

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ 2024-2025
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ
11 КЛАСС

Задание подготовлено Красиным М.С., к.п.н., доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского

Условия, возможные решения, критерии оценки

1. «Катушка и лампа 11». (10 баллов) Одиннадцатиклассник Собиралкин собрал электрическую цепь, подключив к источнику переменного тока последовательно лампу накаливания, катушку индуктивности с очень малым активным сопротивлением и амперметр. Определите сопротивление спирали лампы, частоту тока и напряжение на клеммах источника, если амперметр показывал 0,75 А, вольтметр при подключении к лампе накаливания показывал 12 В, а при подключении к катушке индуктивности 9 В. На корпусе катушки была указана индуктивность 19,1 мГн. Погрешностью показаний приборов можно пренебречь.

1. «Катушка и лампа 11». (10 баллов) **Возможное решение:** Сопротивление лампы равно $R_L = \frac{U_L}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,75 \text{ А}} = 16 \text{ Ом}$. (1)

Учтём, что сдвиг по фазе между колебаниями тока и напряжения на катушке индуктивности равен $\frac{\pi}{2}$ (2)

Значит, между колебаниями напряжения на катушке и лампе он тоже равен $\frac{\pi}{2}$, получаем, что

напряжение на клеммах надо рассчитывать по формуле $U_{\text{и}} = \sqrt{U_L^2 + U_K^2}$ (3)

$$U_{\text{и}} = 15 \text{ В} \quad (4)$$

Индуктивное сопротивление катушки можно рассчитать по формулам $X_L = 2\pi\nu L$ (5)

$$\text{и } X_L = \frac{U_K}{I} \quad (6)$$

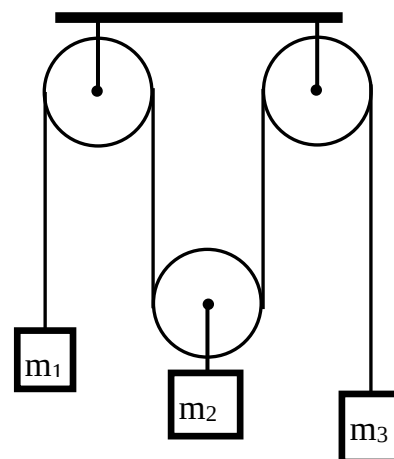
$$\text{Получаем } \nu = \frac{U_K}{I \cdot 2\pi L} \quad (7)$$

Подставив числа, получаем $\nu = 1000 \text{ Гц}$ (8)

Критерии оценки.

За каждый пункты (2), (4) – (8) ставить по 1 баллу, даже, если эти пункты учтены в неявном виде. За пункты (1) и (3) ставить 2 балла. Если напряжение на клеммах источника найдено как сумма напряжений, то за пункты (3), (4) и (8) баллы не ставить а за остальные не снижать.

2. «Блоки 11». (10 баллов) Через два неподвижных и один подвижный блоки перекинута тонкая очень лёгкая практически нерастяжимая нить длиной 3 м. К концам нити и подвижному блоку подвешены грузы. Массы грузов $m_1 = 100 \text{ г}$, $m_2 = 200 \text{ г}$, $m_3 = 50 \text{ г}$. Какой из грузов (один) надо придерживать, чтобы система оставалась неподвижной? Какую силу необходимо для этого прикладывать? С какими ускорениями и в какую сторону начнут двигаться грузы, если систему отпустить. С какой скоростью будет двигаться груз m_3 через 1 с после начала движения? Каждый ответ обоснуйте. Массой блоков и трением можно пренебречь. Свободные участки нити считать вертикальными. $g = 10 \text{ м/с}^2$



2. «Блоки 11». (10 баллов) **Возможное решение. Ответ1:**

Удерживать, вернее, поддерживать надо груз m_3 . **Пояснение:**

учитывая условия, можно сделать вывод, что силы натяжения нити везде одинаковы по модулю. Если на груз m_1 действует сила T , то на подвижный блок, с прикреплённым к нему грузом m_2 действует сила $2T$, а масса $m_2 = 2m_1$, значит, если T не равна m_1g , то $2T \neq 2m_1g$, т.е. если удерживать груз m_1 , то груз m_2 не будет в равновесии без поддерживающей (удерживающей) силы. Аналогично рассуждая, понимаем, что и груз m_2 нельзя удерживать. Значит, это должен быть груз m_3

Ответ 2: удерживающая сила должна быть равна 0,5 Н. **Пояснение:** Если удерживают груз m_3 , то груз m_1 находится в равновесии. Значит, сила натяжения нити равна $T = m_1 g = 1$ Н. Такая же сила действует на груз m_3 . Разность между силой тяжести и силой натяжения нити определяет величину силы, необходимой для поддержания системы.

Ответ 3: первый и второй грузы движутся вниз с ускорением 2 м/с^2 , а третий – вверх с ускорением 6 м/с^2

Пояснение: Проведём ось X вниз и запишем 2 закон Ньютона для грузов m_1 и m_3 , а также для системы груз m_2 – подвижный блок

$$m_1 g - T = m_1 a_{1x}, \quad (1), \quad m_2 g - 2T = m_2 a_{2x} \quad (2), \quad m_3 g - T = m_3 a_{3x} \quad (3)$$

Для решения системы, нужно ещё одно уравнение. Его можно получить из условия нерастяжимости нити.

Способ 1. Выразим длину нити через координаты грузов

$$L = (x_1 - 0) + l + (x_2 - 0) + l + (x_2 - 0) + l + (x_3 - 0) \quad (4)$$

Это соотношение будет выполняться для любого момента рассматриваемого движения грузов.

Поэтому можно записать, что

$$0 = (x_1 - x_{01}) + (x_2 - x_{02}) + (x_2 - x_{02}) + (x_3 - x_{03}) \quad (5)$$

$$\text{Учитывая, что } x - x_0 = \frac{a_x}{2} \Delta t^2 \quad (6)$$

Получаем взаимосвязь между ускорениями

$$a_{1x} + 2a_{2x} + a_{3x} = 0 \quad (7)$$

Способ 2.

Учитывая, что $m_2 = 2m_1$ и соотношения (1) и (2), делаем вывод, что

$$a_{1x} = a_{2x} \quad (8)$$

Если эти грузы за малый интервал времени сместятся на Δx , то груз m_3 сместится в противоположную сторону на $3\Delta x$. Поэтому для ускорений будет иметь место соотношение $a_{3x} = -3a_{1x}$ (9)

Продолжение решения для обоих способов

Решая систему уравнений (1), (2), (3), (7) (или (1), (3), (8), (9), получаем

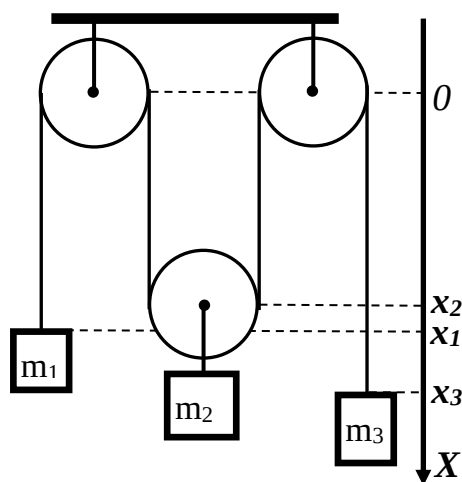
$$a_{1x} = a_{2x} = 0,2g = 2 \text{ м/с}^2, \quad a_{3x} = -0,6g = -6 \text{ м/с}^2$$

Значит, первый и второй грузы движутся вниз с ускорением 2 м/с^2 , а третий – вверх с ускорением 6 м/с^2

4. Ответ: Определить невозможно. **Пояснение:** Учитывая, что начальная скорость груза равна нулю, его скорость через время Δt можно найти по формуле $v_{3x} = a_{3x} \cdot \Delta t$, $v_{3x} = 6 \text{ м/с}$. Теперь надо проверить, что через 1 с после начала движения математическая модель зависимости скорости груза от времени будет именно такая как и в начале движения, поскольку длина нити ограничена. Найдём, каким будет перемещение этого груза за 1 с. Для этого воспользуемся формулой $\Delta x_3 = \frac{a_{3x}}{2} \Delta t^2$. Подставив числовые значения, получаем, что $\Delta x_3 = 3 \text{ м}$. Но, поскольку вся длина нити равна 3 м, то менее, чем через 1 с груз m_3 столкнётся с блоком и характер его дальнейшего движения предсказать нельзя.

Критерии оценки. За обоснованный ответ на вопрос 1 ставить 1 балл. За обоснованный ответ на вопрос 2 ставить 1 балл. Ответы без обоснования не оценивать. За корректную запись законов Ньютона для каждого груза ставить 1 балла за все три уравнения. За нахождение взаимосвязи между ускорениями ставить 2 балла. За указание направления движения грузов ставить 1 балл. За нахождение числовых значений ускорений грузов ставить 2 балла. За обоснованный ответ, что числовое значение скорости найти невозможно, ставить 2 балла. А если вычислена скорость $v_{3x} = 6 \text{ м/с}$, учитывая нестандартность задачной ситуации и умение работать с моделью равноускоренного движения, ставить 1 балл.

3. «Кто точнее II». (10 баллов) Получив задание измерить объём бруска, ученики Юра и Ася решили действовать разными методами.



Юра взял линейку с миллиметровыми делениями и измерил длину, ширину и высоту бруска. У него получились габариты $20 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$.

Ася взяла мерный цилиндр с водой, измерила объём воды, он получился равным 30 мл. Затем погрузила брусок полностью в воду и определила, что общий объём оказался равен 82 мл. Какой объём бруска получился у Юры? Какой – у Аси? Кто измерил точнее? Ответ обоснуйте. При обосновании учтите, что погрешности результатов непосредственных (прямых) измерений можно считать равными цене деления соответствующего измерительного прибора. Цена деления мерного цилиндра у Аси была равна 2 мл.

3. «Кто точнее 11». (10 баллов) Возможное решение:

Если не учитывать погрешность измерения, то

$$\text{Юра получил } V_1 = 20 \text{ мм} \cdot 25 \text{ мм} \cdot 100 \text{ мм} = 50000 \text{ мм}^3 = 50 \text{ см}^3, \quad (1)$$

$$\text{а Ася получила } V_2 = 82 \text{ мл} - 30 \text{ мл} = 52 \text{ мл} = 52 \text{ см}^3 \quad (2)$$

Если учитывать погрешности измерений, то следует учесть возможную погрешность измерения длины, равную 1 мм, то максимальное значение объёма равно

$$V_{1\text{вг}} = 21 \text{ мм} \cdot 26 \text{ мм} \cdot 101 \text{ мм} = 55146 \text{ мм}^3, \text{ а минимальное}$$

$$V_{1\text{нг}} = 19 \text{ мм} \cdot 24 \text{ мм} \cdot 99 \text{ мм} = 45144 \text{ мм}^3$$

$$\text{Погрешность измерения объёма равна } \Delta V_1 = 0,5(V_{1\text{вг}} - V_{1\text{нг}}) = 5001 \text{ мм}^3$$

$$\text{Округляя до одной значащей цифры, получаем } \Delta V_1 = 5000 \text{ мм}^3 = 5 \text{ см}^3 \quad (3)$$

$$\text{Результат измерения принимаем равным } V_1 = 0,5(V_{1\text{вг}} + V_{1\text{нг}}) = 50145 \text{ мм}^3$$

$$\text{Округляя результат до минимального разряда погрешности, получаем } V_1 = 50 \text{ см}^3 \quad (4)$$

$$\text{Таким образом, результат измерения Юры следует записать } V_1 = 50 \text{ см}^3 \pm 5 \text{ см}^3 \quad (5)$$

$$\text{Погрешность измерения объёма мензуркой равна 2 мл, но измерялись два объёма, поэтому погрешность следует принять равной 4 мл} \quad (6)$$

$$\text{Таким образом, результат измерения Аси следует записать } V_2 = 52 \text{ см}^3 \pm 4 \text{ см}^3 \quad (7)$$

$$\text{Точность измерения характеризует относительная погрешность } \varepsilon = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_1 = \frac{5}{50} 100\% = 10\%, \quad (8) \quad \varepsilon_2 = \frac{4}{52} 100\% = 7,6923 \dots \% = 8\% \quad (9)$$

Получается, что результат измерения Аси более точный.

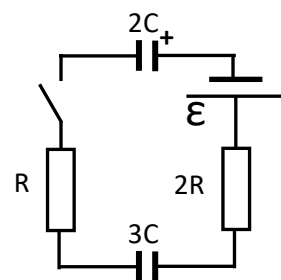
Критерии оценки.

За каждый пункт (1) – (9) ставить 1 балл, за вывод добавить 1 балл.

Если погрешность измерения Аси принята за 2 мл, то за этот пункт оценку не ставить, но за остальные расчёты, сделанные на основании данного результата оценку не снижать.

Если была сделана попытка оценки погрешности, но она оказалась неправильной (без сравнения относительных погрешностей (может быть и в неявном виде)), то за эту попытку добавлять не более 2 баллов.

4. «Конденсаторы 11». (10 баллов) На схеме, изображённой на рисунке, в начальный момент верхний конденсатор ёмкостью $2C$ имеет заряд q_0 , ключ разомкнут, нижний конденсатор ёмкостью $3C$ не заряжен. Вычислите, сколько энергии выделится на резисторе сопротивлением $2R$ после замыкания ключа. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь. Учтите, что в начальный момент правая обкладка верхнего конденсатора заряжена положительно.



4. «Конденсаторы 11». (10 баллов) Возможное решение. Основная идея решения: $W_0 + A_{\text{ум}} = W_1 + W_2 + Q_1 + Q_2$ (1)

$$\text{т.е. } \frac{q_0^2}{2 \cdot 2C} + \Delta q \varepsilon = \frac{q_1^2}{2 \cdot 2C} + \frac{q_2^2}{2 \cdot 3C} + Q_1 + Q_1 \frac{R}{2R} \quad (\text{при последовательном включении резисторов})$$

тепловая мощность, выделяющаяся на каждом резисторе, прямо пропорциональна его сопротивлению). (2)

Чтобы найти заряды, оказавшиеся на конденсаторах после замыкания ключа, воспользуемся принципом суперпозиции, а предварительно разобьём задачу на две ситуации: сначала найдём, какие заряды оказались бы на конденсаторах, если бы не было начального

заряда, затем найдём, какие заряды оказались бы на конденсаторах, если бы не было источника тока. (3)

Решение первой подзадачи: Эквивалентная ёмкость двух включенных последовательно конденсаторов равна $C_{\text{экв}} = \frac{2C \cdot 3C}{2C + 3C} = 1,2C$. (4)

Поэтому на каждом конденсаторе окажется заряд равный $q = C_{\text{экв}} \cdot \varepsilon = 1,2C\varepsilon$. Причём на правой обкладке верхнего конденсатора будет заряд $q_1' = -1,2C\varepsilon$, а на правой обкладке нижнего конденсатора будет заряд $q_2' = 1,2C\varepsilon$. (5)

Решение второй подзадачи: Если бы не было источника тока, то после замыкания ключа напряжение на конденсаторах стало бы одинаковым, значит $\frac{q_1''}{2C} = \frac{q_2''}{3C}$, (6)

причём $q_1'' + q_2'' = q_0$ и на правых обкладках обоих конденсаторов будет положительный заряд.

Следовательно, $q_1'' = 0,4q_0$, $q_2'' = 0,6q_0$. (7)

В результате суперпозиции получаем, что на правых обкладках конденсаторов заряды равны $q_1 = -1,2C\varepsilon + 0,4q_0$ и $q_2 = 1,2C\varepsilon + 0,6q_0$ соответственно. (8)

Так как на нижнем конденсаторе заряда не было, то, заряд, прошедший через источник тока, равен $\Delta q = q_2 = 1,2C\varepsilon + 0,6q_0$. (9)

Следовательно, $\frac{q_0^2}{2 \cdot 2C} + (1,2C\varepsilon + 0,6q_0)\varepsilon = \frac{(-1,2C\varepsilon + 0,4q_0)^2}{4C} + \frac{(1,2C\varepsilon + 0,6q_0)^2}{6C} + \frac{3}{2}Q_1$,

откуда $Q_1 = 0,1\frac{q_0^2}{C} + 0,4C\varepsilon^2 + 0,4q_0\varepsilon$. (10)

Критерии оценки. За каждый пункт (1) – (10) ставить 1 балл,

В случае использования других способов решения можно составить и записать соответствующие им критерии оценки, но они должны приблизительно соответствовать указанным в авторском варианте.

5. «Пузырёк 11». (10 баллов) Оцените (приблизительно) количество молекул водяного пара, находящихся внутри воздушного пузырька диаметром 1см, поднимающегося в кипящей воде.

Постоянную Больцмана принять равной $1,4 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$, постоянную Авогадро $6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$,

универсальную газовую постоянную $8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

5. «Пузырёк 11». (10 баллов) **Возможное решение.** $p = nkT$, (1)

$$n = \frac{N}{V}, N = \frac{pV}{kT} \quad (2)$$

Учтём, что давление в пузырьке равно атмосферному давлению $p = 10^5 \text{ Па}$ (3).

Температура кипения $T = 373 \text{ К}$ (4)

В пузырьке находятся в основном молекулы водяного пара (5).

$$\text{Объём шара } V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6}\pi \cdot d^3. \quad (6)$$

$$\text{Следовательно, } N = \frac{p \cdot \pi \cdot d^3}{6kT} \quad (7).$$

Подставив числовые данные, получаем $N \approx 10^{19}$. (8)

Критерии оценки. За каждый пункт (1), (2), (4), (6), (7), (8) ставить 1 балл,
За пункты (3) и (5) ставить по 2 балла