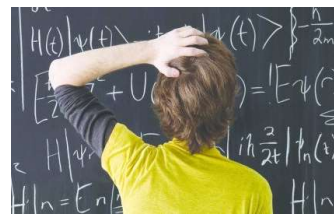


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

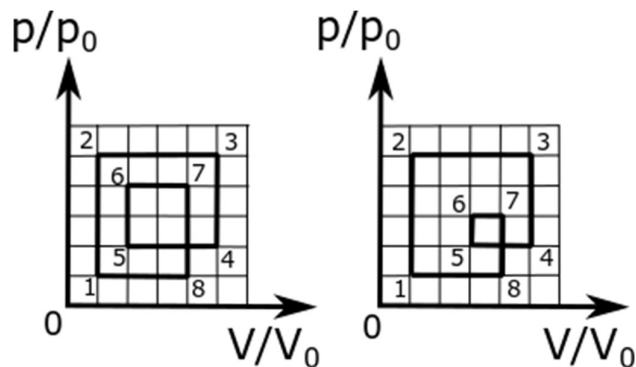
Максимум 50 баллов.



Задача № 1. Какой КПД больше?

С идеальным одноатомным газом совершают два циклических процесса (см. рис.).

- 1) Найдите отношение A_1/A_2 работы газа в первом процессе к работе во втором процессе.
- 2) Найдите КПД первого цикла.
- 3) Найдите отношение η_1/η_2 КПД первого цикла к КПД второго цикла.



Возможное решение:

Работа положительная на участках 2-3 и 6-7, отрицательная на участках 4-5, 8-1. **(1 балл)**

Работа в первом цикле $A_1 = (5 \cdot 4 + 4 \cdot 2 - 2 \cdot 3 - 1 \cdot 3) P_0 V_0 = 19 P_0 V_0$ **(1 балл)**

Работа во втором цикле $A_2 = (5 \cdot 4 + 3 \cdot 1 - 2 \cdot 2 - 1 \cdot 3) P_0 V_0 = 16 P_0 V_0$ **(1 балл)**

Отношение работ $A_1/A_2 = 19/16$ **(1 балл)**

Тепло поступает в систему на участках 1-2-3 и 5-6-7 **(1 балл)**

Поступившее тепло в первом цикле:

$$Q_{1-2-3} = \Delta U_{1-2-3} + A_{1-2-3} = (3/2 \cdot (5 \cdot 5 - 1 \cdot 1) + 5 \cdot 4) P_0 V_0 = 56 P_0 V_0$$

$$Q_{5-6-7} = \Delta U_{5-6-7} + A_{5-6-7} = (3/2 \cdot (4 \cdot 4 - 2 \cdot 2) + 4 \cdot 2) P_0 V_0 = 26 P_0 V_0$$

$$Q_1 = 82 P_0 V_0. \quad \textbf{(2 балла)}$$

$$\text{КПД первого цикла } \eta_1 = A_1/Q_1 = 19/82 = 0,23. \quad \textbf{(1 балл)}$$

Поступившее тепло во втором цикле

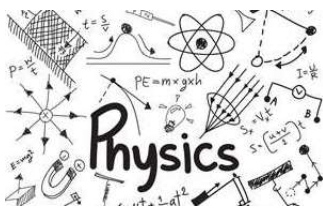
$$Q_{1-2-3} = \Delta U_{1-2-3} + A_{1-2-3} = (3/2 \cdot (5 \cdot 5 - 1 \cdot 1) + 5 \cdot 4) P_0 V_0 = 56 P_0 V_0$$

$$Q_{5-6-7} = \Delta U_{5-6-7} + A_{5-6-7} = (3/2 \cdot (3 \cdot 4 - 2 \cdot 3) + 3 \cdot 1) P_0 V_0 = 12 P_0 V_0$$

$$Q_2 = 68 P_0 V_0 \quad \textbf{(1 балл)}$$

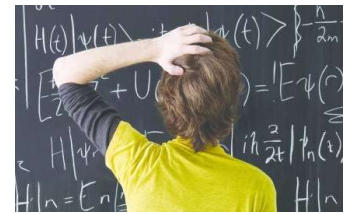
$$\text{Отношение КПД } \eta_1/\eta_2 = (A_1 Q_2)/(A_2 Q_1) = (19 \cdot 68)/(16 \cdot 82) = 0,98 \quad \textbf{(1 балл)}$$

Итого максимум 10 баллов за задачу.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год
Длительность 3 часа 50 минут
Максимум 50 баллов.

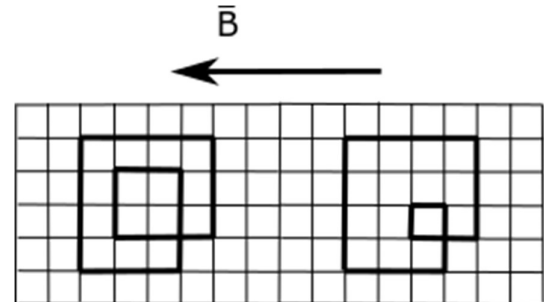


Задача № 2. Рамочки.

Две плоские рамки (см. рис) лежат на горизонтальном столе. По ним в одну сторону, по часовой стрелке, текут одинаковые токи.

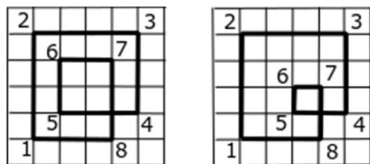
- 1) Какая рамка первой оторвется от стола при увеличении индукции горизонтального магнитного поля?
- 2) Какой угол с поверхностью стола будет составлять эта рамка в момент, когда вторая начнет отрываться от стола?

Рамки по столу не скользят, в местах наложения электрического контакта нет.



Возможное решение:

Пронумеруем стороны. Пусть сила тока I , размер клеточки – a , масса единицы длины провода – ρ .



При токе, текущем по часовой стрелке, силы Ампера направлены «на нас» на участках 1-2, 5-6; «от нас» – на участках 3-4, 7-8, на остальные участки провода силы не действуют. **(1 балл)**

Рамки начнут поворачиваться относительно ребра 3-4. **(1 балл)**

Суммарный момент сил Ампера относительно ребра 3-4:

Первая рамка: $\Sigma F \cdot L = (4 \cdot 4 + 2 \cdot 3 - 3 \cdot 1) Ba^2 I = 19 Ba^2 I$ **(1 балл)**

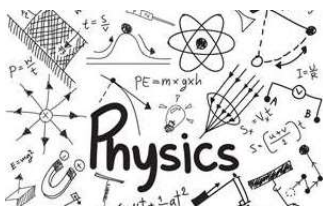
Вторая рамка: $\Sigma F \cdot L = (4 \cdot 4 + 1 \cdot 2 - 2 \cdot 1) Ba^2 I = 16 Ba^2 I$ **(1 балл)**

Суммарный момент сил тяжести относительно ребра 3-4

Первая рамка: $\Sigma mgL = (4 \cdot 4 + 4 \cdot 2 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 1,5 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 2,5) \rho ga^2 = 49 \rho ga^2$ **(1 балл)**

Вторая рамка: $\Sigma mg \cdot L = (4 \cdot 4 + 4 \cdot 2 + 3 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 2,5) \rho ga^2 = 39 \rho ga^2$ **(1 балл)**

Рамки начнут подниматься, когда моменты сил сравниваются. Это произойдет, когда поле достигнет величины:

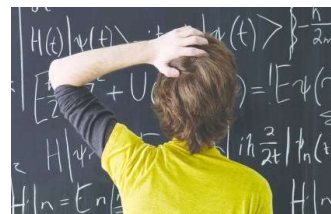


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Первая рамка: $B = 49/19 \cdot \rho g/I = 2,58 \cdot \rho g/I$

(1 балл)

Вторая рамка: $B = 39/16 \cdot \rho g/I = 2,44 \cdot \rho g/I$

(1 балл)

Вторая рамка оторвется быстрее.

(1 балл)

При повороте рамки на некоторый угол α силы тяжести и силы Ампера, которые поворачивают рамку, останутся вертикальными, т.е. все плечи этих сил изменятся пропорционально (уменьшатся в $\cos(\alpha)$ раз). Это значит, что момент сил Ампера всегда будет превышать момент сил тяжести пока рамка не займет вертикальное положение. Это положение будет устойчивым положением равновесия.

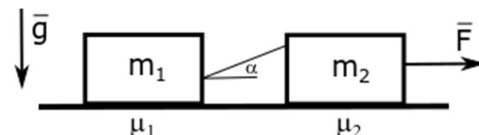
Ответ $\alpha = 90^\circ$.

(1 балл)

Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 3. Бруски куда-то едут

Два бруска, соединенные нитью, лежат на горизонтальном столе. Массы m_1 , m_2 , коэффициенты трения μ_1 , μ_2 , угол нити с горизонтом α и ускорение свободного падения g указаны на рисунке и известны. К правому бруску прикладывают горизонтальную силу F , направленную вправо, и система приходит в движение. При движении бруски не переворачиваются, угол наклона нити не изменяется.



1) С каким ускорением a_0 будет двигаться система, если нить горизонтальна ($\alpha = 0$)?

2) Как изменится ускорение системы, если нить не будет горизонтальна ($\alpha > 0$)?

3) Какую минимальную нагрузку должна выдерживать нить, связывающая грузы? Какой угол α для этого нужно выбрать?

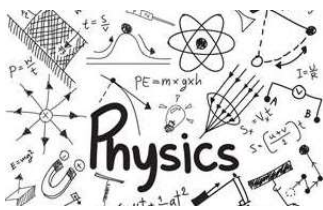
Возможное решение:

Возможное решение:

1) Рассмотрим 2 бруска как единую систему. На эту систему действуют по горизонтали сила F и две силы тяжести:

$$F - \mu_1 N_1 - \mu_2 N_2 = (m_1 + m_2)a,$$

(1 балл)

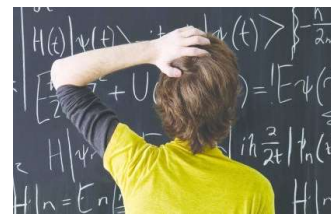


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



$$N_1 = m_1 g, \quad (0,5 \text{ балла})$$

$$N_2 = m_2 g. \quad (0,5 \text{ балла})$$

Отсюда получаем:

$$F - \mu_1 m_1 g - \mu_2 m_2 g = (m_1 + m_2) a,$$

$$a_0 = \frac{F - \mu_1 m_1 g - \mu_2 m_2 g}{m_1 + m_2}. \quad (1 \text{ балл})$$

2) Рассмотрим 2 бруска как единую систему.

$$F - \mu_1 N_1 - \mu_2 N_2 = (m_1 + m_2) a.$$

Запишем для каждого бруска проекции сил на вертикальную ось:

$$N_1 = m_1 g - T \sin(\alpha) \quad (0,5 \text{ балла})$$

$$N_2 = m_2 g + T \sin(\alpha) \quad (0,5 \text{ балла})$$

Получаем:

$$F - \mu_1 m_1 g + \mu_1 T \sin(\alpha) - \mu_2 m_2 g - \mu_2 T \sin(\alpha) = (m_1 + m_2) a,$$

$$F - \mu_1 m_1 g - \mu_2 m_2 g + (\mu_1 - \mu_2) T \sin(\alpha) = (m_1 + m_2) a,$$

$$a = a_0 + \frac{(\mu_1 - \mu_2) T \sin(\alpha)}{m_1 + m_2}. \quad (1 \text{ балл})$$

Т.к. $T > 0$ и $\alpha > 0$, то при $(\mu_1 > \mu_2)$ ускорение увеличится, при $(\mu_1 < \mu_2)$ ускорение уменьшится **(1 балл)**.

3) Запишем второй закон Ньютона для левого груза

$$T \cos(\alpha) - \mu_1 N_1 = m_1 a. \quad (0,5 \text{ балла})$$

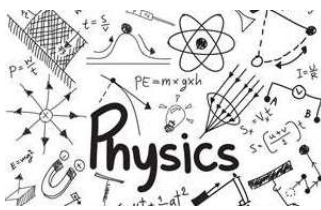
$$N_1 = m_1 g - T \sin(\alpha).$$

Подставляем ускорение, найденное во втором пункте:

$$T \cos(\alpha) - \mu_1 (m_1 g - T \sin(\alpha)) = m_1 (a_0 + (\mu_1 - \mu_2) T \sin(\alpha) / (m_1 + m_2)),$$

$$T \cos(\alpha) - \mu_1 m_1 g - \mu_1 T \sin(\alpha) = m_1 a_0 + (\mu_1 - \mu_2) T \sin(\alpha) m_1 / (m_1 + m_2),$$

$$T \cos(\alpha) + \mu_1 T \sin(\alpha) - (\mu_1 - \mu_2) T \sin(\alpha) m_1 / (m_1 + m_2) = m_1 a_0 + \mu_1 m_1 g,$$

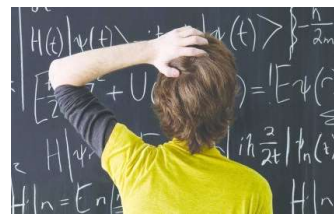


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



$$T \left(\cos(\alpha) + \frac{\sin(\alpha)(\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)}{m_1 + m_2} \right) = m_1 a_0 + \mu_1 m_1 g. \quad (1 \text{ балл})$$

Минимальная сила соответствует максимальному выражению **(0,5 балла)**

$$\cos(\alpha) + \frac{\sin(\alpha)(\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)}{m_1 + m_2}$$

Или

$\cos(\alpha) + A \sin(\alpha) \rightarrow \max$, где $A = (\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)/(m_1 + m_2)$.

Методом дополнительного угла или через производную находим искомый угол

$$\operatorname{tg}(\alpha) = A = (\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)/(m_1 + m_2) \quad (1 \text{ балл})$$

Найдем T для этого угла:

$$T \sqrt{1 + A^2} = m_1 a_0 + \mu_1 m_1 g,$$

$$T((\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)^2 + (m_1 + m_2)^2)^{0,5} / (m_1 + m_2) = m_1 (F - \mu_1 m_1 g - \mu_2 m_2 g) / (m_1 + m_2) + \mu_1 m_1 g$$

$$T((\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)^2 + (m_1 + m_2)^2)^{0,5} = m_1 (F - \mu_1 m_1 g - \mu_2 m_2 g) + \mu_1 m_1 g (m_1 + m_2)$$

$$T((\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)^2 + (m_1 + m_2)^2)^{0,5} = m_1 (F - \mu_2 m_2 g) + \mu_1 m_1 g (m_2) = m_1 (F + (\mu_1 - \mu_2) m_2 g)$$

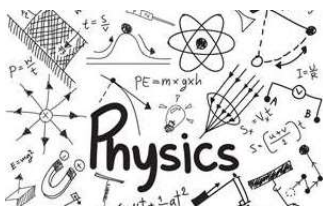
$$T = \frac{m_1 (F + (\mu_1 - \mu_2) m_2 g)}{\sqrt{(\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1)^2 + (m_1 + m_2)^2}}, \quad (1 \text{ балл})$$

Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 4. Прыг-скок по лестнице

Маленький шарик скачет по ступенькам длинной лестницы. Определите глубину b и высоту h ступенек лестницы, если известно, что в первый раз шарик ударился о землю на расстоянии $L = 18$ м от нижней ступеньки, а вертикальная проекция его скорости первые 6 раз равнялась нулю через 1, 4, 8, 12, 8, 17, 6 и 22, 4 секунды с момента начала отсчета. За начало отсчета принят момент, когда шарик ударился о $N = 476$ – ю ступеньку. Все столкновения считайте абсолютно упругими, а ступеньки лестницы - одинаковыми. Столкновения шарика со ступеньками происходят у самого их края. Ускорение свободного падения - 10 м/с^2 .

Возможное решение:

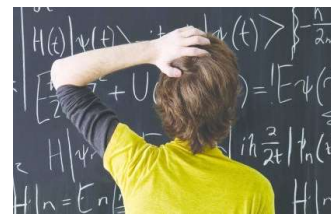


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

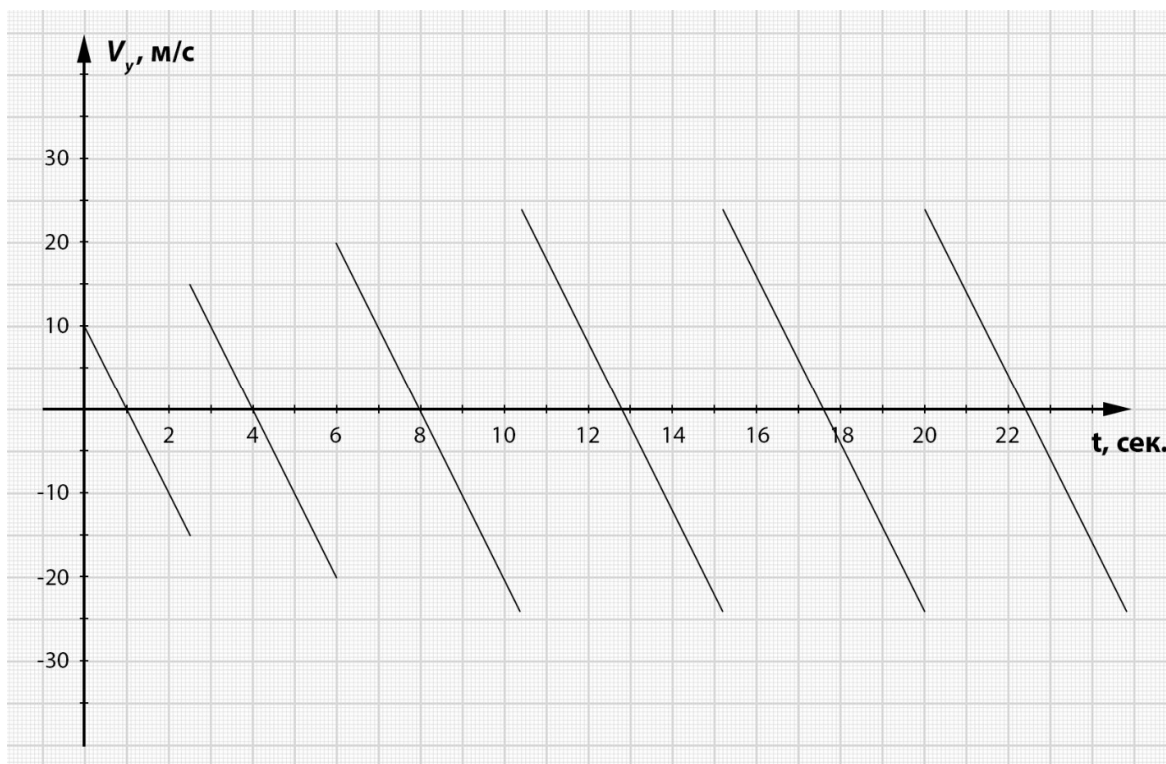
Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Первый способ (графический)

Шарик движется в поле силы тяжести, значит график изменения вертикальной проекции скорости от времени – это параллельные отрезки прямых одинакового наклона (равного $(-g)$). Причем в моменты столкновения шарика в виду их упругости скорость меняет знак, сохраняя свое значение. Построим график, пользуясь данными задачи. Проводим через известные точки прямые, имеющие нужный наклон. Моменты столкновений определяем по равенству модуля скорости соседних прямых или просто находим середины отрезков между моментами обнуления вертикальной проекции скорости (ведь скорость с нуля до какого-то значения и с этого значения до нуля меняется за одно и то же время). **(3 балла)**

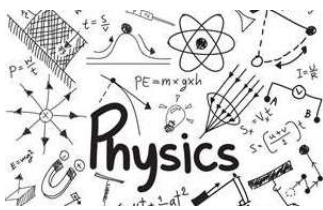


По графику видно, что первое столкновение шарика с землей происходит через $t_k = 10,4$ сек. (Все последующие столкновения происходят с той же скоростью, то есть на той же высоте.) Высоту, с которой шарик начал движение, можно найти, зная начальную и конечную скорости:

(1 балл)

$$H = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2g} = 23,8 \text{ м.}$$

Откуда высота ступеньки:

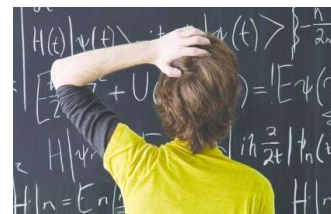


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



$$h = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2Ng} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}$$

(1+1 балл)

За время $t_1 = 2,5$ сек. шарик пролетел:

$$N_1 = \frac{v_{k1}^2 - v_n^2}{2gh} = 125 \text{ ступенек}$$

Тогда горизонтальную скорость можно выразить так: $v_x = \frac{N_1 b}{t_1}$.

Горизонтальное перемещение до момента падения на землю:

$$v_x t_k = L + (N - 1)b \quad \textbf{(2 балла)}$$

Тут учтено, что шарик всегда сталкивается с краем ступеньки. Откуда:

$$\frac{N_1 b t_k}{t_1} = L + (N - 1)b \quad \textbf{(1+1 балл)}$$

$$b = \frac{L t_1}{N_1 t_k - (N - 1)t_1} = 0,4 \text{ м} = 40 \text{ см}$$

Второй способ (без построения графика):

Зная моменты обнуления вертикальной проекции скорости, можно найти моменты столкновений шарика. Для этого учтем, что шарик всегда движется с ускорением g , а в моменты столкновений в виду их упругости скорость меняет знак, сохраняя свое значение. Отсюда следует, что моменты столкновений можно определить как середину отрезков между моментами обнуления вертикальной проекции скорости (скорость с нуля до какого-то значения и с этого значения до нуля меняется за одно и то же время).

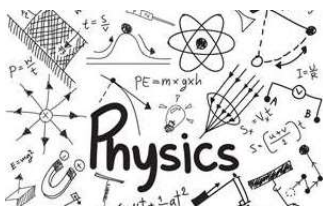
Составим таблицу моментов столкновений и соответствующих им скоростей:

t, с	0	2,5	6	10,4	15,2	20
V_y , м/с	10	15	20	24	24	24

(3 балла)

Видно, что первое столкновение шарика с землей происходит через $t_k = 10,4$ сек. (Все последующие столкновения происходят с той же скоростью, то есть на той же высоте.) Высоту, с которой шарик начал движение, можно найти, зная начальную и конечную скорости: **(1 балл)**

$$H = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2g} = 23,8 \text{ м}$$

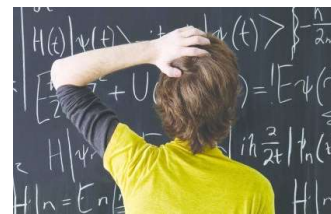


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Откуда высота ступеньки:

$$h = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2Ng} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см} \quad (1+1 \text{ балл})$$

За время $t_1 = 2,5$ сек. шарик пролетел:

$$N_1 = \frac{v_{k1}^2 - v_n^2}{2gh} = 125 \text{ ступенек}$$

Тогда горизонтальную скорость можно выразить так: $v_x = \frac{N_1 b}{t_1}$.

Горизонтальное перемещение до момента падения на землю:

$$v_x t_k = L + (N - 1)b \quad (2 \text{ балла})$$

Тут учтено, что шарик всегда сталкивается с краем ступеньки. Откуда:

$$\frac{N_1 b t_k}{t_1} = L + (N - 1)b \quad (1+1 \text{ балл})$$

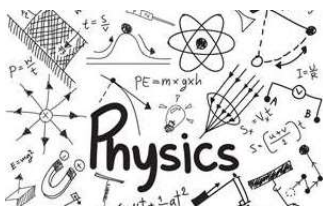
$$b = \frac{L t_1}{N_1 t_k - (N - 1)t_1} = 0,4 \text{ м} = 40 \text{ см}$$

Критерии оценивания (решение 1):

- Верно построен график зависимости проекции вертикальной скорости от времени, определен момент столкновения с землей (3+1 балл)
- Получена формула для нахождения высоты одной ступеньки h (1 балл)
- Определена высота одной ступеньки (1 балл)
- Записано выражение для перемещения по горизонтали до падения на землю двумя способами, в котором горизонтальная скорость выражена через глубину ступеньки b (2 балла)
- Получена формула для нахождения b (1 балл)
- Получено значение для глубины ступеньки (1 балл)

Критерии оценивания (решение 2):

- Верно найдены моменты столкновений и соответствующие им скорости, определен момент первого столкновения с землей (3+1 балл)
- Получена формула для нахождения высоты одной ступеньки h (1 балл)
- Определена высота одной ступеньки (1 балл)

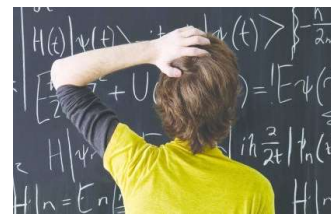


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



- Записано выражение для перемещения по горизонтали до падения на землю двумя способами, в котором горизонтальная скорость выражена через глубину ступеньки b (2 балла)
- Получена формула для нахождения b (1 балл)
- Получено значение для глубины ступеньки (1 балл)

Итого максимум 10 баллов за задачу.

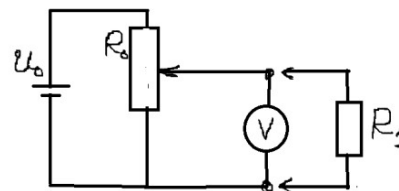
Задача № 5. Потенциометр (Псевдоэксперимент)

Оборудование: один лист миллиметровой бумаги формата А4.

В схеме, указанной на рисунке, при исследовании потенциометра были сняты зависимости напряжения U_R на выходе потенциометра при подключенном резисторе R_1 от напряжения U_v на том же выходе без резистора R_1 . Результаты занесены в таблицу

U_v , мВ	0	37	144	219	332	491	621	717	840	983
U_R , мВ	0	31	85	145	203	280	338	387	448	536

U_v , мВ	1111	1249	1315	1463	1534	1607
U_R , мВ	627	761	835	1057	1210	1442

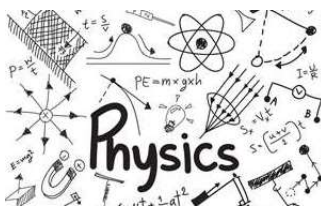


- 1) Постройте график зависимости U_R от U_v
- 2) Выведите теоретическую зависимость U_R от U_v , используйте следующие обозначения: U_0 – напряжение идеального источника питания, R_0 – сопротивление потенциометра между его крайними выводами (максимальное сопротивление потенциометра)
- 3) Найдите величину $\alpha = R_0/R_1$.

Возможное решение:

- 1) График оценивается в 2 балла:
 - а) Адекватный масштаб – 0,5 балла
 - б) Подписанные оси – 0,5 балла
 - в) На всех осях нанесена шкала – 0,5 балла
 - г) проведены оптимальные прямые (точки НЕ соединены ломаной) – 0,5 балла

Если точки соединены ломаной или график отсутствует, то ставится 0 баллов за весь график.

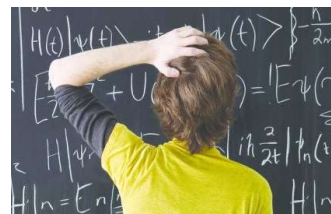


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



2) Записано выражение для U_v : (1 балл)

$U_v = \frac{U_0}{R_0} \cdot R_x$ где R_x - сопротивление потенциометра между клеммами вольтметра.

3) Записано выражение для U_R .

Общее сопротивление в этом случае $R_{\text{общ}} = (R_0 - R_x) + \frac{R_x R_1}{R_x + R_1}$ (1 балл)

$$U_R = \frac{U_0}{R_{\text{общ}}} \cdot \frac{R_x R_1}{R_x + R_1} = \frac{U_0 R_x R_1}{(R_0 - R_x) \cdot (R_1 + R_x) + R_x R_1} = \frac{U_0 R_x R_1}{R_0 R_1 + R_x R_0 - R_x^2} \quad (1 \text{ балл})$$

4) Найдена теоретическая зависимость U_R от U_v

$$R_x = \frac{U_v}{U_0} \cdot R_0 \quad (1 \text{ балл})$$

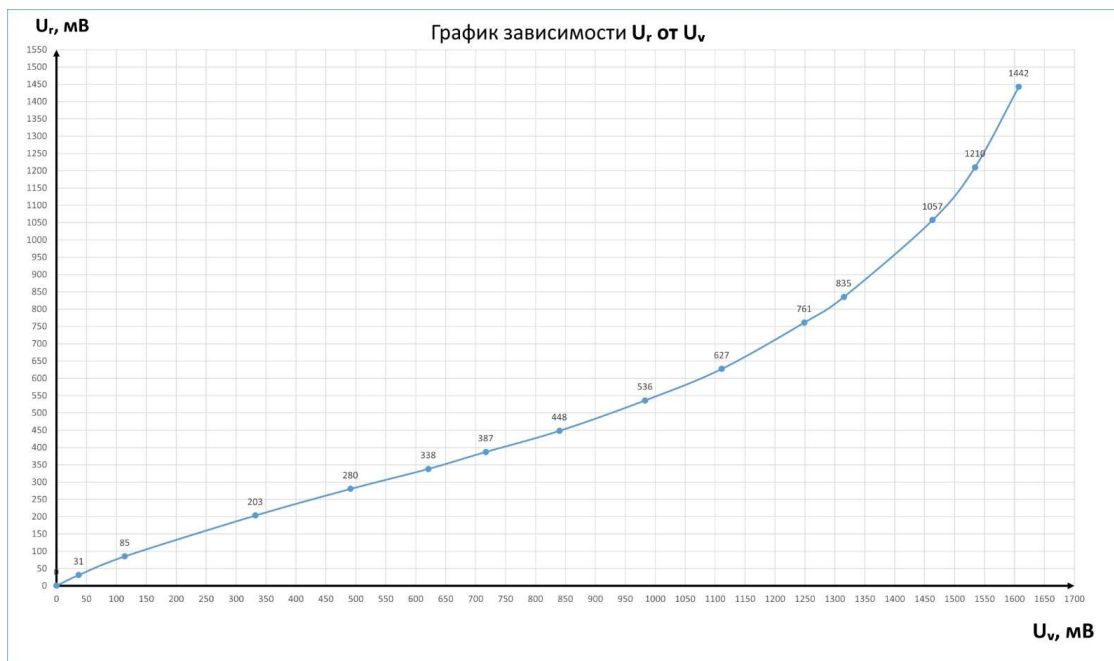
$$U_R = \frac{U_v R_1}{\frac{R_0 U_v}{U_0} - \frac{U_v^2 R_0}{U_0^2} + R_1}. \quad (2 \text{ балла})$$

5) Найдена величина $\alpha = R_0/R_1$:

$$U_R = \frac{U_v}{\frac{\alpha U_v}{U_0} - \frac{\alpha U_v^2}{U_0^2} + 1},$$

$$\frac{1}{U_R} - \frac{1}{U_v} = \alpha \left(\frac{1}{U_0} - \frac{U_v}{U_0^2} \right).$$

Отсюда несложно получить выражение для величины α через известные величины и введенную величину U_0 . (2 балла)



Итого максимум 10 баллов за задачу.