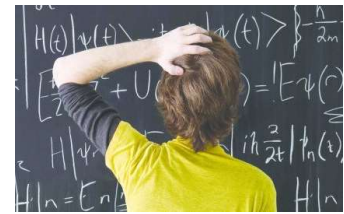


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

10 класс, 2023/2024 учебный год  
Длительность 3 часа 50 минут  
Максимум 50 баллов.



### Задача № 1. Вертикальные броски

Ёжик и Крош решили заняться экспериментами по физике. Крош забрался на большую высоту и стал бросать вертикально яблоки, а Ёжик делал измерения. Ёжик определил, что за 2 секунды с момента броска некоторые яблоки проходят путь, равный 10,4 м. С какой начальной скоростью и в каком направлении бросает эти яблоки Крош? Размерами яблок и сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения  $10 \text{ м/с}^2$ .

#### Возможное решение:

Обозначим начальную скорость мячика  $v_0$ .

В задаче могут быть разные варианты развития событий, и нужно рассмотреть их все. Начнем со случая, когда яблоко брошено вертикально вверх и в течение указанного времени движется только вверх (не меняет направление своего движения). Тогда перемещение яблока тоже равно 10,4 м, так что можно найти начальную скорость:

$$S = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \Rightarrow v_0 = \frac{S}{t} + \frac{gt}{2} = \frac{10,4}{2} + \frac{10 \cdot 2}{2} = 15,2 \text{ м/с.}$$

Но необходимо проверить, какой будет конечная скорость:

$$v_k = v_0 - gt = 15,2 - 10 \cdot 2 = -4,8 \text{ м/с.}$$

Получили противоречие, ведь мы предполагали, что направление движения не изменится. Так что такой вариант не реализуется.

Возможно, реализуется другой вариант – яблоко сначала подлетает вверх на некоторую высоту  $h$ , а затем пролетает вниз расстояние  $(S - h)$ .

Время подъема:  $t_{\text{под}} = v/g$ , тогда  $h = v^2/(2g)$ . Тогда:

$$S - h = \frac{g(t - t_{\text{под}})^2}{2}, \Rightarrow S - \frac{v^2}{2g} = \frac{g}{2} \left( t^2 - \frac{2vt}{g} + \frac{v^2}{g^2} \right),$$

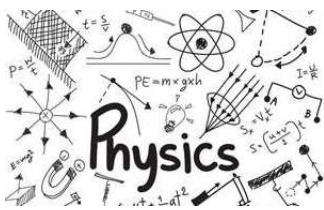
приходим к квадратному уравнению:

$$\frac{v^2}{g} - vt + \frac{gt^2}{2} - S = 0, \Rightarrow v = \frac{g}{2} \left( t \pm \sqrt{\frac{4S}{g} - t^2} \right).$$

Получаем два положительных ответа 12 м/с и 8 м/с. Оба имеют физический смысл, поэтому оставляем оба.

Третий вариант – это бросок яблока вертикально вниз. Допустим, яблоко начинает двигаться без начальной скорости, тогда за 2 секунды оно пройдет расстояние:  $H = gt^2/2 = 20$  метров, что больше заданного в условии. Поэтому такой вариант также не реализуется.

Итак, ответ к задаче следующий: Крош бросает яблоки, удовлетворяющие условию, вертикально вверх с начальной скоростью либо 8 м/с, либо 12 м/с.

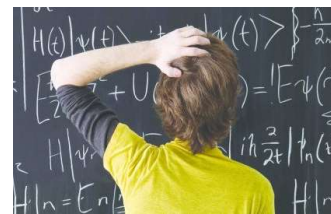


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



**Критерии оценивания:**

- 1) Участник рассматривает случай движения яблока вертикально вверх без перемены направления движения – **1 балл**.
- 2) В результате анализа получено противоречие, и указано, что случай не реализуется – **2 балла**.
- 3) Анализируется случай, когда яблоко поднимается на некоторую высоту, а затем летит вниз, получено правильное уравнение для нахождения начальной скорости – **4 балла (2 балла формулы для времени подъема, высоты подъема, и 2 балла за формулу для начальной скорости)**.
- 4) Найдены оба значения начальной скорости – **2 балла (по 1 баллу за каждое)**.
- 5) Участник рассматривает случай движения яблока вертикально вниз и показывает, что он не реализуется – **1 балл**.

**Примечание:** В п. 3 участники могут пойти другим путем, рассматривая вместо времени подъема время подъема и возврата на исходную высоту. Такое решение тоже верное и должно оцениваться соответственно.

Если одно из решений квадратного уравнения было по какой-то причине потеряно или отброшено, то участник не может получить за задачу максимальное количество баллов.

**Итого максимум 10 баллов за задачу.**

**Задача № 2. Эксперименты с шарами.**

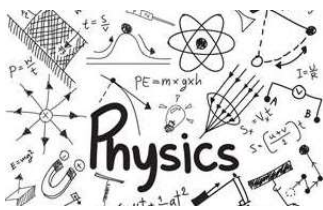
Три бусины разной массы насажены на тонкий гладкий горизонтальный стержень (т.е. могут свободно двигаться по нему). Масса бусинки посередине  $m_2 = 30$  г. В начале эксперимента бусинки были неподвижными. Затем левую бусинку толкают к средней бусинке, сообщая ей некоторую скорость. Известно, что удар левой и средней бусинки абсолютно упругий, а средней и правой бусинки – абсолютно неупругий.

Происходит первый удар, и половина начальной кинетической энергии левой бусинки переходит к средней бусинке. Затем происходит второй удар, при котором половина кинетической энергии средней бусинки превращается в тепло. Найдите массы крайних бусин.

**Возможное решение:**

Обозначим  $v_0$  – начальная скорость левой бусинки.

Тогда его начальная кинетическая энергия:  $E_0 = \frac{m_1 v_0^2}{2}$ .

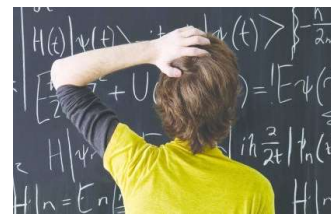


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

10 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Запишем закон сохранения импульса и закон сохранения энергии для удара левой и средней бусинок (абсолютно упругий удар):

$$m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2, \text{ и}$$
$$\frac{m_1 v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

(по 1 баллу за каждый закон сохранения, итого 2 балла).

Решим эту систему из двух уравнений, получим скорость средней бусинки после удара (1 балл):

$$v_2 = \frac{2m_1 v_0}{m_1 + m_2}.$$

Тогда кинетическая энергия средней бусинки:

$$E_2 = \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{4m_2 m_1^2 v_0^2}{2(m_1 + m_2)^2} = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} E_0 = \frac{E_0}{2}.$$

Отсюда (1 балл):  $8m_1 m_2 = (m_1 + m_2)^2$ .

При решении уравнения получатся корни (2 балла, по 1 баллу за каждый корень):

$$m_1 = (3 \pm \sqrt{8})m_2.$$

Далее происходит абсолютно неупругий удар средней бусинки о правую бусинку. По закону сохранения импульса:  $m_2 v_2 = (m_2 + m_3)v_3$ , тогда (1 балл)

$$v_3 = \frac{m_2}{m_2 + m_3} v_2.$$

Согласно условию, в тепло переходит половина энергии. С другой стороны (1 балл),

$$Q = \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_2 + m_3)v_3^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} \left(1 - \frac{m_2}{m_2 + m_3}\right),$$

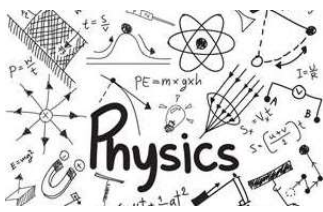
значит (1 балл)

$$\left(1 - \frac{m_2}{m_2 + m_3}\right) = \frac{1}{2}, \Rightarrow m_3 = m_2 = 30 \text{ г.}$$

Тогда (1 балл)  $m_1 \approx 174,85$  г или  $m_1 \approx 5,15$  г.

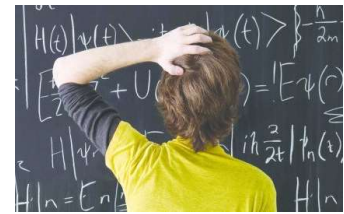
**Примечание:** участники могли пойти другим путем, рассматривая две ситуации – когда первая бусинка после удара летит либо вперед, либо назад. Такое решение тоже является верным. В случае, если рассмотрена только одна ситуация (и в итоге потеряно одно значение массы первой бусинки), участник может получить максимум 8 баллов за задачу.

**Итого максимум 10 баллов за задачу.**



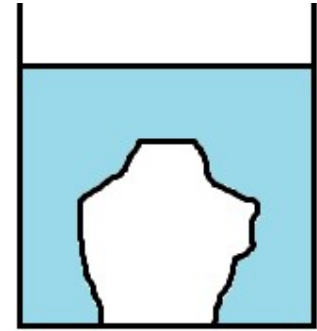
Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

10 класс, 2023/2024 учебный год  
Длительность 3 часа 50 минут  
Максимум 50 баллов.



**Задача № 3. Примороженный лед.**

Кусок льда при  $T_1 = -10^{\circ}\text{C}$  прикрепили ко дну теплоизолированного цилиндрического сосуда. Затем в сосуд аккуратно налили воду так, чтобы лед не всплыл, но оказался полностью под водой. Когда установилось тепловое равновесие, уровень воды в сосуде понизился на 2 %. Какова начальная температура налитой воды? Считайте, что масса налитой воды равна массе куска льда. Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$ , удельная теплоемкость льда  $2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$ , удельная теплота плавления льда  $330 \text{ кДж}/\text{кг}$ . Теплоемкостью сосуда, испарением воды и тепловым расширением тел пренебречь. Плотность воды  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ , плотность льда  $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Лёд в процессе эксперимента не всплывает!



**Возможное решение:**

Сначала необходимо проверить, весь ли лед растаял или только его часть. Ясно, что лед таять будет, так как меняется уровень воды в сосуде.

Предположим, что растаял весь лед.

Сначала объем содержимого сосуда складывается из объема льда  $V_1 = m/\rho$  и объема залитой воды  $V_2 = m/\rho_0$ . Пусть  $H$  – первоначальный уровень воды сразу после заливки.

Тогда  $SH = V_1 + V_2$ . Выразим отсюда  $H$ :

$$H = \frac{V_1 + V_2}{S} = \frac{m}{S} \frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 \rho}.$$

Уменьшение объема после таяния всего льда составит:

$$\Delta V = V_1 - V_2 = m \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 \rho},$$

Это приведет к понижению уровня воды на

$$\Delta H = \frac{V_1 - V_2}{S} = \frac{m}{S} \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 \rho}.$$

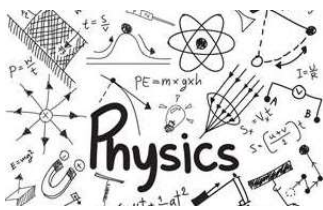
Относительное уменьшение уровня воды будет:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 + \rho} = 0,053, \text{ т. е. } 5,3\%.$$

Это больше, чем задано в условии, поэтому лед растаял не весь, поэтому в сосуде установится температура  $0^{\circ}\text{C}$ .

Обозначим массу растаявшего льда  $\Delta m$ . Тогда в сосуде останется

$$V_{11} = \frac{m - \Delta m}{\rho},$$

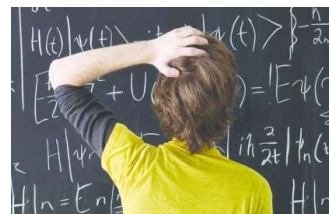


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

10 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



суммарный объем воды

$$V_{21} = \frac{m + \Delta m}{\rho_0}.$$

Фактическое изменение объема:

$$\Delta V_1 = (V_1 + V_2) - (V_{11} + V_{21}) = \frac{\Delta m}{\rho} - \frac{\Delta m}{\rho_0} = \Delta m \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 \rho} = \Delta H \cdot S.$$

Тогда

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta m \rho_0 - \rho}{S \rho_0 \rho} \text{ и } \frac{\Delta H_1}{H} = \frac{\Delta m \rho_0 - \rho}{m \rho_0 + \rho} = \alpha,$$

где  $\alpha = 2\% = 0,02$ .

Значит

$$\frac{\Delta m}{m} = \alpha \frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 - \rho} \approx 0,38.$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$c_B m (T - T_0) = \lambda \Delta m + c_L m (T_0 - T_1), \text{ где } T_0 = 0^\circ \text{C}.$$

Отсюда найдем температуру воды  $T$ :

$$T = \frac{\lambda \Delta m}{c_B m} + \frac{c_L}{c_B} (-T_1) = \frac{330000}{4200} 0,38 + \frac{2100}{4200} 10 \approx 35^\circ \text{C}.$$

**Критерии оценивания:**

Получена связь начального уровня воды с массой льда – **2 балла**.

Посчитано изменение объема льда при таянии – **1 балл**.

Показано, что не весь лед растает – **2 балла**.

Получена связь растаявшей массы льда и изменением уровня воды – **2 балла**.

Верно записано уравнение теплового баланса – **2 балла**.

Получен верный ответ – **1 балл**.

**Итого максимум 10 баллов за задачу.**

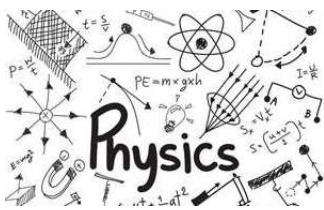
---

#### Задача № 4. Физика в искусстве

На выставке известного художника Иванова И.И. один из экспонатов был таким: это была вертикальная, абсолютно белая плоская стена, напротив которой параллельно ей было установлено вертикальное плоское зеркало. Во время презентации экспоната Иванов И.И. на глазах у присутствующих нанес на стену две узкие красные вертикальные полосы от пола и до потолка.





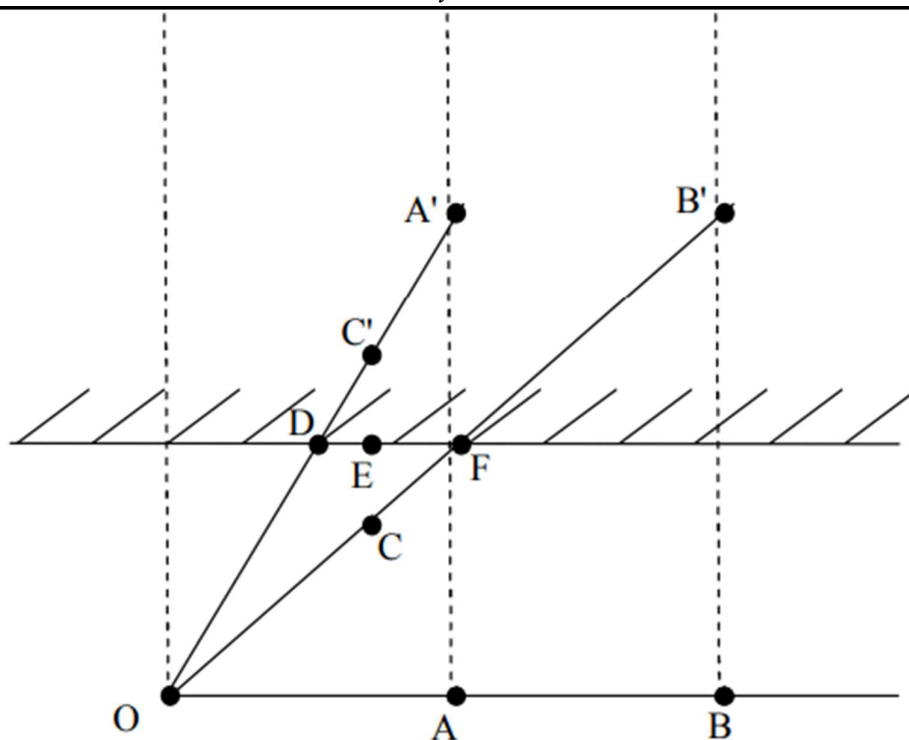
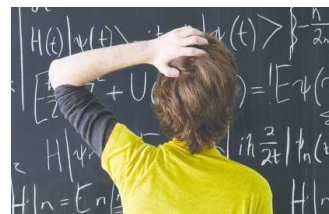


Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике

10 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



На рисунке т. О – это место, где стоит фотограф Сергей, т. А, т. В и т. С – положения полос и стойки, А', В' и С' – положения их изображений. Из заданных расстояний и правил построения изображений следует, что  $\operatorname{tg}(A'O A) = 2$ ,  $\operatorname{tg}(B'O A) = 1$ ,  $DF = l/2$ . Чтобы т. С' действительно была изображением т. С, нужно, чтобы  $C'E = CE$ . Т.к.  $DE = CE/2$  и  $EF = CE$ , то  $3CE/2 = l/2$ , откуда  $CE = l/3$ . Это и есть искомое расстояние.

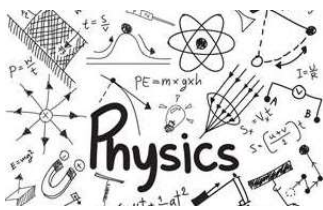
**Ответ:** на расстоянии  $l/3$ .

**Критерии оценивания:**

- 1) Построены изображения полос в зеркале – **1 балл**.
- 2) Сделан рисунок, на котором отражена основная идея решения – **5 баллов**.
- 3) Получен численный ответ – **4 балла**.

**Примечание:** Чтобы рисунок был засчитан, необходимо, чтобы участник как-то пометил изображения стойки и полос. Вместо аналитических расчетов можно засчитывать графическое определение расстояния, если участник явно указывает, что он строит рисунок в масштабе и проводит по нему измерения, при этом расстояния от стойки и ее изображения до зеркала на рисунке участника должны быть действительно равны.

**Итого максимум 10 баллов за задачу.**

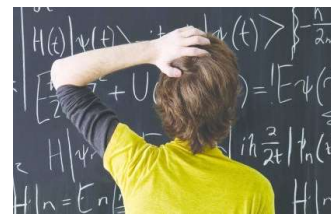


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2023/2024 учебный год

*Длительность 3 часа 50 минут*

*Максимум 50 баллов.*

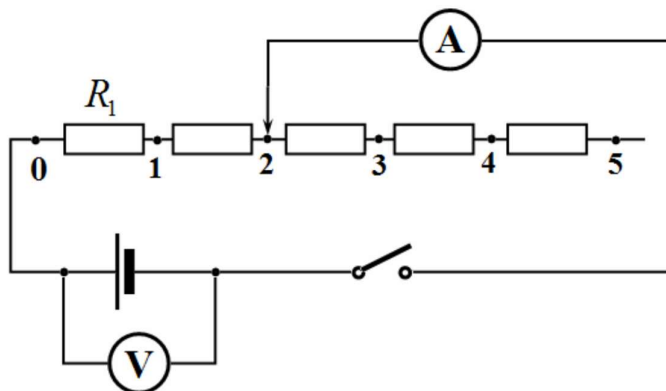


**Задача № 5. Много резисторов не бывает (Псевдоэксперимент)**

**Оборудование:** 2 листа миллиметровки формата А4 (предоставляются организаторами).

**При снятии измерений использовались:** источник питания на 4,5 В, амперметр, вольтметр, пять последовательно соединенных одинаковых неизвестных резисторов  $R_1$ , ключ, соединительные провода.

В ходе работы старшеклассники собрали следующую схему:



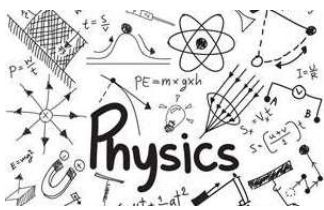
Затем, изменяя количество  $n$  включенных в электрическую цепь резисторов  $R_1$  от 0 до 5, старшеклассники записывали показания вольтметра и амперметра. По результатам измерений была составлена следующая таблица:

$n$	$I_n, A$	$U_n, B$
0	0,45	1,55
1	0,25	2,45
2	0,20	2,70
3	0,15	2,95
4	0,11	3,09
5	0,10	3,20

**Задания:**

- 1) Получите теоретическую зависимость силы тока  $I_n$  от напряжения  $U_n$  и количества последовательно подключенных резисторов  $n$ .
- 2) Укажите такую функцию  $Z_n(U_n, I_n)$  от величин  $U_n$  и  $I_n$ , чтобы ее зависимость от  $n$  (количества подключенных резисторов) была линейной.
- 3) Постройте график зависимости  $Z_n(n)$ .



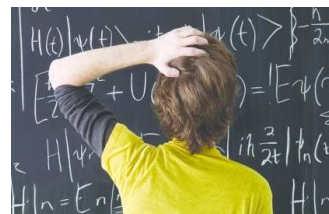


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



4) Используя полученный график, найдите сопротивление амперметра  $R_A$  и сопротивление резистора  $R_1$ .

**Возможное решение:**

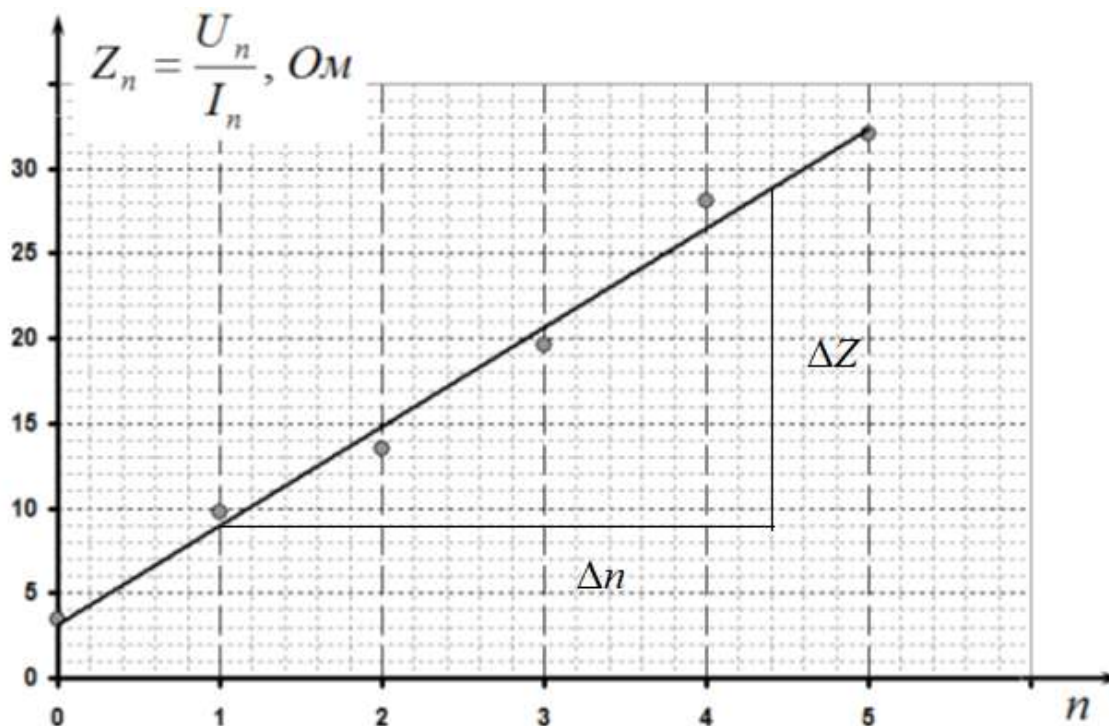
Запишем закон Ома для участка цепи:  $I_n = U_n / (nR_1 + R_A)$ ,

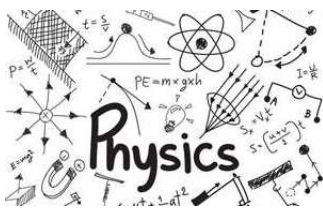
отсюда  $U_n / I_n = nR_1 + R_A$ , то есть отношение  $Z_n = U_n / I_n$  линейно зависит от  $n$ .

Чтобы построить график зависимости  $Z_n(n)$  сделаем дополнительные вычисления в таблице.

$n$	$I_n, A$	$U_n, B$	$Z_n = U_n / I_n$
0	0,45	1,55	3,444
1	0,25	2,45	9,800
2	0,20	2,70	13,500
3	0,15	2,95	19,667
4	0,11	3,09	28,091
5	0,10	3,20	32,000

Теперь можно построить график:



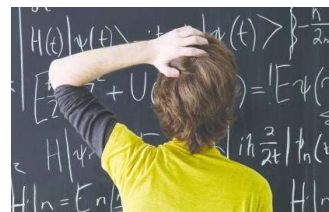


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике**

10 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



---

Из вида функции  $U_n/I_n = nR_1 + R_A$  видно, что коэффициент наклона графика равен сопротивлению  $R_1$ , а его сдвиг по вертикальной оси равен сопротивлению амперметра  $R_A$ .  
Из графика получим:  $R_A = 3,2$  Ом (допустимый диапазон плюс-минус 10%),  $R_1 = 5,8$  Ом (допустимый диапазон плюс-минус 10%).

**Критерии оценивания:**

- 1) Получение теоретической зависимости: **2 балла**.
- 2) Определение того, что функция  $Z_n(U_n, I_n)$  линейно зависит от  $n$ : **2 балла**
- 3) График оценивается в **4 балла**:
  - а) Адекватный масштаб – **1 балл**
  - б) Подписанные оси – **1 балл**
  - в) На всех осях нанесена шкала – **1 балл**
  - г) проведена оптимальная прямая (точки НЕ соединены ломаной) – **1 балл**
- 4) Получение из графика сопротивления амперметра  $R_A$  и сопротивления резистора  $R_1$  (в допустимом диапазоне) – **2 балла** (по **1 баллу** за каждое значение).

**Итого максимум 10 баллов за задачу.**

---