

Задача 1. Катящаяся тележка.

Человек, стоящий на тележке, бросает горизонтально камень массой 1 кг совершая при этом работу 100 Дж. Какое расстояние пройдет после этого тележка до полной остановки, если коэффициент трения между тележкой и поверхностью равен 0,012, а общая масса тележки и человека 79 кг.

Решение. Закон сохранения импульса для момента броска:

$$mv - Mu = 0.$$

Работа при бросании расходуется на сообщение кинетической энергии камню и тележке с человеком: $A = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}$.

Выражая из закона сохранения импульса скорость камня v и подставляя его в выражение для работы получим: $A = \frac{Mu^2}{2} \left(\frac{M}{m} + 1 \right)$.

Закон сохранения энергии тележки для моментов времени после броска и остановки: $E_K = A_{TP}$, используя проекцию сил на вертикальную ось $N - mg = 0$, определение работы и формулу для силы трения $F_{TP} = \mu N = \mu Mg$ получим:

$$\frac{Mu^2}{2} = \mu MgS.$$

$$A = \mu MgS \left(\frac{M}{m} + 1 \right), S = \frac{A}{\mu Mg \left(\frac{M}{m} + 1 \right)} = 0,13 \text{ м.}$$

Ответ: 0,13 м.

Критерии оценивания

| | |
|---|-----|
| 1. Записан закон сохранения импульса для момента броска | 1 |
| 2. Утверждение, что работа при бросании расходуется на сообщение кинетической энергии камню и тележке с человеком | 1 |
| Правильно записаны формулы: | |
| 3. - кинетическая энергия | 0,5 |
| 4. - сила трения | 0,5 |
| 5. - работа | 0,5 |

| | |
|---|-----|
| 6. Получено выражение для силы трения с использованием проекции сил на вертикальную ось | 1 |
| 7. Записан закон сохранения энергии тележки для моментов времени после броска и остановки | 1,5 |
| 8. Найдено расстояние | 2 |
| 9. Ошибки | 2 |

Задача 2. Цикл.

Идеальный газ совершает замкнутый цикл, состоящий из двух адиабат и двух изобар. Точки 1 и 3 находятся на одной изотерме. Найти температуру T_3 , если температуры точек 2 и 4 соответственно равны $T_2 = 400$ и $T_4 = 280$ градусов, а КПД цикла равен $\eta = 20\%$. Нарисовать график такого цикла.

Решение. По первому началу термодинамики при изобарном расширении:

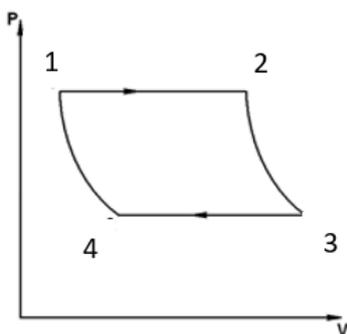
$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + p(V_2 - V_1), \quad \text{используя уравнение Менделеева-Клайперона: } Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1).$$

$$\text{Аналогично при процессе изобарного сжатия: } Q_{34} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_4).$$

$$\text{Коэффициент полезного действия цикла: } \eta = \frac{A}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}}.$$

Подставляя в КПД выражения для Q_{34} и Q_{12} и учитывая, что при изотермическом процессе $T_1 = T_3$:

$$\eta = 1 - \frac{T_3 - T_4}{T_2 - T_3}, \quad T_3 = \frac{T_2(1-\eta) + T_4}{2+\eta} = 333 \text{ К.}$$



При рисовании графика важно правильное указание процессов, если адиабатные процессы слишком «пологие» не наказываем, отсутствие масштаба ошибкой не является.

Ответ: 333 К.

Критерии оценивания

1. Записано первое начало термодинамики для 1 изобарного расширения

| | |
|---|-----|
| 2. Записано первое начало термодинамики для изобарного сжатия | 1 |
| 3. Утверждение, что при изотермическом процессе $T_1 = T_3$ | 1 |
| Правильно записаны формулы: | |
| 4. - уравнение Менделеева-Клапейрона | 0,5 |
| 5. - КПД цикла | 0,5 |
| 6. Найдена температура | 2 |
| 7. Построен график | 2 |
| 8. Ошибки | 2 |

Задача 3. Испарение воды.

Домашний аквариум в виде полусферы диаметром 30 см был налит водой до краев и поставлен в комнате. Через двое суток уровень воды в нем понизился на 1 см. Считая, что температура воды, воздуха и влажность воздуха в комнате постоянны, найдите через сколько дней вода из аквариума полностью испарится.

Решение. Процесс происходит равномерно, температура воды со временем не меняется. Тогда масса воды Δm , испарившаяся за очень малый промежуток времени Δt , при постоянных температуре и влажности воздуха зависит только от площади поверхности воды: $\Delta m = \alpha S \Delta t$, где α – некоторый коэффициент. Изменение уровня воды Δh связано с Δm соотношением $\Delta m = \rho \Delta V = \rho S \Delta h$.

$$\alpha S \Delta t = \rho S \Delta h, \alpha \Delta t = \rho \Delta h \text{ или } \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{\alpha}{\rho}.$$

Поскольку условия испарения постоянны, то изменение уровня воды линейно зависит от времени и не зависит от других параметров, в частности, от формы сосуда. Тогда $\frac{\Delta h_1}{\Delta t_1} = \frac{\alpha}{\rho} = \frac{\Delta h_2}{\Delta t_2}$, $\Delta t_2 = \frac{\Delta t_1 \Delta h_2}{\Delta h_1} = 30$ сут.

Ответ: 30 суток.

Критерии оценивания

| | |
|--|---|
| 1. Утверждение, что процесс происходит равномерно, масса испарившейся воды зависит только от площади поверхности воды: | 2 |
| 2. Введение коэффициента | 1 |

| | |
|--|---|
| 3. Утверждение, что изменение уровня воды линейно зависит от времени и не зависит от других параметров | 2 |
| 4. Правильно записана формула плотности | 1 |
| 5. Найдено время | 2 |
| 6. Ошибки | 2 |

Задача 4. Переохлажденный галлий.

В калориметре находится 100 г расплавленного металла галлия при температуре 29,8 °С. Его начали медленно охлаждать, оберегая от внешних воздействий и, в результате, температура понизилась до 19,8 °С (состояние переохлаждения, когда вещество находится в жидком состоянии ниже температуры кристаллизации). Когда переохлажденный галлий начали помешивать палочкой, он частично перешел в твердое состояние. Определите массу кристаллизовавшегося галлия и температуру, установившуюся в калориметре. Теплоемкостью калориметра и палочки пренебречь. Температура плавления галлия равна 29,8 °С, удельная теплота плавления 80 кДж/кг, удельная теплоемкость 410 Дж/(кг·°С).

Решение. Во время кристаллизации выделяющаяся теплота будет нагревать галлий, и температура поднимется до 29,8 °С. Т.к. по условию, он частично перешел в твердое состояние, то 29,8 °С – установившаяся температура.

Количество теплоты, выделившееся при кристаллизации равно количеству теплоты, затраченному на нагревание: $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$

$$\lambda m_1 = cm(t_{\text{пл}} - t), m_1 = \frac{cm(t_{\text{пл}} - t)}{\lambda} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Ответ: $5,1 \cdot 10^{-3}$ кг, 29,8 °С.

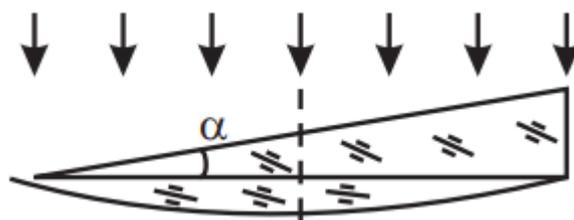
Критерии оценивания

| | |
|---|---|
| 1. Утверждение, что о время кристаллизации выделяющаяся теплота будет нагревать галлий | 1 |
| 2. Утверждение, что т.к. он частично перешел в твердое состояние, то 29,8 °С – установившаяся температура | 2 |
| Правильно записаны формулы: | |
| 3. - уравнение теплового баланса | 1 |

| | |
|--|---|
| 4. - количество теплоты при нагревании | 1 |
| 5. - количество теплоты при плавлении | 1 |
| 6. Найдена масса | 2 |
| 7. Ошибки | 2 |

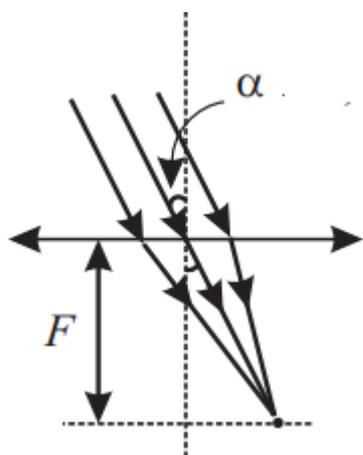
Задача 5. Странная линза.

Решив поэкспериментировать, механик оптического завода изготовил странную



плосковыпуклую линзу, как показано на рисунке. Постройте ход параллельного пучка света, падающего на неё, как показано на рисунке.

Решение. Рассмотрим отдельно ход лучей через треугольную призму и линзу. Согласно закону преломления, лучи после прохождения треугольной пластины отклонятся и попадут на линзу под углом. После преломления в



линзе лучи соберутся в одной точке в фокальной плоскости. Для простоты можно представить, что один из лучей проходит через оптический центр линзы, тогда остальные лучи попадут в ту же точку на фокальной плоскости.

Критерии оценивания

| | |
|--|---|
| 1. Построен ход лучей через наклонную поверхность треугольной призмы | 4 |
| 2. Построен ход лучей через собирающую линзу | 4 |
| 3. Есть указание, что лучи после линзы сходятся в одну точку | 2 |