

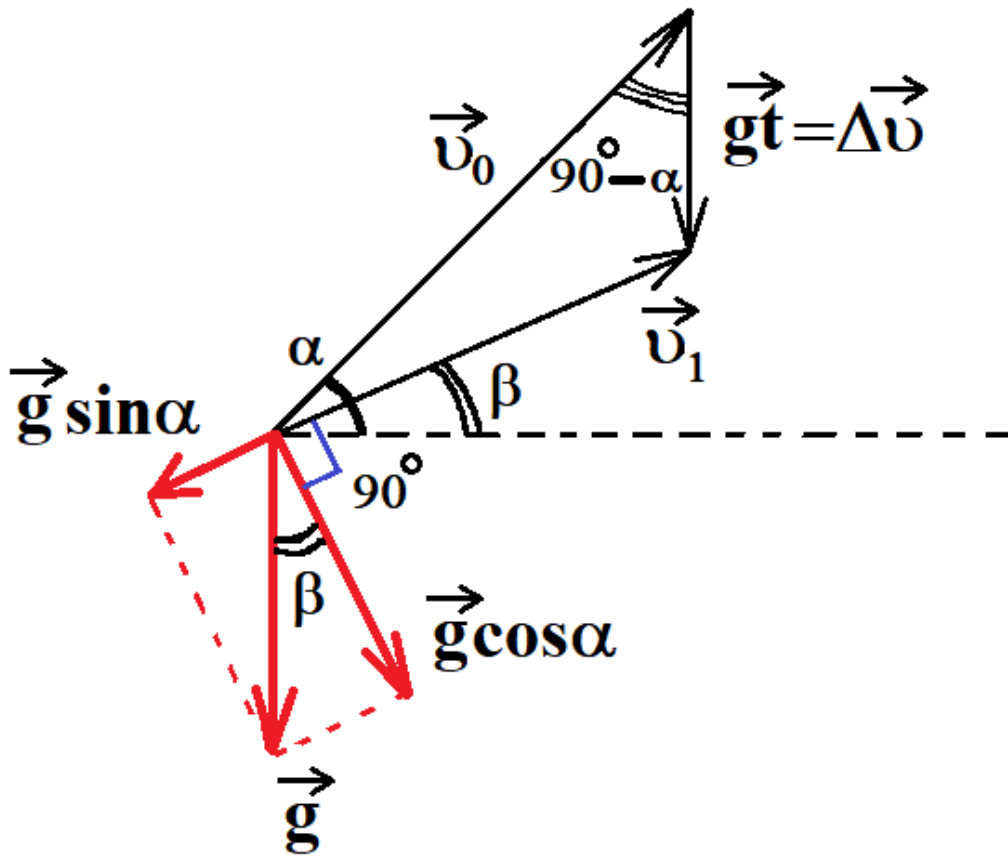
Пермский край
2025-26 учебный год
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
11 КЛАСС

Критерии оценивания

Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

Задание 1. Пушка для мячей (10 баллов)

1) Сделаем рисунок с указанием скоростей и ускорений:



2) Запишем кинематическое векторное уравнение для скорости v_1 в рассматриваемой точке (через 1 с после вылета мяча из пушки):

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_0 + \vec{g}t. \quad (1)$$

На рисунке данному уравнению соответствует треугольник скоростей.

3) В каждой точке траектории полное ускорение равняется сумме тангенциального ускорения и нормального ускорения:

$$\vec{a}_{\text{полное}} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau \Rightarrow \vec{g} = \vec{g} \cos \beta + \vec{g} \sin \beta. \quad (2)$$

На рисунке ускорения изображены для рассматриваемой точки (через 1 с после вылета мяча из пушки), где скорость мяча v_1 и данная скорость направлена под некоторым углом β горизонту.

4) Изменение направления скорости приводит к появлению у ускорения нормальной (перпендикулярной к траектории) составляющей (см. рисунок). Пусть R – радиус кривизны траектории, тогда нормальное ускорение равно:

$$a_n = \frac{v_1^2}{R} = \frac{v_1}{R} v_1 = \omega v_1, \quad (3)$$

где ω – искомая угловая скорость вращения вектора скорости.

5) Отсюда выражаем ω (с учетом того, что $\vec{a}_n = \vec{g} \cos \beta$):

$$\omega = \frac{a_n}{v_1} = \frac{g \cos \beta}{v_1} = \frac{g \cos \beta}{v_1} \cdot \frac{v_1}{v_1} = \frac{g(v_1 \cos \beta)}{v_1^2}. \quad (4)$$

6) Горизонтальная составляющая скорости при полете мяча остается величиной постоянной:

$$v_x = v_0 \cos \alpha = v_1 \cos \beta. \quad (5)$$

7) Используя теорему косинусов выражаем v_1^2 (смотри треугольник скоростей на рисунке):

$$v_1^2 = v_0^2 + (gt)^2 - 2v_0 g t \cos(90^\circ - \alpha). \quad (6)$$

8) Окончательно получим (с учетом того, что $\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$):

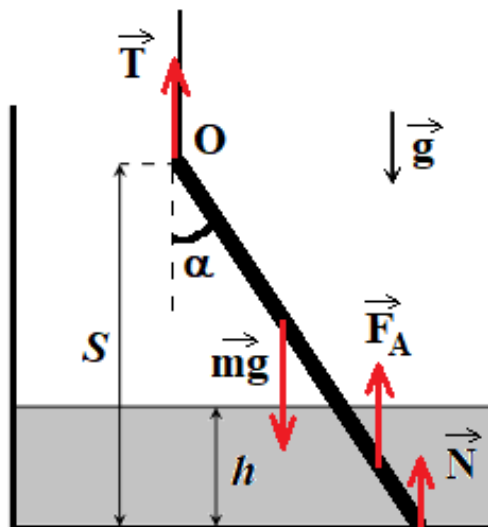
$$\omega = \frac{g(v_0 \cos \alpha)}{v_0^2 + (gt)^2 - 2v_0 g t \sin \alpha} = \frac{9.8(17 \cos 60^\circ)}{17^2 + (9.8 \cdot 1)^2 - 2 \cdot 17 \cdot 9.8 \cdot 1 \cdot \sin 60^\circ} = 83.3 / (289 + 96.04 - 288.56) \approx 0,86 \text{ рад/с.}$$

Оценивание задания 1

Сделан рисунок с указанием скоростей и ускорений (пункт 1 решения). <i>Примечание. За каждый правильно указанный вектор на рисунке (три вектора скорости и три вектора ускорения) по 0.5 баллов, итого в сумме 3 балла.</i>	3 балла
Записано кинематическое векторное уравнение (1) для скорости v_1 (пункт 2 решения)	1 балл
Записано векторное соотношение (2) для ускорений (пункт 3 решения)	1 балл
Выражение (3) для нормального ускорения (пункт 4 решения)	1 балл
Соотношение (4) для искомой угловой скорости ω (пункт 5 решения)	1 балл
Постоянство горизонтальной составляющей скорости (пункт 6 решения)	1 балла
Использована теорема косинусов для треугольника скоростей (пункт 7 решения)	1 балл
Получен окончательный числовой ответ (пункт 8 решения)	1 балл

Задание 2. Стержень в сосуде (10 баллов)

1) Укажем все силы, действующие на стержень (см. рисунок).



На стержень действуют (в общем случае) 4 силы:

- сила тяжести mg , где m – масса стержня, приложенная к его середине;

- сила Архимеда F_A , приложенная к середине погруженной в жидкость части;
- сила натяжения нити T ;
- сила реакции со стороны дна N .

2) Очевидно, что когда нижний конец стержня отрывается от дна

$$N = 0. \quad (1)$$

3) Запишем уравнение для моментов сил относительно точки подвеса стержня (точки O на рисунке):

$$mg \cdot (S/2) \cdot \operatorname{tg} \alpha = F_A \cdot (S - h/2) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где α – угол между стержнем и вертикалью.

4) Запишем выражения для массы стержня и силы Архимеда (здесь σ – площадь поперечного сечения стержня):

$$m = (\rho_1 \sigma S) / \cos \alpha, \quad (3)$$

$$F_A = (\rho_2 g \sigma h) / \cos \alpha. \quad (4)$$

5) Подставим (3) и (4) в уравнение для моментов сил (2) и сделаем преобразования:

$$\begin{aligned} (\rho_1 g \sigma S^2 \operatorname{tg} \alpha) / (2 \cos \alpha) &= [\rho_2 g \sigma h \cdot (S - h/2) \cdot \operatorname{tg} \alpha] / \cos \alpha, \\ \rho_1 S^2 &= 2 \rho_2 h (S - h/2). \end{aligned} \quad (5)$$

Получим квадратное уравнение относительно h :

$$\rho_2 h^2 - 2 \rho_2 S h + \rho_1 S^2 = 0. \quad (6)$$

6) Подставим числовые значения ($\rho_1 = 0.64 \text{ г/см}^3$, $\rho_2 = 1.0 \text{ г/см}^3$, $S = 50 \text{ см}$) и решим это уравнение:

$$h^2 - 100h + 1600 = 0,$$

$$D = 3600, \sqrt{D} = 60,$$

$$h_1 = 80 \text{ см}, h_2 = 20 \text{ см}.$$

7) Выбираем корень, который меньше S . Окончательный ответ:

$$h_{\min} = 20 \text{ см}.$$

Оценивание задания 2

Сделан рисунок с указанием всех сил, действующих на стержень (пункт 1 решения)	2 балла
Записано условие (1) отрыва стержня от дна (пункт 2 решения)	1 балл
Записано уравнение (2) для моментов сил относительно точки подвеса стержня (пункт 3 решения)	2 балла
Записано выражение (3) для массы стержня (пункт 4 решения)	1 балл
Записано выражение (4) для силы Архимеда (пункт 4 решения)	1 балл
Сделаны преобразования, получено квадратное уравнение (6) (пункт 5 решения)	1 балл
Получены корни квадратного уравнения h_1 и h_2 (пункт 6 решения)	1 балл
Выбрано нужное значение h_{\min} (пункт 7 решения)	1 балл

Задание 3. Работа идеального газа (10 баллов)

1) Так как работа газа в циклическом процессе есть площадь цикла в координатах «давление-объем», то работа газа в нашем процессе 1–2–3–1 есть (площадь прямоугольного треугольника)

$$A_{\text{ц}} = P_0 \cdot V_0. \quad (1)$$

Давление и объем газа в состоянии 1 равны P_0 и V_0 . Проблема заключается только в том, что эти величины по условию задачи не даны, поэтому мы должны их выразить через данное в условии максимальное изменение температуры газа в течение всего цикла $\Delta T = T_{\max} - T_{\min} = 200 \text{ К}$.

2) Очевидно, минимальной будет температура газа в состоянии 1 (т.к. в этом состоянии самым малым среди всех состояний цикла является произведение давления на объем, которое связано законом Менделеева-Клапейрона с температурой газа). Эту величину легко найдем из закона Менделеева-Клапейрона:

$$T_{\min} = (P_0 \cdot V_0) / (\nu \cdot R). \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная, ν – количество молей газа.

3) Максимальной является температура какого-то состояния на участке 2–3.

4) Найдем это состояние и максимальную температуру T_{\max} . Очевидно, зависимость давления от объема на участке 2–3 дается соотношением (линейная зависимость $y = kx + b$):

$$P(V) = kV + b.$$

Найдем коэффициенты k и b (например, через координаты двух точек):

$$2P_0 \cdot (V_0) = kV_0 + b, \quad (3)$$

$$P_0 \cdot (3V_0) = 3kV_0 + b. \quad (4)$$

Решаем систему (3) и (4) и находим коэффициенты k и b :

$$k = -P_0/(2V_0), \quad b = (5P_0)/2.$$

Окончательно:

$$P(V) = [-P_0/(2V_0)] \cdot V + (5P_0)/2. \quad (5)$$

5) Подставляя эту зависимость (5) в закон Менделеева-Клапейрона $PV = \nu RT$ получим зависимость температуры газа от его объема:

$$T = (P(V) \cdot V) / (\nu R) = [-P_0/(2V_0 \nu R)] \cdot V^2 + [(5P_0)/(2\nu R)] \cdot V. \quad (6)$$

6) Математически эта зависимость представляет собой квадратичную функцию с ветвями, направленными вниз (перевернутая парабола $y = -ax^2 + bx$). Наибольшее значение температуры T_{\max} соответствует вершине параболы ($x_{\max} = -b / (2a)$):

$$V(T_{\max}) = (5V_0)/2, \quad (7)$$

отсюда T_{\max} :

$$T_{\max} [V = (5V_0)/2] = (25P_0V_0) / (8\nu R). \quad (8)$$

7) Следовательно, максимальное изменение температуры газа в рассматриваемом процессе можно найти как (из (8) вычитаем (2)):

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min} = (25P_0V_0) / (8\nu R) - (P_0 \cdot V_0) / (\nu \cdot R) = (17P_0V_0) / (8\nu R). \quad (9)$$

8) Отсюда получаем окончательно для работы газа

$$A_{\text{ц}} = P_0 \cdot V_0 = (8\nu R \Delta T) / 17 = (8 \cdot 1 \cdot 8.31 \cdot 200) / 17 \text{ Дж} \approx 782 \text{ Дж}.$$

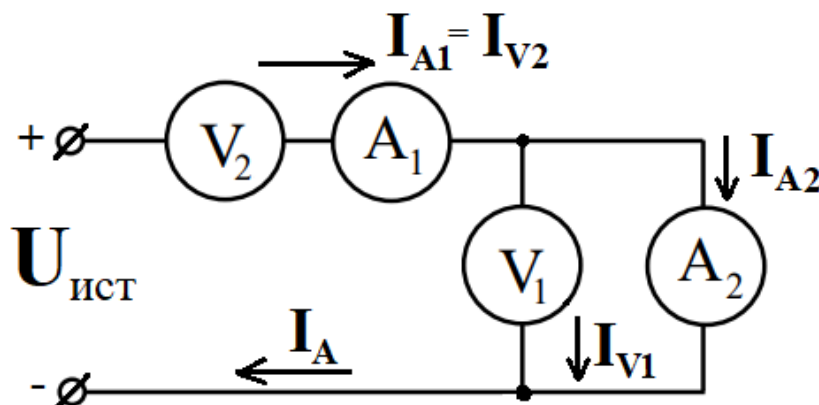
Оценивание задания 3

Соотношение (1) для работы газа за цикл $A_{\text{ц}}$ (пункт 1 решения)	1 балл
Утверждение о том, что минимальной будет температура газа в состоянии 1 и запись выражения (2) для T_{\min} с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона (пункт 2 решения)	0,5 балла
Утверждение о том, что максимальной будет температура газа на участке 2–3 (пункт 3 решения)	0.5 балла
Получено соотношение (5) для зависимости давления от объема на участке 2–3 $P = f(V)$ (пункт 4 решения)	2 балла
Получена зависимость (6) температуры газа от его объема на участке 2–3 $T = f(V)$ (пункт 5 решения)	2 балла
Найдено наибольшее значение температуры T_{\max} (формула 8) (пункт 6 решения)	2 балла
Записано выражение (9) для максимального изменения температуры газа в рассматриваемом процессе (пункт 7 решения)	1 балла

Получен окончательный числовой ответ для работы газа за цикл $A_{Ц}$ (пункт 8 решения)	1 балл
--	--------

Задание 4. Электрическая цепь (10 баллов)

1) Поскольку ток, текущий через вольтметр, последовательно соединенный с амперметром A_1 , больше тока, текущего через вольтметр, соединенный с амперметром A_2 параллельно, то показание $U_{V1} = 0.4$ В относится к правому на схеме вольтметру (обозначим его V_1 на рисунке), показание $U_{V2} = 4.8$ В – к левому на схеме вольтметру (обозначим его V_2 на рисунке).



2) Пусть сопротивление амперметров – R_A , а вольтметров – R_V (амперметры и вольтметры одинаковые). Так как вольтметр V_2 показывает напряжение на самом себе, и через него течет тот же ток, что и через первый амперметр ($I_A = I_{A1} = 3$ мА), из закона Ома для этого вольтметра имеем

$$R_V = U_{V2} / I_{V2} = U_{V2} / I_{A1}. \quad (1)$$

3) Поскольку сопротивление вольтметров одинаково, то ток, текущий через правый вольтметр V_1 , в U_{V1} / U_{V2} раза отличается от тока, текущего через первый вольтметр V_2 :

$$\begin{aligned} R_V &= U_{V2} / I_{A1} = U_{V2} / I_{V2} = U_{V1} / I_{V1}, \\ I_{V1} &= (U_{V1} / U_{V2}) \cdot I_{V2} = (U_{V1} / U_{V2}) \cdot I_{A1}. \end{aligned} \quad (2)$$

4) Первое правило Кирхгофа для токов:

$$I_{A1} = I_{A2} + I_{V1}. \quad (3)$$

Подставив в (2) соотношение (3) получаем ток, текущий через второй амперметр A_2

$$I_{A2} = I_{A1} - I_{V1} = I_{A1} - (U_{V1} / U_{V2}) \cdot I_{A1} = [(U_{V2} - U_{V1}) / U_{V2}] \cdot I_{A1}. \quad (4)$$

5). Подставляем числовые значения и находим искомый ток I_{A2} :

$$I_{A2} = [(4.8 - 0.4) / 4.8] \cdot 3 \text{ мА} = 2.75 \text{ мА}.$$

6) Выразим сопротивление амперметра R_A . Для параллельного участка:

$$\begin{aligned} U_{V1} &= U_{A2}, \\ I_{V1} R_V &= I_{A2} R_A. \end{aligned}$$

С учетом (2) и (4) получим

$$\begin{aligned} R_A / R_V &= I_{V1} / I_{A2} = [(U_{V1} / U_{V2}) \cdot I_{A1}] / I_{A2} = (U_{V1} / U_{V2}) \cdot (I_{A1} / I_{A2}) = \\ &= (U_{V1} / U_{V2}) \cdot [U_{V2} / (U_{V2} - U_{V1})] = U_{V1} / (U_{V2} - U_{V1}). \end{aligned}$$

Отсюда сопротивление амперметра (с учетом того, что $R_V = U_{V2} / I_{A1}$):

$$R_A = [(U_{V1} \cdot U_{V2}) / (U_{V2} - U_{V1})] / I_{A1}. \quad (5)$$

7) Тогда напряжение на первом амперметре A_1 :

$$U_{A1} = I_{A1} \cdot R_A = (U_{V1} \cdot U_{V2}) / (U_{V2} - U_{V1}). \quad (6)$$

8) А поскольку напряжение источника $U_{ист}$ равно сумме напряжений на первом амперметре A_1 , втором вольтметре V_2 , и участке параллельно соединенных второго амперметра A_2 и первого вольтметра V_1 , имеем для напряжения источника

$$U_{\text{ист}} = U_{V2} + U_{A1} + U_{V1} = U_{V1} + U_{V2} + (U_{V1} \cdot U_{V2}) / (U_{V2} - U_{V1}), \quad (7)$$

$$U_{\text{ист}} = 0.4 + 4.8 + (0.4 \cdot 4.8) / (4.8 - 0.4) = \approx 5.64 \text{ В.}$$

Оценивание задания 4

Определено, что показание $U_{V1} = 0.4 \text{ В}$ относится к правому на схеме вольтметру (V_1 на рисунке), показание $U_{V2} = 4.8 \text{ В}$ – к левому на схеме вольтметру (V_2 на рисунке) (пункт 1 решения)	2 балла
Записан закон Ома (1) для вольтметра V_2 (пункт 2 решения)	1 балл
Получено соотношение (2) для тока I_{V1} , текущего через вольтметр V_1 (пункт 3 решения)	1 балл
Выражение (4) для тока I_{A2} , текущего через второй амперметр A_2 (пункт 4 решения)	1 балл
Найден ток I_{A2} (пункт 5 решения)	1 балл
Получено соотношение (5) для сопротивления амперметра R_A (пункт 6 решения)	2 балла
Найдено напряжение (6) на первом амперметре A_1 (пункт 7 решения)	1 балл
Получено соотношение (7) для напряжения источника $U_{\text{ист}}$ и получен числовой ответ (пункт 8 решения)	1 балл

Задание 5. Движение двух тел (псевдоэксперимент) (10 баллов)

1) Запишем закон сохранения механической энергии

$$E_{\text{кин}0} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}},$$

$$(mv_0^2)/2 = (mv^2)/2 + mgh. \quad (1)$$

2) Из закона сохранения механической энергии получаем

$$v^2 = v_0^2 - 2gh, \quad (2)$$

где v_0 – начальная скорость шарика, т.е. скорость на уровне стола.

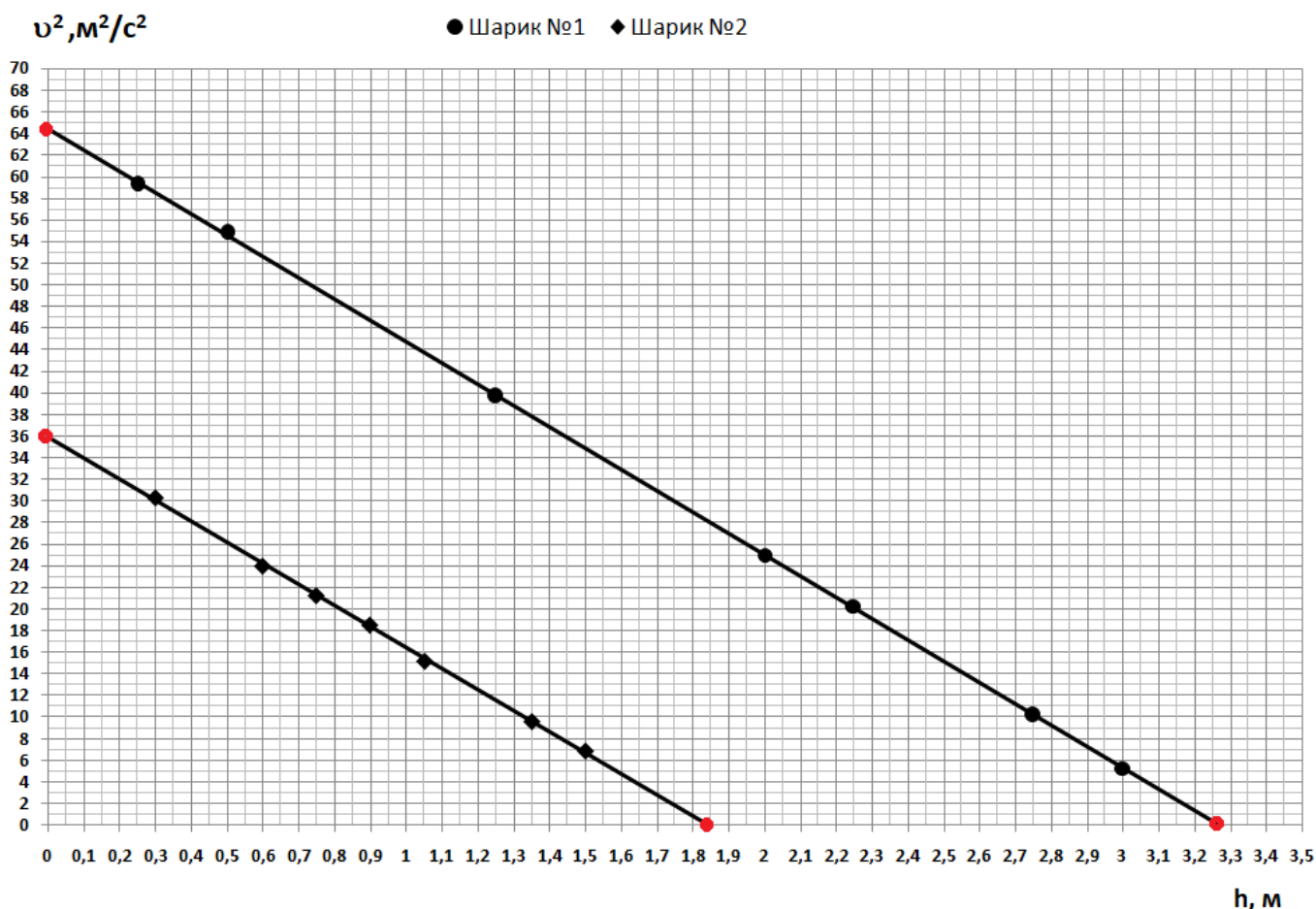
Следовательно, зависимость квадрата скорости от высоты $v^2 = f(h)$ будет линейной (убывающая функция $y = b - kx$).

3) Нанесем все экспериментальные точки на плоскость.

Таблица №1. Экспериментальные результаты

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$h, \text{ м}$	0,25	0,30	0,50	0,60	3,00	1,05	2,75	1,35	2,00	2,25	0,90	1,25	0,75	1,50
$v, \text{ м/с}$	7,7	5,5	7,4	4,9	2,3	3,9	3,2	3,1	5,0	4,5	4,3	6,3	4,6	2,6
$v^2, \text{ м}^2/\text{с}^2$	59,3	30,3	54,8	24,0	5,3	15,2	10,2	9,6	25,0	20,3	18,5	39,7	21,2	6,8

Проведем прямые через экспериментальные точки.



4) Максимальная высота подъема шарика над столом h_{\max} соответствует пересечению графика с горизонтальной осью h . Найдем максимальные высоты для шариков из графика:

$$h_{\max 1} \approx 3,26 \text{ м},$$

$$h_{\max 2} \approx 1,84 \text{ м}.$$

5) Пересечению графика с вертикальной осью соответствует v_0^2 . Найдем начальные скорости v_{01} и v_{02} , с которыми шарик подбрасывались вверх, используя эти точки:

$$v_{01} = \sqrt{64} = 8 \text{ м/с},$$

$$v_{02} = \sqrt{36} = 6 \text{ м/с}.$$

Примечание к пунктам 4 и 5.

Участник олимпиады может определить или начальные скорости v_{01} и v_{02} , или максимальные высоты $h_{\max 1}$ и $h_{\max 2}$ аналитически, используя кинематические уравнения, перед этим определив только максимальные высоты или только начальные скорости для шариков через график зависимости $v^2 = f(h)$. За такой способ определения искомых величин баллы не снижаются.

6) Для определения времен полёта шариков воспользуемся уравнением

$$y_{\text{кон}} = y_0 + v_{0y}t + (g_y t^2) / 2. \quad (3)$$

Для первого шарика:

$$0 = 0 + v_{01} t_{\text{общ1}} - (g t_{\text{общ1}}^2) / 2.$$

Отсюда

$$t_{\text{общ1}} = (2v_{01})/g \approx 1,63 \text{ с}.$$

Аналогично для второго шарика:

$$t_{\text{общ2}} = (2v_{02})/g \approx 1,22 \text{ с}.$$

Оценивание задания 5

Использование закона сохранения механической энергии (пункт 1 решения)	1 балл
Вывод о том, что зависимость квадрата скорости от высоты $v^2 = f(h)$ будет линейной, соотношение (2) (пункт 2 решения)	2 балла
Построение графика (пункт 3 решения)	3 балла
Вывод о том, что максимальная высота подъема шарика над столом h_{\max} соответствует пересечению графика с горизонтальной осью h (пункт 4 решения)	1 балл
Найдены максимальные высоты $h_{\max 1}$ и $h_{\max 2}$ (пункт 4 решения)	0,5+0,5 = 1 балл
Найдены начальные скорости v_{01} и v_{02} , с которыми шарики подбрасывались вверх (пункт 5 решения)	0,5+0,5 = 1 балл
Найдены времена полётов для шариков $t_{\text{общ}1}$ и $t_{\text{общ}2}$ (пункт 6 решения)	0,5+0,5 = 1 балл