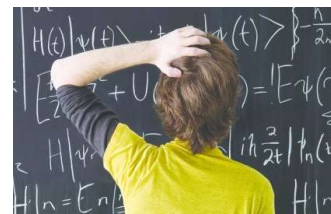


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2023/2024 учебный год

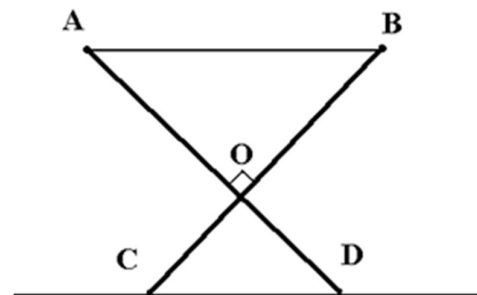
Длительность 3 часа 50 минут

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

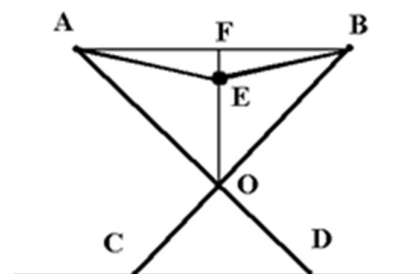
$$\text{Т.е. } \sin(\angle OAE) = AF \cdot (FO - FE) / (AE \cdot AO).$$

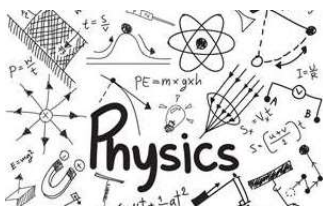
Также можно записать, что

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

«Соберем» все, что выразили:

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



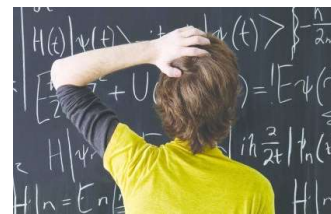


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

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.

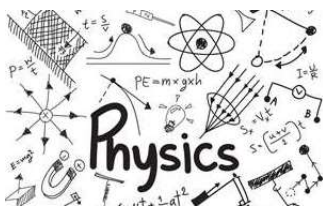
Задача № 2. Металл в поле.

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**)

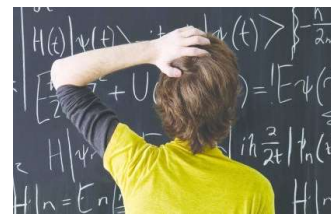


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

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).

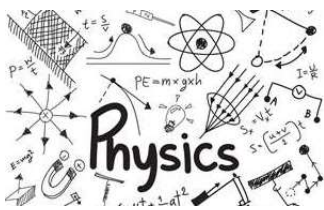
Итого максимум 10 баллов за задачу.

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?

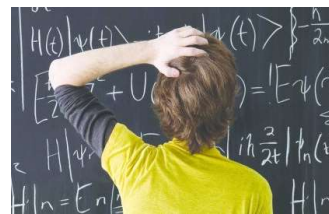


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

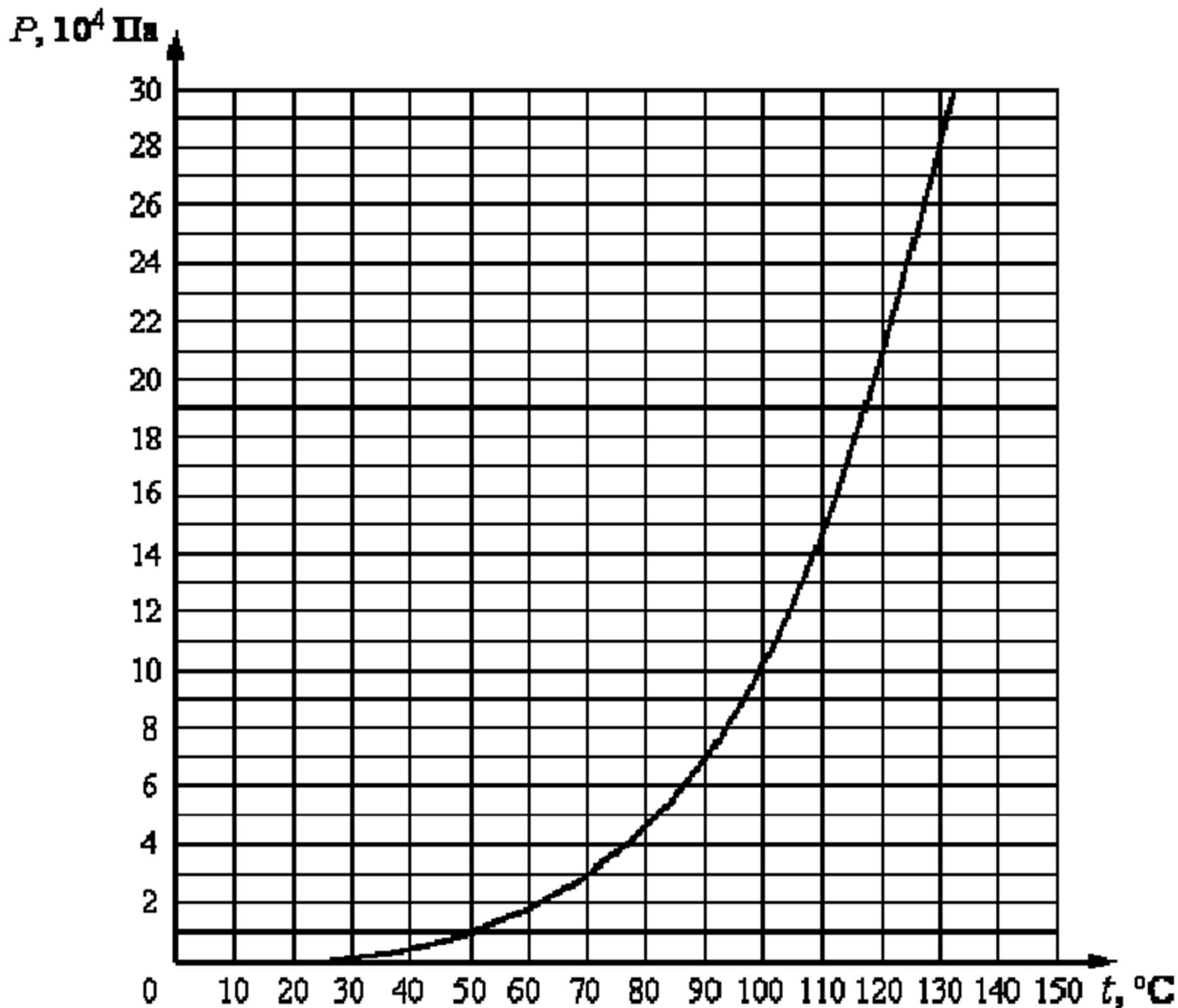
11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



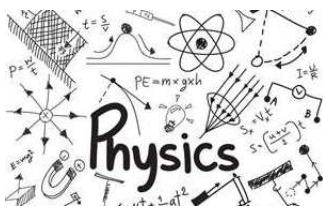
Указание: График приведен на отдельной странице. Если вы в процессе решения делали на нем дополнительные построения, важные для решения задачи, вложите этот лист в свою работу.



Возможное решение:

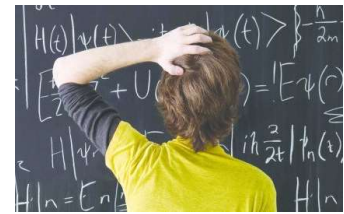
Вода начнет кипеть в той точке, в которой ее давление окажется равным давлению насыщенных паров при соответствующей температуре. В соответствии с законом теплопроводности, в сосуде будет устанавливаться линейная зависимость температуры от высоты. В первом случае на расстоянии h от поверхности воды температура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

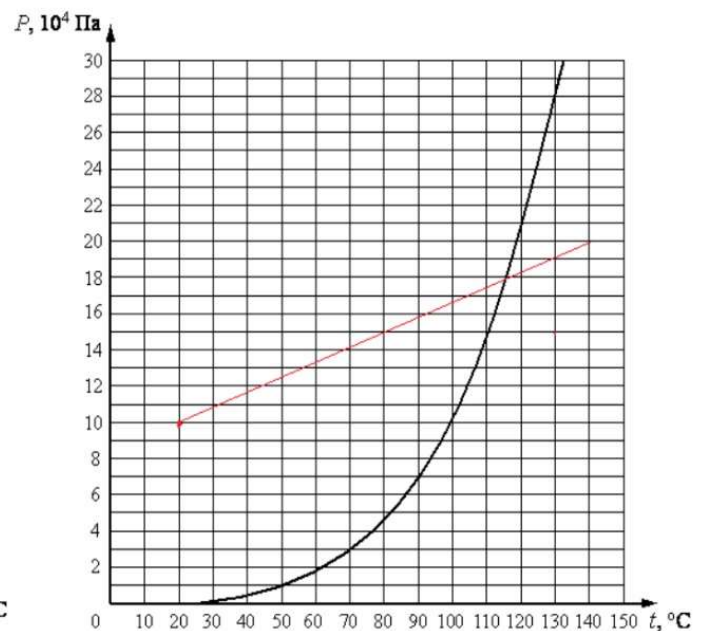
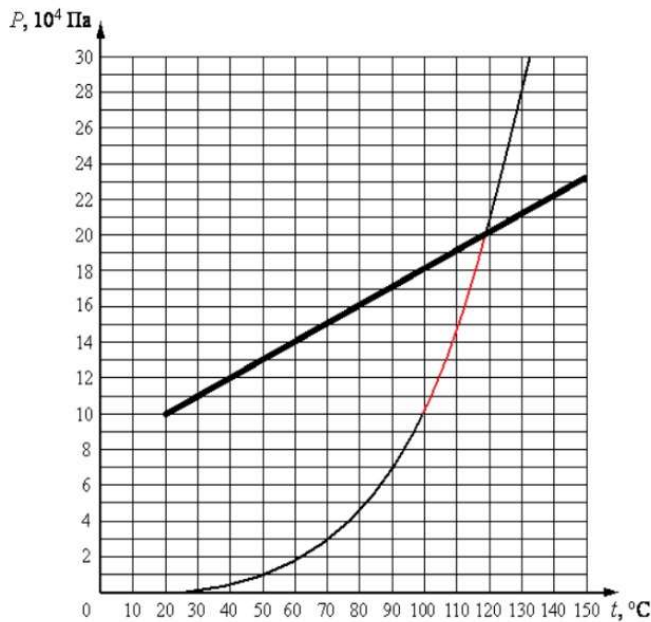
11 класс, 2023/2024 учебный год
Длительность 3 часа 50 минут
Максимум 50 баллов.



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):

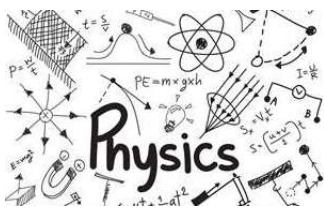
$$p = p_0 + \rho g H \frac{T - 20}{T_{\text{дна}} - 20}$$

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).



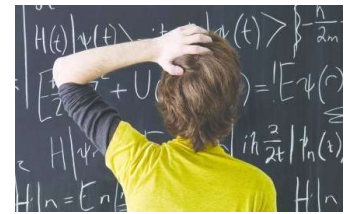
Т.к. угловой коэффициент уменьшается с увеличением температуры дна, следует выбирать прямую с наибольшим возможным угловым коэффициентом. Она изображена на рисунке и пересекает график в точке с наибольшим давлением (соответствующей дну) при температуре 119°C . Это и есть ответ на первый вопрос. (2 балла,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



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

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



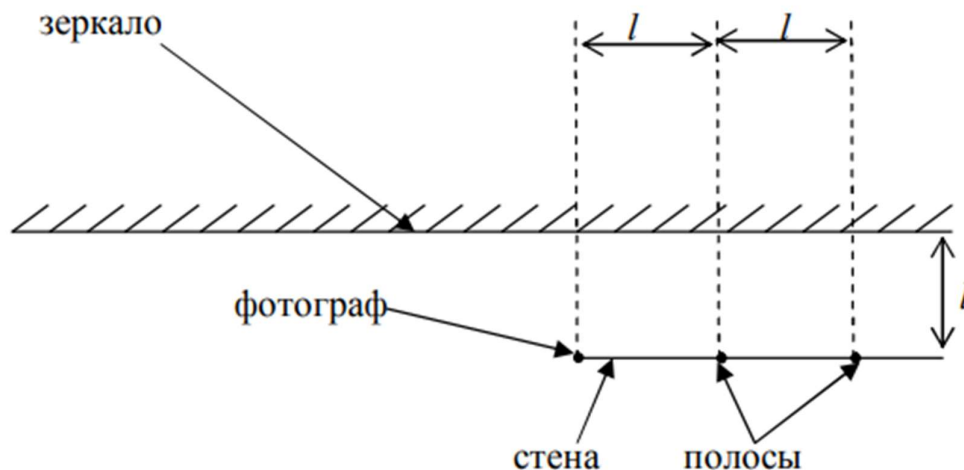
Примечание: рассуждения вида "очевидно, что вода начнет кипеть на дне, поскольку там наибольшая температура" нельзя считать верными, поскольку на дне не только наибольшая температура, но и наибольшее давление, следовательно, наибольшая температура кипения. Прийти к правильному ответу на этом пути можно, 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.

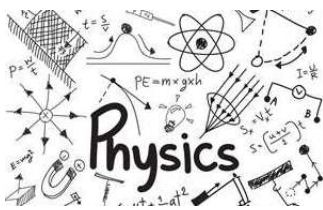
Задача № 4. Физика в искусстве

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 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:

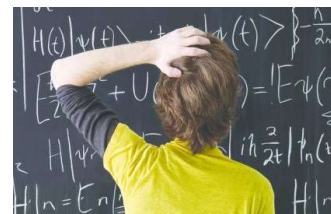


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

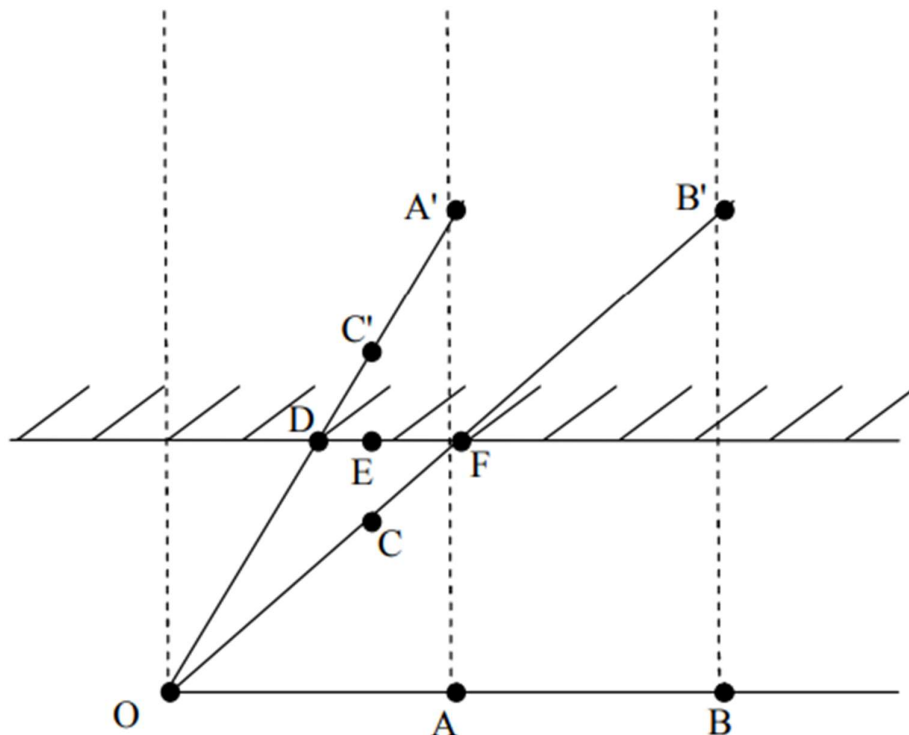
11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



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).



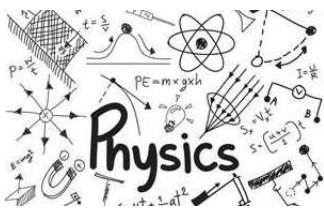
На рисунке т. О – это место, где стоит фотограф Сергей, т. А, т. В и т. С – положения полос и стойки, А', В' и С' – положения их изображений. Из заданных расстояний и правил построения изображений следует, что $\text{tg}(A'OA) = 2$, $\text{tg}(B'OA) = 1$, $DF = l/2$. Чтобы т. С' действительно была изображением 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 поместил изображения стойки и полос. Вместо аналитических расчетов можно засчитывать

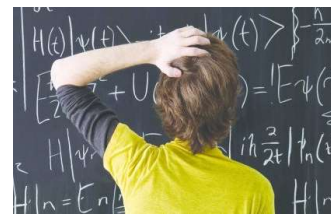


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



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.

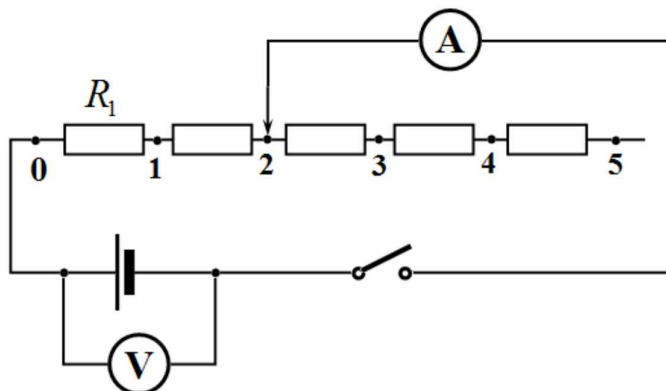
Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 5. Много резисторов не бывает (Псевдоэксперимент)

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

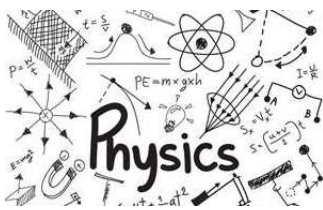
При снятии измерений использовались: источник питания на 4,5 В, амперметр, вольтметр, пять последовательно соединенных одинаковых неизвестных резисторов R_1 , ключ, соединительные провода.

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

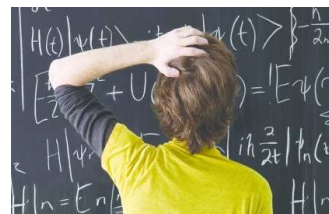


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

11 класс, 2023/2024 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



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 $Z_n(n)$.
- 4) Используя полученный график, найдите сопротивление амперметра R_A и сопротивление резистора R_1 .

Возможное решение:

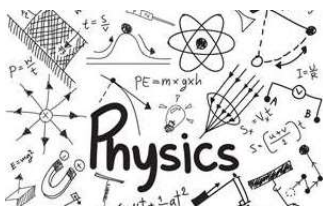
Запишем закон Ома для участка цепи: $I_n = U_n / (nR_1 + R_A)$,

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:

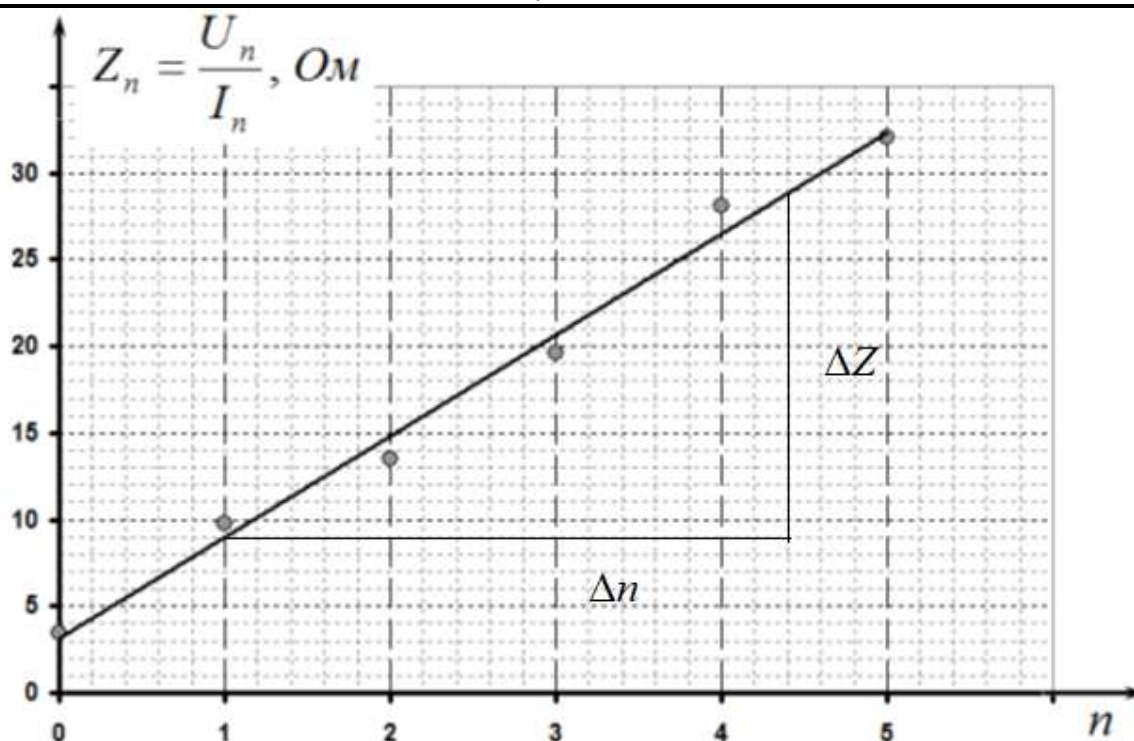
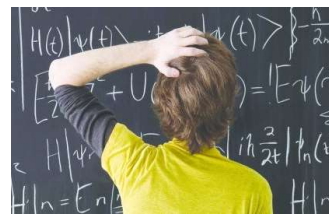


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

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.