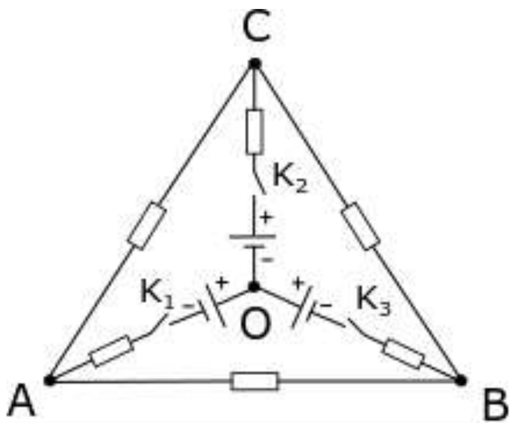
$$\frac{1}{5}v+\frac{M\cdot g}{\mu} = \frac{5}{4}\cdot\frac{M'\cdot g}{\mu}$$

$$M' = \frac{4}{5}M + \frac{4\mu v}{25g}$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Кол-во баллов
1	В каком-либо виде указаны два процесса, влияющие на изменение массы ракеты: оседание пыли (0,5 балла) и расход топлива (0,5 балла).	$0{,}5 + 0{,}5$
2	Записано условие сохранения массы ракеты.	0,5
3	Получено выражение $\rho = \frac{\mu}{S \cdot \upsilon}$	0,5
4	Записан закон сохранения импульса ракеты: 1 балл – верно с учетом знаков записано изменение импульса пыли 1 балл - верно с учетом знаков записано изменение импульса топлива 1 балл – верно с учетом знаков записан импульс силы тяжести ЛИБО 0,5 балла – указано, что на ракету действуют сила тяжести, реактивная сила и сила сопротивления. 0,5 балла – записано условие равновесия $F_{\text{реак}} = Mg + F_{\text{сопр}}$ 0,5 балла – записано выражение $F_{\text{реак}} = \mu u$ (вывод не требуется) 0,5 балла – записано $\mathrm{F}_{\text{сопр}} = \rho S v^2$ (даже если без вывода) 1 балл – формула для силы сопротивления выведена	3
5	Получено выражение для $u = \upsilon + \frac{M \cdot g}{\mu}$ (при ошибке в знаке ставится 0 баллов).	1
6	Условие постоянства массы для второй ракеты	0,5
7	Найдена скорость второй ракеты $\upsilon' = \frac{4}{5} \cdot \upsilon$	0,5
8	Записано уравнение $u = \upsilon' + \frac{M' \cdot g}{\mu'}$ или аналогичное	1
9	Найдена масса второй ракеты $M' = \frac{4}{5}M + \frac{4\mu v}{25g}$. Если в конечном ответе присутствуют величины, которые не известны по условию задачи, при этом в решении участника эти величины выражены через известные и при их подстановке получится правильный отве, то ставится 0,5 балла.	2

Задача №4



Три идеальных источника, с напряжениями U подключены в цепь, как показано на рисунке. Сопротивления всех резисторов равны R. Изначально все ключи разомкнуты.

<u>Вопрос №1</u>: Чему равен ток на участке AB, после замыкания K_1?

<u>Вопрос №2</u>: Чему равен ток на участке AC после замыкания K_2, при замкнутом K_1?

<u>Вопрос №3</u>: Чему равен ток на участке CB после замыкания K_3, при замкнутых K_1 и K_2?

Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

Возможное решение.

<u>Вопрос №1</u>:

Если замкнуть только ключ 1, то в цепи не будет замкнутого участка, содержащего источник, поэтому ни в одном участке цепи ток течь не будет. Ответ I_1=0 А.

<u>Вопрос №2</u>:

При замкнутых ключах K_1 и K_2 ток по участку OB протекать не будет, поэтому его можно не рассматривать. Оставшаяся цепь представляет собой два источника, соединенных последовательно, и соединение резисторов (R_{CB}, R_{BA} – последовательно, R_{CA} параллельно им, и R_{AO}, R_{OC} – последовательно с полученной цепью). Общее сопротивление цепи - $2R + \frac{2R*R}{2R+R} = \frac{8}{3}R$, т.е. через источники будет протекать ток $I = \frac{2U*3}{8R} = \frac{3U}{4R}$. Напряжение между точками A и C будет равно $U_{AC} = 2U - 2RI = \frac{1}{2}U$. Тогда ток на участке C-A равен $I_2 = \frac{U_{AC}}{R} = \frac{U}{2R}$.

<u>Вопрос №3</u>: Легко заметить, что при замкнутых ключах K_1, K_2, K_3 цепь получается симметричной относительно оси OC. Тогда в силу симметрии ток на участке AB идти не будет. Следовательно, ток на участе AC равен току на учстке AO, аналогично равны токи на участках BC и BO. А в силу симметрии цепи можно скаать что равны токи на участках AC и BC, а также на участках AO и BO. В итоге получаем, что равны все четыре тока: CA, AO, CB, BO, а ток на участке OC будет в 2 раза больше. Выразим напряжение на участе CB двумя сопосбами: $I_3R = 2U - I_3R - 2I_3R$, откуда $I_3 = \frac{U}{2R}$.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Получено значение $I_1 = 0$ и есть обоснование	0,5+0,5
2	Указано, что при разомкнутом $К_3$ участок ОВ можно не учитывать	1
3	Найдено полное сопротивление цепи для второго вопроса 8/3R *	1
4	Записан закон Ома для второго вопроса 2U = I * 8/3R *	1
5	Для второго вопроса получено значение $I_2 = U/(2R)$	1
6	При всех замкнутых ключах указано на отсутствие тока АВ **	1
7	Указано на равенство токов СА, АО, СВ, ВО **	1
8	Указано, что ток ОС в 2 раза больше **	1
9	Записана связь напряжений для определения тока $(I_3R = 2U - I_3R - 2I_3R)$ или аналогичное. **	1
10	Получено значение $I_3 = U/(2R)$	1

***** При записи системы уравнений для токов и напряжений (без вывода эквивалентного сопротивления цепи) за пункты 3 и 4 ставится в сумме 2 балла, если записана полная система уравнений и 1 балл, если система не полная.

** При записи системы уравнений для токов и напряжений (без использования симметрии цепи) за пункты 5-8 ставится в сумме 2 балла, если записана полная система уравнений, 1 балл, если система не полная, 4 балла, если система полная и была верна решена.

Задача №5

Для изучения процесса скатывания шарика по наклонной плоскости была собрана установка, представляющая собой:

- плоскость с регулируемым углом наклона;
- устройство, расположенное в верхней части плоскости, удерживающее шарик и отпускающее его без начальной скорости по сигналу блока управления;
- устройство, расположенное в нижней части плоскости, представляющее собой «оптические ворота» и позволяющее зафиксировать момент достижения шариком нижней части плоскости, передающее сигнал на модуль управления;
- модуль управления, запускающий отсчет времени одновременно с подачей сигнала на пусковое устройство и останавливающий при срабатывании нижнего датчика.

Таким образом установка позволяет измерять время скатывания шарика по наклонной плоскости с очень хорошей точностью, НО есть нюанс…

Данная установка использовалась школьниками и устройство запуска начало немного «подклинивать» не всегда отпуская шарик строго в момент пуска. Тем не менее опытные исследователи провели ряд экспериментов, определив, что путь, который шарик проходит по наклонной плоскости равен $L = 0{,}94$ м, а также провели серию измерений времени скатывания шарика от угла. Для каждого угла опыт проводился три раза. Результаты измерений представлены в таблице.

№	угол	t1, мс	t2, мс	t3, мс
1	45	594	588	586
2	40	645	646	729
3	35	715	719	721
4	30	892	811	817
5	25	910	904	906
6	20	1050	1139	1048
7	15	1230	1231	1229
8	10	1595	1524	1525
9	5	2325	2314	2320

Также исследователям известно из теоретических соображений, что ускорения шарика, скатывающегося без проскальзывания, зависит от угла следующим образом: $a = pgsin\alpha$, где p – некоторая константа.

Определите:

1) значение константы p;

2) угол, при котором шарик начинает проскальзывать.

Погрешность оценивать не нужно.

Автор: Карманов Максим Леонидович

Возможное решение

Для начала заметим, что некоторые времена в опытах явно не корректные, так как заметно больше других. Эти времена выделены цветом.

№	угол	t1, мс	t2, мс	t3, мс
1	45	594	588	586
2	40	645	646	729
3	35	715	719	721
4	30	892	811	817
5	25	910	904	906
6	20	1050	1139	1048

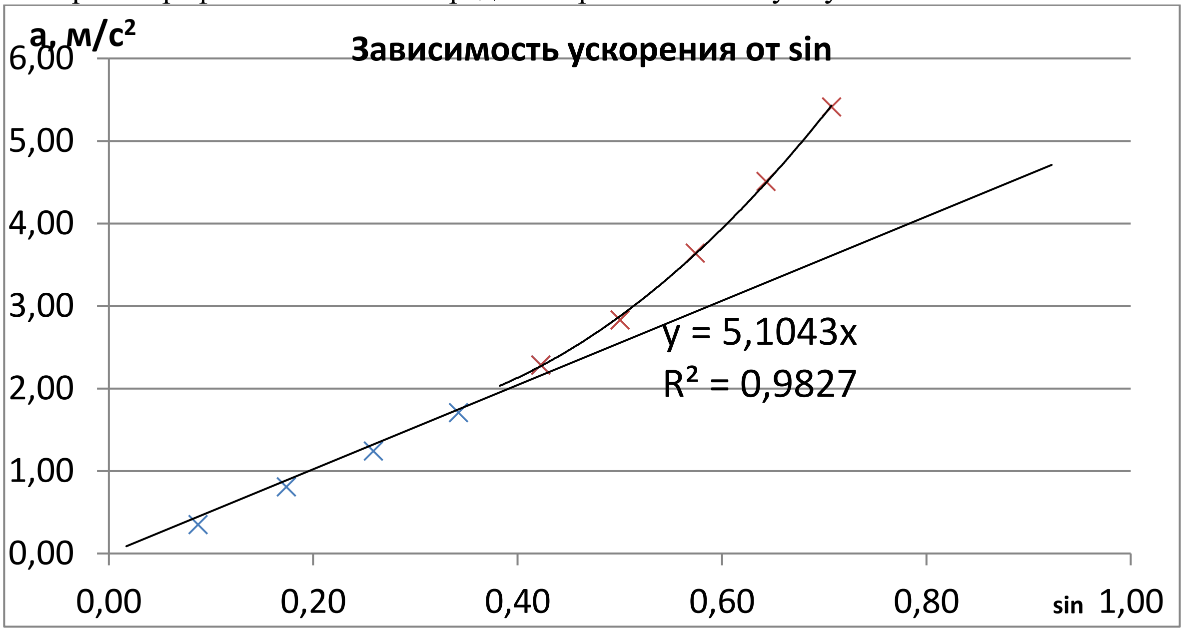
7	15	1230	1231	1229
8	10	1595	1524	1525
9	5	2325	2314	2320

По всей видимости именно в этих опытах происходило «подклинивание» пусковой установки. Результаты этих опытов удалим и не будем использовать при расчетах.

Для каждого угла вычислим вреднее время $t_{\text{ср}}$ по трем (двум) опытам и ускорение по формуле $a = 2S/t^2$.

№	**угол**	**t_1, мс**	**t_2, мс**	**t_3, мс**	**$t_{ср}$, мс**	**a, м/с^2**	**sin**
1	45	594	588	586	589,3	5,41	0,71
2	40	645	646		645,5	4,51	0,64
3	35	715	719	721	718,3	3,64	0,57
4	30		811	817	814,0	2,84	0,50
5	25	910	904	906	906,7	2,29	0,42
6	20	1050		1048	1049,0	1,71	0,34
7	15	1230	1231	1229	1230,0	1,24	0,26
8	10		1524	1525	1524,5	0,81	0,17
9	5	2325	2314	2320	2319,7	0,35	0,09

Построим график зависимости среднего времени от синуса угла



Из графика видно, что при малых углах (примерно до 25 градусов) зависимость линейная, то есть соответствует движения без проскальзывания. Из графика определим угловой коэффициент наклона прямой $k = 5{,}1$ м/с^2. Из теории $k = pg$, значит $p = \frac{k}{g} = 0{,}52$

Критерии оценивания

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Отброшены времена, существенно отличающиеся от остальных. Если не были отброшены, то в последующих пунктах все равно можно получит полный балл.	2
2	Записана формула для ускорения $a = 2S/t^2$	1
3	Произведено усреднение времен для каждого угла	1
4	Для каждого угла вычислено ускорение (или другое выражение, пропорциональное ускорению)	1
5	Построен график $a(sin\alpha)$, ЛИБО для каждого угла вычислен коэффициент пропорциональности между ускорением и синусом угла	2
6	Определен угол, при котором начинается скатывание. Засчитываются ответы от 20 до 30 градусов.	1
7	Определен коэффициент p. Формула (0,5) + число (1,5). Если $p \in [0{,}50; 0{,}54]$, то 1,5 балла, если сюда не попадает, но $p \in [0{,}47; 0{,}57]$, то 0,5 балла.	0,5+1,5