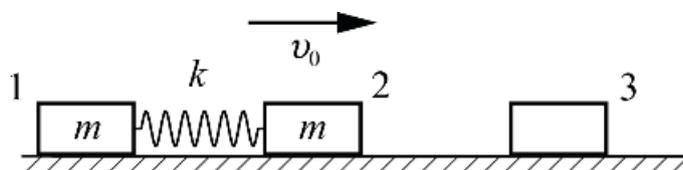


ЗАДАНИЯ
II муниципального (районного) этапа
Всероссийской олимпиады школьников по физике 2023-2024
11 Класс

1. Два одинаковых вагона массы m каждый, соединены сцепкой в виде недеформированной пружины жёсткости k , движется



без трения по горизонтальному прямолинейному рельсовому пути со скоростью v_0 и налетают на покоящийся вагон массы $m/2$. Удар абсолютно упругий. Найдите:

- 1) скорость v_3 покоившегося бруска сразу после столкновения;
- 2) максимальную деформацию ΔL пружины

Возможное решение. 1. Обозначим начальные скорости и массы тел следующим образом:

$$v_{01} = v_{02} = v_0, \quad v_{03} = 0, \quad m_1 = m_2 = m, \quad m_3 = m/2.$$

При абсолютно упругом соударении 2-го и 3-го брусков можно считать, что за время соударения пружина не успела сжаться на какую-либо величину, скорость 1-го бруска не успела поменяться и потерь энергии нет, поэтому ЗСИ в проекции на горизонтальную ось и ЗСЭ для брусков запишутся в виде:

$$m_2 v_{02} = m_2 v_2 + m_3 v_3$$

$$\frac{m_2 v_{02}^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{m_3 v_3^2}{2}$$

Решая данную систему, получаем: $v_2 = \frac{1}{3}v_0$, $v_3 = \frac{4}{3}v_0$.

2. Максимальной деформации пружина достигнет, когда скорости брусков 1 и 2 сравняются.

Запишем ЗСИ и ЗСЭ для этого случая:

$$m_1 v_{01} + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$$

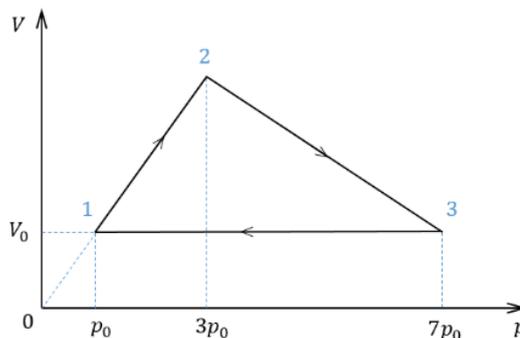
$$\frac{m_1 v_{01}^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} + \frac{k \Delta L^2}{2}.$$

Выражая из 1-го уравнения скорость центра масс системы и подставляя её в ЗСЭ, получаем: $\Delta L = v_0 \sqrt{2m / (9k)}$.

Критерии оценивания.

- | | |
|---|---------|
| 1) Указано, что при абсолютно упругом ударе пружина не успела сжаться, скорость 1-го бруска не успела измениться и потерь энергии нет ($v_1 = v_0$) | 1 балл |
| 2) Правильно записан ЗСИ в проекции на горизонтальную ось для удара | 1 балл |
| 3) Правильно записан ЗСЭ для удара | 1 балл |
| 4) Найдены $v_2 = v_0 / 3$, $v_3 = 4v_0 / 3$. | 2 балла |
| 5) Указано правильное условие максимальной деформации | 1 балл |
| 6) Правильно записан ЗСИ для этого момента | 1 балл |
| 7) Правильно записан ЗСЭ для этого момента | 1 балл |
| 8) Правильно найдена ΔL | 2 балла |

2. Один моль идеального одноатомного газа совершают циклический процесс 1-2-3-1, показанный на VVV -диаграмме. Известно, что температура в точке 1 равна $T_0 = 200$ К. Найдите температуру T_2 газа в точке 2. Какое количество теплоты Q_{12} подвели к газу в процессе 1-2? Определите работу A газа за цикл. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К).



Решение

Возможное решение

Введем обозначение $\nu = 1$ моль – количество вещества. Так как в процессе 1-2 давление газа линейно зависит от объёма и увеличивается в три раза, то объём в состоянии 2: $V_2 = 3V_0$.

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для точек 1 и 2 соответственно:

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu R T_0; & (1) \\ 3p_0 3V_0 = \nu R T_2. & (2) \end{cases}$$

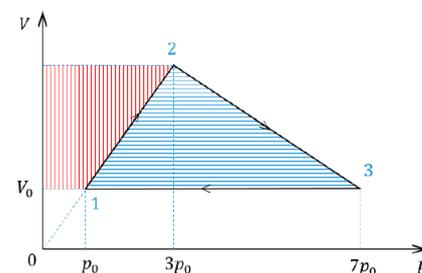
Из (1) – (2) получаем $T_2 = 9T_0 = 1800$ К.

Работу A_{12} , совершенную газом на участке 1-2, определим через площадь трапеции на графике $V(p)$ (заштрихована красным): $A_{12} = \frac{1}{2}(p_0 + 3p_0)(3V_0 - V_0) = 4p_0 V_0 = 4\nu R T_0$.

Изменение внутренней энергии на участке 1-2: $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = 12\nu R T_0$.

Согласно первому началу термодинамики $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 16\nu R T_0 \approx 26,6$ кДж.

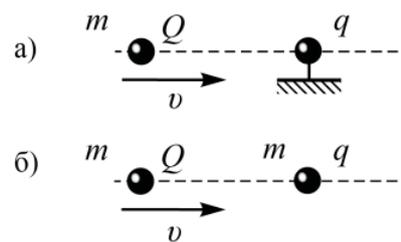
С учётом того, что работа A газа за цикл отрицательна и определяется через площадь треугольника (заштрихован синим), ограниченного графиком кругового процесса, получаем: $A = -\frac{1}{2}(7p_0 - p_0)(3V_0 - V_0) = -6\nu R T_0 \approx -9,97$ кДж.



Ответ: $T_2 = 9T_0 = 1800$ К; $Q_{12} = 16\nu R T_0 \approx 26,6$ кДж; $A = -6\nu R T_0 \approx -9,97$ кДж.

№	Критерий	Количество баллов
1.	Получен ответ $T_2 = 9T_0 = 1800$ К	2
2.	Записано выражение для работы на участке 1-2: $A_{12} = 4\nu R T_0$	2
3.	Записано выражение для изменения внутренней энергии $\Delta U_{12} = 12\nu R T_0$	1
4.	Записано первое начало термодинамики $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$	1
5.	Получен буквенный ответ $Q_{12} = 16\nu R T_0$	1
6.	Получен численный ответ $Q_{12} \approx 26,6$ кДж	0,5
7.	Идея определения работы через площадь треугольника	1
8.	Получен буквенный ответ $A = -6\nu R T_0$	1
9.	Получен численный ответ $A \approx -9,97$ кДж	0,5
Итого максимально за задачу		10

3. Шарик с зарядом Q и массой m может приблизиться к такому же шарiku на расстоянии $l = 10$ см, если второй шарик закреплён (рис а). До какого минимального расстояния s сблизятся шарики, если второй не будет закреплён (рисунок б)?



Решение

Запишем ЗСЭ для случая *а*:

Начальная кинетическая энергия шарика с зарядом Q перешла в потенциальную энергию взаимодействия зарядов (начальной потенциальной энергией пренебрегаем)

$$\frac{mv^2}{2} = k \frac{qQ}{l}$$

Если второй шар не закреплён, то начальная кинетическая энергия шарика с зарядом частично перейдёт в кинетическую энергию шара с зарядом q , в потенциальную энергию взаимодействия зарядов на расстоянии s .

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + k \frac{qQ}{s}$$

В момент наибольшего сближения скорости у шариков будут одинаковы.

$$v_1 = v_2 = v_0$$

А из закона сохранения импульса

$$mv = mv_1 + mv_2 = 2mv_0$$

$$v_0 = \frac{v}{2}$$

Подставим всё в закон сохранения энергии для случая *б*:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv^2}{8} + \frac{mv^2}{8} + k \frac{qQ}{s}$$

$$\frac{mv^2}{4} = k \frac{qQ}{s}$$

Используем первый ЗСЭ и получим

$$s = 2l = 20 \text{ см}$$

№	критерий	баллы
1.	ЗСЭ для первой ситуации	2
2.	ЗСЭ для второй ситуации	2
3.	Условие на скорость для наибольшего сближения	2
4.	ЗСИ для второй ситуации	2
5.	Найдена скорость при наибольшем сближении	0,5
6.	Найдена связь s и l	1
7.	Численный ответ	0,5
итого:		10

4. Экспериментатор Глюк пошел за водой на колонку, с ведром объемом $V = 10$ л и массой $m = 0,5$ кг. Ведро наполняется струей за $T = 5$ с, при этом площадь сечения струи $S = 4$ см². При наполнении водой одно из креплений ручки, за которую ведро было подвешено к колонке, лопнуло, когда ведро наполнилось наполовину. При какой нагрузке F на крепление оно сломалось? Струя воды из колонки вертикальна, а конец крана находится близко к ведру. Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³.

Решение. Непосредственно перед тем, как одно из креплений ручки сломалось, на них действовала суммарная реакция опоры, равная весу самого ведра, весу воды объемом $V/2$ и силы F_0 , тормозящей струю воды в ведре:

$$2F = mg + \rho \frac{V}{2} g + F_0.$$

Силу F_0 определим, рассмотрев процесс наполнения ведра целиком. Из условия, что ведро объемом V наполняется струей с площадью поперечного сечения S за время T , находим скорость v истечения струи:

$$V = SvT,$$

откуда

$$v = \frac{V}{ST}.$$

Из закона изменения импульса $\Delta p = F\Delta t$ в виде

$$\rho Vv = F_0 T$$

находим

$$F_0 = \frac{\rho Vv}{T} = \frac{\rho V^2}{ST^2}.$$

Таким образом,

$$F = \frac{mg}{2} + \frac{\rho Vg}{4} + \frac{\rho V^2}{2ST^2} = 2,5 + 25 + 5 = 32,5 \text{ Н.}$$

1. Представлено значение силы F в виде трех слагаемых – 3 балла.
2. Определена скорость истечения воды из крана – 1 балл.
3. Применен закон изменения импульса – 2 балла.
4. Определена сила F_0 – 2 балла.
5. Дано окончательное выражение для F - 1 балл.
6. Определено числовое значение F - 1 балл.

5. Экспериментатор Глюк, находясь на отдыхе на берегу реки Ангара увидел плывущий футбольный мяч, погружённый на 10% объёма. Глюк решил рассчитать давление в мяче. Какое давление получилось в результате расчетов если диаметр мяча 22 см, толщина его оболочки 2 мм, а плотность 1800 кг/м^3 . Температуру воздуха и воды Глюк счёл равной 27 С. Молярная масса воздуха 29 г/моль. Плотность воды 1000 кг .

Решение

Чтобы определить давление воздуха в мяче, можно воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона $pV = m/M RT$. Для этого нужно знать как массу воздуха в мяче m , так и его объём V .

Объём всего мяча $V^* = 4/3 \pi R^3 = \pi D^3 / 6 = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Воспользуемся условием плавания тел: сила тяжести, приложенная к телу, равна действующей на него силе Архимеда. $F_T = F_A$. $m^*g = 1/10 V^* \rho_v g$, где m^* – масса всего мяча, ρ_v – плотность воды. $m^* = 1/10 V^* \rho_v$. Массу воздуха в мяче можно найти, вычтя массу оболочки $m_{об}$: $m = 1/10 V^* \rho_v - V_{об} \rho_{об}$. Аналогично, объём воздуха в мяче $V = V^* - V_{об}$.

$$p = (RT / M) (1/10 V^* \rho_v - V_{об} \rho_{об}) / (V^* - V_{об}). \quad (1)$$

Объём оболочки можно найти по приближенной формуле

$$V_{об} = S d = 4\pi R^2 d \cong 3,04 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

или по точной:

$$V_{об} = V^* - 4 / 3 \pi (R - d)^3 \cong 2,99 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

Подставив точное значение в формулу (1), получим

$$p_1 \cong 3,26 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

подставив приближенное,

$$p_2 \cong 1.65 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Критерий оценивания	Значение	Балл
Применение уравнения Менделеева-Клапейрона к воздуху в мяче		2
Рассмотрение условия плавания мяча		2
Идея учёта объёма оболочки мяча		4
Расчет давления: использование точной формулы	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$	2
по приближенной формуле	$1,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$	1