

**СТАВРОПОЛЬСКИЙ КРАЙ**  
**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников**  
**2023–2024 учебного года**  
**ФИЗИКА**  
**(решения)**

**10 класс**

**Задача 1**

Для эффективности игры высококлассный футболист исполняет удар по мячу таким образом, чтобы тот влетал под перекладину, двигаясь параллельно земле. При таком исполнении вратарь практически не имеет шанса отбить мяч. Футболист во время удара находится напротив ворот на расстоянии 30 м от них. Стандартная высота перекладины ворот от земли равна 2,4 м. С какой скоростью должен двигаться мяч после удара футболиста, чтобы получился описанный выше замысловатый удар? Под каким углом к горизонту при этом должен быть пущен мяч? Ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Мяч после удара движется в вертикальной плоскости. Размерами мяча и сопротивлением воздуха пренебрегите.

**Возможное решение**

Заметим, что из факта параллельности движения мяча следует, что мяч проходит верхнюю точку своей траектории. Значит, по горизонтали мяч прошел половину максимальной дальности полета, а по вертикали достиг максимальной высоты подъема. Воспользуемся готовыми и общеизвестными формулами максимальной высоты подъёма и половины максимальной дальности полета при баллистическом движении:

$$H = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}; \quad L = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \cdot v_0 \cos \alpha = \frac{v_0^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{g} \Rightarrow \frac{H}{L} = \frac{\tan \alpha}{2};$$
$$\alpha = \arctg \frac{2H}{L} \Rightarrow \alpha = \arctg \frac{2 \cdot 2,4}{30} \approx 9,09^\circ.$$

Нетрудно теперь получить выражение для скорости запуска мяча из выражения для дальности (или высоты) полета:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gH}{\sin^2 \alpha}} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot 2,4}{\sin^2 9,09^\circ}} \approx 43,4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 156 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

*Критерии к одному из возможных решений*

№	Положения	Баллы
1	Отмечено, что мяч находится в верхней точке траектории	<b>1</b>
2	Указана без доказательства (или выведена пошагово) формула максимальной высоты подъема мяча	<b>2</b>
3	Указана без доказательства (или выведена пошагово) формула половины максимальной дальности полета мяча	<b>2</b>
4	Получена формула для нахождения угла запуска мяча	<b>2</b>
5	Получено численное значение угла запуска мяча к горизонту	<b>1</b>
6	Получена формула для нахождения начальной скорости запуска мяча	<b>1</b>
7	Получено численное значение начальной скорости запуска мяча	<b>1</b>

***Примечание:***

Формулы высоты и дальности полета могут быть очевидны для участника, который регулярно занимается олимпиадами. Ведь даже из формулы кодификатора ЕГЭ можно почерпнуть:

$$v_{2x}^2 - v_{1x}^2 = 2a_x(x_2 - x_1) = 2a_x S_x!$$

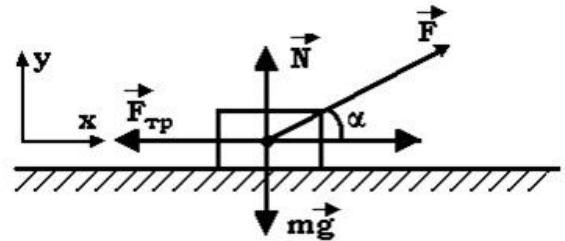
Таким образом, можно принять знание формулы высоты подъема и дальности полета как результат умственной деятельности учащегося (нужно ведь запомнить и уметь верно применить). Если же возникает предположение о списывании готовой формулы – так и вывод самой формулы из любого электронного учебника также можно будет списать...

## Задача 2

На горизонтальной шероховатой плоскости с коэффициентом трения 0,2 покоится кубик массой 3 кг. Этот кубик движется по плоскости с постоянной скоростью, если приложить к нему горизонтальную силу  $F$ . С каким ускорением будет двигаться по этой же поверхности кубик массой 1 кг, если к нему приложить силу, равную по модулю  $F$  и направленную вверх под углом  $37^\circ$  к горизонту. Ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Размерами кубика пренебрегите.

### Возможное решение

Нетрудно записать очевидные формулы для проекций второго закона Ньютона на вертикальное и горизонтальное направление в обоих случаях:



$$\begin{cases} F - F_{1\text{тр}} = 0 \\ N_1 - m_1 g = 0 \end{cases}; \quad \begin{cases} F \cdot \cos\alpha - F_{2\text{тр}} = m_2 a \\ N_2 + F \cdot \sin\alpha - m_2 g = 0 \end{cases}$$

Так как в обоих случаях происходит скольжение, можно применить закон Кулона-Амонтона для силы трения скольжения:

$$\begin{cases} F_{1\text{тр}} = \mu \cdot N_1 \\ F_{2\text{тр}} = \mu \cdot N_2 \end{cases}$$

Из систем этих уравнений легко получаются следующие соотношения:

$$F = \mu \cdot m_1 g; \quad N_2 = (m_2 - \mu \cdot m_1 \cdot \sin\alpha)g;$$

$$a = \frac{g}{m_2} [\mu \cdot m_1 \cdot \cos\alpha - \mu \cdot (m_2 - \mu \cdot m_1 \cdot \sin\alpha)];$$

$$a = g\mu \left[ \frac{m_1}{m_2} \cdot (\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha) - 1 \right];$$

$$a = 0,2 \cdot 9,8 \cdot \left[ \frac{3}{1} \cdot (\cos 37 + 0,2 \cdot \sin 37) - 1 \right] \approx 3,44 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

*Критерии к одному из возможных решений*

№	Положения	Баллы
1	Верно записан второй закон Ньютона на горизонталь для ситуации 1	1
2	Верно записан второй закон Ньютона на вертикаль для ситуации 1	1
3	Верно записан второй закон Ньютона на горизонталь для ситуации 2	2
4	Верно записан второй закон Ньютона на вертикаль для ситуации 2	2
5	Записан закон Кулона-Амонтона для ситуации 1	0,5
6	Записан закон Кулона-Амонтона для ситуации 2	0,5
7	Получено верное выражение для ускорения кубика	2
8	Получено численное значение ускорения кубика	1

***Примечание:***

Участник может рассчитывать по отдельности некоторые силы, но дополнительные баллы за это не добавляются и не снимаются, ибо на суть решения и необходимый минимум законов в решении задачи это никак не влияет. Это право участника, при котором он потеряет время или же дополнительно ошибется.

Участник в уравнениях для второго закона Ньютона может сразу же записывать силу трения в форме Кулона-Амонтона через силу нормального давления. Тогда за соответствующие уравнения ставится не 1 (п.1) и 2 (п.3) балла, а 1,5 и 2,5 балла соответственно!

### Задача 3

Некоторый одноатомный газ участвует в замкнутом цикле  $1 - 2 - 3 - 1$ , состоящем из трех последовательных процессов. Из состояния 1 в состояние 2 газ расширяется так, что его абсолютная температура прямо пропорциональна объему. Затем газ переводится в состояние 3, причем давление газа прямо пропорционально его объему. В исходное состояние 1 газ переводится при постоянной температуре. Определите отношение объема газа в состоянии 2 к объему газа в состоянии 1, учитывая, что давление газа в состоянии 1 втрое выше давления газа в состоянии 3.

### **Возможное решение**

Так как в процессе  $1 - 2$  температура пропорциональна объему, давление газа в данном процессе постоянно. Это следует и из уравнения Менделеева-Клапейрона,

$$pV = \nu RT,$$

и из закона Гей-Люссака. Тогда

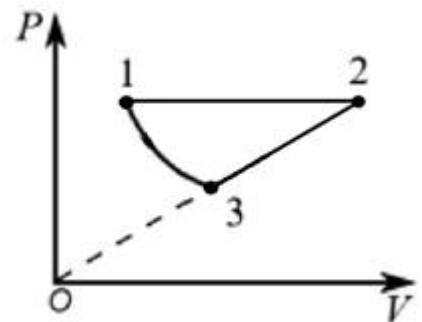
$$p_1 = p_2 = 3p_3.$$

Исходя из условия задачи, для процесса  $2 - 3$  можно записать пропорцию

$$\frac{p_2}{p_3} = \frac{V_2}{V_3} \Rightarrow V_3 = \frac{1}{3}V_2.$$

Процесс  $3 - 1$  изотермический, а потому из уравнения Менделеева-Клапейрона (или же из закона Бойля-Мариотта) справедливо соотношение

$$\begin{aligned} p_1 \cdot V_1 &= p_3 \cdot V_3 \Rightarrow \\ 3p_3 \cdot V_1 &= p_3 \cdot \frac{1}{3}V_2 \Rightarrow \\ \frac{V_2}{V_1} &= 9. \end{aligned}$$



*Критерии к одному из возможных решений*

№	Положения	Баллы
1	Обосновано, почему процесс 1 – 2 изобарный	2
2	Указано, что давление в состоянии 2 больше давления в состоянии 3 в три раза	1
3	Записана пропорция для давления и объема в состояниях 3 и 2	1
4	Найдено соотношение между объемами в состояниях 3 и 2	2
5	Записан закон Бойля-Мариотта для состояний 1 и 3	2
6	Получено численное значение соотношения объемов в состояниях 2 и 1	2

***Примечание:***

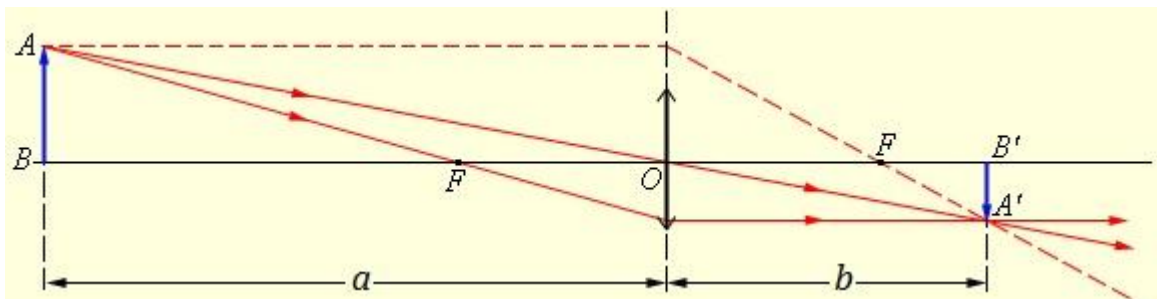
Участник может чертить график процесса, может и не чертить, но обязательно должен прокомментировать процесс 1 – 2. Без обоснования п. 1 участник получает максимальную оценку за задачу 3 балла (за п.3 и п.5)!

Если участник перепутал отношение объемов и получил значение  $1/9$ , ему выставляется за п.6 только 1 балл. В этом случае максимальная оценка за задачу составит 9 баллов!

#### Задача 4

Ученик Аркадий с помощью тонкой собирающей линзы получил на экране четкое изображение нити накала светящейся лампочки, причем линза отстояла от лампочки на  $1,3$  фокусного расстояния. Он увеличил вдвое расстояние между лампочкой и линзой, а затем уменьшил расстояние между экраном и линзой на  $30$  см. Оказалось, что при таком новом расположении предметов на экране вновь получается четкое изображение нити накала. Определите фокусное расстояние линзы в опытах Аркадия. Плоскость экрана параллельна спирали лампы и плоскости линзы. Центр экрана, центр лампочки и центр линзы лежат на одной прямой. Лампочка оставалась неподвижной.

#### Возможное решение



Приведем способ решения через формулу тонкой линзы.

Для двух состояний оптической системы запишем соответствующие соотношения:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{3}{13} \cdot \frac{1}{F},$$
$$\frac{1}{2a} + \frac{1}{b-L} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{b-L} = \frac{8}{13} \cdot \frac{1}{F}.$$

где  $a$  и  $b$  – расстояние между лампочкой и линзой, а также между линзой и изображением (экраном) соответственно.

Нетрудно показать из полученных соображений, что

$$\frac{b-L}{b} = \frac{3}{8} \Rightarrow b = \frac{8}{5} \cdot L.$$

Теперь можем найти фокусное расстояния:

$$F = \frac{3}{13} \cdot \frac{8}{5} \cdot L = \frac{24}{65} L \Rightarrow F = \frac{24}{65} \cdot 30 \text{ см} \approx 11,1 \text{ см}.$$

*Критерии к одному из возможных решений*

№	Положения	Баллы
1	Верно записана формула тонкой линзы для первой ситуации	2
2	Верно записана формула тонкой линзы для второй ситуации	2
3	Получено численное соотношение для $b$ и $F$	1
4	Получено численное соотношение для $b - L$ и $F$	1
5	Получено итоговое соотношение для $b$ через $L$	1
6	Получено итоговое соотношение для фокусного расстояния через смещение экрана	2
7	Получено численное значение для фокусного расстояния	1

***Примечание:***

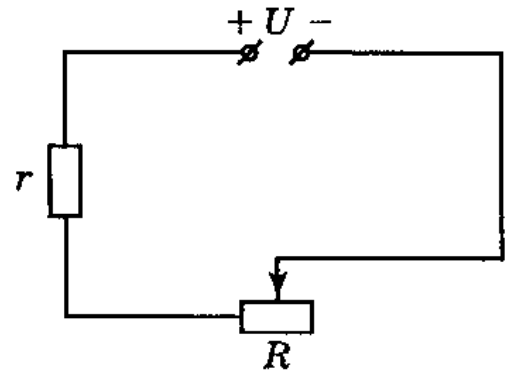
Данную задачу участник может решить графически, изобразив с верными обозначениями обе ситуации! За корректное построение каждой ситуации ставится по 1 баллу за каждое изображение, даже если далее не будет ни одного рассуждения.

Участник может проводить последовательность математических преобразований, отличную от авторских. Стоит оценивать подобное решение, исходя из разумности преобразований учащегося и выставляя баллы пропорционально полученным соотношениям! Ссылаться на «неавторское» решение и не разбираться из-за этого в конкретном решении участника запрещено!



### Задача 5

В лабораторном журнале экспериментатора Глюка однажды был найден отчет об исследовании зависимости силы тока  $I$  в цепи, изображенной на рисунке, от величины сопротивления  $R$  активной части реостата (резистора переменного сопротивления). Напряжение на зажимах идеального источника  $U$ . В цепь последовательно с реостатом было включено сопротивление  $r$ . В отчете были приведены результаты измерений в виде таблицы:



№ эксп.	1	2	3	4	5
$R, \text{кОм}$	0,5	1,5	5,0	7,5	10,0
$I, \text{мА}$	15,6	9,9	5,0	3,9	3,0

К сожалению, на этом отчет обрывался...

- 1) Получите теоретическую зависимость сопротивления активной части реостата от силы протекаемого в цепи тока  $R(I)$  с учетом параметров цепи  $U$  и  $r$ .
- 2) Построив и обработав необходимый на ваш взгляд график по данным результатам измерений, определите значения величин  $U$  и  $r$ .

### **Возможное решение**

По закону Ома для замкнутой цепи:

$$I(r + R) = U \Rightarrow R(I) = \frac{U}{I} - r.$$

Заметим, что эта зависимость прямолинейна по типу  $y(x) = kx + b$ , если положить, что

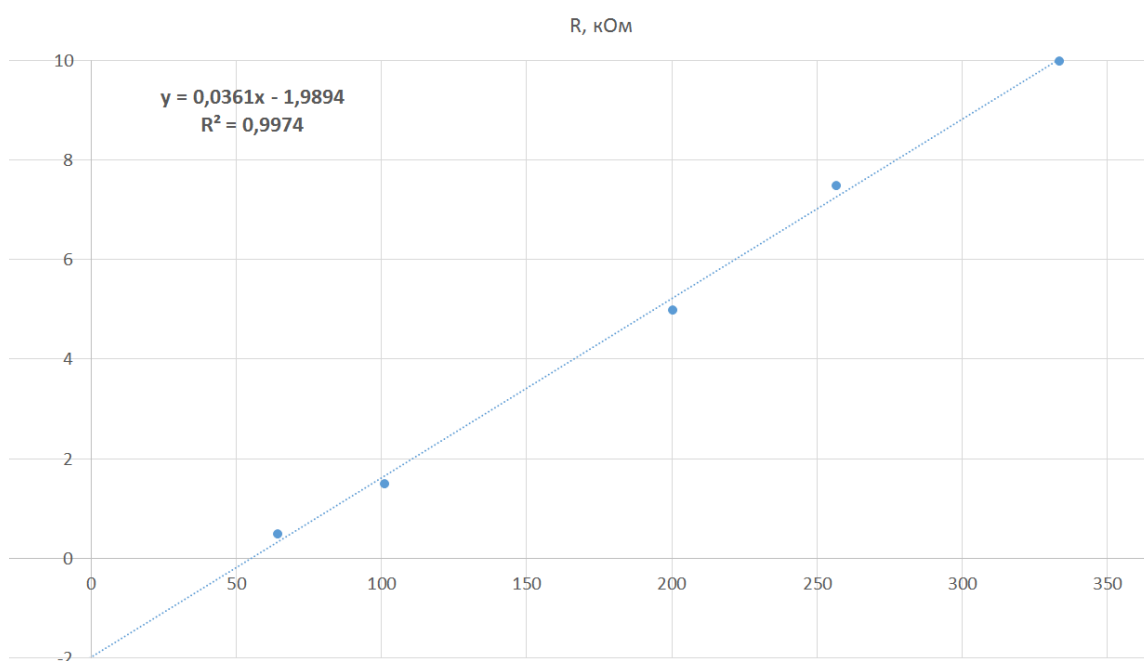
$$y \leftrightarrow R, \quad x \leftrightarrow \frac{1}{I}, \quad k \leftrightarrow U, \quad b \leftrightarrow (-r).$$

Следовательно, необходимо строить зависимость сопротивления от обратной силы тока! Пересчитаем приведенные результаты в наших обозначениях:

$I, \text{мА}$	$1/I, 1/\text{А}$	$R, \text{кОм}$
15,6	64,10	0,5
9,9	101,01	1,5
5	200,00	5
3,9	256,41	7,5
3	333,33	10

Не забываем о соблюдении важных правил (пунктов) при построении качественного графика:

- ✓ наличие осей и подписи этих осей;
- ✓ адекватный и наглядный масштаб осей – точки занимают не менее 50% области построения;
- ✓ на график нанесены все экспериментальные точки;
- ✓ через экспериментальные точки или относительно них проведена наиболее «подходящая» прямая.



Для проведенной прямой определим угловой коэффициент:

$$k = U = \frac{\Delta R}{\Delta(I^{-1})} = 0,036 \text{ кВ} = 36 \text{ В}.$$

Найдем свободный коэффициент  $b$  из анализа полученной прямой (возможно проведением прямой до пересечения с осью  $y$ ):

$$b = -r = -1,99 \text{ к}\Omega \Rightarrow r = 1,99 \text{ к}\Omega.$$

*Критерии к одному из возможных решений*

№	Положения	Баллы
1	Записан закон Ома для замкнутой цепи	<b>1</b>
2	Получена теоретическая зависимость $R(I)$	<b>1</b>
3	Обоснован выбор необходимых осей для построения графика	<b>1</b>
4	Пересчитана таблица для построения графика	<b>1</b>
5	Качество построения графика: оси + подписи осей	<b>0,5</b>
6	Качество построения графика: масштаб осей, точки занимают не менее 50% области построения	<b>0,5</b>
7	Качество построения графика: нанесены точки	<b>0,5</b>
8	Качество построения графика: проведена прямая	<b>0,5</b>
9	Определен угловой коэффициент прямой $k = 0,036$	<b>1</b>
10	Определено напряжение источника: $U = 36,0$ В (34,2 – 37,8) В 1,0 балла (32,4 – 39,6) В 0,5 балла	<b>1</b>
11	Найден свободный коэффициент из анализа полученной прямой (возможно проведением прямой до пересечения с осью $y$ ) $b = -1.99$	<b>1</b>
12	Определено сопротивление: $r = 2$ кОм (1,9 – 2,1) кОм 1,0 балла (1,8 – 2,2) кОм 0,5 балла	<b>1</b>

**Примечание:**

Если участник не строит график, а получает результат лишь подставляя значения нескольких точек в уравнение, то выставляются баллы лишь за п.1, п.2, п.10, п.12 и максимальная оценка за задачу составит не более 4 баллов!

Если участник определяет угловой коэффициент своей прямой и свободный коэффициент, но они не совпадают с авторскими, за п.9 и за п.11 ставятся по 0,5 балла! В этих пунктах важна работа с графиком и его анализ, даже при неверных цифрах.

Участник может строить зависимость  $I \cdot R = U - I \cdot r$ , пересчитав предварительно столбец  $I \cdot R$  как величину  $y$ . При правильных действиях этот вариант также даст правильный результат и пункты оценивания не изменятся!