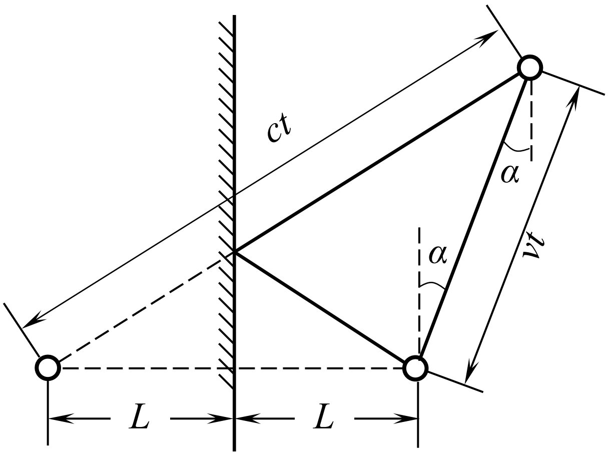
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ. 2019-2020 УЧ. ГОД. МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

Задача 1. Автомобиль удаляется со скоростью v от длинной стены, двигаясь под углом α к ней. В момент, когда расстояние до стены равно L, шофёр подаёт короткий звуковой сигнал. Какое расстояние пройдёт автомобиль до момента, когда шофёр услышит эхо? Скорость звука в воздухе c.

Возможное решение



При отражении звука угол падения равен углу отражения, т.е. задачу можно рассматривать аналогично оптической задаче на отражении в плоском зеркале. В момент подачи сигнала изображение источника будет расположено симметрично относительно стены по другую сторону от неё на расстоянии L от неё. Вместо отражения звукового сигнала от стены можно рассматривать испускание звука из точки изображения источника. Если t – время, через которое шофёр услышит эхо, то за это время автомобиль пройдёт путь $v\cdot t$, а звук $c\cdot t$. Из геометрических построений получаем (см. рисунок):

$$c^2t^2 = \left(2L + vt\cdot\sin\alpha\right)^2 + \left(vt\cdot\cos\alpha\right)^2. \qquad (1)$$

Искомое расстояние: $x = v\cdot t$, тогда

$$\left(\frac{c^2}{v^2} - 1\right)\cdot x^2 - 4xL\cdot\sin\alpha - 4L^2 = 0; \qquad (2)$$

отсюда

$$x = \frac{2L}{\left(\frac{c^2}{v^2} - 1\right)} \times \left[\sin\alpha + \sqrt{\left(\frac{c}{v}\right)^2 - \cos^2\alpha}\right]. \qquad (3)$$

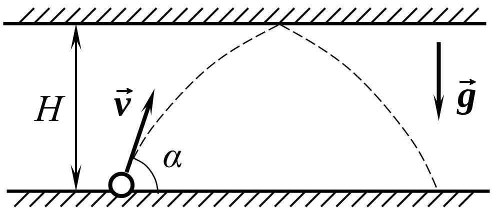
Критерии оценивания

1. Используется закон отражения звука	4
2. Записано уравнение (1)	2

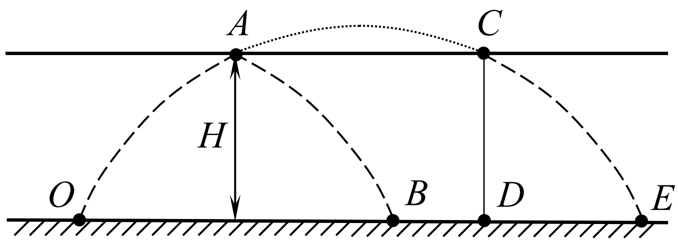
3. Получена более удобная форма квадратного уравнения 2
4. Получено аналитическое решение 2

Максимум за задачу ***10 баллов***

Задача 2. Какое расстояние S (см. рисунок) пролетит мячик, брошенный под углом α к горизонтальной плоскости со скоростью v, если он ударился о потолок? Высота потолка H, удар упругий, трения нет.



Возможное решение



Уравнение для высоты H имеет, как хорошо известно, вид :

$$H = v_0 t \sin\alpha - \frac{gt^2}{2} \ . \tag{1}$$

Решаем это уравнение относительно t и получаем корни:

$$t_{1,2} = \frac{v_0 \sin\alpha \pm \sqrt{v_0^2 \sin\alpha - 2gH}}{g} \,. \tag{2}$$

При этом первый корень отвечает за время полета из точки O в A

$$t_1 = \frac{v_0 \sin\alpha - \sqrt{v_0^2 \sin^2\alpha - 2gH}}{g} \,, \tag{3}$$

время движения из A в B также составляет t_1, поэтому общее время движения мячика из O в B равно $2t_1$. Тогда путь мячика равен:

$$S_1 = 2v_0 t \cos\alpha = \frac{2v_0 \cos\alpha}{g} \cdot \left(v_0 \sin\alpha \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2gH}{v_0^2 \sin^2\alpha}} \right] \right) \ . \tag{4}$$

Критерии оценивания

1. Приведена формула для высоты H	2
2. Получены правильные корни квадратного уравнения	3
3. Приведена правильная интерпретация первого корня	2
4. Получено окончательное выражение для пути шарика	3
Максимум за задачу	***10 баллов***

Задача 3. ***Экспериментатор Дима измеряет сопротивление.*** Для того, чтобы измерить сопротивление резистора Дима собрал электрическую цепь (см. рис 1.). Показания вольтметра и амперметра были соответственно равны U_1 и I_1. На следующий день он решил повторить эксперимент и собрал цепь (рис. 2.), используя то же оборудование. На этот раз показания приборов были U_2 и I_2. Чему равно значение сопротивления R? Оба раза на выходе

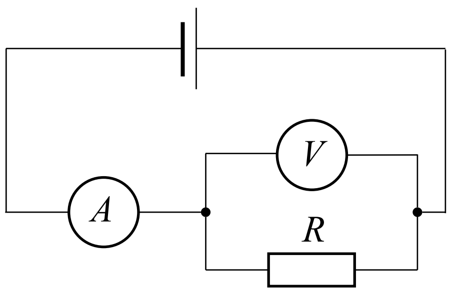


Рис. 1.

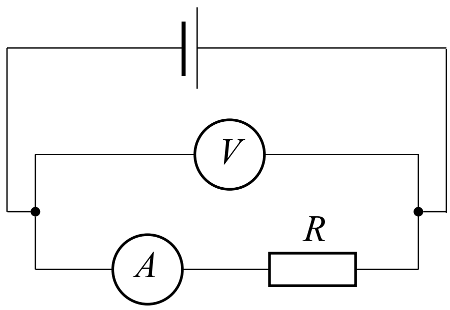


Рис. 2.

источника тока поддерживалось одно и то же постоянное напряжение.

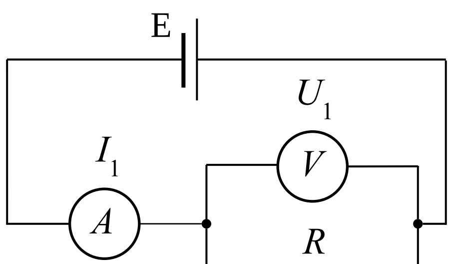
Возможное решение

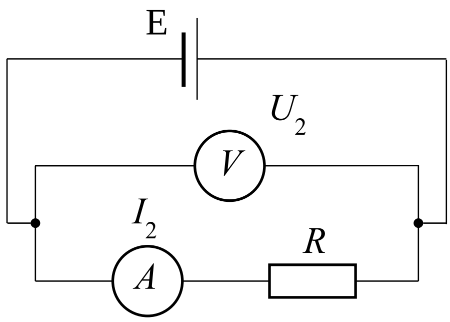
Показания приборов в схемах 1 и 2 разные, потому что амперметр и вольтметр не идеальные. Пусть R_A – сопротивление амперметра, а Е — напряжение источника, тогда закон Ома для первой и второй цепей соответственно имеет вид:

$$U_1 + I_1 R_A = \mathrm{E} \qquad (1)$$

$$I_2 R + I_2 R_A = U_2 = \mathrm{E}. \qquad (2)$$

Из совместного решения этих уравнений получим, что



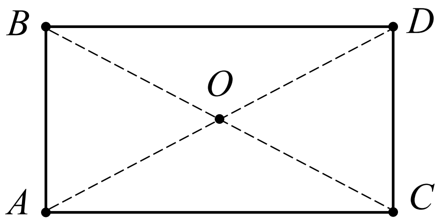


$$R = \frac{U_2}{I_2} - \frac{U_2 - U_1}{I_1}. \qquad (3)$$

Критерии оценивания

1. Правильно записан закон Ома для первой цепи	3
2. Правильно записан закон Ома для второй цепи	3
3. Получено верное аналитическое решение для *R*	4
Максимум за задачу	***10 баллов***

Задача 4. ***Температура в центре цикла.*** Циклический процесс *ABDCA*, совершаемый над идеальным газом, состоит из двух изохор (*AB* и *CD*) и двух изобар (*AC* и *BD*). Температура газа в точках *A*, *B* и *C* соответственно равны T_A, T_B и T_C. Найдите температуру T_D в точке *D* и



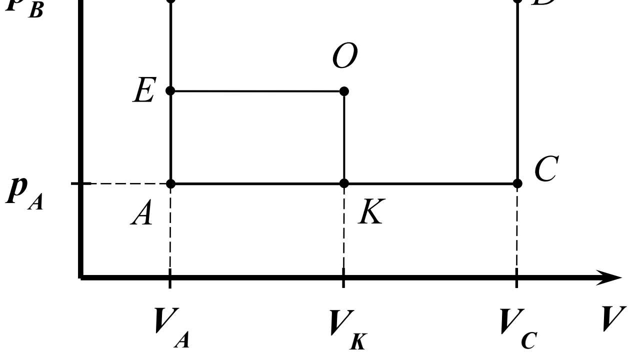
температуру T_O в точке *O*, лежащей на пересечении диагоналей (рис.)

Возможное решение

Точки *A* и *C* лежат на одной изобаре. Им соответствует давление p_A и объёмы V_A и V_C. Применительно к этим точкам уравнение Менделеева-Клапейрона имеет вид:

$$p_A V_A = \nu R T_A, \qquad p_A V_C = \nu R T_C$$

Поделив почленно эти уравнения друг на друга, получим:



$$\frac{V_A}{V_C} = \frac{T_A}{T_C} \qquad (1)$$

Аналогичное соотношение можно получить для точек *B* и *D*:

$$\frac{V_A}{V_C} = \frac{T_B}{T_D} \qquad (2)$$

Приравнивая (1) и (2), найдём:

$$T_D = \frac{T_B T_C}{T_A}. \qquad (3)$$

Проведём через точку *O* изохору *KO* и изобару *EO*. Точка *K* делит изобару *AC* пополам (см. рисунок), т.е.

$$V_K = \frac{1}{2}(V_A + V_C). \qquad (4)$$

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$T_K = \frac{p_A V_K}{\nu R} = \frac{p_A V_A + p_A V_C}{2\nu R} = \frac{1}{2}\left(T_A + T_C\right). \qquad (5)$$

Аналогичным образом найдём

$$T_E = \frac{1}{2}\left(T_A + T_B\right).$$

Температуру T_O найдём по тому же алгоритму, что и T_D:

$$T_O = \frac{T_E T_K}{T_A} = \frac{1}{4}\left(T_A + T_B + T_C + T_D\right). \qquad (6)$$

Заметим, что T_O определяется как среднее арифметическое температур в углах цикла.

Критерии оценивания:

1. Записано соотношение (1) для одной изобары	2
2. Записано соотношение (2) для второй изобары	2
3. Получено выражение для температуры в точке *D*	2
4. Получено выражение для температуры в точке *K*	2
5. Получено выражение для температуры в точке *O*	2
Максимум за задачу	***10 баллов***

Задача 5. На экране с помощью тонкой линзы получено изображение предмета с четырёх кратным увеличением. Предмет находится на главной оптической оси, а плоскость экрана перпендикулярна этой оси. Экран передвинули на 20 см вдоль главной оптической оси линзы. Затем, не трогая линзу, передвинули предмет так, чтобы изображение на экране снова стало резким. В этом случае получилось изображение с двукратным увеличением. Определите фокусное расстояние линзы.

Возможное решение

Из формулы тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad F = \frac{f \cdot d}{f + d}.$$

Учитывая, что коэффициент увеличения

$$\Gamma = \frac{f}{d}$$

перепишем формулу для фокусного расстояния

$$F = \frac{f}{\Gamma + 1}. \qquad (1)$$

Для двух вариантов положений предмета и экрана можно записать:

$$F = \frac{f_1}{\Gamma_1 + 1} \text{ и } F = \frac{f_2}{\Gamma_2 + 1}, \qquad (2)$$

где $f_2 = f_1 - \delta f$, а δf - смещение экрана. Отсюда:

$$\frac{f_1}{\Gamma_1 + 1} = \frac{f_1 - \delta f}{\Gamma_2 + 1}, \qquad (3)$$

преобразуя дальше, получаем:

$$f_1\left(\frac{1}{\Gamma_2 + 1} - \frac{1}{\Gamma_1 + 1}\right) = \frac{\delta f}{\Gamma_2 + 1}; \qquad (4)$$

для f_1

$$f_1 = \frac{\delta f\left(\Gamma_1 + 1\right)}{\left(\Gamma_1 - \Gamma_2\right)}. \qquad (5)$$

И окончательно для F:

$$F = \frac{\delta f}{\Gamma_1 - \Gamma_2} = \frac{0,2}{4-2} = 0,1 \text{ м.} \qquad (6)$$

Критерии оценивания

1. Приведена формула (1)	2
2. Приведены соотношения для двух вариантов	3
3. Приведена формула (4)	2
4. Получено аналитическое выражение для F	3
Максимум за задачу	***10 баллов***