Федеральное Агентство Железнодорожного Транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
(МИИТ)

Одобрено кафедрой
«Физика и химия»

ФИЗИКА

Задания на контрольные работы № 3 и № 4
с методическими указаниями для студентов 2 курса

направления: 190300.65 «Подвижной состав»
специализаций: «Вагоны», «Локомотивы», «Высокоскоростной наземный транспорт», «Технология производства и ремонт подвижного состава», «Электрический транспорт железных дорог»

Москва - 2012

Составители: док. физ.-мат. наук, доц. Шулиманова З.Л.

Рецензент: канд. тех. наук, доц. Климова Т.Ф.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений профессиональной деятельности специалистов специальности «Подвижной состав» является управление технической и технологической эксплуатацией железнодорожных транспортных систем.

Основой современной техники и технологии являются фундаментальные законы физики, знание которых позволяет изучать и анализировать информацию, технические данные, показатели и результаты работы транспортных систем. Решение задач по курсу общей физики позволяет применять физические явления и законы в практических приложениях, что способствует выработке аналитического инженерного мышления и формированию естественнонаучного мировоззрения.

Данные методические указания направлены на оказание помощи студентам заочной формы обучения при самостоятельной работе по изучению физики.

В пособии приведены основные формулы разделов общей физики, изучаемых на 2 курсе, даны примеры решения типовых задач и методические указания по оформлению.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Проверкой степени усвоения теоретических знаний по физике является умение решения физических задач. Прежде чем решать задачи контрольной работы студент должен познакомиться с основными формулами, типовыми примерами решения некоторых задач, указанных в методическом пособии.

Правила оформления контрольной работы и решения задач:

1. Каждая контрольная работа оформляется в отдельной тетради, на обложке которой приводятся сведения о студенте (фамилия, имя, отчество, факультет, шифр, номер специальности), а также номер контрольной работы.
2. Решение каждой задачи начинается на отдельном листе.
3. Все задачи решаются в системе СИ.
4. Условие задачи переписывается полностью без сокращений.
5. Кратко записываются данные задачи в тех единицах, которые указаны в условии и производится перевод размерности величин в СИ (если это необходимо) и указываются величины, которые нужно определить.
6. В большей части задач необходимо выполнять чертежи или рисунки с обозначением всех величин. Рисунки выполняются аккуратно, используя чертежные инструменты.
7. В решении указываются явления и законы, которые используются для решения с записью соответствующих формул.
8. С помощью этих законов, учитывая условие задачи, нужно получить необходимые расчетные формулы.
9. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.
10. Получив расчетную формулу, необходимо проверить её размерность (размерность должна совпадать с размерностью искомой физической величины);

Пример проверки размерности:

$$[v] = [GM/R]^{1/2} = \{[\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}] \cdot [\text{кг}] \cdot [\text{м}^{-1}]\}^{1/2} = (\text{м}^2/\text{с}^2)^{1/2} = \text{м/с}.$$

11. Основные физические законы, которыми следует пользоваться при решении задач (выводах расчетных формул), приведены в данном методическом пособии.
12. После проверки размерности полученных формул проводится численное решение задачи (вычисления).
13. Вычисления следует проводить по правилам приближенных вычислений с точностью, соответствующей точности исходных числовых данных условия задачи с привлечением табличных значений некоторых физических величин (если это необходимо).

14. После вычислений необходимо записать ответ с указанием вычисленного значения искомой величины.

15. В конце контрольной работы нужно *указать учебники, учебные пособия, использованные студентом при решении задач, дату сдачи контрольной работы и поставить свою подпись.*

16. Контрольная работа сдается студентом на кафедру за две недели до начала экзаменационной сессии по данному предмету для проверки её преподавателем, который по результатам проверки, осуществляет допуск к защите контрольной работы.

17. Если контрольная работа не допускается к защите, студент производит ***работу над ошибками в той же тетради*** и сдает её на повторное рецензирование.

18. Во время защиты контрольной работы студент должен быть готов устно дать исчерпывающие пояснения к решению всех задач или решить предложенные тестовые задачи по той же тематике.

19. Выбор задач производится по ***таблице вариантов*** по следующей схеме:

Номера первых четырёх задач выбираются из варианта, соответствующего последней цифре шифра студента, номера двух последних – из варианта, соответствующего предпоследней цифре шифра.

Например, **для шифра 1110-ПСс - 1259 первые четыре задачи берут из 9 варианта, а пятую и шестую– из 5 варианта.**

Контрольная работа №3

Таблица 1

Варианты	**Номера задач**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
0	300	310	320	330	340	350
1	301	311	321	331	341	351
2	302	312	322	332	342	352
3	303	313	323	333	343	353
4	04	314	324	334	344	354
5	305	315	325	335	345	355
6	306	316	326	336	346	356
7	307	317	327	337	347	357
8	308	318	328	338	348	358
9	309	319	329	339	349	359

Тематика задач

100-109 - механические и электромагнитные колебания;
110-119 - механические и электромагнитные волны;
120-129 - интерференция, дифракция и поляризация световых волн;
130-139 - законы теплового излучения, фотоэффект;

140-149 - эффект Комптона;
150-159 - волны де Бройля, соотношение неопределенностей.

Контрольная работа № 4

Таблица 2

Варианты	Номера задач					
	1	2	3	4	5	6
0	400	410	420	430	440	450
1	401	411	421	431	441	451
2	402	412	422	432	442	452
3	403	413	423	433	443	453
4	404	414	424	434	444	454
5	405	415	425	435	445	455
6	406	416	426	436	446	456
7	407	417	427	437	447	457
8	408	418	428	438	448	458
9	409	419	429	439	449	459

Тематика задач

200- 209 - законы идеального газа, уравнение состояния идеального газа;
210- 219 - распределение Максвелла по скоростям, явления переноса;
220- 229 – первое начало термодинамики, теплоемкость;
230-239 – круговые циклы, энтропия;
240-249 - спектры водородоподобных атомов , радиоактивный распад;
250-259 - ядерные реакции, энергия связи и дефект массы.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2002(2001)
3. Трофимова Т.И. Физика в таблицах и формулах – М.: Дрофа, 2002.
4. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. – М.: Высшая школа, 2001.
5. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Ф. Основы физики. – М.: Высшая школа, 2002.
6. Яворский А.А., Детлаф Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2002.
7. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по общему курсу физики с решениями. – М.: Высшая школа, 2001.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по курсу физики. – СПб.: СпецЛит, 2001.
9. Изергина Е.Н., Петров Н.И. Все решения к «Сборнику задач по общему курсу физики» В.С.Волькенштейн. – М.: Олимп, 2003.
10. Чертов А.Г., Воробьёв А.А. Задачник по физике. – М.: Высшая школа, 2001.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

Механические колебания и волны

• Уравнение гармонических колебаний

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_0),$$

где A – амплитуда колебаний, ω -циклическая частота, t- время, φ_0 -начальная фаза колебаний, $(\omega t + \varphi_0)$ - фаза колебаний;

• Циклическая частота

$$\omega = 2\pi\nu, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}, \quad T = \frac{1}{\nu}$$ - период колебаний;

• Скорость точки, совершающей гармонические колебания

$$V = \frac{dx}{dt} = A\omega\cos(\omega t + \varphi_0);$$

$$V_{\max} = A\omega$$

• Ускорение точки, совершающей гармонические колебания

$$a = \frac{dV}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x;$$

$$|a_{\max}| = A\omega^2$$

• При сложении колебаний одного направления и одинаковой частоты

- результирующая амплитуда колебаний находится по формуле:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1^2 A_2^2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})}$$

- начальная фаза результирующего колебания

$$tg\varphi_0 = \frac{A_1 \sin\varphi_{01} + A_2 \sin\varphi_{02}}{A_1 \cos\varphi_{01} + A_2 \cos\varphi_{02}};$$

• Дифференциальное уравнение колебаний материальной точки

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0;$$

• Период колебаний пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}};$$

где m- масса груза, k –коэффициент упругости пружины

• Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где g – ускорение свободного падения, l - длина нити маятника;

• Период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}} \quad ,$$

где L – приведённая длина физического маятника, J- момент инерции, l - расстояние от точки подвеса до центра масс маятника;

• Полная энергия гармонических колебаний

$$E = \frac{mA^2\omega^2}{2};$$

• Уравнение затухающих колебаний

$$x = A_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi_0),$$

где $A(t) = A_0 e^{-\beta t}$ - зависимость амплитуды колебаний от времени t; A_0 – начальная амплитуда; e – основание натурального логарифма; $\beta = \frac{r}{2m}$ - коэффициент затухания; r – коэффициент сопротивления;

• Частота затухающих колебаний

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2},$$

где ω_0 - частота свободных колебаний

• Логарифмический декремент затухания

$$\delta = \ln\frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T;$$

• Резонансная частота колебаний

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

Электромагнитные колебания

• Заряд на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $q = q_0\sin(\omega t + \varphi_0)$ или $q = q_m\sin(\omega t + \varphi_0)$, где $q_0 = q_m$ - максимальное значение заряда;

• Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре

$U = U_m\sin(\omega t + \varphi_0)$, где $U_m = \frac{q}{C}$ - максимальное (амплитудное) значение напряжения;

• Сила тока в колебательном контуре

$I = I_m\cos(\omega t + \varphi_0)$, где $I_m = \omega q_m$ - максимальное (амплитудное) значение тока;

• Период электромагнитных колебаний

$T = 2\pi\sqrt{LC}$, где L – индуктивность катушки, C – ёмкость конденсатора;

• Действующее (эффективное) значение тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

• Действующее (эффективное) значение напряжения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

• Резонансная частота $\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$;

• Для цепи, состоящей из сопротивления R, ёмкости C и индуктивности L сопротивление равно $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$, где ωL - реактивное сопротивление, $1/\omega C$ - ёмкостное сопротивлении;
• Среднее значение мощности
$$\langle P \rangle = IU\cos\varphi \ .$$

Механические волны

• Уравнение плоской волны
$$y(x,t) = A\cos(\omega t - kx)\,,$$
где $k = \frac{\omega}{V}$ - волновое число, V - модуль скорости распространения волны;
$k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ - длина волны, $V = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$;

• Разность фаз колебаний точек, отстоящих друг от друга на расстоянии Δx
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda} = \frac{2\pi(x_2 - x_1)}{\lambda};$$
• Эффект Доплера для звуковых волн
$$\nu = \frac{V_{зв} \pm U_{пр}}{V_{зв} \mp U_{ист}}\nu_0,$$
где ν - частота звуковых колебаний, воспринимаемая движущимся приемником, ν_0 - частота звуковых колебаний, испускаемых источником;

Электромагнитные волны

• Электромагнитная волна –возмущения электрического и магнитного полей, распространяющиеся в пространстве.
• Напряженность электрического поля изменяется по закону
$$E = E_m\sin(\omega t - kx + \varphi_0)\text{, где } k = \frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ - волновое число;}$$
• Индукция магнитного поля изменяется по закону
$$B = B_m\sin(\omega t - kx + \varphi_0)\text{, причем } \vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{V}\ ;$$

• Связь магнитной индукции и напряженности магнитного поля
$$\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}\,,$$
где $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ - магнитная проницаемость среды;
• Мгновенные значения E и H в любой точке волны

$$\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon}E = \sqrt{\mu_0\mu}H\ , \ ;$$

• Вектор плотности потока электромагнитной энергии (вектор Умова – Пойнтинга) $\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}]$, $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{S}$; направление $\vec{S}$ совпадает с направлением распространения волны; Модуль S = EH;

• Скорость распространения электромагнитной волны $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;

• Энергия, переносимая через площадку S , перпендикулярную направлению распространения волны, в единицу времени

$$\frac{dW}{dt} = \omega c S\ ,$$

где $\omega = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu_0 H^2}{2}$ - объёмная плотность энергии.

Оптика

• Скорость света в среде

$$V = \frac{c}{n}\ ,$$

где $c = 3 \cdot 10^8\ м/с$-скорость света в вакууме, n – абсолютный показатель преломления;

• Закон отражения света – угол падения равен углу отражения

• Закон преломления света

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}\ ,$$

где i- угол падения, β- угол преломления. $n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$ - относительный показатель преломления второй среды относительно первой;

• Условие образования максимума освещенности при интерференции световых волн

$$\Delta = \pm m\lambda\ ,$$

где m=0,1,2,……-номер максимума, Δ-оптическая разность хода, λ- длина волны.

• Условие образования минимума освещенности при интерференции световых волн

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}\ ,$$

где λ- длина волны, $(2m+1)$=0,1,2,……-номер минимума, Δ-оптическая разность хода;

• Оптическая разность хода в тонких пленках

а) в проходящем свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$, б) в отраженном свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$;

n - абсолютный показатель преломления пленки, d – толщина пленки;

• Условие образования максимума освещенности при дифракции световых волн

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda ,$$

где d - постоянная решетки, m =0,1,2,……-номер максимума, $\Delta = d \sin \varphi$ - оптическая разность хода;

• Условие образования главных минимумов освещенности при дифракции световых волн

$$a \sin \varphi = \pm m\lambda ,$$

где a - ширина щели решётки, m =0,1,2,……-номер минимума, $\Delta = a \sin \varphi$ - оптическая разность хода;

• Условие образования дополнительных минимумов освещенности при дифракции световых волн

$$d \sin \varphi = \pm (2m+1)\lambda / 2 ,$$

где d - постоянная решетки, $(2m+1)$ =0,1,2,……-номер минимума, $\Delta = d \sin \varphi$ - оптическая разность хода;

• Закон Малюса (интенсивность плоскополяризованного света)

$$I = I_0 \cos^2 \alpha ,$$

где I - интенсивность света, прошедшего через анализатор, I_0 - интенсивность света, падающего на поляризатор;

• Закон Брюстера

$$tg i_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{12} ;$$

где i_B - угол, при котором отраженный луч полностью поляризован.

Квантовая оптика

• Закон Стефана-Больцмана (закон теплового излучения)

$$R_\lambda = \sigma T^4 .$$

где R_λ - энергетическая светимость чёрного тела, Т – абсолютная температура, $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} Вт / м^2 \cdot K^4$ - постоянная;

• Закон смещения Вина (закон теплового излучения)

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, b = 2{,}9 \cdot 10^{-3} м \cdot K ;$$

• Закон Вина (закон теплового излучения)

$$(r_{\lambda,T})_{\max} = CT^5,$$

где $(r_{\lambda,T})_{\max}$ - максимальная спектральная плотность энергетической светимости, $C = 1{,}30 \cdot 10^{-5}\, Вт/м^2 \cdot К^5$ - постоянная;

• Закон внешнего фотоэффекта (формула Эйнштейна)

$$h\nu = A_{вых} + \frac{mV_{\max}^2}{2},$$

где $A_{вых}$ - работа выхода электрона из металла, $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ - энергия фотона, $h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;

• Красная граница фотоэффекта (максимальная длина волны или минимальная частота, при которой ещё возможен фотоэффект)

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{вых}}, \qquad \nu_0 = \frac{A_{вых}}{h};$$

• Эффект Комптона

$$\lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_{0e}c}\sin^2\frac{\theta}{2}, \qquad \lambda' - \lambda = \lambda_C(1-\cos\theta), \quad \lambda_C = \frac{h}{m_{0e}c},$$

где λ' -длина волны рассеянного фотона, λ - длина волны падающего фотона, m_{0e} - масса покоя электрона, с – скорость света, λ_C - комптоновская длина волны;

Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей

• Энергия фотона (кванта электромагнитного поля)

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda};$$ где $h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;

• Импульс фотона $p = \frac{h}{\lambda}$; в классическом случае $p = mV$;

• В релятивистском случае, когда скорость движения сравнима со скоростью света в вакууме

$$p = \frac{m_0 V}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};$$

• Выражение для импульса через энергию

а) классический случай $p = \sqrt{2m_0E_k}$;

б) релятивистский случай $p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k + 2E_0)}$, где $E_0 = m_0c^2$ - энергия покоя частицы;

• Длина волны де Бройля $\lambda_Б = \frac{h}{p}$;

• Соотношение неопределённостей по координатам и импульсам

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar, \quad \Delta y \Delta p_y \geq \hbar, \quad \Delta z \Delta p_Z \geq \hbar, \text{ где } \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с}$$

• Соотношение неопределённостей по координатам и скоростям

$$\Delta x \Delta V_x \geq \hbar / m, \quad \Delta y \Delta V_y \geq \hbar / m, \quad \Delta z \Delta V_Z \geq \hbar / m;$$

• Соотношение неопределённости по энергии и времени

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar.$$

• Вероятность нахождения частицы в момент времени t в области с координатами ($x, x + dx; y, y + dy; z, z + dz$)

$$W \sim |\psi|^2, \text{ где } \psi(x, y, z, t) \text{ - волновая функция;}$$

• Уравнение Шредингера для стационарных состояний

$$\Delta \psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0.$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3

ЗАДАЧА 1. Материальная точка массой 20 г совершает гармонические колебания с периодом 9 с. Начальная фаза колебаний 10^0. Через какое время от начала движения смещение точки достигнет половины амплитуды? Найти амплитуду, максимальные скорость и ускорение точки, если её полная энергия равна 10^{-2}Дж.

Дано	Решение
$m = 2\cdot10^{-2}$кг	Уравнение гармонического колебания точки
$T = 9$ с	$x = A\sin(\omega t+\varphi_0)$, $x = A\sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_0\right)$ (1))
$\varphi_0 = 10^0 = \pi/18$	Из уравнения (1) определяем время колебаний t
$x = 0,5$ A	$\frac{x}{A} = \sin\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi_0\right)$; откуда $\frac{2\pi t}{T}+\varphi_0 = \arcsin\frac{x}{A}$,
$E = 10^{-2}$Дж	Искомое время $t = \frac{\left(\arcsin\frac{x}{A}-\varphi_0\right)T}{2\pi}$.
	Амплитуду колебаний определяем из выражения для
t, A, V_{max},	энергии $E = \frac{mA^2\omega^2}{2}$
a_{max}-?	$A = \frac{1}{\omega}\sqrt{\frac{2E}{m}} = \frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{2E}{m}}$.

Зная амплитуду, можно определить максимальную скорость и ускорение точки, которые вычисляются по формулам

$$V_{\max} = A\omega \quad \text{и} \quad |a_{\max}| = A\omega^2$$

Проверка размерности:

$$[t] = \frac{рад\cdot с}{рад} = с\,, \quad [A] = с\sqrt{\frac{Н\cdot м}{кг}} = с\sqrt{\frac{кг\cdot м^2}{с^2}} = \frac{с\cdot м}{с} = м$$

Вычисления:

$$t = \frac{(\arcsin 0,5-\pi/18)}{2\pi} = \frac{\pi/6-\pi/18}{2\pi} = 0,5(с)\,, \quad A = \frac{9}{2\cdot3,14}\sqrt{\frac{2\cdot10^{-2}}{2\cdot10^{-2}}} = 1,43(м)$$

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2\cdot10^{-2}}{2\cdot10^{-2}}} = 1\,(\text{м/с}), \quad a_{\max} = \frac{2\cdot3,14}{9}\sqrt{\frac{2\cdot10^{-2}}{2\cdot10^{-2}}} = 0,698\,(\text{м/с}^2).$$

Ответ: $t = 0,5с$, $A = 1,43м$, $V_{\max} = 1$ м/с, $a_{\max} = 0,698$ м/с^2.

ЗАДАЧА 2. Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $U = 10\cos10^4 t$ (В). Емкость конденсатора 10 мкФ. Найти индуктивность контура и закон изменения силы тока в нем.

Дано	Решение
$U = 10\cos10^4 t$ (В)	Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном
$C = 10^{-5}$ Ф	контуре изменяется по гармоническому закону

$U = U_{\max}\cos\omega t$, где $U_{\max}$ - амплитудное значение напряжения.

L-?, I=I(t)

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - циклическая частота. По условию $\omega = 10^4 c^{-1}$. Отсюда

Индуктивность $L = \frac{1}{\omega^2 C}$.

Заряд на обкладках конденсатора вычисляется по формуле

$$Q = CU = CU_{\max}\cos\omega t,$$

По определению сила тока – производная заряда по времени

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega CU_{\max}\sin\omega t.$$

Вычисления:

$$L = \frac{1}{10^8 \cdot 10^{-5}} = 10^{-3} \text{ (Гн)}.$$

$$I = -10^4 \cdot 10^{-5} \cdot 10\sin 10^4 t = -\sin 10^4 t \text{ (А)}$$

Ответ: $L = 10^{-3}$ Гн, $I = -\sin 10^4 t$ (А).

ЗАДАЧА 3. Колеблющиеся точки, находящиеся на одном луче, удалены от источника колебаний на 8м и 11м и колеблются с разностью фаз 3π/4. Период колебания источника 10^{-2}с. Чему равна длина волны и скорость распространения колебаний в данной среде? Составить уравнение волны для первой и второй точек, считая амплитуды колебаний точек равными 0,25 м.

Дано	Решение
$x_1 = 8$ м	Уравнение плоской волны
$x_2 = 11$ м	$y = A\sin\omega(t - \frac{x}{V})$
$\Delta\varphi = 3\pi/4$	Разность фаз двух колебаний двух точек в волне
$T = 10^{-2}$с	определяется по формуле
$A_1 = A_2 = 0,25$ м	$\Delta\varphi = \frac{2\pi(x_2 - x_1)}{\lambda}$. Откуда длина волны
	$\lambda = \frac{2\pi(x_2 - x_1)}{\Delta\varphi}$. Скорость распространения волны
λ -? V -?	

$y_1 = y$ (t)

$V = \frac{\lambda}{T}$. Циклическая частота $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$y_2 = y$ (t)

Проверка размерности:

$$[\lambda] = \frac{рад \cdot м}{рад} = м, \quad [V] = м/с.$$

Вычисления:

$$\lambda = \frac{2\pi(11-8)}{3\pi/4} = 8м, \quad V = \frac{8}{10^{-2}} = 800 м/с, \quad \omega = \frac{2\pi}{10^{-2}} = 200\pi \text{ с}^{-1}.$$

Уравнения $y_1 = 0,25\sin 200\pi\left(t - \frac{8}{800}\right) = 0,25\sin 200\pi(t - 0,01)$

$$y_2 = 0{,}25\sin 200\pi\left(t - \frac{11}{800}\right) = 0{,}25\sin 200\pi(t - 0{,}0137).$$

Ответ: $\lambda = 8м$, $V = 800м/с$, $y_1 = 0{,}25\sin 200\pi(t - 0{,}01)$

$y_2 = 0{,}25\sin 200\pi(t - 0{,}0137)$.

ЗАДАЧА 4. Какую наименьшую толщину должна иметь мыльная пленка, чтобы отраженные лучи имели красную окраску ($\lambda_{крас} = 0{,}63мкм$)? Белый луч падает на пленку под углом 30^0(показатель преломления n = 1,33).

Дано

$\lambda_{крас} = 0{,}63\cdot10^{-6}$м

$i = 30^0$

n = 1,33

d_{min}-?

Решение

Условие максимума освещенности при интерференции

$\Delta = k\lambda$, где Δ – разность хода, к – порядок максимума, λ – длина волны.

При интерференции на тонкой пленке толщиной d, обладающей показателем преломления n, в отраженном свете разность хода лучей определяется по формуле

$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$. Тогда условие максимума запишется

$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$, откуда

$$d = \frac{\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

Минимальная толщина пленки будет при к = 1. Тогда

$$d_{\min} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}.$$

Вычисления:

$$d_{\min} = \frac{0{,}5\cdot 6{,}3\cdot 10^{-7}}{2\sqrt{1{,}33^2 - 025}} = 0{,}13\cdot 10^{-6}\,(\text{м}).$$

Ответ: $d_{\min} = 0{,}13\cdot 10^{-6}$ м.

ЗАДАЧА 5. Постоянная дифракционной решетки 2,5 мкм. Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре 2-го порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,62 мкм.

Дано

$d = 2{,}5\cdot10^{-6}$м

k =2

$\lambda = 6{,}2\cdot10^{-7}$м

Решение

Условия максимума освещенности при дифракции на решетке $d\sin\varphi = k\lambda$, где к = 0, 1, 2,….

Угол φ может принимать максимальное значение 90^0, т.е. $\varphi_{\max} = 90^0$, тогда $\sin\varphi_{\max} = 1$.

k_{max}-? N -? $\quad k_{max} = \frac{d \sin \varphi_{max}}{\lambda} = \frac{d}{\lambda}$.

φ_2 -? Общее число максимумов $N = 2k_{max} + 1 = \frac{2d}{\lambda} + 1$.

Угол дифракции φ_2 определяется по формуле

$d \sin \varphi_2 = 2\lambda$, откуда $\sin \varphi_2 = \frac{2\lambda}{d}$, $\varphi_2 = \arcsin \frac{2\lambda}{d}$

Вычисления:

$N = \frac{2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6}}{6{,}2 \cdot 10^{-7}} + 1 = 9$. $\varphi_2 = \arcsin \frac{2 \cdot 6{,}2 \cdot 10^{-7}}{2{,}5 \cdot 10^{-6}} = \frac{\pi}{6}$. $k_{max} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-6}}{6{,}2 \cdot 10^{-7}} \approx 4$

Ответ: $N = 9$, $k_{max} = 4$, $\varphi_2 = \frac{\pi}{6} = 30^0$.

ЗАДАЧА 6. Интенсивность естественного света, прошедшего через призму Николя, уменьшилась в 2,3 раза. Во сколько раз она уменьшится, если за первой призмой поставить вторую такую жепризму, так, чтобы угол между их главными плоскостями был равен 60^0?

Дано	Решение
$k = \frac{I_0}{I_1} = 2{,}3$	Естественный свет, попадая в призму Николя
$\alpha = 60^0$	(поляризатор) раздваивается на луча – обыкновенный и необыкновенный, поэтому каждый из лучей обладает энергией $I_0/2$. Обыкновенный отражается и
$\frac{I_0}{I_2}$ –?	поглощается зачерненной поверхностью, необыкновенный

выходит из призмы уменьшая свою интенсивность на $\frac{I_0}{2}k$. На выходе из поляризатора интенсивность света $I_1 = \frac{I_0}{2}(1-k)$ (1), где k - коэффициент поглощения.

После прохождения второго поляризатора (анализатора) интенсивность света уменьшается как за счет отражения и поглощения света, так и из-за несовпадения плоскостей поляризации двух поляризаторов. В соответствии с законом Малюса с учетом потерь интенсивность света на выходе из анализатора равна $I_2 = I_1(1-k)\cos^2\alpha$.

Находим во сколько раз уменьшается интенсивность света

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{I_0}{I_1(1-k)\cos^2\alpha}. \quad (2)$$

Выражаем из (1)

$$(1-k) = \frac{2I_1}{I_0} \quad (3)$$

Подставляем (3) в (2)

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{1}{2\cos^2\alpha}\left(\frac{I_0}{I_1}\right)^2 .$$

Вычисления:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{1}{2\cos^2 60^0}(2{,}3)^2 = 10{,}6$$

Ответ: $\frac{I_0}{I_2} = 10{,}6$.

ЗАДАЧА 7. Во сколько раз увеличится мощность излучения черного тела, если максимум энергии излучения сместится с красной границы видимого спектра к его фиолетовой границе ($\lambda_{крас}$= 0,76 мкм, $\lambda_{фиол}$= 0,38 мкм).

Дано	Решение
$\lambda_{крас}$= 0,76 $\cdot 10^{-6}$м $\lambda_{фиол}$= 0,38$\cdot 10^{-6}$м	Максимальная длина волны, приходящаяся на максимум энергии излучения черного тела, согласно закону смещения Вина $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$. Отсюда находит температуру,
$N_{фиол}/N_{крас}$	при которой максимум энергии излучения приходится на

красную и фиолетовую границы спектра

$$T_{крас} = b/\ \lambda_{крас}\ ; \qquad T_{фиол} = b/\ \lambda_{фиол}\ .$$

Мощность излучения вычисляется по формуле

$$N = R \cdot S.$$

По закону Стефана – Больцмана $R = \sigma T^4$. Для температуры $T_{крас}$ и $T_{фиол}$

$$N_{крас} = \sigma T_{крас}^4 S \ , \quad N_{фиол} = \sigma T_{фиол}^4 S$$

Откуда $$\frac{N_{фиол}}{N_{крас}} = \left(\frac{T_{фиол}}{T_{крас}}\right)^4 = \left(\frac{\lambda_{крас}}{\lambda_{фиол}}\right)^4 .$$

Вычисления:

$$\frac{N_{фиол}}{N_{крас}} = \left(\frac{0{,}76\cdot 10^{-6}}{0{,}38\cdot 10^{-6}}\right)^4 = 16 .$$

Ответ: $\frac{N_{фиол}}{N_{крас}} = 16$.

ЗАДАЧА 8. Фотон с длиной волны $\lambda = 11 нм$ рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda = 12 нм$. Определить угол θ рассеяния.

Дано:	Решение
	Согласно эффекту Комптона
$\lambda = 11 нм = 11\cdot 10^{-12}\ м$	$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_C(1-\cos\theta)$, где $\lambda_C = \frac{h}{m_e c}$ - комптоновская
$\lambda' = 12 нм = 12\cdot 10^{-12}\ м$	длина волны. Если фотон рассеян на электроне, то $\lambda_C = 2{,}436\cdot 10^{-12}\ м$.

θ -? $\Delta\lambda = \lambda_C - \lambda_C cos\theta$, $\lambda_C - \Delta\lambda = \lambda_C cos\theta$, $cos\theta = 1 - \dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_C}$,

Искомое выражение $\theta = \arccos\left(1 - \dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_C}\right)$.

Вычисления

$$\theta = \arccos\left(1 - \frac{10^{-12}}{2{,}436 \cdot 10^{-12}})\right) = \arccos 0{,}41 = 65{,}8^0$$

Ответ: $\theta = 65{,}8^0$ **.**

ЗАДАЧА 9. Определить красную границу λ_0 фотоэффекта для цезия, если при облучении его поверхности фиолетовым светом с длиной волны $\lambda = 400\text{нм}$ максимальная скорость фотоэлектронов равна 0,65 Мм/с.

Дано:	Решение
$\lambda = 400\text{нм} = 4 \cdot 10^{-7}\,\text{м}$	Красная граница – это максимальная длина световой
$V_{\max} = 0{,}65 \cdot 10^6\,\text{м/с}$	волны, при которой возможен фотоэффект.
$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\,\text{Дж} \cdot \text{с}$	По определению $\lambda_0 = \dfrac{hc}{A_{вых}}$. Работу выхода
$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\,\text{кг}$	определяем из уравнения Эйнштейна
$\lambda_0 - ?$	$h\nu = \dfrac{hc}{\lambda} = A_{вых} + \dfrac{mV_{\max}^2}{2}$, $\dfrac{hc}{\lambda} - \dfrac{mV_{\max}^2}{2} = A_{вых}$.

Проверка **размерности** $[\lambda_0] = \dfrac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{Дж}} = \text{м}$

Вычисления

$$A_{вых} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 0{,}65^2 \cdot 10^{12}}{2} = 3{,}05 \cdot 10^{-19}\,(\text{Дж}),$$

$$\lambda_0 = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} 3 \cdot 10^8}{3{,}05 \cdot 10^{-19}} = 6{,}51 \cdot 10^{-7}\,(\text{м})$$

Ответ: $\lambda_0 = 6{,}51 \cdot 10^{-7}\,\text{м}$.

ЗАДАЧА 10. Вычислить длину волны де Бройля электрона, движущегося со скоростью 0,6с (м/с) (с– скорость света в вакууме).

Дано	Решение
V= 0,6c	Длина волны де Бройля по определению
$m_{0e} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$кг	$\lambda = \dfrac{h}{p}$. Импульс частицы, движущейся с

h = 6,62·10^{-34}Дж·с   релятивистской скоростью $p=\frac{m_{0e}V}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$. Тогда

λ$_Б$ -?

$$\lambda_Б=\frac{h}{m_{0e}V}\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}.$$

Проверка размерности:

$$[\lambda_Б]=\frac{Дж\cdot c^2}{кг\cdot м}=\frac{кг\cdot м^2c^2}{кг\cdot м\cdot c^2}=м$$

Вычисления:

$$\lambda_Б=\frac{6.62\cdot10^{-34}}{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot0{,}6\cdot3\cdot10^8}\sqrt{1-\frac{0{,}36c^2}{c^2}}=1{,}24\cdot10^{-11}(м)$$

Ответ: $\lambda_Б=1{,}24\cdot10^{-11}\,м$

ЗАДАЧА 11. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода порядка 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома.

Дано	Решение
E =10 эВ = = 1,6·10^{-18}Дж m_0 =9,1·10^{-31}кг $\hbar=1{,}05\cdot10^{-34}$ Дж·с R -?	Соотношение неопределенностей по координатам и импульсам $\Delta x\Delta p_x\geq\hbar$, где Δx - неопределенность координаты, Δp_x - неопределенность импульса. Предполагаем, что неопределенность координаты сравнима с линейным размером атома $\Delta x\approx R$, Тогда $R\approx\frac{\hbar}{\Delta p}$. Импульс электрона, обладающего кинетической

энергией E, равен $p=\sqrt{2m_0E}$.

Предполагая, что по порядку величины неопределенность импульса сравнима с самим импульсом $\Delta p\approx p$, линейные размеры атома

$$R=\frac{\hbar}{\sqrt{2m_0E}}$$

Проверяем размерность: $[R]=\frac{Дж\cdot c}{\sqrt{кг\cdot Дж}}=\frac{H\cdot м\cdot c}{\sqrt{кг\cdot\frac{кг\cdot м^2}{c^2}}}=\frac{H\cdot м\cdot c}{H\cdot c}=м$

Вычисления:

$$R=\frac{1{,}05\cdot10^{-34}}{\sqrt{18{,}2\cdot10^{-31}\cdot1{,}6\cdot10^{-18}}}=0{,}62\cdot10^{-10}\,(\text{м})$$

Ответ: $R=0{,}62\cdot10^{-10}$ м.

ЗАДАЧИ
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

300. Наибольшее смещение точки, совершающей гармонические колебания, равно x_{max}= 20 см, наибольшая скорость – V_{max}= 30 см/с. Найти циклическую частоту колебаний, максимальное ускорение точки и период колебаний.

301. Складываются два гармонических колебания одного направления с периодами T_1= T_2= 2 с, амплитудами A_1= A_2= 3 см и начальными фазами $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi_2 = \frac{\pi}{3}$. Записать уравнение результирующих колебаний, найти амплитуду и начальную фазу, построить векторную диаграмму.

302. Точка одновременно совершает гармонические колебания во взаимно перпендикулярных направлениях согласно уравнениям $x = A_1 \sin \omega t$ и $y = A_2 \cos \omega t$, где A_1= 0,5 см, A_2= 2 см. Найти уравнение траектории и построить её, указав направление движения.

303. Тонкий невесомый стержень длиной $l = 0{,}5 м$ с грузиками на концах массой $m_1 = m_2 = m$ колеблется около горизонтальной оси, отстоящей от центра масс стержня на расстоянии $d = 0{,}1 м$. Определить приведенную длину маятника L.

304. К потолку подвешены два маятника. За одинаковое время один маятник совершает 10 колебаний, а другой 7 колебаний. Какова длина каждого маятника, если разность их длин 51 см?

305. Однородный диск радиусом R = 0,49 м совершает малые колебания относительно оси, которой является гвоздь, вбитый перпендикулярно стенке. Колебания совершаются в плоскости, параллельной стене. Найти частоту колебаний диска, если гвоздь находятся на расстоянии d = 2R/3.

306. Найти период затухающих колебаний математического маятника длиной $l = 1 м$, если известен логарифмический декремент затухания $\delta = 0{,}6$.

307. Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $U = 10 \cos 10^4 t$ (В). Ёмкость конденсатора 10 мкФ. Найти индуктивность контура и закон изменения силы тока.

308. Максимальная сила тока в колебательном контуре 0,1 А, максимальное напряжение на обкладках конденсатора 200 В. Найти циклическую частоту колебаний, если энергия контура 0,2 мДж.

309. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 37,5 нФ и катушки индуктивности 0,68 Гн. Максимальное значение заряда на обкладках конденсатора равно 2,5 мкКл. Написать уравнения изменения напряжения и заряда на обкладках конденсатора и тока в цепи и найти значения этих величин в момент времени t = T/2.

310. Уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с магнитной проницаемостью, равной 0,5, имеет вид $E = 10\sin(6{,}28 \cdot 10^8 t - 4{,}19x)$. Определить диэлектрическую проницаемость среды и длину волны.

311. Выстрел произведен вертикально вверх. Какова начальная скорость пули, если звук выстрела и пуля достигают одновременно высоты h = 850 м? скорость звука в воздухе V = 340м/с.

312. В однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью, равной 2, и магнитной проницаемостью, равной 1, распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 50 В/м. Найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.

313. Уравнение бегущей плоской звуковой волны имеет вид $y = 0{,}6 \cdot 10^{-5} \cos(1800t - 5{,}3x)$, где y - измеряется в микрометрах, время в секундах, x – в метрах. Найти: 1) отношение амплитуды смещения частиц среды к длине волны; 2) амплитуду колебаний скорости частиц среды и её отношение к скорости распространения волны.

314. В среде распространяется волна со скоростью 720 м/с при частоте источника 600 Гц. Определить разность фаз колебаний в двух точках, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,2 м.

315. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, амплитуда напряженности электромагнитного поля которой 100 В/м. Какую энергию переносит эта волна через площадку 50 см^2, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, за 1 минуту? Период волны T<<t.

316. Неподвижный наблюдатель воспринимает звуковые колебания от двух камертонов, один из которых приближается, а другой – с такой же скоростью удаляется. При этом наблюдатель слышит биения с частотой $\nu = 2{,}0$ Гц. Найти скорость каждого камертона, если частота колебаний $\nu_0 = 680$ Гц, скорость звука в вакууме 340 м/с.

317. Источник звука, собственная частота которого $\nu_0 = 1{,}8$ кГц, движется равномерно по прямой, отстоящей от неподвижного наблюдателя на $l = 250$ м. Скорость источника составляет $\eta = 0{,}8$ скорости звука в воздухе. Найти: 1) частоту звука, воспринимаемую наблюдателем в момент, когда источник окажется напротив него; 2) расстояние между источником и наблюдателем в момент, когда воспринимаемая наблюдателем частота $\nu = \nu_0$.

318. Резонатор и источник звука с частотой $\nu_0 = 8$ кГц расположены на одной прямой. Резонатор настроен на длину волны $\lambda = 4{,}2$ см и установлен неподвижно. Источник звука может перемещаться вдоль прямой. С какой скоростью и в каком направлении должен двигаться источник звука, чтобы возбуждаемые им звуковые волны вызвали колебания резонатора?

319. На шоссе сближаются две автомашины со скоростями V_1= 30 м/с и V_2= 20 м/с. Первая из них подает звуковой сигнал частотой $\nu_1 = 600$ Гц. Найти кажущуюся частоту ν_2 звука, воспринимаемого водителем второй автомашины, в дух случаях 1) до встречи; 2) после встречи.

320. Монохроматический свет длиной волны 0,5 мкм падает на мыльную пленку, показатель преломления которой 1,33, находящуюся в воздухе. Толщина пленки 0,1 мкм. Найти наименьший угол падения, при котором пленка в проходящем свете кажется темной.

321.Найти угловое расстояние между соседними светлыми полосами в опыте Юнга, если известно, что экран отстоит от когерентных источников света на 1 м, а четвертая светлая полоса на экране расположена на расстоянии 1,2 мм от центра интерференционной картины.

322. Для устранения отражения света от поверхности линзы на неё наносится тонкая пленка вещества с показателем преломления 1,25, меньшим, чем показатель преломления стекла (просветление оптики). При какой наименьшей толщине пленки отражение света с длиной волны 0, 74 мкм не будет наблюдаться, если угол падения лучей 30^0?

323. Дифракционная решетка содержит 400 штрихов на каждый миллиметр. На решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $4{,}95 \cdot 10^{-7}$ м. Определить наибольший порядок спектра и общее число главных максимумов дифракционной решетки.

324. При нормальном падении света на дифракционную решетку угол дифракции для линии $\lambda_1 = 0{,}65$ *мкм* во втором порядке равен 45^0. Найти угол дифракции для линии $\lambda_2 = 0{,}50$ *мкм* в третьем порядке.

325. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядка частично перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ($\lambda_2 = 0{,}4 мкм$) спектра третьего порядка?

326. Луч света, проходя через слой льда ($n_1 = 1{,}31$), падает на алмазную пластинку ($n_2 = 2{,}42$), частично отражается, частично преломляется. Определите каким должен быть угол падения, чтобы отраженный луч был максимально поляризован.

327. Две призмы Николя расположены так, что угол между главными плоскостями составляет 60^0. При прохождении каждой призмы потери на отражение и поглощение света составляют 6%.
1. Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через одну призму Николя?
2. Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через обе призмы Николя?

328. Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор, уменьшилась в 2,3 раза. Во сколько раз она уменьшится, если за первым поставить второй такой же поляризатор, чтобы угол между главными плоскостями был равен 45^0?

329. На дифракционную решетку с периодом 2 мкм нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. Найти линейное расстояние между желтой ($\lambda_1 = 0{,}588 мкм$) и зеленой $\lambda_2 = 0{,}5 мкм$ линиями в спектре второго порядка, если экран находится на расстоянии 1 м от дифракционной решетки.

330. Температура внутренней поверхности электрической печи 700^0С. Определить мощность излучения печи через небольшое отверстие диаметром d = 5 см, рассматривая его как излучение абсолютно черного тела.

331. Максимум испускательной способности Солнца приходится на длину волны 0,5 мкм. Считая, что Солнце излучает как абсолютно черное тело, определите температуру его поверхности и мощность излучения.

332. Черное тело находится при температуре T_1= 3000 К. При остывании тела длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda$ = 8 мкм. Определить температуру T_2, до которой тело охладилось.

333. Принимая Солнце за абсолютно черное тело и учитывая, что максимальное значение его плотности энергетической светимости приходится на длину волны λ_{max} = 500 нм, определите массу, которую теряет Солнце за 10 мин за счет излучения.

334. Вследствие изменения температуры черного тела максимум спектральной плотности сместилась с λ_1 = 2,4 мкм на λ_2 = 0,8 мкм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость ($R_э$)тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

335. Абсолютно черное тело было нагрето от температуры 100^0С до 300^0С. Найти во сколько раз изменилась мощность суммарного излучения при этом.

336. Красная граница фотоэффекта для никеля равна 0,257 мкм. Найти длину волны света, падающего на никелевый электрод, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной 1,5 В.

337. Фотон с длиной волны 0,2 мкм вырывает с поверхности фотокатода электрон, кинетическая энергия которого 2 эВ. Определить работу выхода и красную границу фотоэффекта.

338. Определить максимальную скорость электрона, вырванного с поверхности металла γ – квантом с энергией 1,53 МэВ.

339. На цинковую пластинку падает пучок ультрафиолетовых лучей с длиной волны 0,2 мкм. Определить максимальную кинетическую энергию и максимальную скорость фотоэлектронов. Работа выхода для цинка 4 ЭВ.

340. Первоначально покоившийся электрон приобрел кинетическую энергию 0,06 МэВ в результате комптоновского рассеяния на нем фотона с энергией 0,51 МэВ. Чему равен угол рассеяния фотона?

341. Фотон с энергией 0500 МэВ рассеялся на свободном электроне под углом 60^0. Найти энергию рассеянного фотона.

342. Угол рассеяния фотона с энергией 1,2 МэВ на свободном электроне 30^0. Найти длину волны рассеянного фотона.

343. В результате Комптоновского эффекта электрон приобрел энергию 0,5 МэВ. Определить энергию падающего фотона, если длина волны рассеянного фотона $2{,}5{\cdot}10^{-12}$м.

344. В результате комптоновского рассеяния на свободном покоящемся электроне длина волны фотона увеличилась вдвое. Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи, если угол рассеяния равен 60^0.

345. Фотон с энергией 0,51 МэВ в результате комптоновского рассеяния отклонился на угол 180^0. Определить долю энергии в процентах, оставшуюся у рассеянного фотона.

346. Угол рассеяния фотона равен 90^0. Угол отдачи электрона 30^0. Определить энергию падающего фотона.

347. Определить импульс p электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона был рассеян на угол 180^0.

348. Фотон с энергией $\varepsilon = 0{,}25$ МэВ рассеялся на свободном электроне. Энергия рассеянного фотона равна $\varepsilon' = 0{,}2$ МэВ. Определить угол рассеяния.

349. Определить максимальное изменение длины волны при комптоновском рассеянии на свободном протоне.

350. Найти длину волны де Бройля для пучка протонов, прошедших разность потенциалов $U_1 = 1В$ и $U_2 = 1МВ$.

351. Найти длину волны де Бройля нейтрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при Т = 290 К.

352. Найти длину волны де Бройля протона, движущегося в однородном магнитном поле с индукцией В = 15мТл по окружности радиусом 1,4 м.

353. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 500В$ имеет длину волны де Бройля 1,282 пм. Принимая заряд этой частицы равным заряду электрона, определить массу частицы.

354. Протон движется со скоростью 200 Мм/с. Определить длину волны де Бройля, учитывая изменение массы протона от скорости.

355. Средняя кинетическая энергия в невозбужденном атоме водорода $E_к$=13,6эВ. Используя соотношение неопределенностей. Найти наименьшую погрешность, с которой можно вычислить координату электрона в атоме.

356. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода порядка 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома

357. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии равно 12 нс. Вычислить минимальную неопределенность длины волны λ = 12 мкм излучения при переходе атома в основное состояние.

358. Атом испустил фотон с длиной волны 0,55 мкм. Продолжительность излучения 10 нс. Определить наименьшую погрешность, с которой может быть измерена длина волны излучения.

359. Электрон с кинетической энергией 15 эВ находится в металлической пылинке диаметром 1 мкм. Оценить относительную неточность ΔV, с которой может быть определена скорость электрона.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 4

Молекулярная физика и термодинамика

• Количество вещества

$\nu = \dfrac{N}{N_A}$, $\nu = \dfrac{m}{\mu}$, где N - число молекул газа; $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\, моль^{-1}$ - постоянная Авогадро; μ - молярная масса; m – масса газа;

• Законы идеального газа:

- изотермический (T=const) , $\dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{P_2}{P_1}$;
- изобарический (P=const) , $\dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{T_1}{T_2}$;
- изохорический (V=const) , $\dfrac{T_1}{T_2} = \dfrac{P_1}{P_2}$;
- адиабатический ($\delta Q = 0$) , $\dfrac{P_1}{P_2} = \left(\dfrac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma}$, $\gamma = C_P / C_V$ - показатель адиабаты.

• Уравнение состояния идеального газа

$$PV = \frac{m}{\mu} RT ,$$

где m, μ - соответственно, масса газа и молярная масса газа, $R = 8{,}31\, Дж/моль \cdot К$ - универсальная газовая const, T- абсолютная температура;

• Закон Дальтона для смеси газов

$$p = p_1 + p_2 + ... + p_n ;$$

• Концентрация молекул

$n = \dfrac{N}{V}$, где V –объём газа;

• Давление газа (уравнение состояния газа)

$P = nkT$, где $k = \dfrac{R}{N_A} = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\, Дж / К$ - постоянная Больцмана;

• Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

$p = \dfrac{1}{3} n m_0 \langle V_{кв} \rangle^2$, $p = \dfrac{2}{3} n \langle E_K \rangle$, где m_0- масса одной молекулы; $\langle V_{кв} \rangle$ - средняя квадратичная скорость; $\langle E_K \rangle$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул; $\langle E_K \rangle = \dfrac{1}{2} kT$ - средняя кинетическая энергия, приходящаяся на одну степень свободы молекулы;

• Средняя квадратичная скорость молекул

$$\langle V_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

• Средняя арифметическая скорость молекул

$$\langle V\rangle=\sqrt{\frac{8kT}{m}}=\sqrt{\frac{8RT}{\mu}};$$

• Наиболее вероятная скорость молекул

$$V_{н.в.}=\sqrt{\frac{2kT}{m}}=\sqrt{\frac{2RT}{\mu}};$$

Явления переноса в газах

• Среднее число соударений, испытываемых одной молекулой в единицу времени

$\langle Z\rangle=\sqrt{2}\pi d^2 n\langle V\rangle$, где d - эффективный диаметр молекулы;

• Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$\langle l\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}=\frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p};$$

• Закон Фурье (перенос энергии в форме теплоты)

$j_E=-\lambda\frac{dT}{dx}$, где j_E - плотность теплового потока, λ – теплопроводность (коэффициент теплопроводности), $\frac{dT}{dx}$ - градиент температуры;

• Теплопроводность (коэффициент теплопроводности)

$\lambda=\frac{1}{3}c_V\rho\langle V\rangle\langle l\rangle$, где c_V - удельная теплопроводность газа при постоянном объёме. ρ - плотность газа;

• Закон Фика (перенос массы в результате диффузии)

$j_m=-D\frac{d\rho}{dx}$, где j_m - плотность потока массы, D - коэффициент диффузии, $\frac{d\rho}{dx}$ - градиент плотности;

• Коэффициент диффузии

$$D=\frac{1}{3}\langle V\rangle\langle l\rangle \quad ;$$

• Закон Ньютона (перенос импульса в результате внутреннего трения)

$F=\eta\left|\frac{dV}{dx}\right|S$, $j_P=-\eta\frac{dV}{dx}$ где F – сила внутреннего трения, η - коэффициент динамической вязкости; $\frac{dV}{dx}$ - градиент скорости, S- площадь, на которую действует сила F, плотность потока импульса;

• Коэффициент динамической вязкости

$$\eta=\frac{1}{3}\rho\langle V\rangle\langle l\rangle;$$

Основы термодинамики

• Удельная теплоемкость

$$c = \frac{\delta Q}{mdT},$$

• Удельные энергии при постоянном объёме и постоянном давлении

$$c_V = \frac{i}{2}\frac{R}{\mu}, c_P = \frac{i+2}{2}\frac{R}{\mu},$$ где

i – число степеней свободы молекулы; μ - молярная масса;
для одноатомной молекулы $i = 3$, для двухатомной - $i = 5$, для трёхатомной и многоатомной - $i = 6$.

• Молярные теплоёмкости при постоянном объёме и постоянном давлении

$$C_V = \frac{i}{2}R, C_P = \frac{i+2}{2}R$$

• Уравнение Майера

$$C_P - C_V = R;$$

• Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RT = \frac{m}{\mu}C_V T;$$

• Первое начало термодинамики

$$\delta Q = dU \pm \delta A, \qquad Q = \Delta U \pm A$$

где Q-количество теплоты, ΔU – изменение внутренней энергии, A- работа газа (над газом);

• Работа расширения газа

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V;$$

• Применение первого начала к изопроцессам:

- изотермический (T=const) ΔU=0, $Q = A = \frac{m}{\mu}RT\ln\frac{V_2}{V_1}$;
- изобарический (P=const) $A = P\Delta V = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu}R\Delta T$,

$$Q = \frac{m}{\mu}C_P\Delta T, \quad \Delta U = \frac{m}{\mu}C_V\Delta T;$$

- изохорический (V=const) A=0, $\Delta U = Q = \frac{m}{\mu}C_V\Delta T$,
- адиабатический ($\delta Q = 0$) $\Delta U = -A = -\frac{m}{\mu}C_V\Delta T$, $A = \frac{RT_1}{\gamma - 1}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]$,

где $C_V = \frac{i}{2}R, C_P = \frac{i+2}{2}R$ - удельные теплоемкости при постоянном объёме и давлении, i – число степеней свободы молекулы; для одноатомной молекулы $i = 3$, для двухатомной - $i = 5$, для трёхатомной и многоатомной - $i = 6$.

• Второе начало термодинамики

$$dS = \frac{\delta Q}{T}, \qquad \Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$$

где $dS\,(\Delta S)$ - изменение энтропии; A и B пределы интегрирования, соответствующие начальному и конечному состоянию системы;
$\Delta S = 0$ для обратимых процессов; $\Delta S > 0$ – для необратимых процессов;
• Статистический смысл энтропии

$S = k\ln W$, где k – постоянная Больцмана, W-термодинамическая вероятность (число способов, которыми может реализоваться данное состояние термодинамической системы);

• Цикл Карно – замкнутый цикл, состоящий из двух изотерм и двух адиабат.
Коэффициент полезного действия цикла Карно

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

где Q_1- полученная теплота от нагревателя, Q_2- теплота, переданная холодильнику, T_1- температура нагревателя, T_2 - температура холодильника.

Элементы квантовой физики

• Спектр атома водорода описывается формулой Бальмера (по длине волны)

$\frac{1}{\lambda} = R_\lambda\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, где m = 1,2,3,4,5,6,...; n = 2,3,4,5,6,…

$R_\lambda = 1{,}1\cdot 10^{7}\ м^{-1}$- постоянная Ритберга;

По частоте $\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, где $R = R_\lambda c = 3{,}29\cdot 10^{15}\ c^{-1}$- постоянная Ритберга;

• Энергия электрона в атоме

$E_n = -\frac{Z^2 e^4 m}{8\varepsilon_0^2 h^2}\frac{1}{n^2}$, где Z – число электронов в атоме, $e = 1{,}6\cdot 10^{-19}\ Кл$ – заряд электрона, $m = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона, n =1,2,3,…

Энергия в электрон-вольтах (эВ) - 1эВ = $1{,}6\cdot 10^{-19}\ Дж$

• При переходе атома водорода (Z=1) из стационарного состояния n в стационарное состояние m с меньшей энергией испускается квант с энергией

$h\nu = E_n - E_m = -R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, знак “ – “ означает, что электрон находится в связанном состоянии;

Атомное ядро. Ядерные реакции

• Ядро обозначается символом $^{A}_{Z}X$, где z- зарядовое число (число протонов в ядре), A – массовое число (число нейтронов и протонов в ядре); число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

• Закон радиоактивно распада

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \ ,$$

где N – число нераспавшихся ядер за время t , N_0 - начальное число ядер, λ - постоянная распада, $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, $T_{1/2}$ - период полураспада (время, за которое распадается половина исходного числа ядер);

• Активность изотопа

$$A = A_0 \exp(-\lambda t) \ ;$$

А – активность изотопа через время t; A_0 - начальная активность изотопа.

Единица измерения активности в СИ – Беккерель (Бк); внесистемная единица – Кюри (Ки) 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}\ Бк$.

• Дефект массы Δm ядра (разность между суммой масс свободных нейтронов и протонов и массой, образовавшегося из них ядра)

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_я \ ;$$

• Энергия связи ядра

$$E_{св} = \Delta mc^2 \ ,$$

Если энергия выражена в мега электрон-вольтах (МэВ), а масса в атомных единицах (а.е.м.), то $c^2 = 931{,}4$ МэВ/а.е.м.

• Энергия ядерной реакции

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] \ ,$$

где m_1, m_2 - массы покоя ядра мишени и бомбардирующей частицы;

$m_3 + m_4$ - сумма масс покоя ядер продуктов реакции.

• Альфа распад (α - распад); α -частица - это ядро атома гелия ${}^4_2He$

$$^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$$

• Бета распад (β - распад); β -частица- это электрон ${}^{0}_{-1}e$

$$^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e \ .$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

ЗАДАЧА 1. В баллоне содержится азот массой $m_1 = 60$ г и гелий массой $m_2 = 300$ г. Давление смеси $p = 1 МПа$, температура T = 300 K. Принимая данные газы за идеальные, определить объем сосуда.

Дано	Решение
N_2, He	По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме
$m_1 = 0{,}06$ кг	парциальных давлений газов, входящих в состав смеси.
$m_2 = 0{,}3$ кг	$p = p_1 + p_2$. Каждый газ занимает весь объём.
$\mu_1 = 28 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$	Согласно уравнению Менделеева -Клапейрона
$\mu_2 = 4 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$	$p_1 V = \dfrac{m_1}{\mu_1} RT$, $p_2 V = \dfrac{m_2}{\mu_2} RT$. Складывая левые и правые
$p = 10^6 \, Па$	части данных уравнений, получаем
T = 300 K	$(p_1 + p_2)V = (\dfrac{m_1}{\mu_1} + \dfrac{m_2}{\mu_2})RT$, откуда $V = \left(\dfrac{m_1}{\mu_1} + \dfrac{m_2}{\mu_2}\right)\dfrac{RT}{p}$
V -?	**Проверяем размерность**: $[V] = \dfrac{кг \cdot моль \cdot Н \cdot м \cdot м^2 \cdot К}{кг \cdot моль \cdot К \cdot Н} = м^3$

Вычисления: $V = \left(\dfrac{0{,}06}{0{,}028} + \dfrac{0{,}3}{0{,}004}\right)\dfrac{8{,}31 \cdot 300}{10^6} = 0{,}19(м^3)$

Ответ: $V = 0{,}19 м^3$

ЗАДАЧА 2. Определить коэффициент внутреннего трения для водорода, имеющего температуру 27^0C.

Дано	Решение
H_2	По определение коэффициент внутреннего трения
$\mu = 2 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$	$\eta = \dfrac{1}{3}\rho < \upsilon >< \lambda >$, где ρ - плотность газа, $<\upsilon>$ -средняя
T = 300 K	арифметическая скорость молекул, $<\lambda>$ - средняя
$d = 2{,}3 \cdot 10^{-10}$ м	длина свободного пробега молекул.
$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$	Плотность $\rho = \dfrac{m}{V}$, где V –объём.
η -?	Плотность находим из уравнения Менделеева-

Клапейрона $p\,V = \dfrac{m}{\mu} RT; p = \dfrac{\rho}{\mu} RT$, откуда $\rho = \dfrac{p\mu}{RT}$.

Средняя арифметическая скорость $< \upsilon >= \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi\mu}}$.

По определению средняя длина свободного пробега

$$<\lambda>=\frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n_0}$$, где d – эффективный диаметр молекулы водорода, n_0 – число молекул водорода в 1м^3.

Давление и температура газа связаны соотношением $p=n_0kT$, где $k=\frac{R}{N_A}$,

R = 8,31 Дж/моль·К.

Окончательно, выражение для коэффициента внутреннего трения имеет вид

$$\eta=\frac{1}{3}\cdot\frac{p\mu}{RT}\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}\cdot\frac{RT}{\sqrt{2}\pi d^2 pN_A}=\frac{\sqrt{8\mu RT}}{3\sqrt{2\pi^3}d^2N_A}.$$

Проверяем размерность: $[\eta]=\sqrt{\frac{кг\cdot Дж\cdot К}{моль\cdot моль\cdot К}}\frac{моль}{м^2}=\frac{кг}{м\cdot с}$.

Вычисления: $\eta=\frac{\sqrt{8\cdot 0{,}002\cdot 8{,}31\cdot 300}}{3\sqrt{2\cdot 3{,}14^3}\,2{,}3^2\cdot 10^{-20}\cdot 6{,}02\cdot 10^{23}}=8{,}4\cdot 10^{-6}\left(\frac{кг}{м\cdot с}\right)$

Ответ: $\eta=8{,}4\cdot 10^{-6}\,\frac{кг}{м\cdot с}$.

ЗАДАЧА 3. Азот массой 2 кг охлаждают при постоянном давлении от 400 К до 300 К. Определить изменение внутренней энергии, внешнюю работу и количество выделенной теплоты.

Дано	Решение
N_2 $\mu=28\cdot 10^{-3}\,\frac{кг}{моль}$ T_1= 400 К T_2= 300 К m = 2 кг ——————— ΔU -? A-? Q -?	При изобарическом процессе изменение внутренней энергии $\Delta U=\frac{m}{\mu}C_V\Delta T=\frac{m}{\mu}C_V(T_2-T_1)$. $C_V=\frac{i}{2}R$ - молярная теплоемкость при постоянном объёме, i – число степеней свободы. Азот – двухатомный газ. Для двухатомного газа i = 5. Тогда $\Delta U=\frac{5}{2}\frac{m}{\mu}R(T_2-T_1)$.

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении газа при постоянном давлении $Q=\frac{m}{\mu}C_P\Delta T=\frac{m}{\mu}C_P(T_2-T_1)$. $C_P=\frac{i+2}{2}R$ -молярная теплоемкость при постоянном давлении. Для двухатомных молекул $C_P=\frac{7}{2}R$.

Количество теплоты $Q=\frac{7}{2}\frac{m}{\mu}R(T_2-T_1)$. Работу найдем исходя из первого начала термодинамики.

Согласно первому началу термодинамики $\Delta U=Q+A$, тогда $A=Q-\Delta U$

Вычисления: $\Delta U=\frac{5}{2}\frac{2}{0{,}028}8{,}31(300-400)=-148000$ (Дж),

$$Q=\frac{7}{2}\frac{2}{0{,}028}8{,}31(300-400)=-207000\,(\text{Дж})$$

$$A=148000-207000=-59000\,(\text{Дж})$$

Ответ: $\Delta U=-148000$ Дж, $Q=-207000$ Дж, $A=-59000$ Дж.

ЗАДАЧА 4. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя T_1= 500 К, холодильника T_2= 300 К. Работа изотермического расширения газа составляет 2 кДж. Определить: 1) термический КПД цикла; 2) количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии холодильнику.

Дано	Решение
T_1= 500 К	По определению КПД цикла Карно
T_2= 300 К	$\eta=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=\frac{T_1-T_2}{T_1}$ или $\eta=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{T_2}{T_1}$.
$A_{12}=2\cdot10^3$ Дж	Откуда $\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}$ (1). Тепло, подводимое к системе идет на совершение работы по расширению, т.е $Q_1=A_{12}$.
η -? Q_2 -?	Из уравнения (1) $Q_2=Q_1\frac{T_2}{T_1}=A_{12}\frac{T_2}{T_1}$.

Проверяем размерность: $[Q_2]=\frac{Дж\cdot К}{К}=Дж$

Вычисления: $Q_2=\frac{2\cdot10^3\cdot300}{500}=1200(Дж)$, $\eta=(1-\frac{300}{500})100\%=40\%$.

Ответ: $Q_2=1200Дж$, $\eta=40\%$.

ЗАДАЧА 5. В результате изотермического расширения объём 10 г кислорода увеличился в 3 раза. Определить изменение энтропии газа.

Дано	Решение
O_2	Изменение энтропии системы определяется по формуле
$\mu=32\cdot10^{-3}\frac{кг}{моль}$	$\Delta S=S_2-S_1=\int_1^2\frac{dQ}{T}$, (1) где dQ - количество теплоты,
m= 0,01 кг	сообщенное телу; S_1 и S_2 – значение энтропии в
T - const	начальном и конечном состоянии системы.
$V_2=3V_1$	При изотермическом расширении все подводимое количество теплоты идет на работу по расширению
ΔS -?	$dQ=\delta A=pdV$. Давление выражаем из уравнения состояния

газа $p=\frac{m}{\mu}\frac{RT}{V}$. Тогда $dQ=\frac{m}{\mu}\frac{RT}{V}dV$ (2).

Подставляя (2) в (1), получаем

$$\Delta S=\int_{V_1}^{V_2}\frac{m}{\mu}R\frac{dV}{V}=\frac{m}{\mu}R\ln\frac{V_2}{V_1}.$$

Вычисления:

$$\Delta S = \frac{0{,}01}{0{,}032} 8{,}31 \ln 3 = 2{,}7 \text{ (Дж/К).}$$

Ответ: $\Delta S = 2{,}7$ Дж/К.

ЗАДАЧА 6. Определить наибольшую и наименьшую длины волн фотонов, излучаемых при переходе электронов в серии Пашена.

Дано	Решение
$R_\lambda = 1{,}097 \cdot 10^7$ м$^{-1}$	Определять длину волны при всевозможных переходах электронов в атоме водорода можно с помощью формулы
$\lambda_{max} - ?\ \lambda_{min} - ?$	Бальмера $\frac{1}{\lambda} = R_\lambda \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ или $\lambda = 1 \Big/ R_\lambda \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

В серии Пашена переход осуществляется на третью орбиту со всех вышележащих , т.е. m =3; n = 4,5,6,…,∞.

Максимальное значение длины волны получаем при n = 4.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{R_\lambda \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right)}$$. Минимальное значение длины волны при n → ∞.

$$\lambda_{min} = \frac{1}{R_\lambda \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty} \right)}$$. **Вычисления:** $\lambda_{max} = \frac{1}{1{,}097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right)} = 1{,}88 \cdot 10^{-6}$ (м),

$$\lambda_{min} = \frac{1}{1{,}097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{3^2} \right)} = 0{,}82 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}$$

Ответ: $\lambda_{max} = 1{,}88 \cdot 10^{-6}$ м, $\lambda_{min} = 0{,}82 \cdot 10^{-6}$ м.

ЗАДАЧА 7. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если 5/8 начального количества ядер этого изотопа распалось за время 849с.

Дано	Решение
t = 849 с	Закон радиоактивного распада
$\frac{N}{N_0} = \frac{5}{8}$	$N = N_0 e^{-\lambda t}$ (1), где λ – постоянная распада. $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$
$T_{1/2}$-?	$T_{1/2}$ – период полураспада- время, за которое распадается половина исходного числа ядер.

Из формулы (1) $\frac{N}{N_0} = \exp(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t)$. Логарифмируем левую и правую части уравнения $\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}$, откуда $T_{1/2} = \frac{-t \ln 2}{\ln \frac{N}{N_0}}$

Проверяем размерность: $[T_{1/2}] = c$

Вычисление: $T_{1/2} = \dfrac{-849 \cdot 0,693}{\ln\frac{5}{8}} = 600$ (с) = 10 (мин).

Ответ: $T_{1/2}$= 10 мин.

ЗАДАЧА 8. Ядро атома вора $^{10}_{5}B$ может захватывать нейтрон. В результате этого происходит расщепление бора на ядра лития и гелия. Написать ядерную реакцию и определить энергию, освобождающуюся при этой реакции.

Дано	Решение
m_B= 10,012939 а.е.м.	Запишем уравнение реакции на основе законов
m_n= 1,008665 а.е.м.	сохранения зарядового и массового чисел
m_{Li}= 7,016004 а.е.м.	$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He$
m_{He}= 4,002603 а.е.м.	Изменение энергии при ядерной реакции в МэВ
ΔE -?	
	$\Delta E = \Delta mc^2$, $\Delta m = (m_B + m_n) - (m_{Li} + m_{He})$ - дефект

массы. В атомных единицах массы (а.е.м.) $c^2 = 931{,}4$ МэВ/а.е.м.

Вычисления: $\Delta E = [(10{,}012939 + 1{,}008665) - (7{,}016004 + 4{,}002603)]931{,}4 = 2{,}17(МэВ)$

Поскольку масса исходных ядер больше массы получившихся, реакция сопровождается выделением энергии.

Ответ: ΔE = 2,17 МэВ.

ЗАДАЧА 9. Каков КПД атомной электростанции мощностью P= $5\cdot10^8$Вт, если за 1 год было израсходовано m = 965 кг урана $^{235}_{92}U$? В каждом акте деления выделяется ΔE = 200 МэВ энергии.

Дано	Решение
P= $5\cdot10^8$Вт	Число атомов, содержащихся в массе m вещества
t = $3{,}15\cdot10^7$с	$N = \dfrac{m}{\mu}N_A$. $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$ –число Авогадро.
m = 956 кг	Полная энергия, выделяющаяся при распаде N атомов
ΔE = $3{,}2\cdot10^{-11}$Дж	урана $E_{пол} = N\Delta E = \dfrac{m}{\mu}N_A\Delta E$.
μ = $235\cdot10^{-3}$кг/моль	Полная энергия, которую дает атомная электростанция $E = Pt$
η - ?	КПД – это отношение полезной энергии к полной энергии $\eta = \dfrac{E}{E_{пол}} = \dfrac{\mu Pt}{mN_A\Delta E}$.

Проверяем размерность $[\eta] = \dfrac{кг \cdot Вт \cdot с \cdot моль}{моль \cdot кг \cdot Дж} = \dfrac{Дж}{Дж} = 1$.

Вычисления: $\eta = \dfrac{0{,}235 \cdot 5 \cdot 10^{8} \cdot 3{,}15 \cdot 10^{7}}{965 \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11}} = 0{,}20$, η = 20%.

Ответ: η = 20%.

ЗАДАЧИ
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

400. В баллоне емкостью 110л помещено 0,8 г водорода и 1,6 г кислорода. Определите давление смеси на стенки сосуда, если температура окружающей среды 27^0С.

401. В комнате объёмом 64 $м^3$ находится воздух при 17^0С. Какая масса воздуха выйдет чрез форточку, если температура в комнате повышается до 20^0С?

402. Два сосуда соединены трубкой с краном. В первом сосуде находится 2 кг некоторого газа под давлением $4{\cdot}10^5$Н/$м^2$, а во втором 3 кг того же газа. Определить каким было давление во втором сосуде, если после открытия крана в обоих сосудах устанавливается давление $p = 6{\cdot}10^5$ Н/$м^2$.

403. газ находится в сосуде при давлении $2{\cdot}10^5$ Па и температуре 27^0 С. После нагревания на 50^0 С в сосуде осталась половина газа. Определить установившееся давление.

404. Первоначальный объём газа в цилиндре при давлении 120 кПа равен 0,1$м^3$. Затем его нагрели до температуры 687 К при прежнем давлении. В результате часть газа вышла из цилиндра. Определите, сколько молей газа осталось в цилиндре.
Смесь газов из 3 г водорода, 28 г азота и 10 г углекислого газа заключают в замкнутый объём 30 литров при температуре 27^0С. Определить давление смеси газов в этом объёме.

405. Найдите число молекул газа, находящегося в сосуде объёмом 0,6 л при нормальных условиях.

406. При нагревании газа на $\Delta T = 10$ К его объём увеличился на 1/250 часть от первоначального объёма. Найти начальную температуру газа, считая давление постоянным.

407. В сосуде находится смесь водорода и кислорода, причем их массовые доли равны соответственно: $\omega_1 = 2/7$ и $\omega_2 = 5/7$.найти плотность смеси газов, если давление смеси $p = 50$ кПа, а температура $T = 273$ К.

408. После нагревания газа массой 10 г при постоянном давлении его плотность стала равной 0,5 кг/$м^3$. До какой температуры нагрели газ, если первоначально он занимал объём V_1= 3 л при температуре $t_1 = 10^0$ С?

409. Газ массой 117 г находится в сосуде вместимостью 10 л. Концентрация молекул газа $n = 2{,}2{\cdot}10^{26}м^{-3}$. Какой это газ?

410. Найти число молекул азота в $1м^3$, ели давление равно 3,69 атм, а средняя квадратичная скорость молекул равна 2400 м/с.

411. Сосуд емкостью 3 л содержит азот при температуре 37^0С и давлении 0,5 атм. Найти число столкновений между всеми молекулами за 1 с и среднюю длину свободного пробега молекул (Эффективный диаметр молекулы азота $3,1\cdot10^{-10}$м).

412. Найдите температуру, при которой средняя квадратичная скорость молекулы азота равнялась бы средней квадратичной скорости молекул водорода при температуре T_1= 300 К.

413. Найти плотность азота, если молекула за 1с испытывает $2,5\cdot10^8с^{-1}$ столкновений при температуре 280 К. (Эффективный диаметр молекулы азота $3,1\cdot10^{-10}$м).

414. Определить плотность разреженного азота, если средняя длина свободного пробега молекул 8 см. Какова концентрация азота? (Эффективный диаметр молекулы азота $3,1\cdot10^{-10}$м).

415. Найти, во сколько раз отличается коэффициент диффузии кислорода от коэффициента диффузии гелия, если оба находятся при нормальных условиях.

416. Определить коэффициент внутреннего трения для водорода, имеющего температуру 27^0С и давление 10^5Па. (Эффективный диаметр молекулы водорода $2,3\cdot10^{-10}$м).

417. Вязкость водорода 8,6 мкПа·с. Определите коэффициент теплопроводности водорода при тех же условиях.

418. Вычислить коэффициент внутреннего трения и коэффициент диффузии кислорода, находящегося при давлении 0,2 МПа и температуре 280 К. (Эффективный диаметр молекулы кислорода $2,9\cdot10^{-10}$м).

419. Вычислить количество льда, которое образуется в течение часа в бассейне, площадь которого 10 $м^2$. Толщина льда 15 см, температура воздуха (-10^0С), коэффициент теплопроводности льда 2,1 Вт/(м·К). Удельная теплота плавления льда $33,5\cdot10^{-4}$ Дж/кг.

420. Азот массой 2 кг охлаждают при постоянном давлении от 400 К до 300К. Определить изменение внутренней энергии, внешнюю работу и количество выделившейся теплоты.

421. Аргон при давлении 0,8 атм изменил объём с 1 л до 2 л. Найти изменение внутренней энергии при изобарическом расширении.

422. Аргон при давлении 0,6 атм изменил объём с 0,5 л до 1,5 л. Найти изменение внутренней энергии при адиабатическом расширении.

423. Газовая смесь состоит из азота массой 2 кг и аргона массой 1 кг. Принимая эти газы за идеальные, определить удельные теплоёмкости c_v и c_p газовой смеси.

424. Кислород массой 160 г нагревают при постоянном давлении от 320 К до 340 К. Определить количество теплоты, поглощаемое газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

425. Вычислить удельные теплоёмкости c_v и c_p неона и водорода, если массовые доли неона и водорода $\omega_1 = 70\%$ и $\omega_2 = 30\%$. Известно, что
c_{v1}= $6{,}24 \cdot 10^2$ Дж/(кг·К); c_{v2}= $1{,}04 \cdot 10^4$ Дж/(кг·К)/

426. Газ, для которого $\gamma = c_p / c_v = 4/3$, находится под давлением $p = 2 \cdot 10^5$Па и занимает объём 2 л. В результате изобарического нагревания объём увеличился в 2 раза. Определить количество теплоты, переданное газу.

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

428. В цилиндре под поршнем находится водород, который имеет массу 0,02 кг и начальную температуру 27^0С. Водород сначала расширился адиабатически, увеличив свой объём в 5 раз, а затем был сжат изотермически, причем объём газа уменьшился в 5 раз. Найти температуру в конце адиабатического расширения и работу, совершенную газом.

429. Кислород массой 2 кг занимает объём V_1=1м^3 и находится под давлением p_1 = 0,2 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объёма V_2= 3м^3, а затем при постоянном объёме до давления p_1 = 0,5 МПа. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную работу и количество теплоты, переданное газу. Построить график процесса.

430. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу $1{,}5 \cdot 10^5$ Дж. Температура нагревателя 400 К, температура холодильника 260 К. Найти КПД машины, количество теплоты, получаемое машиной за один цикл от нагревателя, и количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику.

431. Определить работу A_2 изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого равен 0,3, если работа изотермического расширения A_1 = 9 Дж. Построить график цикла и указать на нем A_2 , A_1 и работу цикла.

432. Температура нагревателя тепловой машины 500 К. Температура холодильника 400 К. Определить КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, и полезную мощность машины, если нагреватель ежесекундно передает её 1675 Дж теплоты.

433. Тепловая машина работает по обратимому циклу Карно. Температура нагревателя 227^0C. Определить термический КПД цикла и температуру охладителя тепловой машины, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу 350 Дж.

434. Тепловая машина работает по циклу Карно. При изотермическом расширении двухатомного газа его объём увеличивается в 3 раза, а при последующем адиабатическом расширении – в 5 раз. Определить КПД цикла.

435. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества
ν =1 моль и находящийся под давлением p_1= 0,1МПа при температуре
T_1 = 300 К, нагревают при постоянном объёме до давления p_2= 0,2 МПа. После этого газ изотермически расширился до начального давления и затем был сжат до начального объёма V_1. Построить график цикла. Определить температуру характерных точек цикла и его термический КПД.

436. Кислород массой 20г нагревается от температуры 20^0C до температуры 220^0C. Найти изменение энтропии при изохорическом нагревании.

437. Смешали воду массой m_1= 5 кг при температуре T_1=280 К с водой массой m_2= 8 кг при температуре T_2=350 К. Найти температуру θ смеси, изменение энтропии ΔS.

438. В результате изотермического расширения 8 г кислорода его объём увеличился в 2 раза. Определить изменение энтропии газа.

439. Лед массой 2 кг, находящийся при температуре (-13^0C), нагрели до 0^0C и расплавили. Определить изменение энтропии.

440. Атом водорода испустил фотон с длиной волны $4{,}86\cdot10^{-7}$м. На сколько изменилась энергия в атоме?

441. Определить длину волны спектральной линии, соответствующей переходу электрона в атоме водорода с шестой орбиты на вторую.

442. Определить наибольшие и наименьшие длины волн фотонов, излучаемых при переходе электронов в серии Лаймана.

443. Определить наибольшие и наименьшие частоты фотонов, излучаемых при переходе электронов в серии Пашена.

444. Определить наименьшую и наибольшую энергии фотона в видимой серии спектра водорода (серии Бальмера).

445. Определите период полураспада радиоактивного изотопа, если 5/8 начального количества ядер этого изотопа распалось за время t = 849с.

446. При распаде 4 г радиоактивного полония ^{210}Po в течение одного часа образовался гелий ^4He , который при нормальных условиях занял объём 89,5 $см^3$. Определить период полураспада $T_{1/2}$.

447. Сколько ядер, содержащихся в 1г трития ^3_1H, распадается за среднее время жизни этого изотопа?

448. Период полураспада кобальта $^{60}_{27}Co$ равен 5,3 года. Определить, какая доля первоначального количества ядер этого изотопа распадется через 5 лет.

449. Определить постоянную распада и число атомов радона, распавшихся в течение суток, если первоначальная масса радона 10 г. Период полураспада радона равен 3,82 суток.

450. Ядро, состоящее из 92 протонов и 143 нейтронов, выбросило α –частицу. Какое ядро образовалось при α – распаде? Определить дефект массы и энергию связи образовавшегося ядра.

451. Вычислить энергию ядерной реакции $^4_2He + ^4_2He \rightarrow ^7_3Li + ^1_1p$. Выделяется или поглощается при этой реакции?

452. Ядро атома бора $^{10}_5B$ может захватывать нейтрон. В результате этого происходит расщепление бора на ядра лития и гелия. Написать ядерную реакцию и определить энергию, освобождающуюся при этой реакции.

453. Найти электрическую мощность атомной электростанции, расходующей 0,1 *кг* урана-235 в *сутки*, если КПД станции равен 16%. Считать энергию, выделяющуюся при одном акте деления ядра урана-235, равной 200 *МэВ*.

454. Определить массовый расход урана-235 в ядерном реакторе атомной электростанции. Тепловая мощность электростанции равна 10 *МВт*, КПД электростанции составляет 20%. Считать, что при каждом акте деления ядра урана-235 выделяется энергия 200 *МэВ*.

455. Вычислить энергетический эффект реакции $^2_1H+^7_3Li \rightarrow ^8_4Be+^1_0n$.

456. Каков КПД атомной электростанции мощностью P = $6 \cdot 10^8$Вт, если за полгода было израсходовано m = 900 кг урана $^{235}_{92}U$? В каждом акте деления выделяется ΔE = 200 МэВ энергии.

457. Энергия связи $E_{св}$ ядра, состоящего их двух протонов и одного нейтрона, равна 7,72 МэВ. Определить m_a нейтрального атома, имеющего это ядро.

458. Какую наименьшую энергию E нужно затратить, чтобы оторвать один нейтрон от ядра азота $^{14}_7N$?

459. Определить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $^{16}_8O$.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные физические постоянные

Физические постоянные	Обозначения	Значения
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ^{2}
Гравитационная постоянная	G	6,67·10 $^{-11}$ м ^{3}/кг·с ^{2}
Постоянная Авогадро	N_A	6,62·10 ^{23} моль $^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	8,31Дж/моль·К
Постоянная Больцмана	k	1,38·10 $^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд (заряд электрона)	e	1,6·10 $^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	3·10 ^{8} м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	5,67·10 $^{-8}$ Вт/м ^{2} ·К ^{4}
Постоянная закона смещения Вина	b	2,9·10 $^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	6,62·10 $^{-34}$ Дж·с
Комптоновская длина волны электрона	λ_C	2,43·10 $^{-12}$ м
Атомная единица массы	а.е.м.	1,66·10 $^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ε_0	8,85·10 $^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

2. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	9,11·10 $^{-31}$	0,00055	8.16·10 $^{-14}$	0,511
Протон	1,672·10 $^{-27}$	1,00728	1,5·10 $^{-10}$	938
Нейтрон	1,675·10 $^{-27}$	1,00867	1,51·10 $^{-10}$	939
Дейтрон	3,35·10 $^{-27}$	2,01355	3,00·10 $^{-10}$	1876
α-частица	6,64·10 $^{-27}$	4,00149	5,96·10 $^{-10}$	3733

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

Элемент	Изотоп	Масса	Элемент	Изотоп	Масса
Водород	H_1^1	1,00783	Алюминий	${}^{27}_{13}Al$	26,98153
Водород	H_1^2	2,01410	Магний	${}^{24}_{12}Mg$	23,98504
Водород	H_1^3	3,01605	Серебро	${}^{107}_{47}Ag$	107,868
Гелий	${}^{4}_{2}He$	4,00260	Бериллий	${}^{9}_{4}Be$	9,01505
Гелий	${}^{3}_{2}He$	3,01603	Уран	${}^{235}_{92}U$	235,11750
Углерод	${}^{12}_{6}C$	12,00380			
Литий	${}^{7}_{3}Li$	7,01601			
Кислород	${}^{17}_{8}O$	17,00456			

Эффективные диаметры атомов и молекул

Вещество	Диаметр
Гелий	$0,20 \cdot 10^{-9}$ м
Водород	$0,23 \cdot 10^{-9}$ м
Кислород	$0,30 \cdot 10^{-9}$ м
Азот	$0,30 \cdot 10^{-9}$ 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