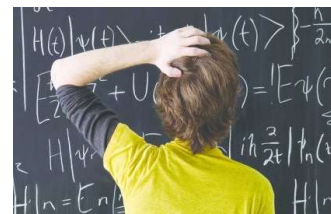


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2023/2024 учебный год

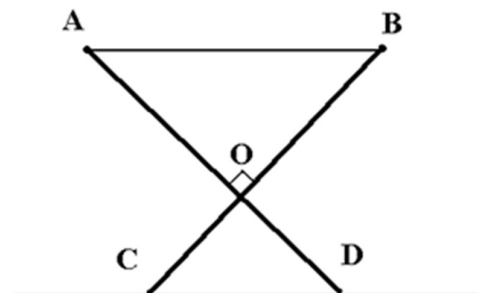
Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Задача № 1. Физика на балконе

Дома у экспериментатора Глюка стоит самодельная сушилка для одежды (форма сушилки показана на рисунке) из двух шарнирно соединенных жестких стержней с одной натянутой нитью. Как-то, собрав все высохшие вещи, Глюк провел небольшой эксперимент – подвесил к центру нити мокрый носок массой 300 грамм. Определите силу натяжения нити для этого случая. Считать, что пол под сушилкой гладкий, без нагрузки углы в т. О прямые, $DO/AO = OC/BO = 0,5$, носок равносителен точечной нагрузке, а нить нерастяжима и невесома.



Возможное решение:

Когда на нить подвешивают в середине массивное тело, то конфигурация сушилки изменяется.

Так как конструкция все равно остается симметричной, то углы EAF и EBF равны, обозначим их α .

Силы натяжения одинаковы и направлены вдоль нити.

Равновесие нити достигается при условии, что

$$2T \cdot \sin \alpha = mg \quad (2 \text{ балл}).$$

Силы реакции опоры направлены вверх и приложены в т. D и т. C. Конструкция симметричная, по вертикали действующие внешние силы – это две силы реакции и сила тяжести, тогда: $2N = mg$, значит $N = mg/2$ (2 балл).

Запишем условие равновесия стержня через моменты сил относительно т.О:

$$N \cdot OD \cdot \sin(\angle AOE) = T \cdot AO \cdot \sin(\angle OAE). \quad (2 \text{ балла}).$$

Рассмотрим треугольник AFO и запишем следующее равенство для углов, входящих в него: $\angle OAE + \angle EAF + \angle AOE + 90^\circ = 180^\circ$.

Тогда $\sin(\angle OAE) = \cos(\angle EAF + \angle AOE) = \cos(\angle EAF) \cdot \cos(\angle AOE) - \sin(\angle EAF) \cdot \sin(\angle AOE) = (AF/AE) \cdot (FO/AO) - (FE/AE) \cdot (AF/AO) = AF \cdot (FO - FE) / (AE \cdot AO)$.

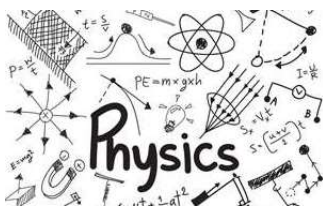
$$\text{Т.е. } \sin(\angle OAE) = AF \cdot (FO - FE) / (AE \cdot AO).$$

Также можно записать, что

$$\sin(\angle AOE) = AF/AO \text{ и } \sin(\angle EAF) = EF/EA$$

«Соберем» все, что выразили:

$$\frac{mg}{2} \cdot OD \cdot \frac{AF}{AO} = \frac{mg}{2} \cdot \frac{EA}{EF} \cdot AO \cdot AF \cdot \frac{FO - FE}{AE \cdot AO}$$

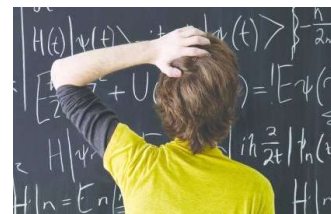


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



$$\frac{AF}{AO} = \frac{EA}{EF} \cdot \frac{AO}{OD} \cdot AF \cdot \frac{FO - FE}{AE \cdot AO}$$

После подстановки всего известного получим, что $FO = 3EF/2$.

По теореме Пифагора $AF^2 = AE^2 - EF^2 = AO^2 - OF^2$, откуда с учетом начальной конфигурации: $AO^2 = 2AE^2$, $OF^2 - EF^2 = AO^2 - AE^2$, а с учетом соотношения выше, получим $5EF^2/4 = AE^2$ (**3 балла** за всю геометрическую часть, позволяющую получить это соотношение).

Теперь остается только вычислить $T = mg/2 \cdot AE/EF = mg/2 \cdot (5/4)^{0.5} = 1,677 \text{ Н}$. (**1 балл**)

Примечание: Геометрическая часть решения по нахождению отношения AE/EF может быть разной в зависимости от выбранного участником пути решения. Если нужное соотношение получено, то этот этап оценивается в максимум баллов при любом способе решения.

Итого максимум 10 баллов за задачу.

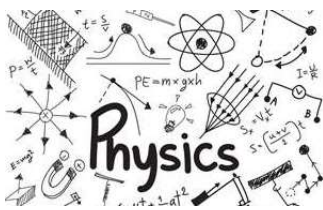
Задача № 2. Металл в поле.

Во время подготовки к экспериментальному туру олимпиады Саша проводил эксперименты с электричеством. Однажды ему удалось создать устойчивое однородным электрическое поле. В кабинете физики Саша нашел параллелепипед из неизвестного металла длиной l , шириной b и высотой h ($l > b > h$). Саша внес этот кусок металла в однородное поле так, что поле оказалось направлено вдоль высоты параллелепипеда. Напряженность поля в процессе всего эксперимента считать известной и равной E .

- 1) Определите заряд, индуцированный на грани (b, l) параллелепипеда.
- 2) Какую работу совершает Саша, медленно поворачивая параллелепипед таким образом, чтобы электрическое поле оказалось направлено вдоль его ширины?
- 3) Через некоторое время после поворота поле выключается. Какое количество теплоты выделяется в металле?

Возможное решение:

В электрическом поле свободные заряженные частицы в металлах распределяются так, чтобы полностью компенсировать внешнее поле. (**1 балл**)

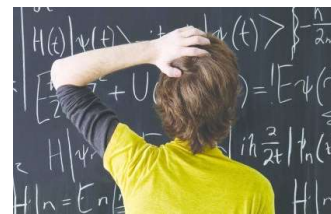


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Так как внешнее поле однородное, то заряды на поверхностях можно представить, как заряды конденсатора, поле которого равно E и направлено противоположно внешнему полю. **(1 балл).**

Поле внутри этого своеобразного конденсатора можно найти так: $E = U/h$, $U = q/C$, $C = \epsilon_0 S/h = \epsilon_0 bl/h$, тогда $E = q/(hC) = q/(\epsilon_0 bl)$. Значит, искомый заряд: $q = \epsilon_0 blE$. **(2 балла)**

При медленном повороте проводника тепловые потери можно не учитывать, поэтому работа Саши равна разности конечной и начальной энергии системы зарядов. **(1 балл)**

Энергия системы зарядов, расположенных так, как в плоском конденсаторе (на пластинах): $W = qU/2 = Eh \cdot \epsilon_0 blE/2 = lbh \cdot \epsilon_0 E^2/2$ **(2 балла).**

Мы видим, что энергия зависит только от объема. При повороте она меняться не будет, поэтому работа равна 0. **(1 балл)**

После выключения поля заряды, разделенные при наличии поля, потеряют упорядоченность и снова равномерно распределяться по металлу. **(1 балл)** Их избыточная энергия выделится в виде тепла в металле. Поэтому $Q = W = lbh \cdot \epsilon_0 E^2/2$ **(1 балл).**

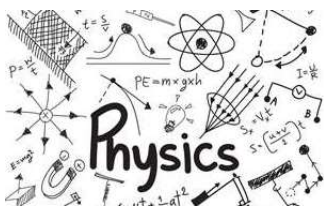
Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 3. Кипение воды.

В процессе работы над школьным проектом старшеклассник Андрей исследовал кипение воды. Андрей сделал очень высокий цилиндрический сосуд, открытый сверху, теплоизолировал его стенки и налил в сосуд 10 метров воды. Атмосферное давление считать нормальным. На рисунке ниже представлен график зависимости давления насыщенных паров воды от температуры.

1) Сначала Андрей поддерживал постоянными температуру верхнего слоя воды и температуру дна сосуда. Чему равна минимальная температура дна сосуда, при которой вода закипит? Температура верхнего слоя 20°C .

2) Теперь сверху на воду Андрей положил очень массивный поршень. Температура верхнего слоя постоянна и равна 20°C , температура дна сосуда постоянна и равна 140°C (можно считать, что такие температуры поддерживаются в течение долгого времени). Андрей быстро убирает поршень. На каком расстоянии от дна сосуда закипит вода?

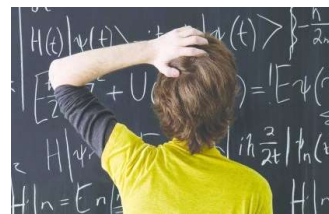


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

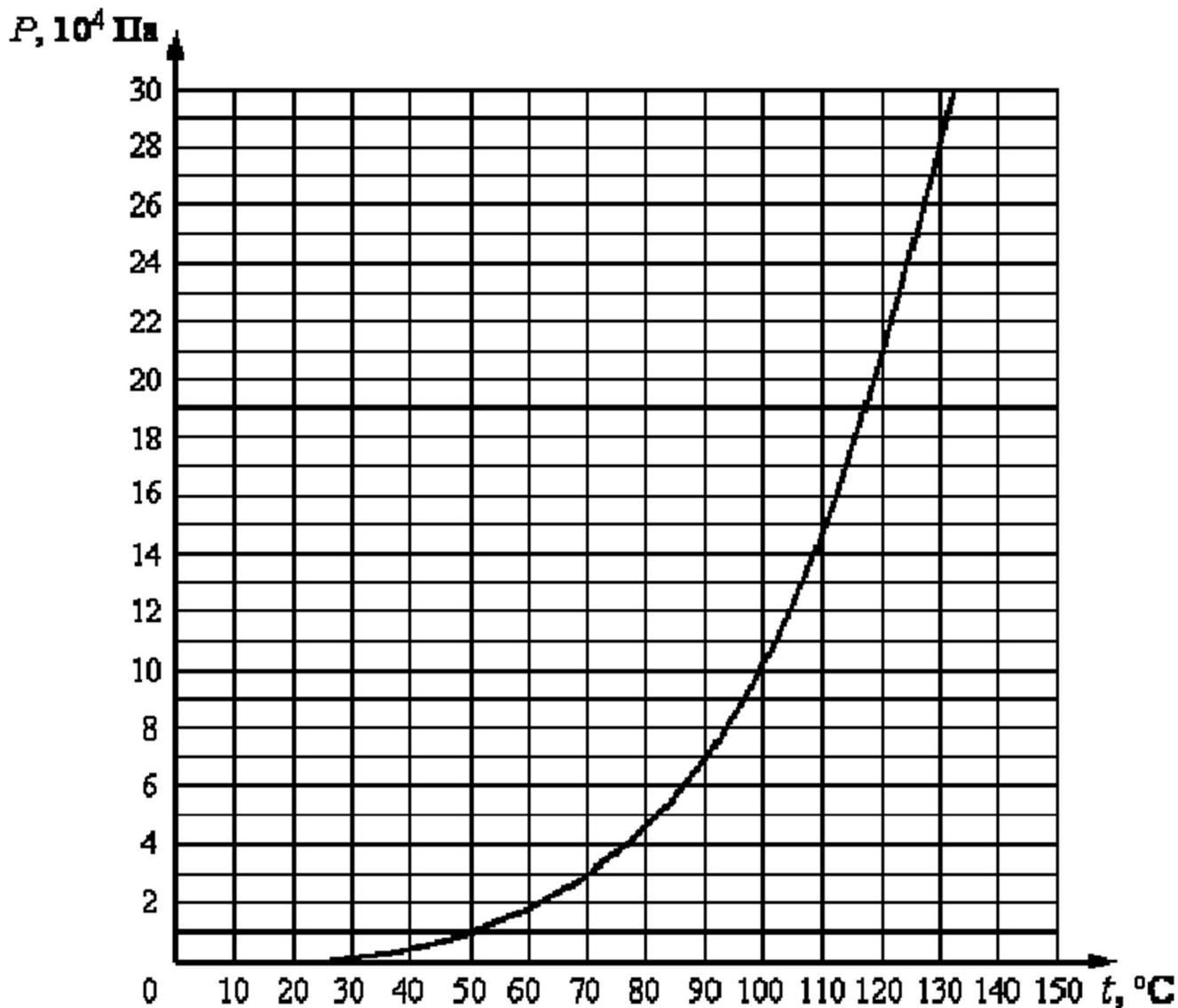
11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



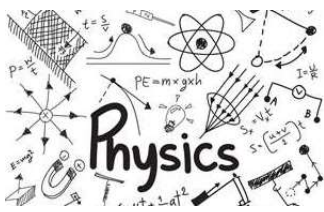
Указание: График приведен на отдельной странице. Если вы в процессе решения делали на нем дополнительные построения, важные для решения задачи, вложите этот лист в свою работу.



Возможное решение:

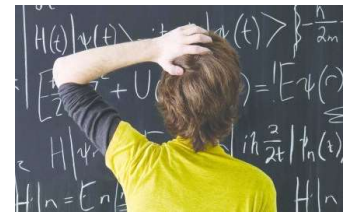
Вода начнет кипеть в той точке, в которой ее давление окажется равным давлению насыщенных паров при соответствующей температуре. В соответствии с законом теплопроводности, в сосуде будет устанавливаться линейная зависимость температуры от высоты. В первом случае на расстоянии h от поверхности воды температура будет равна

$$T(h) = 20^\circ\text{C} + (T_{\text{дна}} - 20^\circ\text{C})h/H, H=10 \text{ м. (2 балла)}$$



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

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



С другой стороны, давление на этой глубине определится как $p = p_0 + \rho gh$ (1 балл).
Исключая из этих уравнений h , получаем соотношение, связывающее температуру и давление воды (2 балл):

$$p = p_0 + \rho g H \frac{T - 20}{T_{\text{дна}} - 20}$$

Это прямая, проходящая через точку $(p_0, 20^\circ\text{C})$, угловой коэффициент которой зависит от температуры дна. Для того, чтобы вода начала кипеть, такая прямая должна пересечь график зависимости давления насыщенных паров от температуры в области, соответствующей реальному диапазону значений давления в этом столбе воды (т.е. от 10^5 Па в верхней точке до $2 \cdot 10^5$ Па в нижней). (1 балл за идею поиска точки кипения как точки пересечения графиков).

Т.к. угловой коэффициент уменьшается с увеличением температуры дна, следует выбирать прямую с наибольшим возможным угловым коэффициентом. Она изображена на рисунке и пересекает график в точке с наибольшим давлением (соответствующей дну) при температуре 119°C . Это и есть ответ на первый вопрос. (2 балла, допускается ответ 120°C)

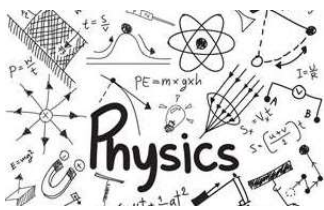
Во втором эксперименте при резком уменьшении давления распределение температуры измениться не успеет, поэтому прямая будет иметь вид, показанный на втором рисунке. Из него видно, что ее пересечению с графиком соответствует давление $1,8 \cdot 10^5$ Па, что достигается на высоте 2 м от дна. (2 балла)

Примечание: рассуждения вида "очевидно, что вода начнет кипеть на дне, поскольку там наибольшая температура" нельзя считать верными, поскольку на дне не только наибольшая температура, но и наибольшее давление, следовательно, наибольшая температура кипения. Прийти к правильному ответу на этом пути можно, но для этого нужны аккуратные рассуждения, связанные с анализом скорости убывания температуры кипения с удалением от дна и т.п. В отсутствие этих рассуждений такие решения следует считать неверными и оценивать не выше 2 баллов.

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

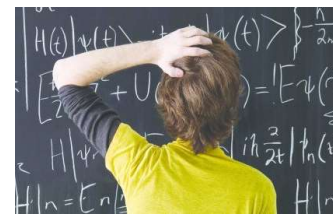


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.

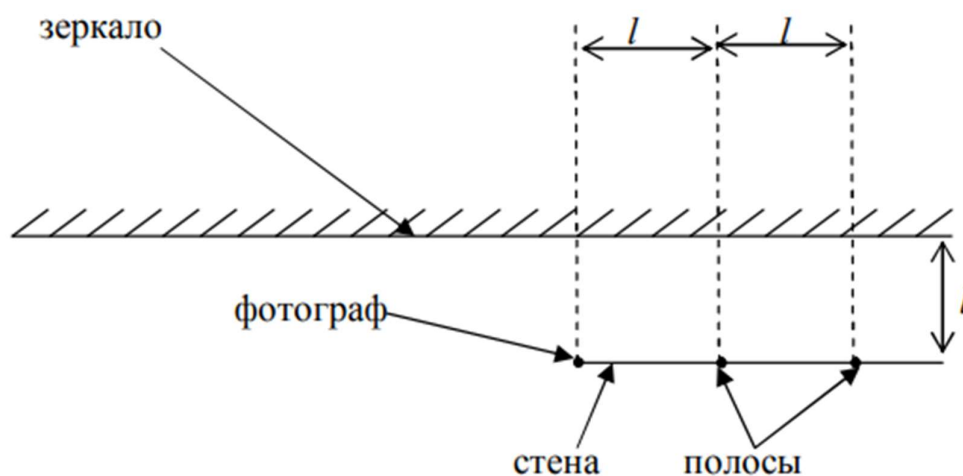


И.И. на глазах у присутствующих нанес на стену две узкие красные вертикальные полосы от пола и до потолка.

У фотографа Сергея имеется узкая вертикальная стойка. Сергей хочет встать у края стены (экспоната) и сделать фотографию, на которой его стойка закрыла бы обе полосы.

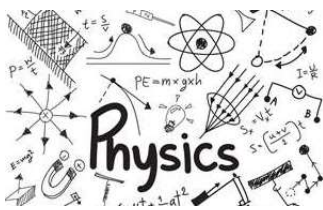
На каком расстоянии от зеркала нужно поставить стойку, чтобы кадр получился?

Считайте l известной величиной (см. рисунок, вид сверху). Также считайте, что ширина стойки равна ширине полос, а расстояние между полосами гораздо больше их ширины и ширины стойки.



Возможное решение:

Понятно, что закрыть одним точечным объектом два в общем случае нельзя. Поэтому идея кадра заключается в том, чтобы снимать отражение стены (и полос) в зеркале. Тогда изображение одной из полос можно закрыть самой стойкой, а другой – ее отражением в зеркале (см. рисунок).

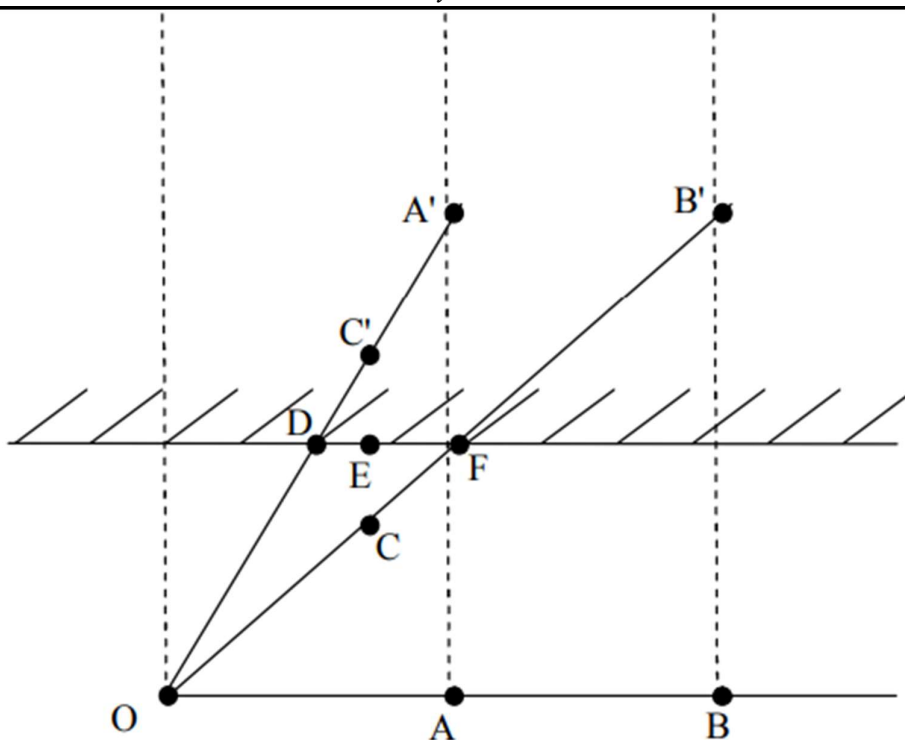
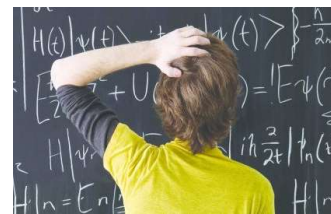


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 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 $\text{tg}(A'OA) = 2$, $\text{tg}(B'OA) = 1$, $DF = l/2$. 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.

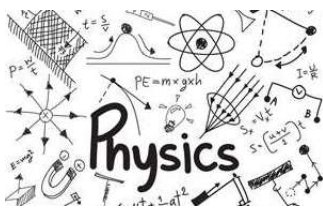
Ответ: на расстоянии $l/3$.

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.

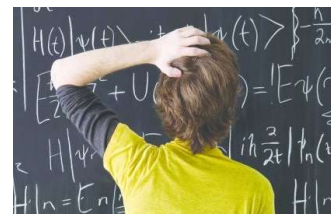


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.

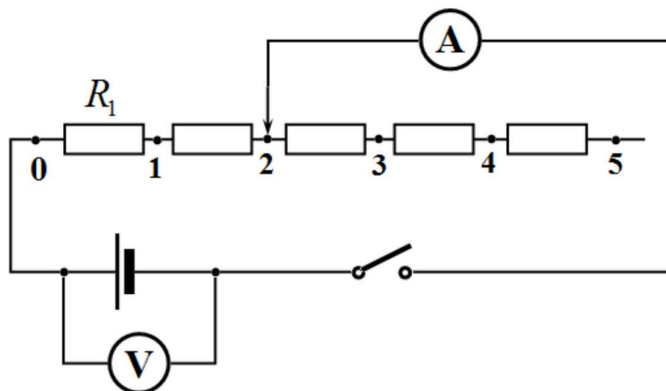


Задача № 5. Много резисторов не бывает (Псевдоэксперимент)

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:

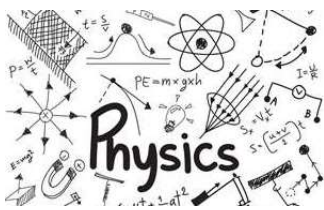


Затем, изменяя количество n включенных в электрическую цепь резисторов R_1 от 0 до 5, старшеклассники записывали показания вольтметра и амперметра. По результатам измерений была составлена следующая таблица:

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 $Z_n(n)$.

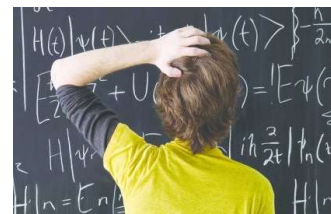


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 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:

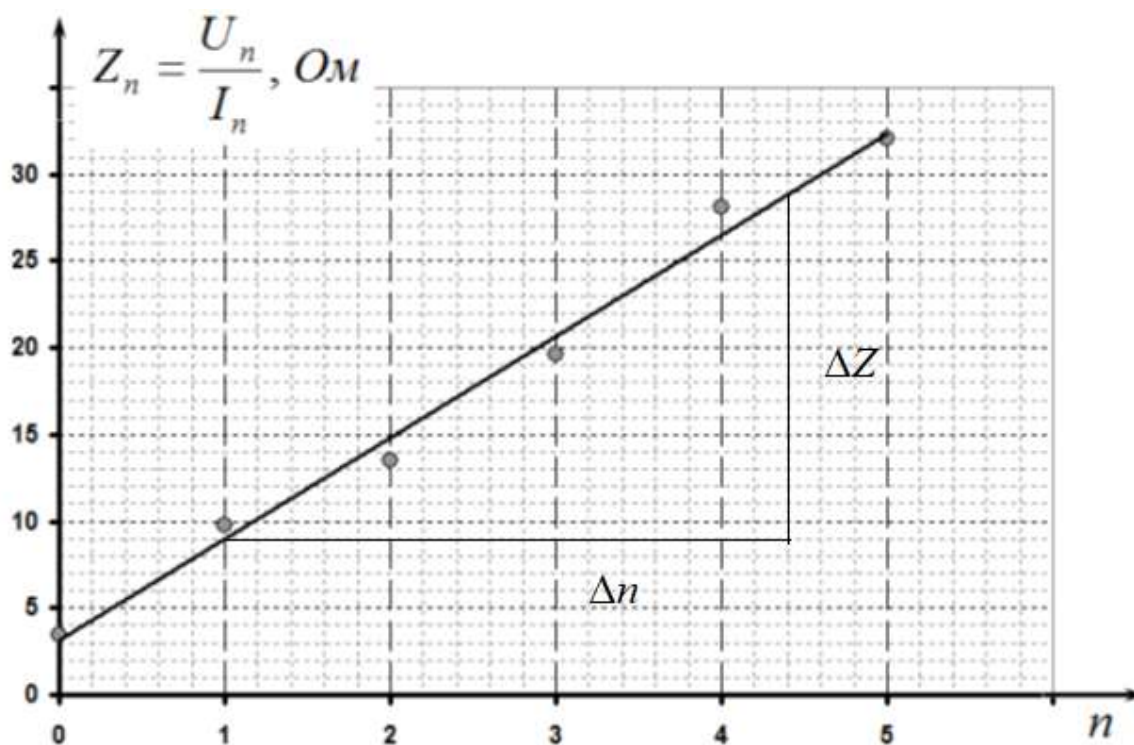
Запишем закон Ома для участка цепи: $I_n = U_n / (nR_1 + R_A)$,

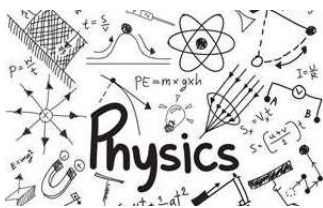
отсюда $U_n / I_n = nR_1 + R_A$, то есть отношение $Z_n = U_n / I_n$ линейно зависит от n .

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:



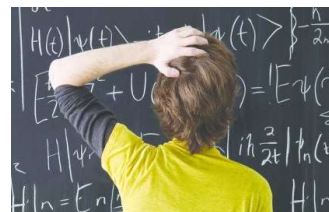


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 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.
