Ключи к заданиям муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике 2024-2025учебный год

10 класс

Продолжительность олимпиады: ***230 минут****. Максимально возможное количество баллов:* ***50***

Общие критерии оценок

Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются.

Правильный ответ, приведенный без обоснования или полученный из неправильных рассуждений, не учитывается. Если задача решена не полностью, то этапы ее решения оцениваются в соответствии с критериями оценок по данной задаче.

Если задача решена отличным от авторского способа, то решение оценивается согласно приведённых ниже критериев.

Таблица 1

Критерии проверки

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
7-9	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки
5-6	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3-4	Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения формулы
1-2	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения или при ошибочном решении
0	Решение неверно или отсутствует

Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

Таблица 2

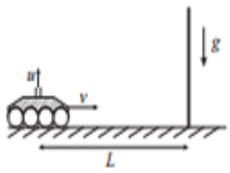
№ задания	Набранные баллы
1	
2	
3	
4	
итого	

Рекомендуется проверять сначала первую задачу во всех работах, затем вторую и т.д.

Все пометки в работе участника члены жюри делают только красными чернилами. Баллы за промежуточные выкладки ставятся около соответствующих мест в работе (это исключает пропуск отдельных пунктов из критериев оценок). Итоговая оценка за задачу ставится в конце решения. Кроме того, члены жюри заносит её в таблицу (см. табл. № 2) на первой странице работы и ставит свою подпись (с расшифровкой) под оценкой. В случае неверного решения необходимо находить и отмечать ошибку, которая к нему привела. Это позволит точнее оценить правильную часть решения и сэкономит время в случае апелляции

Задача № 1

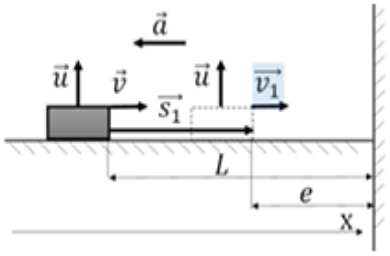
На платформе установлена пушка, которая стреляет вертикально вверх теннисными шариками со скоростью $u = 75\frac{м}{с}$ относительно платформы. Конструкция едет со скорость $v{=}15\frac{м}{с}$ к стенке и начинает тормозить, когда расстояние до стены остаётся $L = 225м$, с ускорением $a = 0{,}5\ \frac{м}{с^2}$ до полной остановки. Через какое время с начала торможения надо выстрелить, чтобы шарик упал как можно дальше от стены, если удар шарика о стенку упругий? Ускорение свободного падения $g = 10\frac{м}{с^2}$, размерами конструкции пренебречь. Высота стены 300м.



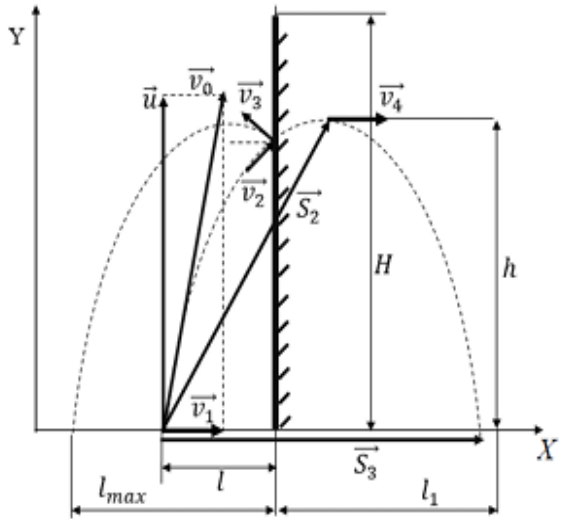
Возможное

Для начала соотнесем максимальную высоту подъема шарика с высотой стенки, чтобы понять не перелетит ли шарик стенку.

$v_{4y} = v_{0y} + gt_0$, где t_0 – время подъема шарика до максимальной высоты, по оси Y: $0 = u - gt_0$. Значит $t_0 = \frac{u}{g}$, а время полета без стены $t_з = \frac{2u}{g}$ **(1 балл)**



Вдоль горизонтали теннисный шарик движется равномерно со скоростью, равной скорости тележки в момент старта шарика. Скорость тележки определяется уравнением $v_{x1} = v - at_1$ **(1балл)**, где t_1-время, прошедшее с начала движения тележки. Таким образом расстояние, которое пролетит шарик вдоль горизонтали, может быть выражено формулой $S_x = v_{x1}t_3 = (v - at_1)t_3 = (v - at_1)\frac{2U}{g}$ **(1 балл)**, в том случае, если нет стены. Так как высота стены больше, нежели высота, на которую может подняться шарик $300 > \frac{U^2}{2g}$, то шарик точно столкнётся со стенкой.**(1 балл)**



При отражении от стенки, скорость шарика меняется на противоположную по направлению, то есть шарик начинает удаляться от стенки **(1 балл)** .

Выразим расстояние от тележки до стены в момент старта шарика. Тележка движется равнозамедленно, таким образом, до стены шарику остаётся лететь $l = L - (vt_1 - \frac{at_1^2}{2})$**(1 балл)**. Тогда, чтобы определить расстояние до стены, на котором приземлиться теннисный шарик, надо из общей длины возможного пути по горизонтали вычесть расстояние до стены в момент старта

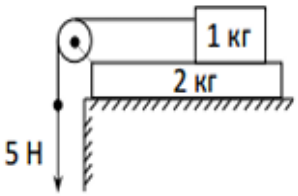
$$l_1 = S_{3x} - l = (v - at_1)\frac{2U}{g} - \left(L - \left(vt_1 - \frac{at_1^2}{2}\right)\right) = -\frac{at_1^2}{2} + \left(v - \frac{2aU}{g}\right)t_1 + \frac{2vU}{g} - L \quad \textbf{(2 балла)}$$

Данное уравнение является уравнением параболы относительно времени, ветви которой направлены вниз, что означает что у неё сушествует максимум в вершине и тогда t можно вычислить согласно формулы для нахождения координаты вершины параболы

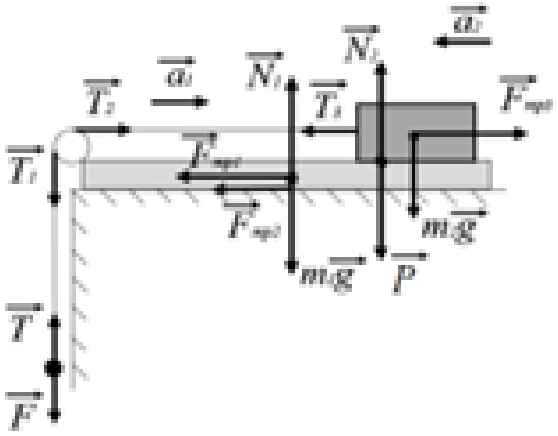
$$t = -\frac{B}{2A} = \frac{(v - \frac{2aU}{g})}{a}$$**(1 балл)** t=15 с**(1 балл)**

Задача № 2

На столе лежит доска массой $m_1 = 2$кг, а на доске находится брусок массой $m_2 = 1$кг. К бруску привязана лёгкая нить, второй конец которой перекинут через идеальный блок, закреплённый на краю доски. Коэффициенты трения между доской и столом и между бруском и доской одинаковы и равны $\mu = 0{,}1$. Участок нити между бруском и блоком горизонтален. С каким по модулю ускорением начнут двигаться брусок и доска, если к вертикальному участку нити приложить направленную вниз силу $F = 5$Н? Ускорение свободного падения $g = 10\frac{м}{с^2}$.



Возможное решение



(1 балл)

Запишем второй закон Ньютона для бруска и доски.

$$\overrightarrow{F_{тр1}} + \overrightarrow{F_{тр2}} + \overrightarrow{N_1} + \vec{P} + m_1\vec{g} + \overrightarrow{T_1} + \overrightarrow{T_2} = m_1\vec{a}_1 \quad \textbf{(1 балл)}$$

$$\overrightarrow{F_{тр3}} + \overrightarrow{N_2} + m_2\vec{g} + \overrightarrow{T_3} = m_2\vec{a}_2 \quad \textbf{(1 балл)}$$

По третьему закону Ньютона $\overrightarrow{F} = -\overrightarrow{T}$, с учётом проекций этих сил на координатные оси $F = T$. **(1 балл)** Так как нить лёгкая, нерастяжимая и блок идеальный, то $F = T = T_1 = T_2 = T_3$ **(1 балл)**

Для определения направления ускорения доски сравним сумму максимально возможных сил трения, действующих на доску с горизонтальной составляющей силы натяжения действующей на неё.

Найдём выражения для сил трения действующих на брусок и доску. Сила трения действующая между доской и полом определяется выражением $F_{тр1} = \mu N_1$. N_1 выразим из уравнения второго закона Ньютона для доски с учётом проекций на ось OY: $N_1 = F + m_1 g + P$, где N_2 определяется согласно третьего закона Ньютона $\overrightarrow{N_2} = -\vec{P}$, $N_2 = P = m_2 g$ по второму закону Ньютона для бруска. Тогда $F_{тр1} = \mu N_1 = \mu\big((m_1 + m_2)g + F\big)$ **(1 балл)** $F_{тр2} = F_{тр3} = \mu N_2 = \mu m_2 g$. **(1 балл)** Горизонтальная составляющая силы натяжения нити, действующая на доску вправо, равна по модулю 5 Н. Она больше суммы модулей максимально возможных сил трения, которые действуют на систему

$$\mu\big((m_1 + m_2)g + F\big) + \mu m_2 g = 4{,}5\ \text{Н}$$

Следовательно, доска будет скользить по полу с ускорением $\vec{a}_1$ вправо. При этом очевидно, что брусок будет проскальзывать по доске влево с ускорением $\vec{a}_2$. **(1 балл)**

Из второго закона Ньютона записанного для доски и для бруска, находим модули их ускорений.

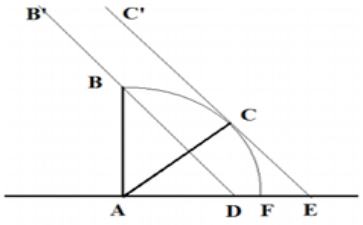
$$a_1 = \frac{F - \mu\big((m_1+m_2)g + F\big) + \mu m_2 g}{m_1} = 0.25\,\frac{м}{с^2} \quad \textbf{(1 балл)} \qquad a_2 = \frac{F - \mu m_2 g}{m_2} = 4\,\frac{м}{с^2} \ \textbf{(1 балл)}$$

Задача № 3

Столб, стоящий вертикально на горизонтальной площадке, освещаемый солнечным светом, имеет высоту h = 9 м и отбрасывает тень длиной L = 12 м. Столб начинает медленно падать в сторону отбрасываемой им тени так, что его нижний конец не сдвигается с места. Длина тени при этом до определенного момента увеличивается, а потом начинает уменьшаться. Чему равна максимальная длина тени от столба?

Возможное решение

Большая удаленность источника света (Солнца) определяет параллельность солнечного излучения: лучи B'BD и C'CE параллельны друг другу (смотри рисунок). **(2 балла)**



В соответствии с условием задачи вершина столба B примедленном падении описывает дугу окружности BCF с радиусом, равным высоте столба AB. Тень от столба определяется параллельными лучами, которые располагаются между лучами $B'BD$ и $C'CE$. При этом край тени от падающего столба находится в интервале DE. **(2 балла)**

Поскольку луч $C'CE$ является касательной к дуге окружности BCF, то радиус AC перпендикулярен $C'CE$. **(2 балла)** По равенству острых углов и катетов прилежащих к ним прямоугольные треугольники ΔDBA и ΔEAC равны. **(2 балла)**

Исходя из равенства треугольников, максимальная длина тени от падающего столба соответствует длине отрезка AE, который представляет собой гипотенузу прямоуголного треугольника ΔEAC. Таким образом, максимальная длина тени от падающего столба соотвествует следущему выражению

$$AE = \sqrt{(AC)^2 + (CE)^2} = \sqrt{h^2 + L^2} = 15 \text{ м} \quad \textbf{(2 балла)}$$

Задача № 4

До какой минимальной температуры надо нагреть золотой шарик радиуса 1 см, чтобы он, будучи положен на лёд, температура которого 0^0C, полностью в него погрузился? Удельная теплоёмкость золота $C = 130 \frac{Дж}{кг \cdot {}^0C}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3{,}4 \cdot 10^5 \frac{Дж}{кг}$, плотность льда $\rho_л = 900 \frac{кг}{м^3}$, плотность золота $\rho_з = 19300 \frac{кг}{м^3}$, объём шара определяется по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Возможное решение

Чтобы полностью погрузиться, в лёд, шарик должен опуститься на расстояние, равное диаметру шара, объём расплавленного льда равен

$$V = \pi\ R^2 R + \frac{2}{3}\ \pi\ R^3 = \frac{5}{3}\ \pi\ R^3 \text{ - } \textbf{1 балл}$$

Шарик при остывании от $t^0 C$до $0^0 C$ отдаёт тепло, которое идёт на плавление льда. Запишем уравнение теплового баланса для шарика и льда

$$Q_1 - Q_2 = 0 \text{ - } \textbf{1 балл}$$

где Q_1 – количество теплоты плавления льда, соприкасающего с нагретым шариком

$$Q_1 = \lambda m_1, \text{ - } \textbf{1 балл},$$

Q_2 - количество теплоты отданное шариком льду при охлаждении

$$-Q_2 = c\, m_2(t_1^0 - t_2^0) \text{ - } \textbf{1 балл} \text{ или } Q_2 = c\, m_2(t_2^0 - t_1^0). \text{ - } \textbf{1 балл}$$

Тогда уравнение теплового баланса можно записать

$$\lambda m_1 = c\, m_2(t_2^0 - t_1^0). \text{ - } \textbf{1 балл}$$

$$m_1 = \rho_л V_1 = \rho_л \frac{5}{3}\ \pi\ R^3 \text{ - } \textbf{1 балл}, \ m_2 = \rho_з V_2 = \rho_з \frac{4}{3}\ \pi\ R^3. \text{ - } \textbf{1 балл}$$

Подставив выражения для массы в уравнение теплового баланса получаем

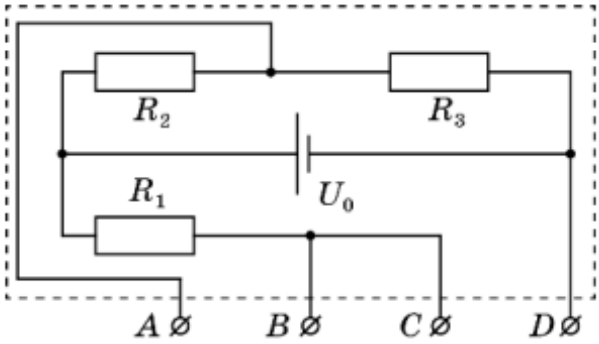
$$\lambda \rho_л \frac{5}{3}\ \pi\ R^3 = c\, \rho_з \frac{4}{3}\ \pi\ R^3 (t_2^0 - t_1^0) \text{ - } \textbf{1 балл}$$

$$t_2^0 = \frac{5\lambda \rho_л}{4c\ \rho_з} \text{ - } \textbf{1 балл}$$

$$t_2^0 = 16{,}9\ {}^0C$$

Задача № 5

В «сером» ящике собрана электрическая цепь схема, которой приведена на рисунке. К клеммам AB ящика подключают идеальный вольтметр, а к клеммам CD – различные резисторы, сопротивления которых в n раз больше, чем у резистора R_1. Зависимость показаний вольтметра U от n представлена в таблице



U, В	2,2	3,9	5,0	5,4	6,2	6,5	6,9
n	1	2	3	4	5	7	8

Задание:

1. Выведите формулу теоретической зависимости U(n).

2. Постройте график зависимости U(n) по данным таблицы.

3. Определите напряжение U_0 источника и отношение $k = R_3 / R_2$.

Для этого можете либо:

• осуществить линеаризацию зависимости U(n), т.е. найти такую функцию z(n), для которой зависимость U(z) является линейной и построить её график, по которому определить U_0 и k.

.• использовать две пары значений из таблицы и уравнение, полученное в пункте 1 задания. Выбор значений U и n для расчета необходимо обосновать с помощью графика, построенного в пункте 2 задания.

Возможное решение (С. Кармазин).

Сила тока через резисторы R_2 и R_3 равна $I_1 = U_0 / (R_2 + R_3)$. Напряжение на резисторе R_3 (напряжение между точками 0 и 1) равно

(1) $$U_{01} = I_1 R_3 = \frac{U_0 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{kU_0}{1+k}.$$

Аналогично, напряжение на резисторе nR_1 (между точками 0 и 2) равно

(2) $$U_{02} = \frac{nR_1 U_0}{R_1 + nR_1} = \frac{nU_0}{1+n}.$$

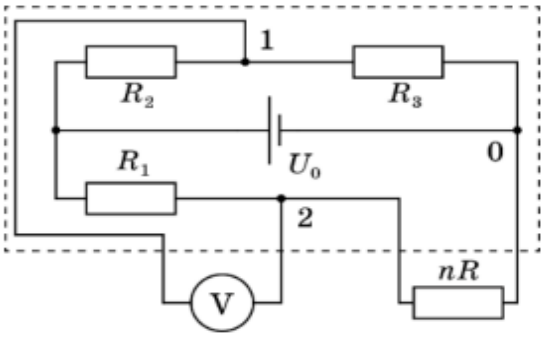


Рис. 1

Показание U вольтметр (напряжение между точками 1 и 2), равно разности U_{02} и U_{01}. Знак этой разности не имеет значения (всегда можно поменять полярность подключения вольтметра).

(3) $$U = \frac{nU_0}{1+n} - \frac{kU_0}{1+k}.$$

1. График зависимости $U(n)$ представлен на рис.2.

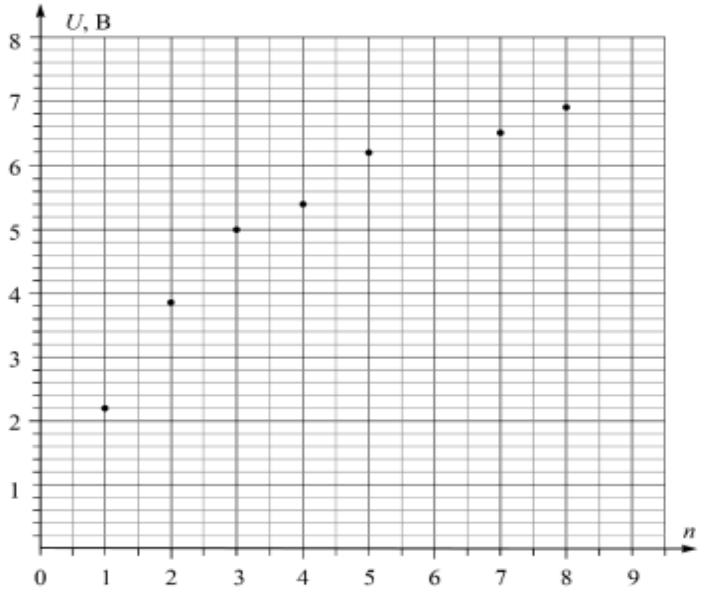


Рис. 2

2. Визуальный анализ графика на рис. 2 позволяет предположить, что точки при $n = 4$ и $n = 7$ лежат несколько ниже общего тренда зависимости $U(n)$. Вычислим искомые величины, используя, например, значения U для $n = 2$ и $n = 5$.

С помощью (3) и табл.1 получаем 2 линейных уравнения с двумя неизвестными:

(4) $$3{,}85\ \text{В} = \frac{2}{3}U_0 - \frac{kU_0}{1+k}.$$

(5) $$6{,}20\ \text{В} = \frac{5}{6}U_0 - \frac{kU_0}{1+k}.$$

Решая совместно уравнения (4) и (5) находим: $U_0 \approx 14\ \text{В}$; $k \approx 0{,}7$.

3. Проводить сложные математические преобразования для линеаризации зависимости $U(n)$ нет необходимости. Из (3) видно, что функция $z(n)$ имеет вид $z = n/(1+n)$.

Для построения зависимости $U(z)$ дополним таблицу в условии значениями $n/(1+n)$.

U, В	2,20	3,85	5,00	5,40	6,20	6,50	6,90
n	1	2	3	4	5	7	8
$\frac{n}{1+n}$	0,5	0,67	0,75	0,8	0,83	0,88	0,89

троим график $U\left(\frac{n}{1+n}\right)$.

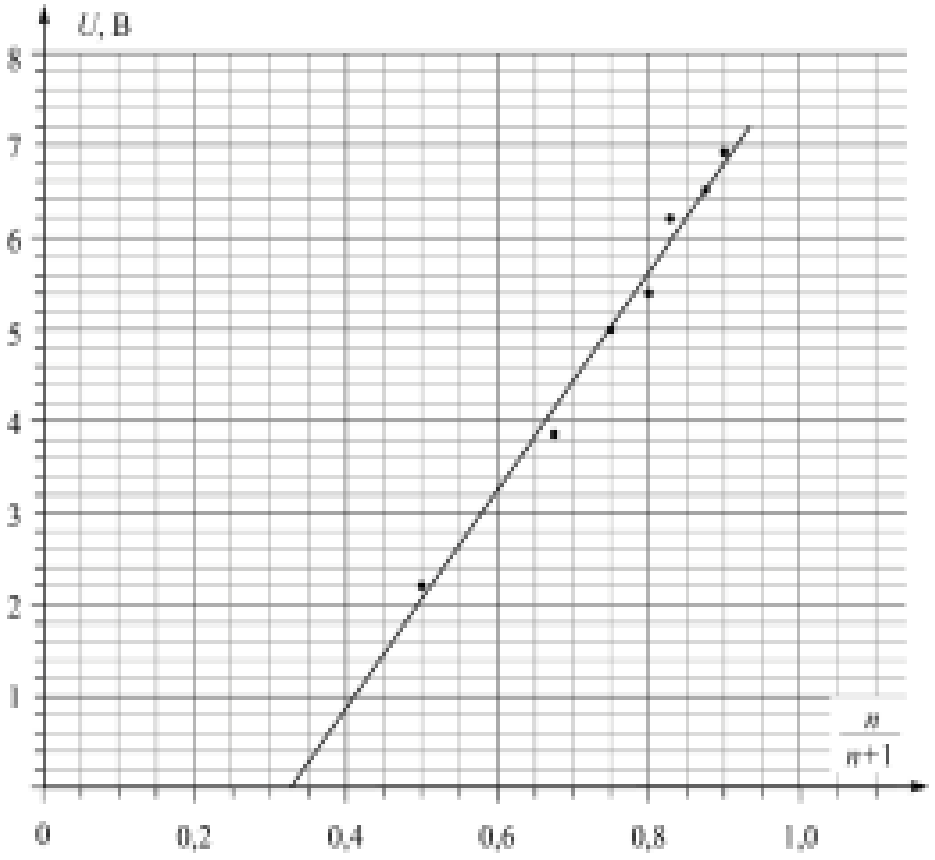


Рис. 3

5. Возьмем две «хорошие» точки на графике, в которых прямая линия проходит через перекрестия линий графической бумаги. Например, $\frac{n}{1+n} = 0{,}38$; $U = 0{,}6$ В и $\frac{n}{1+n} = 0{,}88$; $U = 6{,}6$ В. Тогда $U_0 = \frac{\Delta U}{\Delta\left(\frac{n}{1+n}\right)} = 12$ В.

График зависимости $U\left(\frac{n}{1+n}\right)$ пересекает горизонтальную ось в точке $\frac{n}{1+n} = 0{,}33$. В этой точке $U = 0$, следовательно $\frac{k}{1+k} = 0{,}33$ и $k = 0{,}5$.