

Всероссийская олимпиада школьников по физике

Муниципальный этап

2024-2025 учебный год

11 класс

Время выполнения – 3 часа 50 минут (230 минут)

Максимальное количество баллов – 50

Задача 1. «Идеальный газ» (10 баллов). Экспериментатор Глюк для работы с газом собрал следующую установку. В теплоизолированном сосуде цилиндрической формы, дно которого заряжено зарядом q , находится поршень с зарядом $-q$, способный перемещаться вдоль стенок сосуда без трения. Сосуд находится в контакте с нагревателем. Глюк поместил в сосуд $\nu = 1$ моль одноатомного идеального газа и включил нагреватель. Газ медленно получает от нагревателя количество теплоты Q . На сколько изменится температура газа? Электрическое поле однородно, диэлектрическая проницаемость газа равна единице.

Решение

Поскольку электрическое поле однородно, сила притяжения между поршнем и дном цилиндрического сосуда не зависит от положения поршня. Поэтому давление p газа во время опыта постоянно (даже с учетом внешнего атмосферного давления и веса поршня).

Согласно закону сохранения энергии количество теплоты, полученное газом:

$$Q = \nu \frac{3}{2} R \Delta T + A.$$

Если изменение объема газа равно ΔV , то работа газа:

$$A = p \Delta V.$$

Из уравнения состояния идеального газа $pV = \nu RT$ получаем:

$$A = \nu R \Delta T;$$

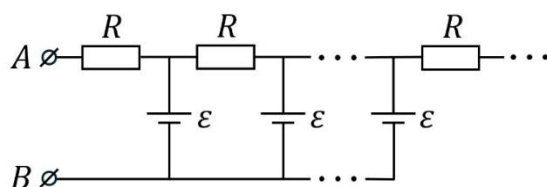
$$\rightarrow Q = \nu \frac{3}{2} R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \rightarrow \Delta T = \boxed{\frac{2}{5} \cdot \frac{Q}{\nu R}}.$$

Критерии оценивания (10 баллов)

1. Показано, что давление газа p во время эксперимента остается постоянным – **2 балла**.
2. Записано количество теплоты Q , полученное газом согласно закону сохранения энергии – **2 балла**.
3. Записана работа газа A – **2 балла**.
4. Использовано уравнения состояния идеального газа и получено выражение для работы A газа через изменение температуры ΔT – **2 балла**.
5. Получено выражение для изменения температуры ΔT – **2 балла**.

Примечание: Выяснив, что $p = \text{const}$, можно сразу записать $Q = \nu C_p \Delta T$, где $C_p = \frac{5}{2} R$. В этом случае баллы за п.2,3,4 ставятся в полном объеме.

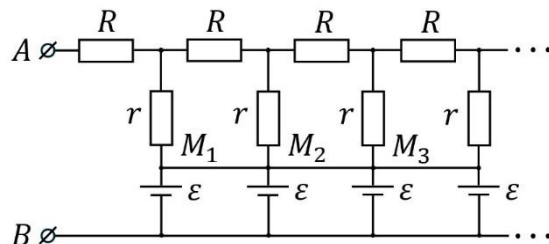
Задача 2. «Полубесконечная цепь» (10 баллов). Теоретик Баг, изучая законы электрического тока, решил рассмотреть «полубесконечную цепь», состоящую из одинаковых батареек, ЭДС каждой из которых ε , внутреннее сопротивление r , и сопротивлений R (см. рис.). Число звеньев $n \rightarrow \infty$. Что будет показывать идеальный амперметр, подключенный к клеммам AB ?



Решение

Изобразим предложенную «полубесконечную цепь» следующим образом:

Потенциалы точек $M_1, M_2, M_3, \dots$ одинаковы, т.е. их можно соединить, не изменяя показания амперметра. Таким образом, задача сводится к вычислению сопротивления цепочки резисторов R_x .



Учитывая, что подключение еще одного

звена не должно изменять сопротивление цепочки, получаем уравнение:

$$\frac{R_x r}{R_x + r} + R = R_x \rightarrow R_x^2 - R \cdot R_x - Rr = 0.$$

Решаем полученное квадратное уравнение относительно R_x , оставив только положительный корень:

$$R_x = \frac{R + \sqrt{R^2 + 4rR}}{2}.$$

Тогда показания амперметра:
$$I = \frac{\varepsilon}{R_x} = \frac{\varepsilon}{2r} \left(\sqrt{1 + \frac{4r}{R}} - 1 \right).$$

Критерии оценивания (10 баллов)

1. «Полубесконечная цепь» представлена таким образом, чтобы задача свелась к вычислению сопротивления цепочки резисторов R_x – **3 балл**.
2. Получено квадратное уравнение относительно R_x – **3 балл**.
3. Найдено решение полученного квадратного уравнения и оставлен только положительный корень – **3 балл**.
4. Получена сила тока I как искомое показание амперметра – **1 балл**.

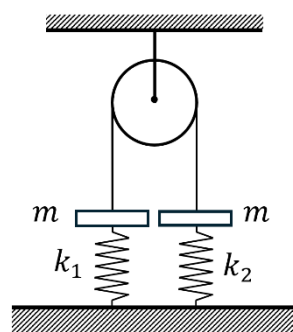
Примечание: окончательный ответ получен путем математических

преобразований
$$\frac{1}{R_x} = \frac{2}{R + \sqrt{R^2 + 4rR}} = \frac{2}{R \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4r}{R}} \right)} = \frac{2 \left(\sqrt{1 + \frac{4r}{R}} - 1 \right)}{R \left(1 + \frac{4r}{R} - 1 \right)} = \frac{1}{2r} \left(\sqrt{1 + \frac{4r}{R}} - 1 \right).$$

Балл за окончательный ответ может быть поставлен, если ответ представлен в

виде:
$$I = \frac{2\varepsilon}{R + \sqrt{R^2 + 4rR}}.$$

Задача 3. «Друзья в лаборатории» (10 баллов). Теоретик Бак в обеденный перерыв решил навестить своего коллегу экспериментатора Глюка в его лаборатории. В это время Глюк только что закончил собирать установку, представляющую собой систему грузов, изображенную на рис. Пружины одним концом прикреплены к неподвижной опоре, а другим – к грузам массы m . Пружины изначально не деформированы. Как истинный экспериментатор Глюк стал тестировать свою установку, опустив левый груз на расстоянии x и затем без толчка отпустил его. Бак, наблюдавший за Глюком, как истинный теоретик, взялся за расчёты. Следуя за Баком и считая блок и нить невесомыми, найдите ускорения грузов, сразу после того, как Глюк отпустил левый груз. Жёсткости пружин равны k_1 и k_2 , причём $k_1 > k_2$.



Решение

Расставим силы, действующие на грузы, и запишем уравнения второго закона Ньютона для обоих грузов в проекциях на ось X , направленной вертикально вниз:

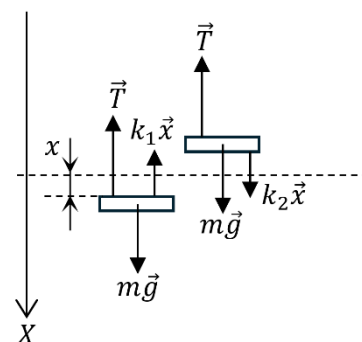
$$-T - k_1 x + mg = ma, \quad -T + k_2 x + mg = -ma;$$

где $a_1 = -a_2 = a$.

Отсюда находим силу натяжения нити: $T = mg - \frac{k_1 - k_2}{2} x$.

Сила натяжения нити может принимать только неотрицательные значения ($T \geq 0$), поэтому возможны два случая:

1) Нить натянута после отпускания левого груза, а ускорения грузов одинаковые по модулю: $T > 0 \rightarrow x < \frac{2mg}{k_1 - k_2}$, тогда $|a| = \frac{k_1 + k_2}{2m} x$.



2) Нить в течение некоторого времени провисает: $T = 0 \rightarrow x > \frac{2mg}{k_1 - k_2}$, а левый и правые грузы будут двигаться независимо друг от друга с ускорением a_1 и a_2 соответственно: $a_1 = g - \frac{k_1 x}{m} < 0$, $a_2 = g + \frac{k_2 x}{m} > 0$.

Критерии оценивания (10 баллов)

1. Записаны уравнения второй закон Ньютона для обоих грузов в проекции на вертикальное направление:

- а. Записано уравнение для левого груза – **1 балл**;
- б. Записано уравнение для правого груза – **1 балл**;
- с. Учтено соотношение между ускорениями грузов – **1 балл**.

2. Определена сила натяжения нити T – **2 балл**.

3. Учтено, что сила натяжения нити принимает только неотрицательные значения – **2 балл**; на основании чего получены возможные ускорения грузов:

а. Нить натянута после отпускания левого груза, а ускорения грузов одинаковые по модулю $|a|$ – **1 балл**;

б. Нить в течение некоторого времени провисает, а левый и правые грузы будут двигаться независимо друг от друга с ускорением a_1 – **1 балл** и a_2 – **1 балл**.

Задача 4. «Футбольная тренировка» (10 баллов). Миша, находясь на футбольной тренировке, ударил по неподвижному мячу так, что тот приземлился на расстоянии $l_1 = 10$ м от него через время $t = 1$ с. Во сколько раз нужно изменить значение импульса силы, действующей на мяч, чтобы он приземлился на расстоянии $l_2 = 20$ м за то же время? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение

Запишем импульс силы, действующей на мяч, в проекциях на горизонтальную ось OX и вертикальную ось OY . Согласно второму закону Ньютона:

$$F_x \Delta t = mv_x, F_y \Delta t = mv_y.$$

Модуль вектора $\vec{F}$ силы:

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 \rightarrow F \Delta t = m \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Запишем конечные значения компонент вектора скорости $\vec{v}$ тела, движущегося под углом к горизонту:

$$v_x = \frac{l}{t}, v_y = \frac{gt}{2}.$$

Тогда отношения импульсов силы примет вид (учитывая $t = 1$ с):

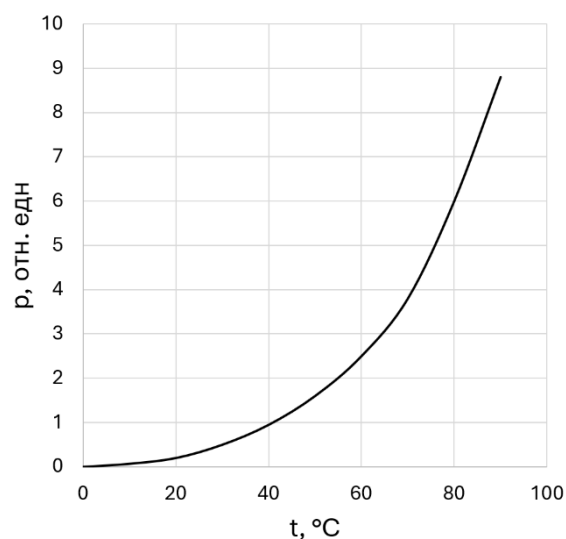
$$\frac{F_2 \Delta t}{F_1 \Delta t} = \frac{\sqrt{l_2^2 + \left(\frac{g^2}{4}\right)}}{\sqrt{l_1^2 + \left(\frac{g^2}{4}\right)}} \approx 1.8.$$

Критерии оценивания (10 баллов)

1. Записан импульс силы, действующей на мяч, в проекциях на горизонтальную ось OX – **1 балла** и вертикальную ось OY – **1 балла**.
2. Записан модуль вектора силы – **2 балла**.
3. Записаны конечные значения компонент вектора скорости $\vec{v}$ тела, движущегося под углом к горизонту – **2 балла**.
4. Получено отношения импульсов силы – **3 балла**.
5. Получен числовой ответ – **1 балла**.

Задача 5 (псевдоэксперимент). «Научный проект» (10 баллов).

Одноклассницы Маша и Катя готовились к выступлению на научном региональном форуме школьников, экспериментируя со следующей установкой. В герметично закрытом сосуде находится влажный воздух, температура которого равна $t_1 = 75^\circ\text{C}$, а относительная влажность $\varphi_1 = 25\%$. Воздух в сосуде одноклассницы стали охлаждать. При какой температуре t_2 внутренние стенки сосуда запотели? График зависимости давления насыщенного водяного пара в относительных единицах от температуры, полученный одноклассницами, представлен на рис.



Решение

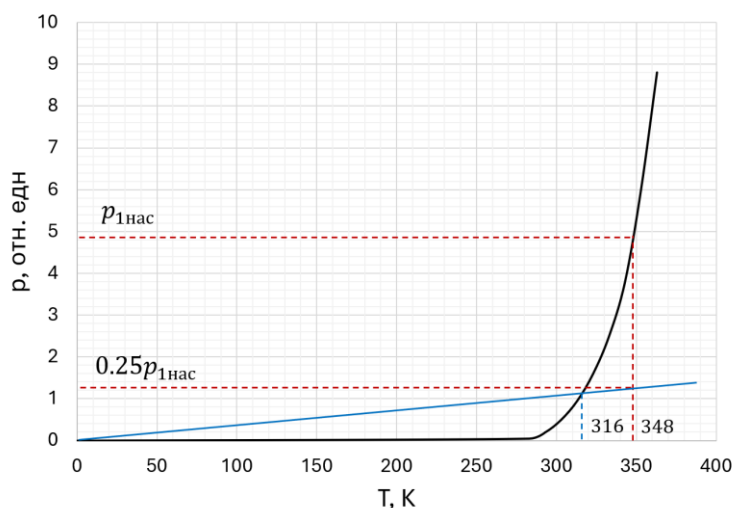
Объем водяного пара в сосуде не изменяется, но начальное давление p_1 и текущее давление p вплоть до начала конденсации связаны с соответствующими им термодинамическими температурами T_1 и T соотношением:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p}{T} \rightarrow p = p_1 \cdot \frac{T}{T_1}.$$

Здесь $p_1 = \varphi_1 p_{1\text{нас}}$, $p_{1\text{нас}}$ — давление насыщенного пара при температуре T_1 (определяется из графика). Таким образом:

$$p = \varphi_1 p_{1\text{нас}} \cdot \frac{T}{T_1}.$$

Полученная зависимость $p(T)$ является линейной. Точка



пересечения зависимость $p(T)$ (рис., синяя линия) с перестроенным графиком зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры в К (рис., черная линия) соответствует искомому значению температуры: $T_2 = 316 \text{ K}$ или $t_2 = 43 \text{ }^\circ\text{C}$.

Критерии оценивания (10 баллов)

1. Учтено, что начальное давление p_1 и текущее давление p вплоть до начала конденсации связаны с соответствующими им термодинамическими температурами T_1 и T – **2 балла**.
2. Указана связь между давлением p и давлением насыщенного пара $p_{\text{нас}}$ – **2 балла**.
3. Получена зависимость $p(T)$ – **2 балла**; отмечен ее линейный характер – **1 балл**.
4. Искомое значение температуры определено графически по точке пересечения зависимость $p(T)$ с графиком зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры – **3 балла**.