

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2024-2025 уч. год
ФИЗИКА 9 класс

1 Вариант. II этап.

Задача 1

Из одной точки горизонтальной плоскости с одновременно выпущены два небольших камня. Первый камень запущен под углом $\alpha < 45^\circ$ к горизонту, а второй под углом $90^\circ - \alpha$. Начальные скорости камней одинаковы по модулю и направлены в одну сторону. Ускорение свободного падения g .

- 1) Найдите K отношение максимальных дальностей полёта камней.
- 2) Найдите N отношение максимальных высот подъёма камней.
- 3) Найдите максимальное расстояние S между камнями в процессе их полёта (до момента первого падения камня).

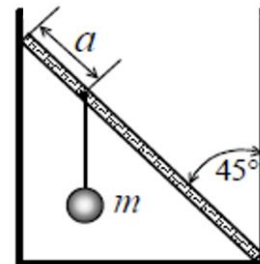
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
Пусть v_0 – начальная скорость камня.	
1) Определено K. Горизонтальная координата тела, брошенного под углом α к горизонту $x(t) = v_0 \cos \alpha t$, всё время полёта: $t_0 = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$. Максимальная дальность полёта $L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ – стандартная формула, может быть записана без вывода. Тогда: $K = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} / \frac{v_0^2 \sin(180 - 2\alpha)}{g} = \operatorname{tg} 2\alpha$	5
2) Определено N. Вертикальная координата тела, брошенного под углом α к горизонту $y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$, время подъёма на максимальную высоту: $t_m = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$. Максимальная высота подъёма $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ – стандартная формула, может быть записана без вывода. Тогда: $K = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} / \frac{v_0^2 \sin^2(90 - \alpha)}{2g} = \operatorname{tg}^2 \alpha$	5
Способ 1 3.1) Расстояние между камнями в течение полёта определяется выражением: $S(t) = \sqrt{(v_0 \cos \alpha t - v_0 \cos(90 - \alpha) t)^2 + \left(v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} - v_0 \sin(90 - \alpha) t + \frac{gt^2}{2}\right)^2}$ $= \sqrt{(v_0 \cos \alpha t - v_0 \sin \alpha t)^2 + (v_0 \sin \alpha t - v_0 \cos \alpha t)^2} = \sqrt{2 - 2 \sin 2\alpha} v_0 t$ $= 2 \sin(45 - \alpha) v_0 t$	5
4.1) Поскольку это расстояние увеличивается со временем, то оно будет максимально в момент падения первого камня $t_0 = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$: $S = 2\sqrt{2 - 2 \sin 2\alpha} \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g} = 4 \sin(45 - \alpha) \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g}$	5
Способ 2 3.2) При переходе с систему отсчёта одного камня, второй будет двигаться с постоянной скоростью: $v_{\text{отн}} = 2 \sin(45 - \alpha) v_0$	5

4.2) Тогда максимальное расстояние между камнями будет в момент падения первого камня:	5
$S = 4 \sin(45 - \alpha) \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g}$	
Итого	20

Задача 2

Между двух вертикальных гладких стенок с гладким полом расположена легкая негибкая палочка длиной L . Угол между палочкой и правой стенкой составляет 45° . К палочке прикреплен небольшой груз массы m . Точка подвеса располагается на расстоянии a от левого конца палочки. Груз при этом не касается стенок и пола.



- 1) Сформулируйте два условия равновесия тел. Поясните используемые физические величины.
- 2) Определите силы реакции N_1 , N_2 и N_3 на палочку со стороны пола, левой стенки и правой стенки, соответственно.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Первое условие равновесия тел заключается в том, что сумма всех сил, действующих на тело должна быть равна нулю: $\sum \vec{F}_i = 0$ Сумма должна быть векторной, поскольку сила – величина векторная. Второе условие равновесия тел заключается в том, что сумма всех моментов сил, действующих на тело равна нулю: $\sum \vec{M}_i = 0$. Строго говоря, это равенство тоже векторное, однако, на уровне 9ого класса момент силы определяется как численное произведение силы на плечо с определением направления действия этого момента $M = F * l$, а не векторное произведение радиус-вектора на силу: $\vec{M} = [\vec{r}\vec{F}]$. В этом случае допустимо записывать второе условие равновесия как равенство суммарного момента сил, вращающихся по часовой стрелке, суммарному моменту сил, вращающихся против: $\sum M_{\text{по}} = \sum M_{\text{против}}$	5
2) Из равенства сил, действующих на палочку по вертикали: $N_1 = mg$	5
3) Из правила моментов, относительно нижнего конца палочки: $N_2 L \cos 45^\circ = mg(L - a) \sin 45^\circ$ Откуда $N_2 = mg \frac{L-a}{L}$	5
4) Из равенства сил, действующих на палочку по горизонтали: $N_3 = N_2 = mg \frac{L-a}{L}$	5
Итого	20

Задача 3

В теплоизолированном калориметре находится $m = 1$ кг воды при температуре $t_1 = 90^\circ\text{C}$. В калориметр опускают N одинаковых кусков льда массы $m_2 = 0,9$ кг при температуре $t_2 = -10^\circ\text{C}$. Определите T_N – температуру содержимого калориметра после установления теплового равновесия при $N \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Получать ответ в общем виде не обязательно. Вода из калориметра не выливается.
Удельная теплоемкость воды $c_1 = 4200$ Дж/кг $^\circ\text{C}$, удельная теплоемкость льда $c_2 = 2100$ Дж/кг $^\circ\text{C}$ удельная теплота плавления льда $\lambda = 333$ кДж/кг.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Для охлаждения воды до температуры замерзания необходимо отвести тепло в количестве: $Q_1 = mc_1 t_1 = 378\,000 \text{ Дж}$	1

2) Для кристаллизации этого количества воды, необходимо отвести тепло в количестве: $Q_2 = m\lambda = 333\,000 \text{ Дж}$	1
3) Для нагревания льда до температуры плавления необходимо тепло в количестве: $Q_3 = m_2 c_2 (-t_2) = 18\,900 \text{ Дж}$	1
4) Для плавления этого количества льда, необходимо тепло в количестве: $Q_4 = m_2 \lambda = 299\,700 \text{ Дж}$	1
5) Поскольку $Q_3 + Q_4 < Q_1$, то при добавлении одного куска льда, весь лёд растает, а вода не охладится до 0°C . Тогда уравнение теплового баланса можно записать в виде: $m c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 = m_2 \lambda + (m + m_2) c_1 T_1$	4
6) Из 5) определено T_1 : $T_1 = \frac{m c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 - m_2 \lambda}{(m + m_2) c_1} = \frac{378\,000 - 18\,900 - 299\,700}{1.9 \cdot 4200} = 7.44^\circ\text{C}$	4
7) Поскольку $Q_1 < 2Q_3 + 2Q_4$, но при этом $Q_1 > 2Q_3$, вся вода охладится до 0°C , при этом весь лёд нагреется до 0°C , но полного плавления льда не произойдёт, то $T_2 = 0^\circ\text{C}$	2
8) Условие, аналогичное 7) выполняется и для 3, 4 и 5 кусочков льда, поэтому $T_3 = T_4 = T_5 = T_2 = 0^\circ\text{C}$	2+2+2
Итого	20

Задача 4

Из двух кусков меди одинаковой массы изготовили по отрезку проволоки, при этом диаметр второй проволоки в два раза больше диаметра первой. Эти два отрезка проволоки соединили последовательно и включили в цепь постоянного напряжения. Учитывая, что мощность передачи тепла от горячего тела к холодному пропорциональна площади контакта и разности температур этих тел, определите во сколько раз отличаются установившиеся температуры первого и второго отрезков проволоки, измеренные в $^\circ\text{C}$. Считайте, что теплообмен осуществляется только между проволокой и окружающим воздухом с температурой 0°C , а между проволоками теплообмена нет. Изменением удельного сопротивления проволоки с температурой пренебречь.

Решение:

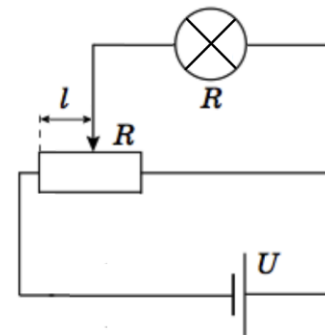
Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
Пусть μ – плотность меди, ρ – её удельное сопротивление, l_1 – длина первого отрезка проволоки, l_2 – длина второго отрезка проволоки, d_1 – диаметр первого отрезка проволоки, d_2 – диаметр второго отрезка проволоки, S_1 – площадь первого отрезка проволоки, S_2 – площадь второго отрезка проволоки, I – ток, протекающий через каждый из отрезков проволоки, T_1 – температура первого отрезка проволоки, T_2 – температура второго отрезка проволоки.	
1) Поскольку отрезки проволоки сделаны из кусков одинаковой массы, то: $\mu l_1 S_1 = \mu l_2 S_2$	
2) Поскольку $S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, то $\frac{S_2}{S_1} = 4$ и $\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{4}$	2
3) С учётом того, что сопротивление отрезка провода $R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1}$, отношение сопротивлений проводов: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \frac{l_1}{S_1}}{\rho \frac{l_2}{S_2}} = \frac{l_1 S_2}{l_2 S_1} = 16$	4
4) С учётом закона Джоуля-Ленца отношение тепловых мощностей, выделяемых на проводах: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2} = 16$	4
5) Согласно закону Ньютона-Рихмана с учётом температуры окружающей среды:	5

$P_1 = \alpha l_1 \pi d_1 T_1$, где α – коэффициент теплопроводности.	
6) Тогда: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{\alpha l_1 \pi d_1 T_1}{\alpha l_2 \pi d_2 T_2}, \text{ откуда } \frac{T_1}{T_2} = 8$	5
Итого	20

На следующем листе/обороте есть ещё одна задача

Задача 5

На схеме справа представлена простейшая схема регулируемого источника питания. Он состоит из идеального источника постоянного напряжения U и потенциометра – переменного резистора с тремя выходными контактами. Изменяя длину l от 0 до наибольшего значения l_0 можно регулировать напряжение на лампе, а значит и выделяемую на ней мощность.



1) Запишите закон Джоуля-Ленца. Поясните входящие в него физические величины.

2) Какая мощность выделяется на лампе при $l = \frac{2}{3} l_0$?

3) Определите зависимость КПД схемы η от l .

Полное сопротивление резистора R . Сопротивление лампы R считайте постоянным и не зависящем от температуры. КПД данной схемы определяется как отношение полезной мощности, выделяющейся на лампе, ко всей мощности, выделяемой в цепи.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Закон Джоуля-Ленца можно записать в трёх формах: $P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = UI$, где P – мощность, выделяемая на резисторе сопротивлением R , U – напряжение на нём, I – ток, протекающий через резистор.	2
Введём обозначение $\frac{l}{l_0} = \alpha$	
2) Сопротивление части реостата, подключённой параллельно лампе, равно $R_1 = (1 - \alpha)R$, сопротивление оставшейся части реостата $R_2 = \alpha R$.	
3) Общее сопротивление цепи: $R_{06} = R_2 + \frac{R_1 R}{R_1 + R} = \alpha R + \frac{(1 - \alpha)R}{2 - \alpha} = \frac{1 + \alpha - \alpha^2}{2 - \alpha} R$	2
4) Общий ток в цепи: $I_{06} = \frac{U}{R_{06}} = \frac{2 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2} \frac{U}{R}$	2
5) Между лампой и участком реостата с сопротивлением R_1 общий ток распределяется с соотношении: $R_1 (I_{06} - I) = RI.$ Откуда, ток через лампу: $I = \frac{R_1}{R + R_1} I_{06} = \frac{1 - \alpha}{2 - \alpha} \frac{2 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2} \frac{U}{R} = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2} \frac{U}{R}$	2
6) Мощность, выделяемая на лампе: $P(\alpha) = I^2 R = \left(\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2} \right)^2 \frac{U^2}{R}$	4
7) Мощность, выделяемая на лампе, при $l = \frac{2}{3} l_0$:	2

$P\left(\frac{2}{3}\right) = \left(\frac{1 - \frac{2}{3}}{1 + \frac{2}{3} - \frac{4}{9}}\right)^2 \frac{U^2}{R} = \frac{9}{121} \frac{U^2}{R}$ Баллы за критерии 2)-5) являются промежуточными и выставляются, при определении $P\left(\frac{2}{3}\right)$ иным корректным способом, например, численно, при $\alpha = \frac{2}{3}$	
8) Мощность, выделяемая в цепи: $P_{06} = UI_{06} = \frac{2 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2} \frac{U^2}{R}$	4
9) $\eta = \frac{P(\alpha)}{P_{06}} = \frac{\left(\frac{1 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2}\right)^2 \frac{U^2}{R}}{\frac{2 - \alpha}{1 + \alpha - \alpha^2} \frac{U^2}{R}} = \frac{(1 - \alpha)^2}{(1 + \alpha - \alpha^2)(2 - \alpha)}, \text{ при } \alpha = \frac{l}{l_0}$	2
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения.
Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!