

**ПЕРВЫЙ ЭТАП РЕСПУБЛИКАНСКОЙ ОЛИМПИАДЫ
ПО УЧЕБНОМУ ПРЕДМЕТУ «ФИЗИКА»
2021/2022 УЧЕБНЫЙ ГОД
XI КЛАСС**

1. Брусок массой $m_1 = 80$, лежащий на горизонтальной поверхности, прикреплен с помощью легкой горизонтальной пружины жесткостью $k = 3,2 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ к стене (рис. 1). На расстоянии $L = 20$ от первого бруска лежит второй брусок массой $m_2 = 80$. Какую минимальную кинетическую энергию необходимо сообщить второму бруску, чтобы после абсолютно упругого соударения брусков первый брусок приблизился к стене и вернулся в исходное положение? Коэффициент трения брусков о поверхность $\mu = 0,20$. Модуль ускорения свободного падения $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

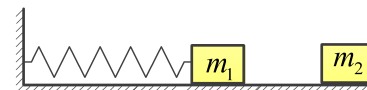


Рис. 1

2. В горизонтальном цилиндре созданы два равных отсека, отделенных друг от друга перегородкой с отверстием, закрытым пробкой (рис. 2). В обоих отсеках содержится одинаковый идеальный газ под давлением $p_1 = 100$. Пробка вылетает, когда разность давлений в отсеках $\Delta p = 40$. Поршень медленно перемещают вправо (рис. 2) до момента вылета пробки. Найдите установившееся давление газа в цилиндре после вылета пробки. Температура газа постоянная.



Рис. 2

3. Идеальный одноатомный газ неизменной массы совершает замкнутый цикл, представляющий собой ромб (рис. 3). Состояния газа 1 и 3 лежат на одной изобаре, а состояния 2 и 4 – на одной изохоре. Определите, насколько количество теплоты, полученное газом на процессе 1-2, превышает модуль количества теплоты, отданной газом на

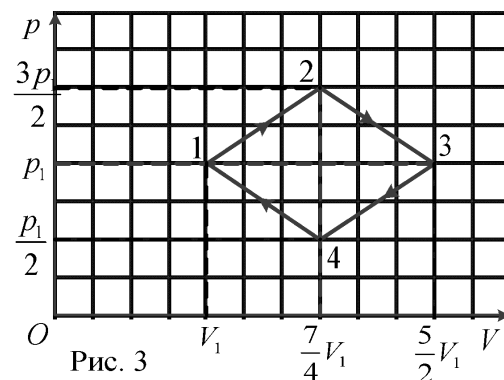


Рис. 3

- процессе 3-4, если за один цикл силой давления газа совершена работа $A = 300$.

4. Маленький брусок массой $m = 15$ и положительным зарядом $q = 6,20$ расположен на горизонтальной плоскости. На брусок начинает действовать сила $\vec{F}$, параллельная плоскости (рис. 4). Модуль силы $F = 0,27$. Система находится в однородном горизонтальном магнитном

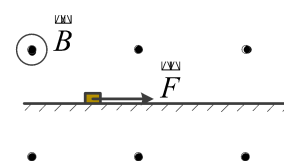


Рис. 4

- поле, модуль индукции которого $B = 0,60$. Найдите мощность, развиваемую силой $\vec{F}$ через достаточно большой промежуток времени. Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0,20$. Модуль ускорения свободного падения $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

5. Два одинаковых бруска находятся на гладкой горизонтальной поверхности и совершают гармонические колебания вдоль прямой под действием упругой легкой пружины, прикрепленной к нижнему бруску (рис. 5). Период колебаний брусков $T = 1,57$. Модуль их

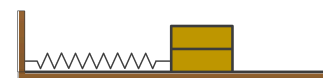


Рис. 5

- максимальной скорости движения $v_{\text{max}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите коэффициент трения покоя между брусками, если они при колебаниях неподвижны друг относительно друга. Известно, что в точках максимальной деформации пружины, сила трения покоя достигает максимального значения. Модуль ускорения свободного падения $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Решения задач первого этапа республиканской олимпиады по физике.

2021/2022 учебный год

XI класс

1. Обозначим символом $E_{\kappa}^{\max}$ искомую минимальную кинетическую энергию второго бруска. Работа силы трения при перемещении второго бруска до соударения с первым бруском $A_1 = -\mu m_2 g L$ (1). Работа силы трения при перемещении первого бруска после соударения со вторым бруском $A_2 = -\mu m_1 g |\Delta l|$ (2), где $|\Delta l|$ – максимальное абсолютное сжатие пружины. При соударении брусков выполняется закон сохранения импульса. Так как массы брусков одинаковые, то второй брусок после удара с первым остановится. Применим закон сохранения энергии, рассмотрев систему в начальном состоянии и в момент времени, когда пружина максимально

сжата: $E_{\kappa}^{\max} = \mu m_2 g L + \frac{k |\Delta l|^2}{2} + \mu m_1 g |\Delta l|$ (3). Также запишем закон сохранения энергии для начального и конечного состояния системы: $E_{\kappa}^{\max} = \mu m_2 g L + 2 \mu m_1 g |\Delta l|$ (4). Из уравнений (3) и (4)

найдем максимальное сжатие пружины: $|\Delta l| = \frac{\mu m_1 g}{k}$ (5). Подставив (5) в (3) или (4), найдем ответ

задачи: $E_{\kappa}^{\max} = \mu m_2 g L + \frac{4 \mu^2 m_1^2 g^2}{k} = 64$.

Примерная схема оценивания задачи 1 (11 класс)		
1	Записано уравнение (1)	1 балл
2	Записано уравнение (2)	1 балл
3	Доказано, что второй брусок после столкновения остановится	1 балл
4	Записан закон сохранения энергии: уравнение (3)	2 балла
5	Записан закон сохранения энергии: уравнение (4)	2 балла
6	Выполнены математические преобразования и получен ответ задачи	2 балла
7	Даны комментарии и пояснения решения задачи	2 балла
Всего		11 баллов

2. В момент вылета пробки давление в правом отсеке цилиндра $p_2 = p_1 - \Delta p$ (1). Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для разных состояний газа: $p_1 V_1 = \nu R T$ (2), $p_2 V_2 = \nu R T$ (3) и $p(V_1 + V_2) = 2 R T$ (4), где p – искомое давление в цилиндре, V_1 – начальный объем газа в каждом отсеке, V_2 – объем газа в правом отсеке в момент вылета пробки. Из уравнений (1), (2) и (3)

найдем ответ задачи: $p = \frac{2 p_1 (p_1 - \Delta p)}{2 p_1 - \Delta p} = 75 \text{ Па}$.

Примерная схема оценивания задачи 2 (11 класс)		
1	Записано уравнение (1)	1 балл
2	Записаны уравнения (2)-(4)	3 балла
3	Выполнены математические преобразования и получен ответ задачи	3 балла
4	Даны комментарии и пояснения решения задачи	2 балла
Всего		9 баллов

3. По первому закону термодинамики количество теплоты Q_{12} , полученное газом на процессе 1-2, и модуль количества теплоты $|Q_{34}|$, отданное на процессе 3-4, соответственно равно $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$ (1) и $|Q_{34}| = |\Delta U_{34} + A_{34}|$ (2). Сравним между собой изменения внутренней энергии ΔU_{12} и $|\Delta U_{34}|$. Давление газа в состояниях 1, 2, 3 и 4 соответственно равны p_1 , $p_2 = 1,5 p_1$ (3), $p_3 = p_1$ (4) и $p_4 = 0,5 p_1$ (5). Объем газа в состояниях 1, 2, 3 и 4 соответственно равен: V_1 , $V_2 = V_4 = \frac{7}{4} V_1$ (6) и $V_3 = \frac{10}{4} V_1$ (7). Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояний 1, 2,

3 и 4 с учетом уравнений (3) - (7): $p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1$ (8), $\frac{21}{8} p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_2$ (9), $\frac{5}{2} p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_3$ (10),

$\frac{7}{8} p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_4$ (11). На процессе 1-2, как следует из уравнений (8) – (9), изменение температуры

$\Delta T_{21} = \frac{13}{8} \frac{p_1 V_1 M}{m R}$ (12). На процессе 3-4, как следует из уравнений (10) – (11), изменение

температуры $|\Delta T_{34}| = \frac{13}{8} \frac{p_1 V_1 M}{m R}$ (13). Так как $\Delta T_{21} = |\Delta T_{34}|$, то модули изменения внутренней

энергии на процессах 1-2 и 3-4 равны. Сравним между собой работы A_{12} и $|A_{34}|$, совершенными силами давления газа. Для этого воспользуемся геометрическим методом. Поскольку работа сил давления газа численно равна площади под графиком $p(V)$, то работа на процессе A_{12} больше

модуля работы $|A_{34}|$ на $\frac{A}{2}$. Таким образом, количество теплоты, полученное газом на процессе

1-2, больше модуля количества теплоты, отданного на процессе 3-4, на $\frac{A}{2}$. Поэтому ответ задачи:

$Q_{12} - |Q_{34}| = 150$

Примерная схема оценивания задачи 3 (11 класс)		
1	Записан первый закон термодинамики	1 балл
2	Записаны уравнения (8)-(11)	4 балла
3	Доказано, что модули изменения внутренней энергии на процессах 1-2 и 3-4 равны	3 балла
4	Доказано, насколько отличаются модули работ A_{12} и $ A_{34} $	2 балла
5	Найден ответ задачи	1 балл
6	Даны комментарии и пояснения решения задачи	2 балла
Всего		13 баллов

4. Мощность, развиваемая силой $\vec{F}$, определяется по формуле $P = F \cdot v$ (1), где v – модуль скорости движения бруска.

При действии силы $\vec{F}$ брусок придет в движение. При этом по мере роста его скорости сила Лоренца будет все сильнее прижимать его к плоскости, увеличивая тем самым силу трения скольжения. Таким образом, через достаточно большой промежуток времени при некоторой скорости $\vec{v}$ брусок перестанет ускоряться – его движение станет

равномерным, а мощность, развиваемая силой $\vec{F}$, – постоянной.

На рисунке 1 показаны силы, действующие на брусок, при его равномерном движении. Запишем второй закон Ньютона:

$F_{\text{тр}} + F + N + F_{\text{Л}} + mg = 0$ (2). Из уравнения (2) следует: $F = F_{\text{тр}}$ (3),

$N = F_{\text{Л}} + mg$ (4). Модуль силы трения $F_{\text{тр}} = \mu N$ (5). Модуль силы Лоренца

$F_{\text{Л}} = qBv$ (6). Из уравнений (3)-(6) получим $F = \mu(qBv + mg)$ (7). Из уравнения (7) найдем модуль

$v = \frac{F - \mu mg}{\mu q B}$

скорости движения бруска: (8). Используя уравнения (1) и (8), найдем ответ задачи:

$P = \frac{F(F - \mu mg)}{\mu q B}$ или $P = 3,7$

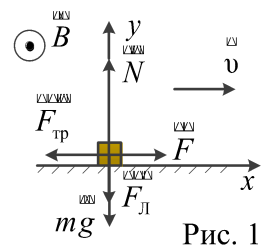


Рис. 1

Примерная схема оценивания задачи 4 (11 класс)		
1	Записано уравнение (1)	1 балл

3	Записано уравнение (2)	1 балл
4	Записаны уравнения (3)-(6)	4 балла
5	Выполнены математические преобразования и найден модуль скорости движения v бруска	2 балла
6	Получен ответ задачи	1 балл
7	Даны комментарии и пояснения решения задачи	2 балла
Всего		11 баллов

5. Верхний брусок движется под действием силы трения покоя, модуль максимальной силы трения $F_{\text{тр}} = \mu mg$ (1), где μ – искомый коэффициент трения покоя, m – масса верхнего бруска.

Модуль максимального ускорения брусков $a_{\text{max}} = \frac{4\pi^2}{T^2} x_{\text{max}} = \frac{2\pi}{T} v_{\text{max}}$ (2). В соответствии со вторым законом Ньютона $ma_{\text{max}} = kx_{\text{max}} - \mu mg$ (3). Из формулы периода пружинного маятника найдем

жесткость пружины: $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$ (4). Зная максимальную скорость маятника, найдем амплитуду

колебаний: $x_{\text{max}} = \frac{v_{\text{max}} T}{2\pi}$ (5). Подставим (2), (4), (5) в (3), получим:

$m \frac{2\pi}{T} v_{\text{max}} = \frac{4\pi^2 m}{T^2} \cdot \frac{v_{\text{max}} T}{2\pi} - \mu mg$ (6). Из уравнения (6) найдем ответ задачи: $\mu = \frac{2\pi v_{\text{max}}}{Tg} = 0,2$.

Примерная схема оценивания задачи 5 (11 класс)		
1	Записано уравнение (1)	1 балл
2	Записано уравнение (2)	1 балл
3	Записано уравнение (3)	2 балла
4	Найдена жесткость пружины k	1 балл
5	Записано уравнение (5)	1 балл
6	Выполнены математические преобразования и получен ответ задачи	2 балла
7	Даны комментарии и пояснения решения задачи	2 балла
Всего		10 баллов