

Билет 1.

Распределение Максвелла. Экспериментальная проверка закона распределения Максвелла

Определение волнового числа и волнового вектора

Тепловая машина за один цикл совершает работу 3 кДж и отдает холодильнику количество теплоты равное 12 кДж. Определить КПД тепловой машины

Распределение Максвелла

Распределение по скоростям (или импульсам) молекул системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия.

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} * e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

Экспериментальная проверка закона распределения Максвелла

Опыт Эстермана. Пучок атомов цезия вылетал из печи через отверстие 1, под действием силы тяжести двигался по параболе. Некоторые траектории движения проходили через щель 2, после улавливались детектором 3, с меняющейся высотой h , где h зависела от скорости атомов. Те детектор считал сколько атомов пролетало в щель (а пролетали только те, что имели определённую скорость). Так было получено распределение скоростей атомов Цезия. Они подтвердили формулу Максвелла.

Определение волнового числа

Количество волн в одном сантиметре численно равно числу периодов волны, укладывающихся в отрезок 2π метров. Это пространственный аналог круговой частоты определяет пространственный период и направление распространения волны. $k = 2\pi/\lambda = \omega/v_{\text{фаз}}$

Определение волнового вектора

$k = kn$, где n – единичный вектор, направленный перпендикулярно волновой поверхности, в сторону распространения волны.

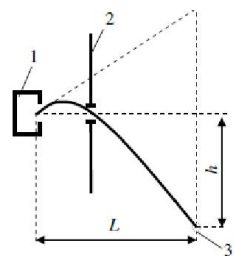


Схема опыта Эстермана.
1 – печь; 2 – диафрагма с узкой щелью; 3 – детектор.

$$\oint A = Q_1 - Q_2$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1} \Rightarrow Q_1 = A + Q_2 = \dots$$

$$\eta = \frac{A}{A + Q_2} = \dots$$

Статистическое обоснование второго начала термодинамики. Формула Больцмана для статистической энтропии.

Определение уравнения состояния вещества.

Определить отношение средних квадратичных скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах. Относительная атомная масса гелия равна 4, а азота 14.

Статистическое обоснование второго начала термодинамики.

Пусть в сосуде находятся шесть молекул газа. Мысленно разделим сосуд на три равные части.

Хаотически перемещаясь, молекулы создают определенные макрораспределения. В теоретической физике доказывается, что термодинамическая вероятность, т. е. число N частиц по n состояниям (шесть частиц в трех частях сосуда), определяется формулой

$$W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_n!}$$

Наибольшая термодинамическая вероятность у равномерного распределения, оно может осуществляться наибольшим числом способов. Все процессы в природе протекают в направлении, приводящем к увеличению вероятности состояния

Формула Больцмана для статистической энтропии.

Связь энтропии с термодинамической вероятностью установил Больцман — энтропия пропорциональна логарифму термодинамической вероятности: $S = k \ln W$. Статистический смысл понятия энтропии состоит в том, что увеличение энтропии изолированной системы связано с переходом этой системы из менее вероятного состояния в более вероятное.

Определение уравнения состояния вещества.

Описывает зависимость между термодинамическими (макроскопическими) параметрами системы (давление, объём, температура).

$$pV = \nu RT, \text{ где } \nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}$$

16 Найти отношение средних квадратичных скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах.

Решение

Воспользуемся формулой для определения средней квадратичной скорости

$$v_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

где μ - молярная масса газа. Тогда отношение средних квадратичных скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах будет равно

$$\frac{v_{\text{с.к. He}}}{v_{\text{с.к. N}}} = \sqrt{\frac{\mu_N}{\mu_{\text{He}}}}$$

где μ_N - молярная масса неона, μ_{He} - молярная масса гелия. Подставляя численные значения, получим

$$\frac{v_{\text{с.к. He}}}{v_{\text{с.к. N}}} \approx \dots$$

Молярная масса данного элемента, выраженная в граммах на моль, в точности совпадает с массой атома этого элемента, выраженной в а. е. м., откуда следует, что $\mu = \frac{\text{а. е. м.}}{1000}$ (кг/моль)

Закон возрастания энтропии. Третье начало термодинамики

Определение идеального газа.

Во сколько раз кинетическая энергия частицы меньше её энергии покоя, если частица движется со скоростью $0,8C$, где $C = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света

Закон возрастания энтропии.

«В изолированной системе энтропия не уменьшается». Если в некоторый момент времени замкнутая система находится в неравновесном макроскопическом состоянии, то в последующие моменты времени наиболее вероятным следствием будет монотонное возрастание ее энтропии. Если в некоторый момент времени энтропия замкнутой системы отлична от максимальной, то в последующие моменты энтропия не убывает — увеличивается или в предельном случае остается постоянной.

Рассмотрим теплообмен между двумя частями системы A_1 и A_2 , имеющими температуры T_1 и T_2 . Пусть $T_1 < T_2$. Теплота передается от горячего тела к холодному. Поэтому тело A_2 передаст телу A_1 некоторое количество теплоты Q , т.е. $\Delta Q_1 = Q$, $\Delta Q_2 = -Q$.

При этом энтропия тела A_1 изменится на величину $\Delta Q_1/T_1$, а энтропия тела A_2 – на величину

$$\Delta Q_2/T_2. \text{ Общее изменение энтропии системы: } \Delta S = \frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} = Q \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Поскольку $T_1 < T_2$, то $\Delta S > 0$.

Третье начало термодинамики

Справедлива только для равновесных систем. При стремлении системы к абсолютному нулю, её энтропия стремится к константе, принимаемой за ноль. Теплоёмкость тоже стремится к нулю.

Следствия: невозможно достичь состояния с абсолютным нулём; ур. Менд-Клап. неприменимо для описания идеального газа при $T \rightarrow 0$

Определение идеального газа.

Математическая модель газа, в которой предполагается, что: 1) потенциальной энергией взаимодействия молекул можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией; 2) суммарный объем молекул газа пренебрежимо мал. Между молекулами не действуют силы притяжения или отталкивания, соударения частиц между собой и со стенками сосуда абсолютно упруги, а время взаимодействия между молекулами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями.

7) Во ск. рз $E_{кин}$ меньше её энергии покоя E_0 , если частица движется со скоростью $0,8C$, где $C = 3 \cdot 10^8$ м/с.

$$\bullet E_0 = mc^2, E_{кин} = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow \frac{E_0}{E_{кин}} = \frac{2mc^2}{mv^2 \cdot 0,64} = \frac{2}{0,64} = \underline{3,125}$$

Цикл Карно. Теорема Карно. КПД идеальной тепловой машины.

Определение средней кинетической энергии атома.

Определить длину волны, образовавшей стоячую волну, если расстояние между первым углом и четвертым углом стоячей волны равно 18 см

Цикл Карно.

Замкнутый цикл. Для возникновения теплопередачи необходима разность температур. 1-2-изотермический проц.: газ получает тепло (Q_1) от нагревателя, расширяясь при постоянной температуре T_1 .

2-3-адиабатический: газ расширяется без теплообмена

3-4-изотермический: газ отдаёт тепло холодильнику (холодильник забирает $Q'_2 = Q_1$), сжимается при постоянной температуре T_2

4-1-адиабатический: газ сжимается без теплообмена.

КПД идеальной тепловой машины.

Используя уравнение адиабаты, распишем процессы 2-3 4-1:

$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$, поделим первое на второе:

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$. Поскольку процессы 1-2 и 3-4 – изотермические, то изменение внутренней энергии = 0, тогда согласно первому началу термодинамики и работе изотермического процесса ($A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \ln(\frac{V_2}{V_1})$), получим: $Q_1 = A_{12} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln(\frac{V_2}{V_1})$, $Q'_2 = A'_{34} = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln(\frac{V_3}{V_4})$. Используем

формулу кпд: $\eta = \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Теорема Карно.

Коэффициент полезного действия любой обратимой тепловой машины, работающей по циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела и устройства машины, а является функцией только температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 :

$$\eta_{\text{обр}} = 1 - \Phi(T_1, T_2)$$

Коэффициент полезного действия любой тепловой машины, работающей по необратимому циклу, меньше коэффициента полезного действия машины с обратимым циклом Карно, при условии равенства температур их нагревателей и холодильников:

$$\eta_{\text{необр}} < \eta_{\text{обр}}$$

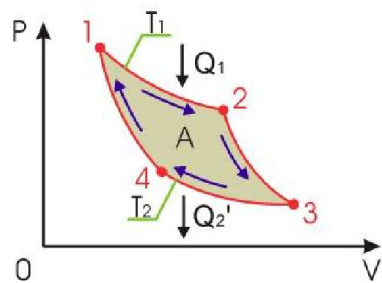
Определение средней кинетической энергии атома.

$$T = \frac{m_0 < v^2 >}{3k}$$

Кинетическая энергия поступательного движения атомов и молекул, усредненная по огромному числу беспорядочно движущихся частиц, является мерилем того, что называется температурой. Если температура T измеряется в градусах Кельвина (К), то связь ее с E_k дается соотношением:

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

8 Расстояние между двумя соседними узлами стоячей волны - это пол длины волны $\lambda/2$. Тогда расстояние между 1 и 4 узлом - это $3 \cdot \lambda/2$. Отсюда находим λ



Барометрическая формула. Распределение Больцмана.

Определение атомной единицы массы.

Определить показатель адиабаты двухатомного газа. Используя известное уравнение Пуассона записать уравнение адиабаты этого газа в Р-Т переменных.

Барометрическая формула.

Позволяет вычислить атмосферное давление в зависимости от высоты или, измеряя давление, найти высоту. Пусть идеальный газ находится во внешнем поле силы тяжести. Рассмотрим равновесие малого объёма газа: $pS - dm g - (p + dp)S = 0 \Rightarrow -dpS = \rho S dz g$; где $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT} \Rightarrow -dp = \frac{p\mu}{RT} dz g \Rightarrow \frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT} dz$, где $p = C e^{\frac{\mu g z}{RT}}$.

Задавая давление при $z = 0$, $p = p_0 \Rightarrow p = p_0 e^{\frac{\mu g z}{RT}}$.

Поделим на число Авогадро: $p = p_0 e^{\frac{m_0 g z}{kT}}$, где $k = \frac{R}{N_a}$ -

постоянная Больцмана.

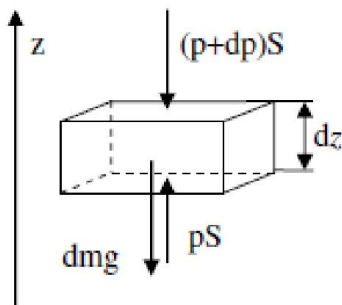
Распределение Больцмана.

$p = p_0 e^{\frac{m_0 g z}{kT}}$ но, $p = nkT \Rightarrow n = n_0 e^{\frac{m_0 g z}{kT}}$, но $m_0 g z = W_p$, тогда: $n = n_0 e^{\frac{W_p}{kT}}$ - распр. Больцмана.

Определение а.е.м.

Углеродная единица — внесистемная единица массы, применяемая для масс молекул, атомов, атомных ядер и элементарных частиц. Атомная единица массы выражается через массу нуклида углерода ^{12}C и равна $1/12$ массы этого нуклида.

Для идеального газа $\gamma = \frac{i+2}{i}$, где γ - показатель адиабаты
 Для двухатомного газ $i = 5$
 $\Rightarrow \gamma = \frac{7}{5}$
 i - число степеней свободы



Уравнение для адиабатического процесса $pV^\gamma = \text{const}$ (Уравнение Пуассона).

Коэффициент $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ называется показателем адиабаты (или коэффициентом Пуассона).

С учетом $V = \frac{\nu RT}{p}$ получаем уравнение $\frac{T^\gamma}{p^{\gamma-1}} = \text{const}$.

Неравенство Клаузиуса. Термодинамическая энтропия. Второе начало термодинамики.

Определение относительной атомной массы атома.

Определить число молекул водорода в единице объема сосуда, давление в котором равно 270 Па, если средняя квадратичная скорость его молекул равна 2,4 км/с

Неравенство Клаузиуса.

Суммарное количество приведённой теплоты в любом замкн. цикле для любой ТермСист не может быть больше нуля: $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$, где δQ - кол-во теплоты, сообщаемое системе (или отводимое от неё: $-\delta Q$) на бесконечно малом участке цикла; T - абс. темп-ра соответств. элемента среды; $\frac{\delta Q}{T}$ - элементарная приведённая теплота. Необратимому (хотя бы на одном участке) циклу соответствует неравенство, циклу, состоящему только из обратимых процессов, - знак равенства (равенство Клаузиуса). Зависит только от начального и конечного состояний.

Термодинамическая энтропия.

Мера необратимого рассеяния энергии. $dS = \frac{\delta Q}{T}$ (диф форма), $S_B - S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$ (интегр форма), где S_B, S_A - энтропия конечного и начального состояния.

Второе начало термодинамики.

По Клаузиусу: - теплота сама по себе, без изменения в окружающих телах не может перейти от менее нагретого тела к более нагретому. По Томсону: в природе невозможен круговой процесс, единственным результатом которого была бы механическая работа, совершаемая за счёт отвода теплоты от теплового резервуара. Теплота не может перейти от холодного тела к горячему без каких-либо других изменений в системе (рассеиванием энергии).

Относительная атомная масса.

Атомная масса, *относительная атомная масса* (устаревшее название — *атомный вес*) — значение массы атома, выраженное в атомных единицах массы. В настоящее время атомная единица массы принята равной 1/12 массы нейтрального атома наиболее распространённого изотопа углерода ^{12}C , поэтому атомная масса этого изотопа по определению равна точно 12.

Число молекул N , содержащееся во всем сосуде, можно

найти из соотношения: $N = \frac{m}{\mu} N_A$. Тогда число молекул в

единице объема $n = \frac{N}{V}$ или $n = \frac{m N_A}{\mu V}$. Согласно урав-

нению Менделеева — Клапейрона, $pV = \frac{m}{\mu} RT$, откуда

$$\frac{m}{\mu} = \frac{pV}{RT}. \text{ Тогда } n = \frac{p N_A}{RT}.$$

2

Средняя

квадратичная скорость молекул водорода $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$,

отсюда $RT = \left(\sqrt{v^2}\right)^2 \cdot \mu / 3$. Тогда $n = \frac{3 p N_A}{\mu \left(\sqrt{v^2}\right)^2}$.

1. Первое начало термодинамики в интегральной и дифференциальной формах записи.
2. Определение интервала событий в специальной теории относительности.
3. Какое число атомов газа содержит единица объема сосуда при температуре 20 градусов по цельсию и давлении 0,5 атм. Определить среднюю квадратичную скорость атомов этого газа. Относительная ам атома этого газа 4.

Первое начало термодинамики.

Изменение внутренней энергии термодинамической системы (тела) может быть осуществлено 'двумя путями: путём совершения механической работы и путём теплопередачи. $Q = \Delta U - A'$, где Q – количество теплоты переданное системе, ΔU – изменение внутренней энергии системы, A' – работа совершённая над системой. $\delta Q = dU - \delta A$. Первое начало запрещает существование вечного двигателя без подвода внешней энергии.

Определение интервала событий в СТО.

Это есть: $\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2$, где: $\Delta t = t_2 - t_1$, $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$, $\Delta z = z_2 - z_1$ – разности времён и координат двух событий. Т.е это расстояние между двумя событиями в пространстве времени, являющиеся обобщением евклидова пространства между двумя точками.

3 Число молекул N , содержащееся во всем сосуде, можно найти из соотношения: $N = \frac{m}{\mu} N_A$. Тогда число молекул в единице объема $n = \frac{N}{V}$ или $n = \frac{m N_A}{\mu V}$. Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона, $pV = \frac{m}{\mu} RT$, откуда

$$\frac{m}{\mu} = \frac{pV}{RT}. \text{ Тогда } n = \frac{p N_A}{RT}$$

$$v_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Молярная масса данного элемента, выраженная в граммах на моль, в точности совпадает с массой атома этого элемента, выраженной в а. е. м., отсюда следует, что $\mu = \frac{\text{а. е. м.}}{1000}$ (кг/моль)

1. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Уравнение адиабаты в Р-Т координатах
2. Определение относительной молекулярной массы молекулы.
3. При какой скорости масса движущегося электрона в 2 раза больше его массы покоя?

Адиабатический процесс.

Процесс, при котором отсутствует теплообмен ($Q = 0$) между системой и окружающей средой. Адиабатическими процессами можно считать все быстропротекающие процессы.

Из первого начала термодинамики: $-dU = \delta A$, т. е. внешняя работа совершается за счет изменения внутренней энергии системы. $C_{ад} = 0$.

Уравнение Пуассона.

Запишем:

$$CdT = C_v dT + PdV - \text{первое начало термодин.}$$

$$PdV + VdP + RdT - \text{ур. Менделеева-Клапейрона.}$$

$$C_p = C_v + R - \text{ур. Майера}$$

Проведя преобразования (выразим dT из 2го, подставим в первое, так же из третьего R во первое), получим: $\frac{C_{проц} - C_p}{C_{проц} - C_v} PdV + VdP = 0$ - уравнение некоторого политропического

процесса. Для адиабаты ($C_{проц} = C_{ад} = 0$), получим: $\frac{C_p}{C_v} PdV + VdP = 0$, где $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$ - показатель адиабаты, тогда проинтегрируем $\gamma PdV + VdP = 0$: $\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0 \Rightarrow \gamma \ln V + \ln P = \ln(const) \Rightarrow \ln(V^\gamma P) = \ln(const) \Rightarrow PV^\gamma = const$ - уравнение Пуассона.

Уравнение адиабаты в Р-Т координатах.

При помощи ур. Менд-Клап исключим из $PV^\gamma = const$ V : $PT^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = const$

Определение относительной молекулярной массы молекулы.

Это есть отношение массы молекулы вещества к 1/12 части массы атома ^{12}C (углерод).

Если m_0 масса покоя электрона, а m - его же полная масса, то по известной формуле теории относительности имеем

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

v - скорость, с которой движется электрон
 c - скорость света

в нашем случае $m = 2m_0$

потому получаем уравнение

$$2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

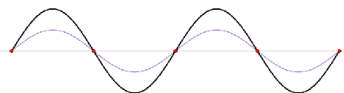
из этого уравнения находим v

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2} c$$

1. Уравнение стоячей волны. Узлы и пучности стоячей волны.
2. Определение термодинамической системы (ТДС). Определение изолированной ТДС.
3. Углекислый газ CO_2 массой 8г был нагрет на $t = 20^\circ\text{C}$ в условиях свободного расширения. Найти работу расширения газа и изменение его внутренней энергии. (Относительная масса углерода равна 12, кислорода равна 16).

Уравнение стоячей волны $u(t) = u_0 \cdot \cos(\omega t - \varphi)$

$u(t)$ – возмущения в точке x в момент времени t , u_0 – амплитуда стоячей волны, ω – частота, k – волновой вектор, φ – фаза



Стоячая волна — колебательный процесс в распределённых колебательных системах с характерным расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды.

Термодинамическая система (ТДС) — мысленно выделяемая макроскопическая физическая система, исследуемая методами термодинамики (внутреннее строение и характеристики отдельных частиц не рассматриваются). **Изолированная ТДС** — такая ТДС, которая не обменивается с внешней средой ни энергией, ни веществом.

Дано:

$$m(\text{CO}_2) = 8 \text{ г}$$

нагрев

$$\Delta t = 20^\circ\text{C}$$

свободное расшире-

Найти $A, \Delta U$

$$p \Delta V = \nu R \Delta T = \frac{m}{M} R T = A$$

$$A = \frac{8}{12 + 16 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 20 = 3022 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = \frac{6}{2} \nu R T = \frac{6}{2} \cdot \frac{8}{44 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 20 = 9065 \text{ Дж}$$

1. Поток энергии упругой волны. Вычисление потока энергии с помощью вектора Умова.
2. Определение абсолютной шкалы температур и ее связь с температурной шкалой Цельсия.
3. Определить показатель адиабаты для одноатомного газа. Используя известное уравнение Пуассона, записать уравнение адиабаты в $V - T$ переменных.

Поток энергии упругой волны.

Поток энергии упругой волны – количество энергии, переносимое волной через некоторую поверхность в единицу времени. $\Phi = \frac{dW}{dt}$ Измеряется в ваттах.

Вычисление потока энергии с помощью вектора Умова.

Вектор Умова – вектор плотности потока. Среднее значение: $\langle \mathbf{j} \rangle = \langle \mathbf{w} \rangle \mathbf{v} = \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 \mathbf{v}$.

Различен в различных точках пространства, изменяется во времени по закону квадрата синуса.

Определение абсолютной шкалы температур и ее связь с температурной шкалой Цельсия.

Абсолютная шкала температур – мера основания нижнего предела такой шкалы составляет абсолютный 0, ниже которого температура опускаться не может. 0K соответствует -273°C . Соответственно, температура замерзания воды в Кельвинах составляет 273 градуса, а кипения – 373K. $1^\circ\text{C} = 1\text{K}$

Для идеального газа $\gamma = \frac{i+2}{i}$, где γ – показатель адиабаты

Для одноатомного газа $i = 3$ i – число степеней свободы

$$\Rightarrow \gamma = \frac{5}{3}$$

14

Уравнение для адиабатического процесса $pV^\gamma = \text{const}$ (Уравнение Пуассона).

Коэффициент $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ называется показателем адиабаты (или коэффициентом Пуассона).

С учетом $p = \frac{\nu RT}{V}$ получаем уравнение $TV^{\gamma-1} = \text{const}$.

1. Статистическое описание равновесных состояний. Распределение Больцмана.
2. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея.
3. Найти среднюю арифметическую, среднюю квадратичную и наиболее вероятную скорости молекул газа, который при давлении 40 кПа имеет плотность кг/м³

Статистическое описание равновесных состояний.

Статистический метод описания состояний макроскопических тел (термодинамических систем) основывается на определении статистических закономерностей случайного (теплого) движения отдельных микрочастиц тела. Изменение их средних значений происходит закономерно. Наблюдаемые параметры термодинамической системы (температура, давление и т.д.) определяются как средние значения соответствующих функций от переменных, описывающих движение микрочастиц. Разработкой методов определения свойств макроскопических тел через параметры, описывающие движение и взаимодействие микрочастиц, из которых эти тела состоят, занимается статистическая физика.

Распределение Больцмана.

Распределение Больцмана - распределение по энергиям частиц (атомов, молекул)

идеального газа в условиях термодинамического равновесия, $n = n_0 \exp \frac{mgh}{kT}$.

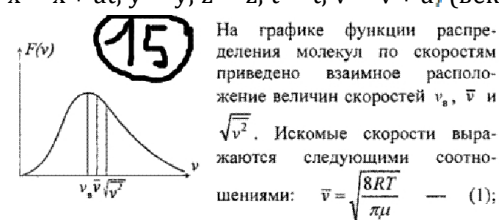
Принцип относительности Галилея.

Принцип физического равноправия инерциальных систем отсчёта в классической механике, проявляющегося в том, что законы механики во всех таких системах одинаковы. Отсюда следует, что никакими механическими опытами, проводящимися в какой-либо инерциальной системе, нельзя определить, покоится ли данная система или движется равномерно и прямолинейно.

Преобразования Галилея.

Преобразование при коллинеарных осях:

$x' = x + ut$; $y' = y$; $z' = z$; $t' = t$; $v' = v + u$; $a' = a$; (вектора)



$$v_a = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad (2); \quad \sqrt{v^2} = \sqrt{3RT/\mu} \quad (3).$$

Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона $pV = \frac{n}{\mu} RT$ или

$$p\mu = \rho RT, \text{ откуда } \frac{RT}{\mu} = \frac{p}{\rho} \quad (4).$$

Подставив (4) в (1) — (3), получим $\bar{v} = \sqrt{\frac{8p}{\pi\rho}}$; $\bar{v} = 579 \text{ м/с}$; $v_a = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$; $v_a = 513 \text{ м/с}$;

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}; \quad \sqrt{v^2} = 628 \text{ м/с}.$$

Полученные данные соответствуют графику.

1. Фазовое пространство. Распределение Максвелла-Больцмана.
2. Определение кинетической энергии частицы в СТО.
3. При изобарном расширении двухатомного газа была совершена работа равная 157 Дж. Какое количество теплоты было сообщено газу?

Фазовое пространство.

Фазовое пространство – пространство, на котором представлено множество всех состояний системы, так, что каждому возможному состоянию системы соответствует точка фазового пространства.

Распределение Максвелла-Больцмана.

Распределение Максвелла-Больцмана показывает зависимость концентрации молекул от их координат. $n_f(x, y, z, V_x, V_y, V_z) = n_0 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{E_n(x, y, z) + E_k(V_x, V_y, V_z)}{kT} \right)$

Кинетическая энергия частицы в СТО.

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - mc^2$$

При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа $A = 156,8$ Дж. Какое количество теплоты Q было сообщено газу?

Решение:

Количество теплоты, сообщенное газу, $dQ = C_p dT$, откуда

$$Q = C_p \int_{T_1}^{T_2} dT; Q = C_p (T_2 - T_1) \quad (1). \text{ Работа, совершаемая}$$

при расширении газа, $dA = p dV$; $A = p \int_{V_1}^{V_2} dV$; $A = p \times (V_2 - V_1)$. Из уравнения Менделеева — Клапейрона $p \Delta V = \nu R \Delta T$, тогда $A = \nu R (T_2 - T_1)$ — (2). Решая совместно

(1) и (2), получим $Q = C_p \frac{A}{\nu R}$, где $C_p = \nu \frac{7}{2} R$. Отсюда

$$Q = \frac{7}{2} A; Q = 550 \text{ Дж.}$$

15

1. Неравенство Клаузиуса. Термодинамическая энтропия. Второе начало термодинамики.
2. Определение интерференции упругих волн.
3. Определить работу при расширении трехатомного газа при постоянном давлении, если газу сообщено количество теплоты равное 2 кДж.

Неравенство Клаузиуса.

Суммарное количество приведённой теплоты в любом замкн. цикле для любой ТермСист не может быть больше нуля: $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$, где δQ - кол-во теплоты, сообщаемое системе (или отводимое от неё: $-\delta Q$) на бесконечно малом участке цикла; T - абс. темп-ра соответств. элемента среды; $\frac{\delta Q}{T}$ - элементарная приведённая теплота. Необратимому (хотя бы на одном участке) циклу соответствует неравенство, циклу, состоящему только из обратимых процессов, - знак равенства (равенство Клаузиуса). Зависит только от начального и конечного состояний.

Термодинамическая энтропия.

Мера необратимого рассеяния энергии. $dS = \frac{\delta Q}{T}$ (диф форма), $S_B - S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$ (интегр форма), где S_B, S_A - энтропия конечного и начального состояния.

Второе начало термодинамики.

По Клаузиусу: - теплота сама по себе, без изменения в окружающих телах не может перейти от менее нагретого тела к более нагретому. По Томсону: в природе невозможен круговой процесс, единственным результатом которого была бы механическая работа, совершаемая за счёт отвода теплоты от теплового резервуара. Теплота не может перейти от холодного тела к горячему без каких-либо других изменений в системе (рассеиванием энергии).

Определение интерференции упругих волн

При интерференции (интерференция - взаимное усиление/ослабление волн при наложении оных друг на друга, приводит к перераспределению колебаний) нескольких упругих волн их распространение можно изучать по отдельности для каждой волны, пренебрегая влиянием волн друг на друга. Упругая волна - волна распространяющаяся в жидких, твёрдых, газообразных средах за счёт действия упругих сил.

При изобарическом процессе количество полученного тепла равно:

$$Q = C_P T$$

$$C_P = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

Приращение внутренней энергии определяется теплоемкостью:

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$\frac{Q}{C_P} = \frac{\Delta U}{C_V} \Rightarrow \Delta U = \frac{Q C_V}{C_P} = \dots$$

$$A = Q - \Delta U = \dots$$

Для трехатомного газа $\gamma = \frac{4}{3}$

1. **Первое начало термодинамики в дифф и инт форме**
2. **Определения - Стоячая волна , Пучность, Узлы стоячей волны**
3. Идеальный газ при температуре 10 градусов по цельсию и давлении 2 атм. Имеет плотность $0,34 \cdot 10^{-3}$ г/см³. Найти относительную атомную массу атома газа

Первое начало термодинамики в дифф и инт форме

В дифференциальной форме: $\delta Q = dU - \delta A$. В интегральной форме: $Q = dU + A$

В общем случае, когда в результате подвода теплоты к телу температура тела повышается и вследствие увеличения объема тела производится внешняя работа подведенная к телу теплота расходуется на увеличение внутренней энергии тела U и на совершение работы L. Сказанное может быть выражено уравнением

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + L_{1-2}$$

где Q_{1-2} — теплота, сообщенная телу при нагревании от состояния 1 до состояния 2;

ΔU_{1-2} — изменение внутренней энергии тела в том же процессе, равное, как будет показано ниже, разности внутренних энергий системы в точках 2 и 1;

L_{1-2} — работа, совершаемая телом в процессе 1—2.

Это уравнение представляет собой выражение первого закона термодинамики, являющегося частным случаем более общего закона сохранения энергии.

Это же соотношение, записанное в дифференциальной форме, имеет вид

$$dQ = dU + dL$$

или

$$dQ - dL = dU.$$

Стоячая волна — колебания в распределённых колебательных системах с характерным расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды. Образуется при наложении двух волн с одинаковой амплитудой и частотой, когда волны движутся навстречу друг другу.

Пучность — участок стоячей волны, в котором колебания имеют наибольшую амплитуду. Противоположностью пучности является узел — участок волны, в котором амплитуда колебаний минимальна. $kx = \pm \pi n$. Координаты пучностей: $x_n = n \frac{\lambda}{2}$. Соседние пучности находятся на расстоянии $\frac{\lambda}{2} = \lambda_{\text{стоячей волны}}$

Узлы — точки где $A_0 = 0$; их можно найти из условия $|\cos(kx)| = 0 \Rightarrow kx = \frac{\pi}{2} \pm \pi n$

Координаты узлов: $x_n = (1 \pm n) \frac{\lambda}{2}$. Соседние узлы также находятся на расстоянии $\frac{\lambda}{2}$

3. Решение: воспользуемся ур-ем Менделеева-Клапейрона:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\text{Плотность: } \rho = \frac{m}{V}$$

Перенесём объём в ур-и М.-К. в правую часть:

$$p = \frac{m}{M \cdot V} \cdot R \cdot T = \frac{\rho}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \Rightarrow M = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{p}$$

1. Цикл Карно. Теорема Карно. КПД идеальной тепловой машины.
2. Длина волны. Период волны. Частота волны
3. В закрытом сосуде объемом 10 литров находится воздух при давлении 1 атм. Воздуху было сообщено количество теплоты равное 10^4 Дж. Во сколько раз повысилось при этом давление в сосуде?

Цикл Карно.

Замкнутый цикл. Для возникновения теплопередачи необходима разность температур. 1

2-изотермический проц.: газ получает тепло (Q_1) от нагревателя, расширяясь при постоянной температуре T_1 .

2-3-адиабатический: газ расширяется без теплообмена

3-4-изотермический: газ отдаёт тепло холодильнику (холодильник забирает $Q'_2 = Q_1$), сжимается при постоянной температуре T_2

4-1-адиабатический: газ сжимается без теплообмена.

КПД идеальной тепловой машины.

Используя уравнение адиабаты, распишем процессы 2-3

4-1:

$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$, поделим первое на второе:

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$. Поскольку процессы 1-2 и 3-4 – изотермические, то изменение внутренней энергии = 0, тогда согласно первому началу термодинамики и работе изотермического процесса ($A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \ln(\frac{V_2}{V_1})$), получим: $Q_1 = A_{12} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln(\frac{V_2}{V_1})$, $Q'_2 = A'_{34} = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln(\frac{V_3}{V_4})$.

Используем формулу кпд: $\eta = \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Теорема Карно — теорема о коэффициенте полезного действия (КПД) тепловых двигателей. Согласно этой теореме, КПД цикла Карно не зависит от природы рабочего тела и конструкции теплового двигателя и является функцией температур нагревателя и холодильника

Длина волны — расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах. В СИ: метры.

Период волны – это интервал времени между прохождением двух смежных вершин волн через фиксированную вертикаль. В СИ: секунды.

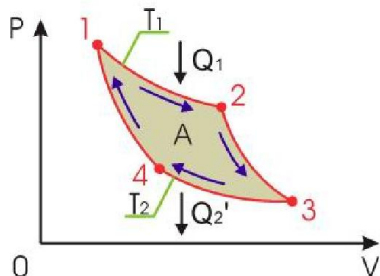
Частота волны - это число полных колебаний или циклов волны, совершенных в единицу времени. В СИ: герцы, s^{-1}

Воздуху сообщили количество теплоты $Q = \frac{m}{\mu} C_V \cdot \Delta T$.

Уравнение Клапейрона – Менделеева: $V \Delta P = \frac{m}{\mu} R \Delta T$, откуда

$\Delta T = \frac{\mu V \Delta P}{m R}$, тогда $Q = \frac{C_V V \Delta P}{R} = \frac{i}{2} V \Delta P$. Воздух – это 70% азота, т.е. $i = 5$.

$Q = \frac{C_V V (P_1^* x - P_1)}{R} = \frac{i}{2} V (P_1^* x - P_1) \Rightarrow x = \dots$



71

1. Уравнение состояния идеального. Другие записи этого уравнения, зависящего от плотности концентрации молекул газа.
2. Определение когерентных упругих волн
3. В закрытом сосуде объемом 2 литра находится углекислый газ CO_2 , плотность которого $1,6 \text{ кг/м}^3$. Какое количество теплоты надо сообщить газу, чтобы нагреть его на $\Delta t = 100$ градусам по Цельсию. Относительная масса углерода 12, кислорода 16

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона) — формула, устанавливающая зависимость между давлением, молярным объёмом и абсолютной температурой идеального газа. Уравнение имеет вид: $p \cdot V = m/M \cdot R \cdot T$

Когерентные волны - волны, характеризующиеся одинаковой частотой и постоянством разности фаз в заданной точке пространства. Когерентность волн является необходимым условием получения устойчивой интерференционной картины.

Упругие волны (звуковые волны) — волны, распространяющиеся в жидких, твёрдых и газообразных средах за счёт действия упругих сил.

Т.к. объём постоянный, то количество тепла $Q = c_v \cdot m \Delta T$, где $c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu}$, причем т.к. углекислый газ - газ трехатомный, то число степеней свободы $i = 6$, значит $c_v = \frac{6}{2} \frac{R}{\mu}$. Масса $m = \rho V$, тогда $Q = \frac{6}{2} \frac{R}{\mu} \rho V \Delta T = \dots$

1. Равномерно распределение энергии по степеням свободы молекул. Число степеней свободы молекулы.
2. Релятивистский множитель и его физический смысл.
3. Азот массой 12 г находится в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 10 градусов по цельсию. Какое количество теплоты было сообщено газу при его нагревании, если давление в сосуде стало равным 14 атм. Относительная атомная масса азота равна 14.

Количество степеней свободы (i) тела - минимальное количество координат, которые надо задать для однозначного определения положения тела. Для одноатомного газа $i=3$. Т.к. молекула может двигаться поступательно в трех направлениях (по координатам (x, y, z))

Для двухатомного газа $i=5$. Т.к. молекула может двигаться поступательно в 3х направлениях + 2 вращательных движений вокруг осей. Для трехатомного и более газа $i=6$. Т.к. молекула может двигаться поступательно в 3х направлениях + 3 вращательных движений вокруг осей

Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы

Средняя кин. энергия приходящаяся на одну степень свободы при тепловом движении

$W_{\text{ср}} = \frac{kT}{2}$ тогда полная энергия: $W = \left(\frac{i}{2}\right) kT$. А суммарная кин. энергия будет иметь вид:

$W_{\text{сум}} = U = \left(\frac{i}{2}\right) kT\gamma$ (γ -количество вещества)

Релятивистский множитель

$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$. Множитель показывает во сколько раз возрастает масса тела движущейся

релятивистской частицы, или замедляется течение ее времени. Используется в преобразованиях Лоренца.

21 Азот массой 12 г находится в закрытом сосуде $V=2\text{ л}$ при температуре 10°C . Какое Q было сообщено газу при его нагревании, если давление в сосуде 14 атм.

Решение: При $V=\text{const}$ $A = \int p dV = 0$ имеем $dQ = \frac{m}{M} C_v dT$,
откуда $Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{M} C_v dT = \frac{m}{M} C_v (T_2 - T_1)$. T_2 найдем из Мен-Клап.
 $p_2 V = \frac{m}{M} RT_2$, откуда $T_2 = \frac{p_2 V M}{m R}$; $T_2 = 747\text{ K}$ (пересчитать)

Молярная теплоемкость азота $C_v = 20,8\text{ Дж/моль}\cdot\text{K}$

Мол. масса = 0,028 кг/моль. $\Rightarrow Q = 4,15\text{ кДж}$

1. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Уравнение адиабаты в Р-Т координатах.
2. Определение средней квадратичной скорости атома
3. Нестабильная частица движется со скоростью $0,99c$ (скорости света). Во сколько раз увеличивается время жизни частицы по часам неподвижного наблюдателя.

Адиабатический процесс.

Процесс, при котором отсутствует теплообмен ($Q = 0$) между системой и окружающей средой. Адиабатическим процессами можно считать все быстропротекающие процессы.

Из первого начала термодинамики: $-dU = \delta A$, т. е. внешняя работа совершается за счет изменения внутренней энергии системы. $C_{ад} = 0$.

Уравнение Пуассона.

Запишем:

$$CdT = C_v dT + PdV - \text{первое начало термодин.}$$

$$PdV + VdP + RdT - \text{ур. Менделеева-Клап.}$$

$$C_p = C_v + R - \text{ур. Майера}$$

Проведя преобразования (выразим dT из 2го, подставим в первое, так же из третьего R во первое), получим: $\frac{C_{\text{проц}} - C_p}{C_{\text{проц}} - C_v} PdV + VdP = 0$ - уравнение некоторого политропического

процесса. Для адиабаты ($C_{\text{проц}} = C_{ад} = 0$), получим: $\frac{C_p}{C_v} PdV + VdP = 0$, где $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$ - показатель адиабаты, тогда проинтегрируем $\gamma PdV + VdP = 0$: $\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0 \Rightarrow \gamma \ln V + \ln P = \ln(const) \Rightarrow \ln(V^\gamma P) = \ln(const) \Rightarrow PV^\gamma = const$ - уравнение Пуассона.

Уравнение адиабаты в Р-Т координатах.

При помощи ур. Менд-Клап исключим из $PV^\gamma = const$ P : $TV^{\gamma-1} = const$

Определение средней квадратичной скорости атома

$$P = nkT; E_k = \left(\frac{3}{2}\right) kT; P = \left(\frac{2}{3}\right) nE_k; \langle v^2 \rangle = \frac{2E_k}{m} = \frac{3kT}{m} \Rightarrow v_{\text{кв}} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$T' = T \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

T - время жизни в покое

$$1 = \frac{T}{T'} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{T}{T'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{T}{T'} = 1 / 0.14 = 7,1$$

1. Сформулировать первое начало термодинамики, если работа совершается: а) внешними силами, б) термодинамической системой
2. Определение числа степеней свободы многоатомной молекулы.
3. Какое количество теплоты надо сообщить кислороду массой 12 г, чтобы при изобарном нагревании температура его повысилась на 50 градусов по Цельсию? Относительная атомная масса кислорода 16.

Первое начало термодинамики.

Изменение внутренней энергии термодинамической системы (тела) может быть осуществлено 'двумя путями: путём совершения механической работы и путём теплопередачи. $Q = \Delta U - A'$, где Q – количество теплоты переданное системе, ΔU – изменение внутренней энергии системы, A' – работа совершённая над системой. $\delta Q = dU - \delta A$. Первое начало запрещает существование вечного двигателя без подвода внешней энергии.

Определение числа степеней свободы

Количество степеней свободы (i) тела- минимальное количество координат, которые надо задать для однозначного определения положения тела. Для одноатомного газа $i=3$. Т.к. молекула может двигаться поступательно в трех направлениях (по координатам(x, y, z)) Для двухатомного газа $i=5$. Т.к. молекула может двигаться поступательно в 3х направлениях + 2 вращательных движений вокруг осей. Для трехатомного и более газа $i=6$. Т.к. молекула может двигаться поступательно в 3х направлениях + 3 вращательных движений вокруг осей.

23} Какое количество теплоты Q надо сообщить массе

$m = 12\text{ г}$ кислорода, чтобы нагреть его на $dt = 50^\circ \text{ C}$ при $p = \text{const}$?

Количество тепла, необходимое для нагревания при $p = \text{const}$: $Q = c_p m \Delta t$, где c_p — удельная теплоемкость.

При постоянном давлении $c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu}$. Т. к. кислород —

двухатомный газ, то $i = 5$ и $c_p = \frac{7}{2} \frac{R}{\mu}$. Тогда $Q = \frac{7}{2} \frac{R}{\mu} m \Delta t$;

$Q = 545 \text{ Дж}$.

1. Основное уравнение МКТ
2. Определение холодильной машины. Холодильный коэффициент холодильной машины.
3. Гармоническая волна распространяется вдоль оси ОХ. Определить разность фаз колебаний двух частиц среды, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,5 м, если длина волны равна 1 м.

Основное уравнение МКТ

Давление газа на стенки сосуда пропорционально произведению концентрации молекул на среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы.

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$$

Иные формулировки: $P = nkT$; $E_k = \frac{3}{2} kT \Rightarrow P = \frac{2}{3} n E_k$

Холодильная машина

Холодильные машины- машины позволяющие охлаждать различные тела за счет совершения работы. Эффективность таких тепловых машин характеризуют холодильный коэффициент: $\varepsilon = Q/A$, где Q — тепло, отбираемое от холодного конца (в холодильных машинах) или передаваемое к горячему (в тепловых насосах); A — затрачиваемая на этот процесс работа (или электроэнергия). Наилучшими показателями производительности для таких машин обладает обратный цикл Карно: в нём холодильный коэффициент $\varepsilon = \frac{T_x}{T_{\text{нар}} - T_x}$

Дано	Решение
$\Delta l = 0,5 \text{ м}$ $\lambda = 1 \text{ м}$ <hr/> $\Delta \varphi = ?$	$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l.$ <p>Вычисления:</p> $\Delta \varphi = \dots$ <div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; width: 100px; height: 100px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 20px auto;"> 24 </div>

1. Политропический процесс в идеальном газе. Теплоемкость и работа в политропическом процессе.
2. Определение молярной массы. Единицы в СИ
3. Давление воздуха внутри сосуда, плотно закупоренного пробкой при температуре 7 градусов по цельсию, было равно 100 кПа. При нагревании сосуда до температуры 110 градусов по цельсию пробка вылетела. Определить давление в сосуде при вылете пробки.

Политропический процесс в идеальном газе.

Политропический процесс – процесс, происходящий при постоянной теплоемкости. К таким относятся адиабатический, изохорный, изобарический и изотермический процессы.

Уравнение политропы: $pV^n = \text{Const}$

Теплоемкость и работа в политропическом процессе.

Работа в политропическом процессе: $A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV = P_1 V_1^n \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^n} = \frac{P_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]$

Теплоемкость: Если процесс изотермический, $C \rightarrow \infty$ Изобарический: $C = C_p$ Изохорный: $(C - C_p)pdV = 0$ Адиабатный: $C = 0$

Определение молярной массы. Единицы в СИ

Молярная масса – масса одного моль вещества. Для определения молярной массы соединения нужно сложить молярные массы всех входящих в него элементов. Измеряется в кг\моль

17 По закону Шарля $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$, отсюда $p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \dots$

1. Связь между импульсом и энергией релятивистской частицы.
2. Определение тепловой машины. КПД тепловой машины.
3. В сосуде объемом 0,3 литра при температуре 27 градусов по цельсию находится идеальный газ. Насколько понизится давление газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет 10^9

Связь между импульсом и энергией релятивистской частицы.

$$\varepsilon = c \sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}; p = mV = Ev/c^2.$$

Определение тепловой машины.

Тепловая машина — устройство, преобразующее тепловую энергию в механическую работу (тепловой двигатель) или механическую работу в тепло (холодильник). Преобразование осуществляется за счёт изменения внутренней энергии рабочего тела — на практике обычно пара или газа.

КПД тепловой машины.

$$\text{КПД машины: } \mu = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} * 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1} * 100\%$$

Дано	Решение
$V = 0,3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ $T = 300 \text{ К}$ $N = 10^{19}$ <hr/> $\Delta p = ?$	$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT, \quad p_2 V = \frac{m_2}{M} RT,$ $\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{(m_1 - m_2)}{M} \frac{RT}{V} = \frac{\Delta m RT}{MV},$ $\frac{\Delta m}{M} = \frac{N}{N_A}, \quad \Delta p = \frac{NRT}{N_A V} = \frac{NkT}{V}.$

1. Сферические упругие волны. Отличие сферической волны от плоской волны.
2. Определение адиабатически изолированной системы
3. Определить массу атомов углерода и кислорода, если молярная масса углекислого газа CO_2 равна $44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, а угарного газа CO равна $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Атомная единица массы $1 \text{ а.е.м} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

Сферические упругие волны

Сферические упругие волны возбуждаются точечным источником, размеры которого малы по сравнению с расстоянием до рассматриваемых точек.

Отличие сферической волны от плоской.

При распространении сферической волны ее волновые поверхности (геометрическое место точек среды, в которых фаза волны в рассматриваемый момент времени имеет одно и то же значение) представляют собой систему концентрических сфер. В плоской волне волновые поверхности представляют собой множество параллельных друг другу плоскостей.

Определение адиабатически изолированной системы.

Адиабатически изолированная система — термодинамическая система, которая не обменивается с окружающей средой энергией в форме теплоты. Изменение внутренней энергии такой системы равно производимой над ней работе. Всякий процесс в адиабатически изолированной системе называется адиабатическим процессом.

т.к. молярная масса есть ^{мол} выражена в
 граммах а.е. атомной массы, то:

$$\begin{cases} A_c + 2A_o = 44 \\ A_c + A_o = 28 \end{cases} ; \begin{cases} A_o = 16 \\ A_c = 12 \end{cases} ; \quad (19)$$

1. **Специальная теория относительности. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца:**
2. **Определение молярной теплоемкости газа при изохорном процессе**
3. Найти смещение от положения равновесия частицы, отстоящей от источника колебаний на расстоянии 0,25 длины бегущей волны, в момент времени равного 0,25 периода. Амплитуда колебаний равна 0,5 мм.

Специальная теория относительности.

Специальная теория относительности — теория, описывающая движение, законы механики и пространственно-временные отношения при произвольных скоростях движения, меньших скорости света в вакууме, в том числе близких к скорости света.

Постулаты Эйнштейна:

Постулат 1 (принцип относительности Эйнштейна). Любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.

Постулат 2 (принцип постоянства скорости света). Скорость света в «покоящейся» системе отсчёта не зависит от скорости источника. Скорость света одинакова во всех инерциальных системах.

Преобразования Лоренца:

Общий вид преобразований Лоренца в векторном виде, когда скорость систем отсчёта имеет произвольное направление: $t' = \gamma * (t - \frac{rv}{c^2})$; $r' = r - \gamma vt + (\gamma - 1) \frac{(rv)v}{v^2}$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ - фактор Лоренца

Определение молярной теплоемкости газа при изохорном процессе

Теплоёмкость идеального газа — отношение количества теплоты, сообщённого газу, к изменению температуры δT , которое при этом произошло. Определение молярной

теплоемкости при изохорном процессе: $C_v = \frac{i}{2} R = \frac{R}{\gamma - 1}$

При распространении незатухающих колебаний вдоль некоторого направления, называемого лучом, смещение любой точки, лежащей на луче и отстоящей от источника колебаний на расстоянии l , дается уравнением

$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi l}{\lambda}\right)$. Подставляя исходные данные, полу-

чим $x = 0,05 \sin\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{6}\right) = 2,5 \text{ см.}$

(20)

Билет 25

1. Основное уравнение релятивистской динамики. Взаимосвязь массы и энергии
2. Определение молярной теплоемкости идеального газа при изобарном процессе

Основное уравнение релятивистской динамики:

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Взаимосвязь массы и энергии: } W_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + C$$

Значение постоянной C определяем из условия равенства нулю кинетической энергии при нулевой скорости: $0 = m_0 c^2 + C \Rightarrow C = -m_0 c^2$ $W_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 = (m - m_0) c^2$

Определение молярной теплоемкости идеального газа при изобарном процессе:

при $p = \text{const}$ $C_p = C_M = \frac{C}{\nu} = \frac{Q}{\nu_{\Delta} T}$; $Q = \Delta U + A = \frac{i}{2} \nu R_{\Delta} T + p_{\Delta} V$;

$$p_{\Delta} V = \nu R_{\Delta} T;$$

Значит: $Q = \frac{i}{2} \nu R_{\Delta} T + \nu R_{\Delta} T = (\frac{i}{2} + 1) \nu R_{\Delta} T$. Подставим в 1 формулу:

$$C_p = \frac{Q}{\nu_{\Delta} T} = \frac{(\frac{i}{2} + 1) \nu R_{\Delta} T}{\nu_{\Delta} T} = (\frac{i}{2} + 1) R = \frac{i + 2}{2} R$$

$$y = A * \sin(\omega t - kx)$$

$$y = 0,5 \text{ A}$$

$$x = 0,04$$

$$t = \frac{T}{2}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

$$0,5 \text{ A} = A * \sin(\omega t - kx) \Rightarrow \omega t - kx = \frac{\pi}{6}$$

$$\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{L} x = \frac{\pi}{6}$$

$$\frac{t}{T} - \frac{x}{L} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{\frac{T}{2}}{T} - \frac{x}{L} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{x}{L} = \frac{1}{2} - \frac{1}{12} \Rightarrow L = \frac{x}{\frac{5}{12}} = \dots$$



Билет 26

1. Уравнение стоячей волны. Узлы и пучности стоячей волны.
2. Определение внутренней энергии идеального газа

Стоячая волна образуется при наложении двух волн одинаковой частоты, бегущих в противоположных направлениях. Уравнение:

$$\xi = A \cos(\omega t + kx) + A \cos(\omega t - kx) = 2A \cos(kx) \cos(\omega t)$$

$A_0 = 2A |\cos(kx)|$ - амплитуда стоячей волны

Пучности - точки где $A_0 = \max$; их можно найти из условия $|\cos(kx)| = 1 \Rightarrow kx = \pm \pi n$ (n - целое число) Координаты пучностей: $x_n = \pm \frac{\pi n}{k} = \pm \frac{\pi n}{2\pi} \lambda = \pm n \frac{\lambda}{2}$ Соседние пучности находятся на расстоянии $\frac{\lambda}{2} = \lambda_{\text{стоячей волны}}$

Узлы - точки где $A_0 = 0$; их можно найти из условия $|\cos(kx)| = 0 \Rightarrow kx = \frac{\pi}{2} \pm \pi n$

Координаты узлов: $x_n = \pm \frac{\frac{\pi}{2} \pm \pi n}{k} = \pm \frac{\frac{\pi}{2} \pm \pi n}{2\pi} \lambda = (1 \pm n) \frac{\lambda}{2}$. Соседние узлы также находятся на расстоянии $\frac{\lambda}{2}$

Внутренняя энергия идеального газа - суммарная кинетическая энергия всех молекул газа

$$U = \sum_N W_k = N W_k = \nu N_A \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

29 Молярная теплоемкость C и удельная теплоемкость c связаны соотношением $C = \mu c$. Отсюда $c = \frac{C}{\mu}$. а) При

$$V = \text{const} \quad c_V = \frac{C_V}{\mu}, \text{ где } C_V = \frac{i}{2} R. \text{ Для кислорода } i = 5,$$

следовательно, $C_V = \frac{5}{2} R$. Тогда удельная теплоемкость

$$\text{кислорода при постоянном объеме } c_V = \frac{5R}{2\mu};$$

$$c_V = 650 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}). \text{ б) При } P = \text{const} \quad C_p = C_V + R = \frac{7}{2} R.$$

$$\text{Отсюда } c_p = \frac{7R}{2\mu}; \quad c_p = 910 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

1. Инвариантность уравнений механики относительно преобразований Галилея
2. Определение эффективного диаметра молекул газа

Принцип относительности Галилея:

Если в двух замкнутых лабораториях, одна из которых движется равномерно и прямолинейно (и поступательно) относительно другой, провести одинаковый механический эксперимент, то результат будет одинаковым. При переходе от одной системы отсчета к другой:

$R_2 = R_1 + R_{21}$ где R_{21} - вектор, задающий положение одной системы относительно другой

$\Delta t_1 = \Delta t_2$ т.к. масштаб времени не меняется: $v_2 = v_1 + v_{21}$; $a_2 = a_1 + a_{21}$. Выберем класс инерциальных систем отсчета. Эти системы могут двигаться с разными скоростями, но их относительные ускорения нулевые, поэтому при переходе от одной ИСО к другой ускорение точек не меняется. Т.к. векторы сил тоже не зависят от системы отсчета, то второй закон Ньютона в них выглядит одинаково: $m\vec{a} = \vec{F}$.

Эффективный диаметр молекул газа - минимальное расстояние, на которое сближаются центры двух молекул при столкновении

При нормальных условиях число степеней свободы двухатомного газа $i = 5$. Из уравнения Клапейрона - Менделеева получим

$$pV = \frac{m}{M}RT, \quad M = \frac{mRT}{pV} = \frac{\rho RT}{p}$$

30

- молярная масса двухатомного газа заданной плотности при н. у.:

$$c_V = \frac{C_V}{M} = \frac{\frac{iR}{2}}{\frac{\rho RT}{p}} = \frac{ip}{2T\rho} = \frac{5 \cdot 1,013 \cdot 10^5}{2 \cdot 273,15 \cdot 1,43} \approx 6,48 \cdot 10^2 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right),$$

$$c_p = \frac{i+2}{i}c_V = \frac{7}{5} \cdot 6,48 \cdot 10^2 \approx 9,07 \cdot 10^2 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right).$$

1. Объемная плотность энергии упругой гармонической волны и ее среднее значение
2. Определение обратимого термодинамического процесса
3. Сколько молекул содержится в двухатомном идеальном газе, если при температуре 20 градусов по Цельсию внутренняя энергия этого газа равна 1,5 кДж

Рассмотрим выделенный участок стержня длиной Δx . При колебаниях скорость этого участка будет $\frac{d\varepsilon}{dt}$ и величина деформации $\frac{d\varepsilon}{dx} \Rightarrow W_k = \left(\frac{1}{2}\right) \rho \left(\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)^2\right) * S \Delta x$; $W_{\text{п}} =$

$$\left(\frac{1}{2}\right) E \left(\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)^2\right) * S \Delta x; V = S \Delta x;$$

Объемная плотность механической энергии: $W = \frac{W_k + W_{\text{п}}}{V} = \left(\frac{1}{2}\right) \rho \left(\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)^2\right) + \left(\frac{1}{2}\right) E \left(\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)^2\right)$

Если для волны, то: $W = \left(\frac{\rho(\omega^2)(A^2)}{2}\right) * (1 - \cos(2(Wt - kx + \alpha)))$

Среднее значение плотности потока энергии, переносимой волной: $W = \frac{\rho(\omega^2)(A^2)}{2}$

Обратимый термодинамический процесс - процесс, при котором при изменении параметров состояния в первоначальные, окружающие тела также переходят в первоначальное состояние.

$$U = 5/2 R * T = 5/2 * \sqrt{} * N_A * k * T = 5/2 N * k * T \Rightarrow N = 2/5 U / (k * T)$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \text{ — постоянная Больцмана,}$$

T — абсолютная температура газа.

N - число частиц (молекул)

1. Вектор Умова – вектор плотности потока энергии. Определение с помощью этого вектора потока энергии
2. Определение необратимого термодинамического процесса
3. При нагревании двух молей молекул газа при постоянном давлении до $\Delta t = 10$ градусам по цельсию было сообщено газу количество теплоты равное 300 Дж. Определить изменение внутренней энергии газа.

Вектор Умова:

$\vec{j} = w\vec{v}$ где w – объемная плотность энергии. Среднее значение: $\langle \vec{j} \rangle = \langle w \rangle \vec{v} = \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 \vec{v}$. Различен в различных точках пространства, изменяется во времени по закону квадрата синуса.

Поток энергии – количество энергии, переносимое через некоторую произвольную поверхность в единицу времени: $\phi = \frac{dW}{dt}$ где W – количество энергии $\phi = \frac{dW}{dt} = wSv \cos(\alpha) = jS \cos(\alpha)$ где S – площадь этой поверхности

Необратимый термодинамический процесс – процесс, при котором термодинамическая система, выведенная из состояния термодинамического равновесия, при проведении данного процесса в обратном направлении не повторяет всех положений прямого процесса

Элементы оглавления не найлены.



$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \dots$$

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow \Delta U = Q - A$$

$$A = \frac{m}{M} R \Delta T = v R \Delta T = \dots$$

$$\Delta U = \dots$$

1. Упругие волны в стержнях. Одномерное волновое уравнение и его общее решение
2. Определение средней длины свободного пробега молекул
3. Два моля идеального газа изобарно сжимают, так что концентрация молекул газа увеличилась в 2 раза. Определить изначальную температуру газа, если на сжатие газа была затрачена работа равная 2490 Дж.

Если возвращающая сила пропорциональна смещению точки, то такая волна называется упругой

Одномерное волновое уравнение: $\frac{d^2\xi}{dt^2} = v^2 \frac{d^2\xi}{dx^2}$.

Общее решение: $\xi = f_1(x - vt) + f_2(x + vt)$

f_1 — описывает возмущение, распространяющееся в положительном направлении оси X — убегающую волну f_2 — описывает возмущение, распространяющееся в отрицательном направлении оси X — набегающую волну

Средняя длина свободного пробега молекул — среднее расстояние, которое пролетает молекула между двумя последовательными столкновениями с другими молекулами

$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma n}$, где $\sigma = \pi d^2$ — эффективное сечение взаимодействия

$n = \frac{N}{V}$. Т.к. концентрация увеличилась в 2 раза, то объём уменьшился в 2 раза, т.е.

$$V = \frac{V}{2}$$

Т.к. процесс изобарический, то $P \Delta V = A$

С другой стороны

$$P \Delta V = \nu R \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow A = \nu R \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{A}{\nu R}$$

$$PV = \nu R \cdot T_1 \quad (1)$$

$$P \frac{V}{2} = \nu R \cdot T_2$$

$$\Rightarrow PV = 2 \nu R \cdot T_2 \quad (2)$$

Поделим (1) на (2):

$$1 = \frac{T_1}{2T_2} \Rightarrow 2T_2 = T_1 \Rightarrow \Delta T = T_1 - \frac{T_1}{2} = \frac{T_1}{2}$$

$$\frac{T_1}{2} = \frac{A}{\nu R} \Rightarrow T_1 = \frac{2A}{\nu R}$$

27