ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II»
(МГУПС (МИИТ))

Кафедра: Высшая математика и естественные науки

Авторы: Климова Т.Ф к.т.н, доц.

ФИЗИКА

Задания на контрольную работу № 3
с методическими указаниями
для студентов 2 курса
направление: 23.05.06«Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»
Профиль/**специализация:** «Строительство магистральных железных дорог», «Управление техническим состоянием ж/д пути», «Мосты», «Тоннели и метрополитены»

Москва 2016

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Перед выполнением контрольной работы студенту необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной контрольной работе, уравнениями и формулами, приведенными в методических указаниях. В некоторых случаях преподаватель может дать студенту индивидуальное задание – задачи, не входящие в вариант студента.

Контрольная работа № 3 состоит из шести задач и охватывает следующие разделы физики:

Задача № 1 – Механические и электромагнитные колебания и волны
Задача № 2 - Волновая и квантовая оптика
Задача № 3 - Молекулярно-кинетическая теория идеального газа, явления переноса в газах.
Задача № 4 – Основы термодинамики
Задача № 5 – Элементы квантовой механики
Задача № 6 – Элементы физики атомного ядра

Выбор задач производится по таблице вариантов к контрольным работам: **первые четыре задачи выбирают по варианту, номер которого совпадает с последней цифрой учебного шифра, пятую и шестую– с предпоследней цифрой учебного шифра студента.**

Например, для шифра 1110-СТс-1268 – первые 4 задачи берут из восьмого варианта, пятую и шестую– из 6 варианта.

Таблица вариантов

Задача	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	20	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3	30	21	22	23	24	25	26	27	28	29
4	40	31	32	33	34	35	36	37	38	39

5	50	41	42	43	44	45	46	47	48	49
6	60	51	52	53	54	55	56	57	58	59

Правила оформления контрольных работ и решения задач:

1. Условия всех задач студенты переписывают полностью без сокращений.
2. Все значения величин, заданных в условии и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех же единицах, которые заданы, а затем рядом осуществляют перевод в единицы СИ.
3. Кроме задач на ядерные реакции (работа № 3), все задачи следует решать в СИ.
4. В большей части задач необходимо выполнять чертежи или графики с обозначением всех величин. Рисунки надо выполнять аккуратно, используя чертежные инструменты; объяснение решения должно быть согласовано с обозначениями на рисунках.
5. Необходимо указать физические законы, которые должны быть использованы, и аргументировать возможность их применения для решения данной задачи.
6. С помощью этих законов, учитывая условие задачи, получить необходимые расчетные формулы.
7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
8. Использованные в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задачи и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.
9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.

   Пример проверки размерности:

$$[v] = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{[м^3 \cdot кг^{-1} \cdot c^{-2}] \cdot [кг] \cdot [c^{-1}]} = м \cdot c^{-1}$$

10. Основные физические законы, которыми следует пользоваться при решении задач (вывод расчетных формул), приведены в каждом из разделов. Там же приведены некоторые формулы, которыми можно пользоваться без вывода.
11. После проверки размерности полученных формул проводится численное решение задачи.
12. Вычисления следует производить по правилам приближенных вычислений с точностью, соответствующей точности исходных числовых данных условия задачи. Числа следует записывать в стандартном виде, используя множитель 10, например не 0,000347, а $3{,}47 \cdot 10^{-4}$.
13. Каждая последующая задача должна начинаться с новой страницы.

14. В конце контрольной работы необходимо указать учебные пособия, учебники, использованные при ее выполнении, и дату сдачи работы и поставить подпись.
15. Если контрольная работа не допущена к зачету, то все необходимые дополнения и исправления сдают вместе с незачтенной работой. Исправления в тексте незачтенной работы не допускаются.
16. Допущенные к зачету контрольные работы с внесенными уточнениями предъявляются преподавателю на зачете. Студент должен быть готов дать во время зачета пояснения по решению всех выполненных задач.

Основная литература:

1. Т. И Трофимова. Курс физики: Учебное пособие. М.: Академия,, 2008
2. Т. И. Трофимова Краткий курс физики. М.: Высшая школа, 2009
3. Т.И Трофимова. Сборник задач по курсу физики с решениями М.: Высшая школа. 2008
4. А.А. Детлаф Курс физики. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 2000
5. В.Ф. Дмитриева Основы физики. М. Высшая школа, 2001
6. В.Н. Недостаев. Физика. Конспект лекций т. 1-2. – М., РГОТУПС, 2005

Дополнительная литература:

7. С. Е Мельханов Общая физика. Конспект лекций, М.: Высшая школа, 2001
8. В.М. Гладской Физика. Сборник задач с решениями, М.:Дрофа, 2004
9. Т.И. Трофимова Физика.. 500 основных законов и формул. М., Высшая школа, 2003
10. В. Ф. Дмитриева, В. Ф. Прокофьев. Основы физики. М.: Высшая школа, 2002

ЗАДАНИЕ 1. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

1.1 Механические колебания

Уравнение гармонических колебаний: $$x = A\cos(\omega_0 t + \varphi);\quad x = A\sin(\omega_0 t + \varphi),$$ где x –смещение колеблющейся величины от положения равновесия; A – амплитуда колебаний; $\omega=2\pi\nu=2\pi/T$ - угловая (циклическая) частота; ν - частота колебаний; T - период; φ - начальная фаза. Скорость и ускорение точки, совершающей гармонические колебания; $$v_x = \frac{dx}{dt}t = -A\omega_0\sin(w_0 t + \varphi) = -A\omega_0\cos(\omega_o t + \varphi + \pi/2);$$ $$a_x = \frac{dv}{dx} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 x$$
Динамическое уравнение гармонических колебаний**:** $m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$ или $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 = 0$, где $\omega_0^2 = k/m$
Кинетическая энергия колеблющегося тела массой m:

$$W_k = mv^2/2 = mA^2\omega_0^{\,2}\sin^2(\omega_0 t + \varphi)/2.$$

Потенциальная энергия: $W_n = mA^2\omega_0^{\,2}\cos^2(\omega_0 t + \varphi)/2.$

Полная энергия: $W = W_k + W_n = mA^2\omega_0^{\,2}/2 = const$

Периоды колебания маятников:

пружинного: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

математического: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$,

физического: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{J}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$,

где J- момент инерции маятника относительно оси колебаний;

l - расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника;

$L = J/ml$ - приведенная длина физического маятника;

g - ускорение свободного падения

Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний линейной системы и его решение:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0; \quad x = Ae^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi),$$

где x – колеблющаяся величина, описывающая физический процесс;

$\beta = r/2m$ - коэффициент затухания;

r –коэффициент сопротивления среды;

m - масса;

ω_0 –свободная циклическая частота незатухающих колебаний той же системы;

$\omega = (\omega_0^{\,2} - \beta^2)^{1/2}$- частота затухающих колебаний;

$Ae^{-\beta t}$ - амплитуда затухающих колебаний.

Декремент затухания: $A(t)/A(t+T) = e^{\beta t}$,

где $A(t)$, $A(t+T)$ - амплитуды двух последовательных колебаний соответствующих моментам времени, отличающимся на период.

Логарифмический декремент затухания:

$\theta = \ln A(t)/A(t+T) = \beta T = T/\tau = 1/N,$

где τ – время релаксации

N - число колебаний, совершаемых за время уменьшения колебаний в е раз.

Добротность колебательной системы:

$\Omega = \pi/\theta = \omega_0/2\beta$

Дифференциальное уравнение вынужденных механических колебаний и его решение для установившихся колебаний: $\dfrac{d^2x}{dt^2} + 2\beta\dfrac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = F_0\cos\Omega t$

$$x = A\cos(\Omega t - \varphi),$$

где x – координата колеблющейся точки;

$F = F_0\cos\Omega t$ – внешняя сила, вызывающая вынужденные колебания;

Амплитуда: $A = \dfrac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2) + 4\beta\Omega^2}}$ $A = F_0/m\,[(\omega_0^{2} - \Omega^2) + 4\beta\Omega^2]^{1/2}$;

Фаза: $\varphi = arctg\ 2\beta\pi/(\nu_0^2 - \Omega^2)$ Резонансная частота и резонансная амплитуда: $\omega_P = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$; $$A_P = \frac{F_0}{2m\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

1.2 Упругие волны

Связь длины волны λ, периода колебаний T и частоты ν: $\lambda = vT = v/\nu;\ \ v = \lambda\nu$,   где v –фазовая скорость (скорость распространения колебаний в среде)
Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x: $x(t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$ где $x(t)$ – координата точки в момент времени; A –амплитуда волны; ω - циклическая (круговая) частота; $k = 2\pi/\lambda = 2\pi/vT = \omega/v$ – волновое число; λ – длина волны; v-фазовая скорость; T – период колебаний; φ_0 – начальная фаза колебаний
Связь между разностью фаз $\Delta\varphi$ и разностью хода d: $\Delta\varphi = \pi\ d/\lambda$
Условия максимумов и минимумов амплитуды при интерференции: $\Delta\varphi_{max} = \pm 2\pi m;\ \ \Delta\varphi_{min} = \pm(2m+1)\pi m$ $\Delta d_{vax} = \pm m\lambda;\ \ \Delta d_{min} = \pm(2m+1)\lambda/2$,   где m = 0, 1, 2.
Фазовая v и групповая скорость u: $v = \omega/k;\ u = d\omega/dk;\ \ u = v - \lambda\, dv/d\lambda$
Уравнение стоячей волны: $x(t) = 2A(\cos 2\pi x/\lambda)\cos\omega t = 2A\cos kx \cos\omega t.$ Координаты пучностей и узлов: $x_n = + m\lambda/2;\ \ x_y = + (m + 1/2)\lambda/2,\ m = 0, 1, 2.$

1.3 Свободные электромагнитные колебания в идеализированном колебательном контуре

Колебательный контур – цепь, состоящая из включенных последовательно катушки индуктивности, конденсатора и резистора, и предназначенная для возбуждения и поддержания электромагнитных колебаний.
В идеальном колебательном контуре R=0, полная энергия сохраняется: $$W = \frac{Q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = const\ ,$$ где $W_Э = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{QU}{2}$ - энергия электрического поля конденсатора, $W_M = \frac{LI^2}{2}$ - энергия магнитного поля катушки индуктивности
Дифференциальное уравнение колебаний заряда в контуре: $$\frac{d^2Q}{dt^2} + \omega_0^2 Q = 0$$

Решение дифференциального уравнения: $Q = Q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$.   Циклическая частота $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ Период (формула Томсона): $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$

1.4. Свободные затухающие колебания в колебательном контуре

Дифференциальное уравнение затухающих электромагнитных колебаний $$\frac{d^2Q}{dt^2} + 2\delta\frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = 0,$$ где $\delta = \frac{R}{2L}$ - коэффициент затухания $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ - собственная частота колебательного контура   Решение дифференциального уравнения: $Q = Q_0 e^{-\delta t}\cos(\omega t + \varphi)$.   Амплитуда затухающих колебаний $Q = Q_0 e^{-\delta t}$ Циклическая частота затухающих колебаний $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ Период затухающих колебаний: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$

1.5 Вынужденные электромагнитные колебания

Дифференциальное уравнение вынужденных электромагнитных колебаний $$\frac{d^2Q}{dt^2} + 2\delta\frac{dQ}{dt} + \omega_0^2 Q = E_M \cos\omega t,$$ где $\delta = \frac{R}{2L}$ - коэффициент затухания $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ - собственная частота колебательного контура
Зависимость амплитуды колебаний заряда на конденсаторе от частоты внешней ЭДС: $Q_M = \frac{E_M}{L\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\delta^2\omega^2}}$
Резонансная частота для заряда : $\omega_{Рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$
Сила тока при установившихся вынужденных колебаниях: $I = I_0\cos(\omega t - \varphi)$
Резонансная частота для силы тока: $\omega_{РЕЗ} = \omega_0 = \frac{1}{LC}$

1.6. Закон Ома для цепи переменного тока

Индуктивное сопротивление цепи $R_L = \omega L$ Емкостное сопротивление цепи: $R_C = \frac{1}{\omega C}$

Реактивное сопротивление цепи: $X = R_L - R_C = \omega L - \dfrac{1}{\omega C}$

Полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Закон Ома для цепи переменного тока: $I = \dfrac{U}{Z}$

Условие резонанса: $\omega L = \dfrac{1}{\omega C}$ $\quad Z = R$

Сдвиг фаз между напряжением и силой тока: $tg\varphi = \dfrac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$

Действующие (эффективные) значения тока и напряжения: $I = \dfrac{I_M}{\sqrt{2}}$ $\quad U = \dfrac{U_M}{\sqrt{2}}$

Трансформатор – прибор переменного тока, преобразующий напряжение и силу тока, не изменяющий мощность и частоту тока

Коэффициент трансформации: $k = \dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{N_1}{N_2}$,

где U_1, U_2 - напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора,
N_1, N_2 - число витков первичной и вторичной обмоток
$k \succ 1$ - трансформатор понижающий
$k \prec 1$ - трансформатор повышающий

ЗАДАНИЕ 2 - ОПТИКА. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1 Геометрическая оптика

Закон отражения света:
Угол падения равен углу отражения $i_1 = i_2$
Закон преломления света:
Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно
$\dfrac{sini_1}{sini_2} = n_{21}$
Показатель преломления света: n=$\frac{c}{v}$

Оптическая длина пути: $L = ns$,
где n – показатель преломления, s - геометрическая длина пути
Оптическая разность хода: Δ = L_2 - L_1

Связь между разностью фаз и оптической разностью хода:
Δφ=$\frac{2\pi}{\lambda}(L_2 - L_1)$

2.2. Волновая оптика.

Условие интерференционных максимумов: Δ = ±mλ (m=1, 2, 3…)
Условие интерференционных минимумов: Δ=±(2m+1)$\frac{\lambda}{2}$ (m=1, 2, 3…)

Оптическая разность хода в тонких пленках при отражении света:
Δ=2d$\sqrt{n^2 - sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$

Где d – толщина пленки, i – угол падения света на поверхность пленки
Радиусы зон Френеля: $r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}m\lambda}$
Условие главных максимумов дифракционной решетки: $d sin\varphi = \pm m\lambda$ (m=1, 2, 3…) Где d = a +b – постоянная решетки, φ - угол дифракции, m – номер максимума Условие дополнительных минимумов дифракционной решетки: $d sin\varphi = \pm \frac{m}{N}\lambda$ (m= 0, N, 2N…) N – число щелей решетки Разрешающая способность дифракционной решетки: $R = mN$
Степень поляризации:$P = \frac{I_{max}-I_{min}}{I_{vax}+I_{mim}}$ Закон Малюса: Интенсивность света , прошедшего через поляризатор и анализатор $I = I_0 cos^2\alpha$ А - угол между плоскостями поляризатора и анализатора Закон Брюстера: $tg\alpha = n_{21}$, где n_{21} – относительный показатель преломления Угол вращения плоскости поляризации в кристаллах: φ=αd, Угол вращения плоскости поляризации в растворах:φ=[α]Cd А – постоянная вращения, d - расстояние, пройденное светом с – концентрация

/ **2.3. Квантовая природа излучения**

Закон Кирхгофа для теплового излучения: Спектральная плотность энергетической светимости тела: $r_{v,T} = \frac{R_{v,T}}{A_{v,T}}$ Энергетическая светимость черного тела $R_T = \int_0^\infty r_{v,T} dv$ Закон Стефана – Больцмана: Энергетическая светимость черного тела$R_T = \sigma T^4$, Σ – постоянная Стефана – Больцмана, Т – термодинамическая температура Закон смещения Вина: Длина волны, на которую приходится максимум энергетической светимости тела $\lambda = \frac{b}{T}$ b – постоянная Вина
Энергия фотона: $\varepsilon = hv = \frac{hc}{\lambda}$ Импульс фотона: $p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{hc}{\lambda}$
Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта: $hv = A + \frac{mV^2}{2}$
Изменение длины волны при эффекте Комптона: $\Delta\lambda = \frac{2h}{mc} sin^2\frac{\theta}{2}$
Давление света при нормальном падении на поверхность: $p = \frac{E_c}{c}(1 + \rho)$

ЗАДАНИЕ 3 - МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА, ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ГАЗАХ.

3.1 Макроскопические состояния

Число молей вещества: $\nu = m/M$; $\nu = V/V_M$, где m – масса; M - молярная масса; V – объем, V_M – молярный объем.
Масса одной молекулы: $m_0 = M/N_A$; $m_0 = \rho/n$, где M – молярная масса, $N_A = 6{,}023\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$ - число Авогадро; ρ - плотность; n_0 - концентрация, определяется из соотношений: $n_0 = N/V$; $n = \rho/m_0$; $n = N_A/M$.
Число молекул в данной массе вещества: $N = m/m_0 = m\,N_a/M$.
Термодинамическая температура связана с температурой шкалы Цельсия $T,K = t°C + 273{,}15$; $t°C = T,K - 273{,}15°C$

3.2 Уравнения состояния идеального газа. Изопроцессы

Уравнения состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона): для одного моля газа; $pV_м = RT$ - для произвольной массы газа: $pV = mRT/M$; $pV = \nu RT$ - где $V_м$ - молярный объем; M - молярная масса; m – масса газа; $\nu = m/M$ -количество вещества; R – универсальная газовая постоянная
Объединенный газовый закон (уравнение Клапейрона): $pV/T = const$; $p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2$ где p –давление газа; V –объем; T – термодинамическая температура
Закон Бойля –Мариотта (изотермический процесс): $pV = const$; $p_1V_1 = p_2V_2$ при $T = const$, $m = const$
Закон Гей-Люссака (изобарический процесс): $V = V_0(1 + \alpha t)$ или $V/T = const$; $V_1/V_2 = T_1/T_2$ при $p = const$, $m = const$ Закон Шарля (изохорический процесс): $p = p_0(1 + \alpha t)$ или $p/T = const$; $p_1/p_2 = T_1/T_2$ при $V = const$, $m = const$, где t –температура по шкале Цельсия, V_0, p_0 –соответственно объем и давление при 0^0С, коэффициент $\alpha = 1/273\ K^{-1}$, p, V, T соответственно давление, объем и термодинамическая температура
Закон Дальтона для давления смеси n идеальных газов: $p = \sum_{i=1}^{n} p_i$, где p_i - парциальное давление i -ой компоненты газа
Закон Авогадро: при $T_0 = 0^0C = 273$ К, $p_0 = 1$ атм $= 1{,}013\cdot10^5$ Па мольный объем любого газа $V_м = 22{,}4$ л $\cdot$моль$^{-1}$ $= 2{,}24\cdot10^{-2}$ м$^3\cdot$моль$^{-1}$

3.3 Идеальный газ как модельная термодинамическая система. Статистические распределения

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов: $p = n_0 m\langle v^2_{кв}\rangle/3$; $p = \rho\langle v^2_{кв}\rangle/3$; $p = 2n\langle\varepsilon\rangle/3$; $\langle\varepsilon\rangle = m\langle v_{кв}{}^2\rangle/2$,

где $<v_{кв}>$ -средняя квадратичная скорость молекул; $<\varepsilon>$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы; n_0 –концентрация молекул; m - масса одной молекулы; ρ - плотность газа
Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям: $f(v) = dN(v)/Ndv = 4\pi (m_0/2\pi kT)^{3/2} v^2 exp [- m_0 v^2/2kT]$, где функция $f(v)$ распределения молекул по скоростям определяет число молекул $dN(v)/N$ из общего числа молекул, скорости которых лежат в интервале от v до $v+dv$
Барометрическая формула: $p = p_0 exp [- Mg (h - h_0)/RT]$; $p = p_0 exp[- m_0 g(h - h_0)/kT]$, где p и p_0 – давление газа на высоте h и h_0 , M - молярная масса газа, m_0 -масса молекулы, R - универсальная газовая постоянная, k - постоянная Больцмана Распределение Больцмана во внешнем центральном поле: $n = n_0 exp [-Mgh/RT]$; $n = n_0 exp [-m_0 gh/kT]$; $n = n_0 exp[- W_n/kT]$, где n , n_0 -концентрация молекул на высоте h и $h_0=0$; W_n - потенциальная энергия молекул в поле тяготения
Скорости молекул: наиболее вероятная: $v_b = (2RT/M)^{1/2} = (2kT/m_0)^{1/2} = (2p/\rho)^{1/2}$ средняя квадратичная: $<v_{кв}> =(3RT/M)^{1/2}= (3kT/ m_0)^{1/2} =(3p/\rho)^{1/2}$ средняя арифметическая: $<v> = (8RT/\pi M)^{1/2} =(8kT/\pi m_0)^{1/2}= (8p/\pi\rho)^{1/2}$ где T - абсолютная температура газа; M - молярная масса газа; m_0 – масса одной молекулы; p - давление газа; ρ – плотность газа; R – универсальная газовая постоянная; k – постоянная Больцмана
Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы: $<\varepsilon_k> =3kT/2$. Средняя полная энергия молекулы: $<\varepsilon_k> = ikT/2$, где i-число степеней свободы молекул; k – постоянная Больцмана; T –термодинамическая температура одноатомный газ: $i =3$; двухатомный газ: $i=5$; многоатомный газ: $i =6$.
Зависимость давления газа от температуры: $p = nkT$

3.4 Явления переноса в термодинамически неравновесных системах

Среднее число соударений, испытываемых молекулой за 1 с:

$$\langle Z\rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n_0 \langle v\rangle,$$ где d – эффективный диаметр молекулы; n_0 – концентрация молекул; $\langle v\rangle$ - средняя арифметическая скорость молекул
Средняя длина свободного пробега молекул газа: $\langle l\rangle = \langle v\rangle/\langle Z\rangle = 1/\sqrt{2}\pi d^2 n_0$
Закон диффузии Фика: $M = -D\,(d\rho/dx)\Delta s\Delta t$, где M – масса вещества, переносимого через площадку Δs за время Δt; $d\rho/dx$ – градиент плотности; D - коэффициент диффузии $D = \langle v\rangle\langle l\rangle/3$
Закон Ньютона для внутреннего трения: $F = -\,\eta(dv/dx)\Delta s$, где F – сила внутреннего трения между движущимися слоями газа площадью Δs; dv/dx – градиент скорости; η - коэффициент динамической вязкости $\eta = \rho\langle v\rangle\langle l\rangle/3$, где ρ - плотность газа
Закон теплопроводности Фурье: $Q = -\,\lambda(dT/dx)\Delta s\Delta t$, где Q–количество теплоты, прошедшее посредством теплопроводности через площадь Δs за время Δt; dT/dx –градиент температуры; λ – коэффициент теплопроводности: $$\lambda = \rho c_v\langle v\rangle\langle l\rangle/3,$$ где c_v -молярная теплоемкость газа.
Связь между коэффициентами переноса: $$\eta/D = \rho; \qquad \lambda/\eta = c_v; \qquad \lambda/D = c_v$$

ЗАДАНИЕ 4 - ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

4.1 Внутренняя энергия и работа идеального газа. Первый закон термодинамики и его применение к изопроцессам

Внутренняя энергия идеального газа: $U = \nu iRT/2 = miRT/2M = ipV/2$, где ν – количество вещества, m - масса газа; M – молярная масса газа; p, V -давление и объем; i - число степеней свободы; R – универсальная газовая постоянная. Изменение внутренней энергии идеального газа: $dU = miRdT/2M$
Элементарная работа, совершаемая газом при изменении его объема: $$\partial A = pdV = mRdT/M.$$ Полная работа при изменении объема газа: $A = \int_{V_1}^{V_2} pdV = \int_{T_1}^{T_2} \eta RdT$. Изобарный процесс: $A = p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)/M$. Изотермический процесс: $A = mRT(\ln V_2/V_1)/M = mRT(\ln p_1/p_2)/M = p_1V_1\ln(V_2/V_1) = p_2V_2\cdot\ln(p_1/p_2)$ Изохорический процесс: $A = 0$
Первый закон термодинамики; $Q = \Delta U + A$, где Q – количество теплоты, сообщенное системе или отданное ею; ΔU - изменение внутренней энергии; A –работа системы против внешних сил $V = const \quad Q = \Delta U$; $T = const \quad Q = A$;

$p = const \quad Q = \Delta U + A$

4.2 Теплоемкость идеального газа

Теплоемкость тела: $C = \partial Q/dT$, где ∂Q -количество подведенной теплоты; dT - приращение температуры
Молярная теплоемкость тела: $C_\mu = C/M = \partial Q/MdT$, где M - молярная масса
Удельная теплоемкость: $c = C/m = \partial Q/mdT$ где m - масса тела
Молярная изохорная теплоемкость газа: $C_v = iR/2$, где i – число степеней свободы молекул; R – универсальная газовая постоянная. Удельная изохорная теплоемкость газа: $c_v = C_v/M = iR/2M$
Молярная изобарная теплоемкость газа: $C_P = (i+2)R/2$; Удельная изобарная теплоемкость газа: $c_P = C_P/M = (i+2)R/2M$
Уравнение Майера: $C_P - C_V = R$; $c_P - c_V = R/\mu$.
Показатель адиабаты (отношение теплоемкостей при постоянных давлении и объеме): $C_P/C_v = (i+2)/i$

4.3 Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона

Первый закон термодинамики для адиабатного процесса: $Q = 0; \qquad A + \Delta U = 0; \qquad A = -\Delta U$
Уравнение Пуассона: $pV^\gamma = const; \quad TV^{\gamma-1} = const; \quad T^\gamma p^{1-\gamma} = const$, где $\gamma = C_P/C_v$
Работа газа при адиабатном процессе: $A = -\Delta U = mc_v(T_1 - T_2)$; $A = RT_1m\,[1 - (V_1/V_2)^{\gamma-1}]/(\gamma - 1)M = p_1V_1[1 - (V_1/V_2)^{\gamma-1}]/(\gamma-1)$, где T_1, T_2, V_1, V_2 - соответственно начальные и конечные значения температуры и объемов газа

4.4 Тепловые двигатели. Цикл Карно и его КПД

Термический коэффициент полезного действия для кругового процесса (цикла): $\eta = A/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1$, где Q_1 – количество теплоты, полученное системой; Q_2 – количество теплоты, отданное системой; A – работа, совершаемая за цикл
Термический коэффициент полезного действия цикла Карно: $\eta = (T_1 - T_2)/T_1 = 1 - T_2/T_1$, где T_1 и T_2 - соответственно термодинамические температуры нагревателя (теплоотдатчика) и холодильника (теплоприемника)

4.4 Второй закон термодинамики. Неравенство Клаузиуса. Энтропия

Неравенство Клаузиуса: $\oint \frac{\delta Q}{T} \le 0$
Полный дифференциал энтропии: $dS = \delta Q/T$ Дифференциал энтропии идеального газа: $dS = (C_v dT/T + RdV/V)m/M$; $dS = (C_P dT/T - Rdp/p)m/M$; $dS = (C_P dV/V + C_v dp/p)m/M$.
Изменение энтропии при равновесном переходе из состояния 1 в состояние

2: $\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\partial Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU}{T} + \int_1^2 \frac{\partial A}{T}$. Изменение энтропии в процессах идеального газа: $p = const \quad S_{12} = S_2 - S_1 = (C_v ln\, T_2/T_1 + R ln V_2/V_1) m/M;$ $T = const \quad S = (mR ln V_2/V_1)/M = (mR ln p_2/p_1)/M$ $V = const \quad S = (mC_v ln T_2/T_1)/M = (mC_V ln\, p_2/p_1)/M$ $Q = 0 \qquad S = const$
Изменение энтропии системы: $\Delta S = \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i$, где ΔS_i - изменение энтропии i–й компоненты
Формула Больцмана для энтропии: $S = k \ln w$ S w – термодинамическая вероятность; S – энтропия; k – постоянная Больцмана
Второй закон термодинамики: $dS > 0; \quad \partial Q < TdS; \quad TdS < dU + \partial A,$ где dU - изменение энергии системы; ∂A – работа, совершаемая над системой; dS - изменение энтропии системы.

ЗАДАНИЕ № 5 – ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Обобщенная формула Бальмера: $\nu = R(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2})$ R - постоянная Ридберга, m = 1, 2,3…, n =2, 3, 4, .. n+1 - главные квантовые числа, Квантованные значения момента импульса электрона в атоме: $m_n V_n r_n = n\hbar$ (n = 1, 2, 3….) Второй постулат Бора (правило частот): $h\nu = E_n - E_m$
Длина волны де- Бройля: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mV}$ Н – импульс микрочастицы
Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координат и проекций импульса $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ $\Delta y \Delta p_y \geq \hbar$ $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ Соотношение неопределенностей для энергии и времени существования микрочастицы: $\Delta E \Delta t \geq \hbar$

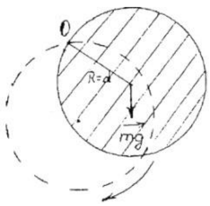
ЗАДАНИЕ № 6 – ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА

Радиус ядра: $R = R_0 \sqrt[3]{A}$, где А – атомная масса
Энергия связи нуклонов в ядре: $E_{св} = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_я]c^2$ Дефект массы ядра $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$
Закон радиоактивного распада: Число нераспавшихся изотопов: $N = N_o e^{-\lambda t}$ Период полураспада: $T_{1\backslash 2} = \frac{ln2}{\lambda}$ λ - постоянная распада Среднее время жизни радиоактивного ядра $\tau = \frac{1}{\lambda}$

Активность радионуклида: А = $\frac{dN}{dt} = A_0 e^{-\lambda t}$
Правило смещения для $\propto$- распада ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$ Правило смещения для β- распада ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e$ Символическая запись ядерной реакции: X +a → $Y + b$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Сплошной однородный диск колеблется около оси, перпендикулярной к плоскости диска и проходящей через край диска (рис.). Найти радиус диска, если приведенная длина этого физического маятника равна L = 0,15 м.



Условие:

L = 0,15 м;

R - ?

Решение. Период колебания физического маятника может быть рассчитан двояко:

$$T_ф = 2\pi(L/g)^{1/2}, \text{ или } T_ф = 2\pi(J/mgd)^{1/2},$$

где J - момент инерции диска относительно оси вращения, проходящей через точку O;

d – расстояние от оси вращения до центра тяжести, в данном случае $d = R$.

$$2\pi(L/g)^{1/2} = 2\pi(J/mgd)^{1/2} \quad (1)$$

Из уравнения (1) находим: L = J/md.

По теореме Штейнера: $J = J_0 + md^2$,

где J_0 –момент инерции относительно оси, параллельной оси вращения и проходящей через центр тяжести. Для диска $J_0 = mR^2/2$.

Итак, $L = (J_0 + md^2)/md = 3R/2$.

Откуда: $R = 2L/3$

Вычисление: $R=2\cdot0{,}15/3= 0{,}10$ (*м*).

Ответ: R=0,10 м

Пример 2. Определить возвращающую силу F в момент времени t = 0,2 с и полную энергию W точки массой m = 20 г, совершающей гармонические колебания согласно уравнению x = Asin ωt, где A =15 см; ω = 4 с$^{-1}$. Найти также время t, когда x = A/2.

Условие:
t = 0,2 с
m = 0,02 кг
x = Asin ωt
A = 0,15 м
$\omega = 4\ c^{-1}$
x = A/2

F-? t -?

Решение. Силу по второму закону Ньютона определим как
$F = ma$, где ускорение $a = d^2x/dt^2 = - A\omega^2 \sin \omega t$.
Тогда $F = - mA\omega^2 \sin \omega t =$.

Полная энергия колеблющейся точки равна $W = m\omega^2A^2/2$ Время, через которое смещение $x = A/2$, найдем из того, что

$$A/2 = A\sin \omega t, \quad \sin \omega t = 1/2, \quad \omega t = \pi/6.$$

Вычисление: $F = -0{,}02 \cdot\cdot (0{,}15)^2 = -0.02$ Н,
$W = 0{,}02 \cdot 16 \cdot 0{,}0225/2 = \ = 3{,}55 \cdot 10^{-2}$ Дж.
Откуда $t = \pi/6\omega = 4{,}17 \cdot 10^{-2}$ с.

Ответ: F = - 0,02 Н, $W == 3{,}55 \cdot 10^{-2}$ Дж. $t = 4{,}17 \cdot 10^{-2}$ с.

Пример 3. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности 0,4 Гн и конденсатора емкостью 10^{-5} Ф. Конденсатор зарядили до напряжения 4 В и замкнули ключ. Как зависит от времени заряд, напряжение на обкладках конденсатора и сила тока через катушку, а также энергия магнитного и электрического полей?

Условие:
L= 0,4 Гн
$C = 10^{-5}$ Ф
U=4 В
Q(t), U(t), I(t) - ?
$W_{эл}$- ? $W_{м}$ - ?

Решение

В колебательном контуре происходят колебания с периодом $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$ и циклической частотой $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} = 0{,}5 \cdot 10^3$ с.

Напряжение на конденсаторе будет изменяться по закону
$U = U_0 \cos \omega t$ $U = 4\cos 0{,}5 \cdot 10^3 t$, В

Поскольку $Q = U \cdot C$. для заряда на конденсаторе имеем
$Q = U_0 C \cos \omega t$ $Q = 4 \cdot 10^{-5} \cos 0{,}5 \cdot 10^3 t$, Кл

По определению сила тока равна

$$I = \frac{dQ}{dt} = -U_0 C\omega \sin \omega t$$

Энергия электрического поля равна:

$$W_Э = \frac{Q^2}{2C}$$

Энергия магнитного поля определяется по формуле:

$$W_М = \frac{LI^2}{2}$$

Вычисления: $I = 2\cdot 10^{-2} \sin 0{,}5\cdot 10^3$ (А)

$W_Э = 8\cdot 10^{-5} \cos^2 0{,}5\cdot 10^3 t$ (Дж)

$W_М = 8\cdot 10^{-5} \sin^2 0{,}5\cdot 10^3 t$ (Дж)

Ответ: $Q = 4\cdot 10^{-5} \cos 0{,}5\cdot 10^3 t$, Кл, $I = 2\cdot 10^{-2} \sin 0{,}5\cdot 10^3$, А
$W_Э = 8\cdot 10^{-5} \cos^2 0{,}5\cdot 10^3 t$, Дж

Пример 4. Какова должна быть постоянная дифракционной решетки, чтобы в первом порядке были разрешены линии спектра калия 404,4 и 404,7 нм? Ширина решетки 3 см

Условие:
a=0.03 м
$\lambda_1 = 404{,}4 \cdot 10^{-9}$ м
$\lambda_1 = 404{,}4 \cdot 10^{-9}$ м
$\lambda_2 = 404{,}7 \cdot 10^{-9}$ м
d- ?

Решение. Разрешающая способность дифракционной решетки определяется формулой: $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN.$

По условию k=1, тогда $\frac{\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} = N = \frac{a}{d}$

Откуда получим $d = \frac{a(\lambda_2-\lambda_1)}{\lambda_1} = 22\cdot$ м

Проверка размерности: $[d] = \frac{м^2}{м} = м$

Вычисление d = 0,03(404,7 - 0,404,4)/404,7 = $2{,}2\cdot 10^{-6}$ (м)

Ответ: d = $2{,}2\cdot 10^{-6}$ м

Пример 5. В двух баллонах имеются два газа: водород – H_2 и углекислый газ – CO_2. Во сколько раз число молекул одного газа больше числа молекул другого газа, если массы газов одинаковы?

Условие:
$M_1 = 2\cdot 10^{-3}$ кг/моль;
$M_2 = 44\cdot 10^{-3}$ кг/моль;
N_1/N_2 - ?

Решение. В одном моле вещества содержится число молекул, равное числу Авогадро $N = 6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$.

Количество вещества водорода $\nu = m/M_{1,}$ а в углекислом газе содержится число молей $\nu_2 = m/M_2$.

Тогда число молекул водорода $N_1 = \nu_1 N_A = mN_A/M_1$, число молекул углекислого газа $N_2 = \nu_2 N_A = mN_A/M_2$.

Разделив N_1 на N_2, получим ответ

$$N_1/N_2 = M_2/M_1$$

$$N_1/N_2 = 44/2 = 22$$

Ответ*:* $N_1/N_2 = 22$

Пример 6. В баллоне объемом $V = 10$ л находится гелий под давлением $p_1 = 1$ МПа и при температуре $T_1 = 300$ К. После того, как из баллона было взято $m = 10$ г гелия, температура в баллоне понизилась до $T_2 = 290$ К. Определить давление p_2 гелия, оставшегося в баллоне, и изменение внутренней энергии газа.

Условие:

$V = 10$ л $= 10^{-2}$ м^3;

$p_1 = 1{,}0$ МПа $= 1{,}0\cdot10^6$ Па;

$T_1 = 300$ К;

$m = 10$ г $= 1{,}0\cdot10^{-2}$ кг;

$T_2 = 290$ К;

$R = 8{,}314$ Дж/кг·К;

$M = 4\cdot10^{-3}$ кг/моль;

p_2 - ? U -?

Решение. Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона, применив его к конечному состоянию газа:

$$p_2V = m_2RT_2/M, \qquad (1)$$

где m_2 – масса гелия в конечном состоянии; M – молярная масса гелия;

R – универсальная газовая постоянная.

Из уравнения (1) выразим искомое давление

$$p_2 = m_2RT_2/MV. \qquad (2)$$

Массу m_2 гелия выразим через массу m_1, соответствующую начальному состоянию, и массу m гелия, взятого из баллона:

$$m_2 = m_1 - m. \qquad (3)$$

Массу m_1 гелия найдем также из уравнения Менделеева- Клапейрона, применив его к начальному состоянию:

$$m_1 = Mp_1V/RT_1. \qquad (4)$$

Подставив выражение массы m_1 в уравнение (2), а затем выражение m_2 в уравнение (1), найдем

$$p_2 = (Mp_1V/RT_1 - m)RT_2/MV, \qquad (5)$$

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1}p_1 - \frac{m}{M}\frac{RT_2}{V}.$$

Формула (5) дает единицу давления

Вычисления

Внутренняя энергия газа в исходном состоянии

$$U_1 = m_1 iRT_1/2M.$$

Для газа, оставшегося в баллоне

$$U_2 = m_2\, iRT_2/2M.$$

Изменение энергии газа

$$U = U_1 - U_2 = R(m_1 - m_2)\,(T_1 - T_2)/M \ = Rm\,(T_1 - T_2)/M.$$

Проверка размерности: $[U]$ = Дж·кг·К·моль/моль·К·кг = Дж.

$[p]$ = К·Па/К – кг · Дж · К · моль/(кг · моль · м^3·К) =

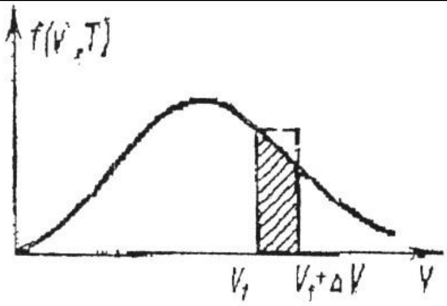
= Па – Дж/м^3 = Па – Н·м/м^3 = Па.

Вычисление: $U = 8{,}314\cdot 0{,}01(300 - 290)/0{,}04 = 208$ (Дж)

$p_2 = 290\cdot 10^6/300 - 1{,}0\cdot 10^{-2}\cdot 8{,}314\cdot 290/(4\cdot 10^{-3}\cdot 10^{-2}) = 3{,}64\cdot 10^5$ (Па.)

Ответ: U = 208 Дж.

Пример 7. Температура окиси азота NO T =300 К. Определить долю молекул, скорости которых лежат в интервале от $v_1 = 820$ м/с до $v_2 = 830$ м/с

Условие: T = 300 К; v_1 = 820 м/с; v_2 = -830 м/с; $\Delta N/N$ - ?	

Решение. Рассматриваемый газ находится в равновесном состоянии, и согласно Максвеллу, относительное число молекул, скорость которых заключена в интервале от v до v + dv

$$\Delta N/N = f\,(v, T)dv,$$

где f (v, T) – функция Максвелла;

dv – настолько малый диапазон скоростей, что в пределах его заведомо f (v, T) = const.

В условии задачи требуется определить долю молекул, скорости которых лежат в диапозоне $\Delta v = v_2 - v_1 = 10$ м/с.

Если в этом пределе функцию Максвелла можно считать с достаточной точностью постоянной, то искомая величина может быть рассчитана по приближенной формуле

$$\Delta N/N = f\,(v_1, N)\Delta v. \qquad (1)$$

Такое приближение соответствует тому, что на рис. 6 заштрихованная площадь приравнивается к площади прямоугольника с основанием v_1 и высотой, равной значению f (v, T).

Следовательно, прежде всего надо найти значения функции Максвелла при $v = v_1$ и $v = v_2$ и выяснить, какую погрешность может дать использование равенства (1).

Функция Максвелла имеет вид

$$f(v, T) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{v}{v_в} \exp\left(-\frac{v}{v_в}\right), \qquad (2)$$

где $v_в = (2kT/m_0)^{1/2} = (2RT/M)^{1/2}$ - (3)

- наиболее вероятная скорость молекул

Для облегчения расчета найдем сначала наиболее вероятную скорость по равенству (3) $v_b = 410$ м/с.

Это означает, что при использовании выражения (23) допускается ошибка относительная величина которой равна

$\delta f = [f(v_1, T) – f(v_2, T)]/f(v_1, T) = 0{,}07 = 7\%$.

Вычисления: $f(v_1,T) = 4{,}03\cdot10^{-4}$ с/м, $f(v_2, T) = 3{,}75\cdot10^{-4}$ с/м.

$\delta f =(4{,}03\cdot10^{-4} - 3{,}75\cdot10^{-4})/ 4{,}03\cdot10^{-4} = 0{,}07 = 7\%$.

Следовательно, с указанной степенью точности можно использовать равенство (2). Тогда доля молекул, скорости которых лежат в заданном интервале

$\Delta N/N = f(v_1, T)\Delta v = 4{,}0 \cdot 10^{-3} = 0{,}4\%$.

Ответ: $\Delta N/N = 0{,}4\%$.

Пример 8. Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул азота, коэффициент диффузии D и вязкость η при давлении $p =1{,}0\cdot10^5$ Па и температуре $t = 17^0$ C.

Условие:

$p =1{,}0\cdot10^5$ Па;

$T = 17^0$ C =290 K;

$d = 3{,}7\cdot10^{-8}$ см;

l -? D - ?

Решение. Средняя длина свободного пробега $<l>$ и коэффициенты переноса D и η могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$<l> = 1/\pi\, 2^{1/2} d^2 n; \qquad (1)$$

$$D = <l>\cdot<v>/3; \qquad (2)$$

$$\eta = <l>\cdot<v>\, nm_0/3, \qquad (3)$$

где n – концентрация молекул газа; $<v>$ - средняя скорость молекул газа; m_0 - масса одной молекулы.

Концентрацию молекул газа по заданным значениям давления и температуры определим из уравнения:

$$p = nkT. \qquad (4)$$

Выражая концентрацию из уравнения (4) и подставляя в (1) получим $<l> = kT(\pi 2^{1/2} d^2 p) = 6{,}5\cdot10^{-8}$ м.

Средняя скорость $\langle v\rangle = (8RT/M)^{1/2}$

Для расчета коэффициента диффузии по формуле (2) воспользуемся полученным результатом, тогда $D = 1{,}0\cdot 10^{-5}$ м^2/с.

Для расчета n подставим в выражение (3) формулу (1)

$$\eta = m_0 \langle v\rangle/3\pi 2^{1/2} d^2,$$

где $m_0 = M/N_A$. Окончательно

$$\eta = M\langle v\rangle/3\pi 2^{1/2} d^2 N_A$$

Проверяем размерность: $[\eta] = \dfrac{кг \cdot м \cdot моль}{моль \cdot с \cdot м^2} = \dfrac{кг}{м \cdot с}$

Вычисление: $\langle v\rangle = \sqrt{8 \cdot 8.,314/0,028}$ =470 м/с.

$\eta = 0{,}028 \cdot 470/9{,}42 \cdot 1{,}4\ 3{,}7 \cdot 10^{-10} \cdot 6{,}023 \cdot 10^{23} = 1{,}2\cdot 10^{-5}$ кг/м·с

Ответ: $\eta = 1{,}2\cdot 10^{-5}$ кг/м·с

Пример 9. Двухатомный идеальный газ занимает при давлении $p_1 = 3\cdot 10^5$ Па объем $V_1 = 4$ л, его расширяют до объема $V_2 = 6$ л, при этом давление падает до значения $p_2 = 1{,}0\cdot 10^5$ Па. Процесс происходит сначала по адиабате, затем по изохоре. Определить работу сил давления газа А, изменение внутренней энергии и количество теплоты Q, поглощенной при переходе.

Условие:

$p_1 = 3{,}0\cdot 10^5$ Па;

$p_2 = 1{,}0\cdot 10^5$ Па;

$V_1 = 4$ л $= 4{,}0\cdot 10^{-3}$ м^3;

$V_2 = 6$ л $= 6{,}0\cdot 10^{-3}$ м^3;

А - ? U -? Q - ?

Решение. Газ участвует в двух процессах: а) адиабатное расширение из состояния 1 в состояние 2, при котором объем V_2, давление p – неизвестно; б) изохорный переход из состояния 2 в состояние 3. Чтобы определить характер изохорного процесса – нагревание или охлаждение – надо найти промежуточное значение давления p.

Согласно уравнению адиабаты $p_2/p_1 = (V_1/V_2)^\gamma$ (1)

Газ двухатомный, следовательно, $\gamma = (i + 2)/i = 1{,}4$.

Таким образом $p = 3{,}10^5 (2/3)^{1,4} > p_2 = 1{,}0\cdot 10^5$ Па.

Последнее неравенство показывает, что при изохорном переходе из состояния 2 в состояние 3 давление газа уменьшается и, следовательно, процесс 2-3 есть процесс изохорного охлаждения (p/T = const при V =const).

Чтобы найти работу A_{12} и количество поглощенной теплоты Q_{13} при переходе из состояния 1 в состояние 3 надо рассмотреть каждый из указанных процессов отдельно. При этом

$$A_{13} = A_{12} + A_{23}, \quad Q_{13} = Q_{12} + Q_{23}.$$

Изменение внутренней энергии не зависит от процесса и в любом случае: $U = i\, m\, R(T_2 - T_1)/2M$. (1)

Неизвестные значения T_1 и T_2 и m/M можно найти из уравнения Клапейрона - Менделеева. На участке 1- 2 количество поглощенной теплоты $Q_{12} = 0$. Работа газа A_{12} может быть определена по изменению внутренней энергии U_{12} с использованием уравнения Клапейрона – Менделеева и уравнения адиабаты. На участке 2-3 работа газа $A_{23} = 0$, количество поглощенной теплоты

$$Q_{23} = m\,C_v(T_2 – T_1)/M. \quad (2)$$

Работа газа при адиабатном процессе

$$A_{12} = - U_{12} = i\,m\,R(T_2 – T_1)/2M.$$

Используя уравнение Клапейрона – Менделеева для состояний 1 и 2 получим

$$A_{12} = i\,(p_1V_1 – p_2V_2)/2.$$

Из уравнения адиабаты

$$p = p_1\,(V_1/\,V_2)^{\gamma}$$

Тогда A_{12} = 450 Дж. Учитывая, что $A_{23} = 0$, находим $A_{12} = A_{13}$ = 450 Дж.

При изохорном процессе молярная теплоемкость $C_v = iR/2$. Подставляя это выражение в уравнение (32) и используя уравнение Клапейрона – Менделеева для состояний 2 и 3, получим

$$Q_{23} = i\,(\,p_2\,V_2 – p\,V_2\,) = - 1050 \text{ Дж}.$$

Поскольку $Q_{12} = 0$, общее количество теплоты $Q_{13} = Q_{23.}$ Газ отдавал теплоту окружающим телам. Изменение внутренней энергии согласно (3)

$$U_{12} = i\,(\,p_2\,V_2 – p_1\,V_1)/2.$$

Вычисление: $p_1 = 3{,}10^5\,(2/3)^{1{,}4}$, $p_2 = 1{,}0·10^5$ Па.

$p = 10^5\,(6/4)^{1{,}4} =1{,}7·10^5$ Па.

$U_{12} = 5\,(\,1{,}7^{·}4 –1{,}0\ ^{·}6)10^5\ 10^{-3}/2 = - 1050$ Дж.

Ответ: U_{12} = - 1050 Дж

Пример 10. Кислород, масса которого m = 200 г нагревают от температуры $t_1 =27^0$ С до $t_2 = 127^0$ С. Найти изменение энтропии, если известно, что начальное и конечное давления одинаковы и близки к атмосферному.

Условие:

m = 200 г = 0,200 кг;

$T_1 = 27^0$ С = 300 К;

$T_2 = 127^0$ С = 400 К;

i = 5;

$M = 32·10^{-3}$ кг/моль;

Δ S - ?

Решение. Газ подчиняется законам идеального газа, характер процесса нагрева неизвестен, но изменение энтропии системы при переходе из одного состояния в другое определяется только параметрами состояния и не зависит от характера процесса.

Найти изменение энтропии можно, рассмотрев произвольный обратимый процесс, в результате которого систему (в данном случае идеальный газ) можно перевести из состояния 1 в состояние 2 (рис.8).

На рис. 8 показаны два возможных квазистатических процесса: первый – изобарное расширение 1 –2; второй – изотермическое расширение 1 – 3 с последующим изохорным нагреванием 3- 2.

Для процесса 1 –2 $S_2 - S_1 = \int_1^2 \partial Q_p / T$ (1)

где $Q_p = m\, C_p\, dT/M$.

Для процесса 1-3-2 $S_2 - S_1 = \int_1^3 \partial Q_T / T + \int_3^2 \partial Q_V / T$, (2)

где $\partial Q_T = \partial A = pdV$, $\partial Q_V = mC_V dT/M$.

Найдем изменение энтропии, рассматривая изобарный процесс 1-2. При изобарном процессе молярная теплоемкость C_P = const = (i + 2)R/2. Подставляя выражение Q_P под знак интеграла равенства (33) и учитывая постоянство C_P, получим

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m(i+2)}{M} R \frac{dT}{T} = m(i+2)R \ln (T_2/T_1)/2M$$

Результат не изменится и при переходе 1-3-2. Подставляя выражения Q_T и Q_V в (34) и учитывая, что при изотермическом процессе $p = p_1 V_1/V = mRT_1/MV$ получим

$$S_2 - S_1 = mR\ln (V_2/V_1)/M + mC_V \ln (T_2/T_1)/M.$$

Учитывая, что $T_2 = T_1$, $V_3 = V_2$, а также $T_2/T_1 = V_2/V_1$, получим

$$S_2 - S_1 = m(i + 2)R \ln (T_2/ T_1)/2M$$

Проверяем размерность: $\Delta S = \frac{кг \cdot Дж \cdot моль}{моль \cdot К \cdot кг} = \frac{Дж}{К}$.

Вычисление: $S_2 - S_1$ = 0,2(5+ 2)8,31 ln (400/ 300)/0,064 = 52 (Дж/К).

Ответ: $S_2 - S_1$ = 52 Дж/К.

Пример 11. α-частица движется по окружности радиусом 8,3 мм в однородном магнитном поле, напряженность которого 18,9 кА/ м. Найти длину волны де Бройля для α-частицы.

Условие:

$R = 8{,}3 \cdot 10^{-3}$ м

$H = 18{,}9 \cdot 10^{3}$ А,м

Λ _ ?

Решение. На α-частицу, движущуюся в однородном магнитном поле, действует сила Лоренца F =qVB, которая является центростремительной силой и сообщает частице ускорение $a_n = \frac{V^2}{R}$ По второму закону Ньютона

$$F = ma_n = \frac{mV^2}{R}$$

Приравнивая правые части уравнений, получаем: $\frac{mV^2}{R} = qVB$,

откуда скорость частицы $V = \frac{qBR}{m}$

Магнитная индукция связана с напряженностью магнитного поля соотношением $B = \mu\mu_0 H$

Подставляя, получаем скорость частицы $V = \frac{qBR\,\mu\mu_0 H}{m}$

Подставляя выражение скорости, получаем длина волны де Бройля равна $\lambda = \frac{h}{mV} = \frac{h}{qB\mu\mu_0 H}$

Вычисление $\lambda =$ 6,623·10^{-34}/ 1,6·10^{-19}· 12,56·10^{-7}·18,9·10^{3}·8,3·10^{-3} = 13,11·10^{-9} = 13,11 (нм)

Ответ: λ = 13,11 нм

Пример 12. Найти активность 1 мкг полония

Условие:

м = 10^{-6} кг

μ =0,210 кг/моль

$T_{1/2}$ = 30 сут

А-?

Решение. Активность радиоактивного изотопа равна А =λN

Постоянная распада равна: $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

Число атомов полония равно: $N = \frac{m}{\mu} N_A$

Подставляя, получаем: А =$\lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{\mu} N_A$

Вычисление: А = 10^{-6} 0,693·6,02·10^{23}/0,210· 30·8,64·10^{4} = 1,67·10^{8} (Бк)

Ответ: А = 1,67·10^{8} Бк

ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

1. Определить первоначальную длину математического маятника, если при изменении его длины до 4 м период колебаний уменьшится в 2 раза.

2. Определить длину математического маятника, если известно, что при уменьшении длины нити на 5 см частота колебаний увеличится в 1,5 раза.

3. К пружине подвешена чашка весов с гирями. Период вертикальных колебаний чашки равен 0.1 с. После того как на чашку положили добавочные гири, период вертикальных колебаний стал равен 0,2 с. На сколько удлинилась пружина от прибавления добавочного груза?

4. Стержень длиной 50 см совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей через точку, которая расположена на расстоянии 12,5 см от конца стержня. Определить частоту колебаний стержня

5. Скорость звука в воде 1400 м/с. На каком расстоянии находятся ближайшие точки, совершающие колебания в противоположных фазах, если частота колебаний 100 Гц?

6. Первичная обмотка понижающего трансформатора с коэффициентом трансформации 10 включена в сеть напряжением 220 В. Сопротивление вторичной обмотки трансформатора 1,2 Ом. Сила тока в цепи, подключенной к вторичной обмотке 5 А. Определить напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора. Потерями в первичной обмотке пренебречь

7. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 10 пФ и катушки индуктивностью 10 мГн. В начальный момент в конденсаторе запасена энергия электрического поля 100 Дж. Найти амплитудные значения заряда на конденсаторе и силы тока в цепи, а также зависимость от времени заряда и силы тока

8. Какова должна быть электроемкость конденсатора, чтобы с катушкой индуктивности 25 мкГн, обеспечить настройку в резонанс на длину волны 100 м. Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.

9. На какую длину волны настроен колебательный контур, если он состоит из катушки, индуктивность которой равна 2 мГн, и плоского конденсатора, расстояние между пластинами которого 1 см, площадь пластин 0,08 $м^2$, диэлектрическая проницаемость вещества в конденсаторе равна 11.

10. При изменении тока в катушке индуктивности за 1 с возникает ЭДС индукции $4 \cdot 10^{-4}$ В. Емкость конденсатора $2 \cdot 10^{-10}$ Ф. Сколько длин волн, генерируемых этим контуром, уложится на отрезке 1507,м в среде с показателем преломления 1,5. Скорость света в вакууме равна $3 \cdot 10^8$ м/с

11. Показатели преломления алмаза и стекла равны соответственно 2,4 и 1,5. Каким должно быть отношение толщины стекла к толщине алмаза, чтобы время распространения света в них было одинаковым?

12. На стеклянную пластинку с показателем преломления 1,33 нанесена прозрачная пленка с показателем ^{преломления} 1,4. На пленку нормально к поверхности падает монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Какова наименьшая толщина пленки, если в результате интерференции отраженные лучи максимально ослаблены?

13. Каково расстояние между 20-м и 21-м максимумами светлых колец Ньютона, если расстояние между 2-м и 3-м – 1 мм, а наблюдение ведется в отраженном свете?

14. Радиус 4-й зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3 мм. Определить радиус 12-й зоны из той же точки наблюдений.

15. Под углом 30^0 наблюдается 4-й максимум для длины волны 0.644 мкм. Определить постоянную дифракционной решетки, если она позволяет разрешить 0,322 нм.

16. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора равен 45^0. Во сколько раз изменится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить на 15^0?

17. Цинковую пластину осветили ультрафиолетовым светом с длиной волны 30нм. Определить на какое максимальное расстояние от пластины удалится фотоэлектрон, если вне пластинки имеется задерживающее однородное поле напряженностью 10 в/см. Работа выхода электрона из цинка равна 4 эВ

18. Сколько фотонов попадает за 1 с в глаз человека, если глаз воспринимает свет с длиной волны 0,44 мкм при мощности светового потока $0{,}45 \cdot 10^{-16}$ Вт. Постоянная Планка равна $6{,}625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.

19. Работа выхода электронов из ртути равна 4,53 эВ. Возникает ли фотоэффект, если на поверхность ртути падает видимое излучение. Диапазон видимого излучения (0,38 – 0,76) мкм Постоянная Планка равна $6{,}625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.

20. Вычислите энергию излучаемую с поверхности Солнца площадью 1 $м^2$ за 1 минуту. В какой области спектра лежит длина волны, соответствующая максимуму излучательной способности Солнца, если температура его поверхности равна 5800 К.

21. При каком давлении находится газ в баллоне емкостью 10 л, если полная кинетическая энергия его молекул составляет 3 кДж

22. В баллоне находится гелий при температуре 350 К. Определить температуру гелия после того как половина газа была выпущена из баллона, а его давление при этом уменьшилось на 60%.

23. Баллон объема 100 л наполнили воздухом при 27^0С до давления 10^8 Па. Какой объем воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки, если вытеснение производится на глубине 40 м. Температура воздуха после расширения 3^0 С, плотность воды 100 кг/$м^3$

24. В двух стеклянных баллонах одинакового объема 1 $дм^3$ находится воздух при температуре 0^0 С. Шары соединены достаточно длиной трубкой диаметром 4 мм. На какое расстояние переместится капелька ртути, помещенная в трубку, если один шар нагреть до температуры 1^0С, а другой охладить до температуры – 1^0С?

25. Азот массой 0,005 кг находится в закрытом сосуде объемом 4 л при температуре 293 К. Азот нагревают до 313 К. Найти давление газа до и после нагревания. Молярная масса азота 0,028 кг/моль.

26. Плотность воздуха при нормальных условиях равна 1, 293 кг/$м^3$. Какова плотность воздуха при температуре 100^0С и давлении $4 \cdot 10^5$ Па?

27. При какой температуре Т средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше их наиболее вероятной на Δv=100 м/с. Молярная масса кислорода $M = 32 \cdot 10^{-2}$ кг/ моль.

28. При какой температуре молекулы водорода имеют такую же среднеквадратичную скорость, как молекулы аргона при $t = 27^0$ С? Молярная масса водорода $M_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, аргона $M_2 = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

29. На какой высоте давление воздуха составляет 60% от давления на уровне моря? Считать, что температура воздуха везде одинакова и равна t = 10^0 С.

30. Найти среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа при температуре 100^0 С и давлении 13,3 кПа. Диаметр молекул углекислого газа 0,32нм.

31. Идеальный двухатомный газ находится в закрытом сосуде объемом 2 л под давлением 100 кПа. Какое количество теплоты над сообщить газу, чтобы увеличить давление вдвое.

32. Некоторая масса газа, занимающего объем 0,01 $м^3$ находится при температуре 300 К и давлении 0,1 МПа. Газ нагревается в начале при постоянном объеме до температуры 330К. а затем при постоянном давлении до температуры 360 К. Построить график процесса в PV – координатах и найти работу, совершаемую при переходе из начального состояния в конечное.

33. Неон массой 1,5 кг сжимают при постоянном давлении, затрачивая на это работу 10^5 Дж, давление газа $2 \cdot 10^5$ Па., начальная температура газа 300 К. До какого объема был сжат неон. Молярная масса неона 0.02 кг/моль.

34. Газ находится в вертикальном цилиндре при температуре 300 К под невесомым стержнем площадью 0,012 $м^2$. На поршень кладут гирю, и он опускается. Какова масса гири, если при нагревании до 360 К поршень оказался на той же высоте? Атмосферное давление 10^5 Па. Ускорение свободного падения равно 10 $м/с^2$

35. Кислороду, находящему при постоянном давлении $2 \cdot 10^5$ Па, сообщили 7 кДж теплоты. Каково изменение его внутренней энергии, если объем увеличился на 0,01 $м^3$?

36. Двухатомный газ совершает цикл Карно. Определить КПД цикла, если известно, что на каждый моль этого газа при его адиабатном сжатии затрачивается работа 2 кДж. Температура нагревателя 127^0

37. Наименьший объем газа, совершающего цикл Карно равен 12 л. Определить наибольший объем, если объем газа в конце изотермического расширения 60 л, в конце изотермического сжатия – 19 л.

38. Кислород массой 1 кг при давлении 0,5 МПа и температуре 127^0С , изобарно расширяясь, увеличивает свой объем в 2 раза. А затем сжимается изотермически до давления 4 МПа. Определить суммарное изменение энтропии. Молярная масса кислорода 0,032 кг/моль

39. Определить приращение энтропии углекислого газа массой 1 кг в процессе сжатия от давления 0,2 МПа при температуре 40^0С до давления 4,5 МПа при температуре 453^0С

40. Воздух массой 1 кг сжимают адиабатно так, что объем его уменьшается в 6 раз, а затем при постоянном объеме давление возрастает в 1.5 раза. Определить приращение энтропии.

41. Наименьшая орбита электрона в невозбужденном состоянии атома водорода равна $5{,}28 \cdot 10^{-11}$ м. Определите радиус орбиты электрона в атоме водорода, когда электрон находится на третьем энергетическом уровне

42. Определите длину волны электромагнитного излучения атома водорода, если электрон перешел с пятого энергетического уровня на второй. Постоянная Ридберга равна 109737,31 $см^{-1}$.

43. Вычислить длину волны де – Бройля для протона с кинетической энергий 100 эВ.

44. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов 510 кэВ. Определить длину волны де –Бройля, учитывая релятивистские эффекты

45. Молекула водорода участвуют в тепловом движении при температуре 300 К. Какова при этом неопределенность координаты, определяющей положение молекулы. Молярная масса молекулы водорода 0.002 кг/моль

46. Длительность возбужденного состояния атома водорода соответствует примерно 10^{-7} с. Какова неопределенность энергии в этом состоянии?

47. Наименьшая неточность, с которой можно определить координату электрона в атоме водорода порядка 10^{-10} м. Найти неопределенность средней кинетической энергии электрона в невозбужденном состоянии атома водорода.

48. Наибольшая длина волны спектральной водородной линии серии Лаймана равна 121,6 нм. Вычислить наибольшую длину волны серии Бальмера.

49. Какую работу нужно совершить, чтобы удалить электрон со второй орбиты атома водорода за пределы притяжения его ядром?

50. Электрон движется по второй орбите атома водорода. Определить длину волны де- Бройля.

51. Найти энергию связи ядер $^{235}_{92}U$ и $^{238}_{92}U$. Какое из этих ядер более устойчиво?

52. За какое время произойдет распад $^{210}_{84}Po$ массой 2 мг, если в начальный момент его масса равна 0,2 г? Период полураспада полония 138 суток

53. Сколько α –частиц выбрасывает торий $^{232}_{90}Th$ массой 1 г за 1 с? Период полураспада тория $1{,}39 \cdot 10^{11}$ лет

54. В какой элемент превращается уран $^{238}_{92}U$ после трех α и двух β – превращений?

55. В какой элемент превращается радий $^{226}_{88}U$ после пяти α- и четырех β – распадов?

56. Сколько энергии можно получить при расщеплении урана $^{235}_{92}U$ массой 1 г, если при расщеплении каждого ядра выделяется энергия 200 МэВ?

57. Найти электрическую мощность атомной электростанции, расходующей уран $^{235}_{92}U$ массой 0,1 кг в сутки, если КЛД станции 24%.

58. Мощность уранового реактора 1 МВт. Сколько урана $^{235}_{92}U$ потребляет он на 1 ч, если при делении каждого ядра выделятся энергия 200 МэВ?

59. Сколько ядер распадается за 1 с в куске урана $^{235}_{92}U$ массой 1 кг?. Какова активность урана. Период полураспада урана $7{,}1\cdot10^{8}$ лет

60. На АЭС за 1 год расходуется 19.5 кг урана-235. КПД станции 25%. Найдите ее электрическую мощность. При делении одного ядра урана выделяется энергия 200 МэВ.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Фундаментальные константы

Название константы.	Обозн.	Значение.	Измерение
Гравитационная постоянная.	G	$6{,}672\cdot10^{-11}$	$Н*м^2/кг^2$
Ускорение свободного падения	G	9,8065	$м/с^2$
Атмосферное давление	p_0	101325	Па
Постоянная Авогадро	N_a	$6{,}022045\cdot10^{23}$	$моль^{-1}$
Объем 1моль идеального газа	V_0	22,41383	$м^3/моль$
Газовая постоянная	R	8,31441	$\frac{Дж}{моль*К}$
Постоянная Больцмана	K	$1{,}380662\cdot10^{-23}$	Дж/К
Скорость света в вакууме	C	$2{,}9979245\cdot10^{8}$	м/с
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}=$ $1{,}25663706\cdot10^{-6}$	Гн/м
Электрическая постоянная	ε_0	$8{,}8541878\cdot10^{-12}$	Ф/м
Масса покоя электрона	m_e	$9{,}109534\cdot10^{-31}$	кг
Масса покоя протона	m_p	$1{,}6726485\cdot10^{-27}$	кг
Масса покоя нейтрона	m_n	$1{,}6749543\cdot10^{-27}$	кг
Элементарный заряд	E	$1{,}6021892\cdot10^{-19}$	Кл
Отношение заряда к массе	e/m_e	$1{,}758804\cdot710^{11}$	Кл/кг
Постоянная Фарадея	F	$9{,}648456\cdot10^{4}$	Кл/моль
Постоянная Планка	h	$6{,}626176\cdot10^{-34}$	Дж*с
	$\hbar=\frac{h}{2\pi}$	$1{,}054887\cdot10^{-34}$	Дж*с
Радиус 1 боровской орбиты	a_0	$0{,}5291770\cdot610^{-10}$	м
Энергия покоя электрона	m_ec^2	0.511034	МэВ
Энергия покоя протона	m_pc^2	938.2796	МэВ
.Энергия покоя нейтрона	m_nc^2	939.5731	МэВ

3. Массы некоторых нейтральных атомов в а.е.м.

Элемент	Изотоп	Масса	Элемент	Изотоп	Масса
Водород	H_1^1	1,00783	Алюминий	${}_{13}^{27}Al$	26,98153
Водород	H_1^2	2,01410	Магний	${}_{12}^{24}Mg$	23,98504
Водород	H_1^3	3,01605	Серебро	${}_{47}^{107}Ag$	107,868
Гелий	${}_2^4He$	4,00260	Бериллий	${}_4^9Be$	9,01505
Гелий	${}_2^3He$	3,01603	Уран	${}_{92}^{235}U$	235,11750
Углерод	${}_6^{12}C$	12,00380			
Литий	${}_3^7Li$	7,01601			
Кислород	${}_8^{17}O$	17,00456			

Эффективные диаметры атомов и молекул

Вещество	Диаметр
Гелий	$0{,}20\cdot10^{-9}$ м
Водород	$0{,}23\cdot10^{-9}$ м
Кислород	$0{,}30\cdot10^{-9}$ м
Азот	$0{,}30\cdot10^{-9}$ м

Работа выхода электронов из металла

Вещество	Работа выхода, эВ	Вещество	Работа выхода, эВ
Алюминий	3,7	Никель	4,8
Вольфрам	4,5	Платина	6,3
Литий	2,3	Цезий	1,8
Медь	4,4	Цинк	4,0

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			**Приставка**		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пэта	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^{9}	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^{6}	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^{3}	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^{2}	фемто	ф	10^{-15}

дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}

Греческий алфавит

Обозначения букв	**Названия букв**	**Обозначения букв**	**Названия букв**
Α,α	альфа	Ν,ν	ню (ни)
Β,β	бета	Ξ,ξ	кси
Γ,γ	гамма	Ο,ο	омикрон
Δ,δ	дельта	Π,π	пи
Ε,ε	эпсилон	Ρ,ρ	Ро
Ζ,ζ	дзета	Σ,σ	сигма
Η,η	эта	Τ,τ	тау
Θ,θ	тета	Υ,υ	ипсилон
Ι,ι	йота	Φ,φ	фи
Κ,κ	каппа	Χ,χ	хи
Λ,λ	лямбда	Ψ,ψ	пси
Μ,μ	ми (мю)	Ω,ω	омега