Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В трех частях

ЧАСТЬ 3

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА,
КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ,
ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ,
АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Новополоцк 2006

УДК 53 (075.8)

Одобрены и рекомендованы к изданию
методической комиссией машиностроительного факультета

Кафедра физики

Составители:

В.А. Груздев, д-р техн. наук, профессор
Г.А. Дубченок, ст. преподаватель
Г.М. Макаренко, канд. техн. наук, профессор

Рецензенты:

С.А. Вабищевич, канд. физ.-мат. наук, доцент
Л.И. Прокопович, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный сборник составлен в соответствии с программой по общему курсу физики и призван помочь студентам самостоятельно научиться решать задачи по физике.

Физика является одной из тех наук, знание которой необходимо для успешного изучения общенаучных и специальных дисциплин. При изучении курса физики студенты должны прочно усвоить основные законы и теории, овладеть необходимыми приемами умственной деятельности, важным компонентом которой является умение решать задачи по физике.

Известно, что единственный способ научиться решать задачи – пытаться решать их самостоятельно. Знание теории приобретается одновременно с ее использованием для решения задач. Абстрактные поначалу законы, уравнения, определения понятий и физических величин в процессе их практического применения для описания конкретных физических явлений (т.е. при решении физических задач) начинают постепенно наполняться конкретным содержанием, и только тогда приходит понимание теории. Недаром известный итальянский физик Энрико Ферми утверждал, что «знать физику – означает умение решать задачи». Следовательно, уровень подготовки по физике определяется уровнем сложности задач, которые студент может решать.

В сборник включены задачи разной степени сложности. Все задачи объединены в три раздела: «Волновая оптика», «Квантовая природа излучения» и «Элементы квантовой механики, атомной и ядерной физики». Внутри разделов задачи расположены по темам. Вначале приведены основные законы, уравнения и формулы, используемые при решении задач, а в конце даны задачи для самостоятельного решения.

Для удобства и экономии времени студентов для каждой темы дан перечень основных уравнений и формул и кратких пояснений к ним. Затем следуют примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения.

Примеры решений не имеют цели научить решению задач: научить нельзя – можно только научиться. Но для этого существует единственный путь – самостоятельное решение большого числа задач. Примеры решения типовых задач выполняют другую роль: показывают последовательность физических рассуждений, применимость того или иного физического закона к данной задаче. Решения задач приводятся в общем виде. Вычисления и проверка единиц измерения ради экономии места в ряде примеров опускаются.

В прил. 2 в конце сборника приводятся справочные данные: основные физические постоянные, сводные таблицы физических величин.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Студенты-заочники, пользующиеся данным учебным пособием, выполняют работы в соответствии с таблицей вариантов. Преподаватель может выдать студенту и индивидуальное задание, т.е. задачи, не входящие в данный вариант.

Выбор задач для контрольной работы производится по таблице. Необходимо строго придерживаться своего варианта.

Задания оформляются следующим образом:

1. Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой приводятся сведения по образцу (прил. 1).

Задачи выбираются из таблицы вариантов контрольной работы в соответствии с шифром студента по предпоследней и последней цифре шифра.

Для пометок преподавателя оставляются поля. Решение каждой задачи начинается с новой страницы. В конце работы следует привести список использованной литературы и расписаться.

2. Условия всех задач переписываются полностью, без сокращений. Сокращение слов, кроме общепринятых, недопустимо.

3. Все значения величин, заданных в условии и взятых из справочных таблиц, записываются для наглядности сокращенно (столбиком).

4. Все задачи решаются в Международной системе единиц (СИ).

5. Необходимые для решения чертежи, схемы или графики выполняются карандашом, аккуратно, с соблюдением всех правил технического черчения.

6. Решение задач должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями и подробными вычислениями. Все задачи полезно решать до конца в общем виде, а числовые значения подставлять в окончательную формулу, с обязательной проверкой единиц измерения искомых физических величин, а именно: после получения расчетной формулы следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин обозначения единиц измерения этих величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица измерения соответствует искомой величине. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.

При объяснении решения задачи указываются основные физические законы и формулы, на которых базируется решение, в обязательном порядке разъясняются все используемые буквенные обозначения.

7. Если контрольная работа не зачтена, то необходимые дополнения и исправления выполняются в той же тетради в конце работы. Исправления в тексте незачтенной задачи не допускаются.

8. Контрольная работа сдается на проверку только после получения рецензии на предыдущую, но не позднее, чем за месяц до начала экзаменационной сессии. Сдача работ в период сессии не допускается.

Раздел 7. Оптика

7.1. Элементы геометрической оптики и фотометрические величины. Основные понятия и законы геометрической оптики. Оптическая длина пути и принцип Ферма. Преломление на сферической поверхности. Линзы. Формула тонкой линзы. Погрешности оптических систем. Световой поток. Сила света. Освещенность. Светимость и яркость.

7.2. Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Время и длина когерентности. Принцип суперпозиции волн. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников. Способы наблюдения интерференции света. Интерференция света на тонких пленках. Интерференционные приборы.

7.3. Дифракция света. Явление дифракции света и условия ее наблюдения. Принцип Гюйгенса – Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция сферических и плоских волн. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракционная решетка и ее применение. Основы голографии. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Вульфа – Брэгта. Рентгеноструктурный анализ. Дифракция электронов. Волновые свойства микрочастиц.

7.4. Дисперсия и поглощение света. Возбуждение вторичных электромагнитных волн при прохождении света через вещество. Фазовая и групповая скорости света. Определение дисперсии света. Области нормальной и аномальной дисперсии. Электронная теория дисперсии. Применение дисперсии. Излучение Вавилова – Черенкова. Поглощение света веществом. Закон Бугера – Ламберта.

7.5. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации света. Поляризация света при отражении и преломлении. Формулы Френеля. Закон Брюстера. Оптически анизотропные среды. Двойное лучепреломление света. Одноосные и двуосные кристаллы. Методы получения и анализа поляризованного света. Закон Малюса. Искусственная оптическая анизотропия. Вращение плоскости поляризации.

7.6. Тепловое излучение. Характеристики теплового излучения. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Законы Стефана – Больцмана и Вина. Квантовая гипотеза и формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Оптическая пирометрия.

7.7. Квантовые свойства излучения. Внешний фотоэффект, его наблюдение и законы. Фотоэлементы, фотоумножители и их применение. Масса и импульс фотона. Эффект Комптона и его теория. Давление света. Опыты Лебедева. Квантовое и волновое объяснение давления света. Корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного излучения материи. Фотонный газ. Распределение Бозе-Эйнштейна.

Раздел 8. Строение и физические свойства вещества

8.1. Элементы неклассической механики. Границы применимости классической механики. Элементы частной теории относительности. Преобразования Галилея и Лоренца. Понятие одновременности. Относительность длин и промежутков времени. Интервал. Закон сложения скоростей. Импульс. Основной закон релятивистской динамики. Кинетическая энергия. Энергия покоя. Закон взаимосвязи массы и энергии. Энергия связи системы. Связь между энергией и импульсом частицы.

Элементы квантовой механики. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновая функция и ее статистический смысл. Волновая функция свободной частицы. Соотношение неопределенностей. Стационарное уравнение Шредингера. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме. Квантование энергии. Энергия гармонического осциллятора и жесткого ротатора. Нулевая энергия. Туннельный эффект.

8.2. Модель атома водорода. Опыты Резерфорда по изучению строения атома. Закономерности спектров излучения атома водорода. Опыты Франка и Герца. Дискретность энергетических уровней в атоме.

Атом водорода и его спектр излучения по теории Бора. Водородоподобные атомы. Недостатки теории Бора. Уравнение Шредингера для атома водорода. Главное, орбитальное и магнитное квантовые числа. Кратность вырождения уровней энергии.

8.3. Сложные атомы и молекулы. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спиновое квантовое число. Принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева. Рентгеновские спектры. Энергетические уровни молекул. Спектры атомов и молекул. Комбинационное рассеяние. Люминесценция. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение. Принцип детального равновесия и формула Планка. Лазеры.

8.4. Физика твердого тела. Кристаллическое состояние. Типы кристаллических решеток. Теплоемкость кристаллов. Ее зависимость от температуры. Закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость твердого тела по моделям Эйнштейна и Дебая. Квантовая теория свободных электронов в металле. Плотность энергетических состояний. Распределение Ферми – Дирака. Энергетические зоны в кристаллах. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Электропроводность металлов. Собственная и примесная электропроводность полупроводников. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрические явления. Контакт металла и полупроводника, *p-n*-переход. Полупроводниковые приборы. Сверхпроводимость. Тепловые и магнитные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники первого и второго рода. Физические представления о механизме сверхпроводимости. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

8.5. Жидкие кристаллы. Типы жидких кристаллов: нематики, холестрики, смектики. Примеры жидких кристаллов. Фазовые переходы в жидких кристаллах. Упругие свойства нематиков. Поведение в электрическом и магнитном полях. Применение жидких кристаллов.

8.6. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Заряд, размер и масса атомного ядра. Ядерные силы. Дефект массы и энергия связи ядер. Радиоактивный распад. Закономерности альфа- и бета-распада, атомных ядер. Гамма-излучение. Ядерные реакции и законы сохранения. Реакция деления ядра. Цепная реакция деления. Понятие о ядерной энергетике. Реакция синтеза атомных ядер. Элементарные частицы, их классификация и взаимная превращаемость.

2. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ФОРМУЛЫ

2.1. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

Скорость света в среде

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

где c – скорость света в вакууме; n – абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны

$$L = nl,$$

где l – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n.

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Оптическая разность хода световых волн, отражённых от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки или плёнки, находящейся в воздухе,

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad \Delta = 2dn\cos\gamma + \frac{\lambda}{2},$$

где d – толщина пластинки (плёнки); α – угол падения; γ – угол преломления; λ – длина световой волны в вакууме.

Второе слагаемое в этих формулах учитывает изменение оптической длины пути световой волны на $\frac{\lambda}{2}$ при отражении её от среды оптически более плотной.

В проходящем свете отражение световой волны происходит от среды оптически менее плотной, и дополнительной разности хода световых лучей не возникает.

Связь разности фаз $\Delta\varphi$ колебаний с оптической разностью хода волн

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}.$$

Условие максимумов интенсивности света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda \ \ (k = 0, 1, 2, 3, \ldots).$$

Условие минимумов интенсивности света при интерференции:

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Радиусы светлых колец Ньютона в отражённом свете (или тёмных в проходящем)

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}},$$

где k – номер кольца (k = 1, 2, 3, …); R – радиус кривизны поверхности линзы, соприкасающейся с плоскопараллельной стеклянной пластинкой.

Радиусы тёмных колец в отражённом свете (или светлых в проходящем)

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}.$$

Радиус k-й зоны Френеля:

– для сферической волны $\rho_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}k\lambda}$,

где a – расстояние от диафрагмы с круглым отверстием до точечного источника света; b – расстояние от диафрагмы до экрана; k – номер зоны Френеля; λ – длина волны;

– для плоской волны $\rho_k = \sqrt{bk\lambda}$.

Дифракция света на одной щели при нормальном падении лучей

Условие максимумов интенсивности света:

$$a\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}; \qquad k = 1, 2, 3, \ldots,$$

где a – ширина щели; φ – угол дифракции; k – номер минимума; λ – длина волны.

Условие минимумов интенсивности света:

$$a\sin\varphi = \pm 2k\frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda; \qquad k = 1, 2, 3, \ldots$$

Дифракция света на дифракционной решётке при нормальном падении лучей

Условие главных максимумов интенсивности:

$$d\sin\varphi = \pm k\lambda \qquad k = 0, 1, 2, \ldots,$$

где d – период (постоянная) решётки; k – номер главного максимума; φ – угол между нормалью к поверхности решётки и направлением дифрагированных волн.

Разрешающая сила дифракционной решётки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

где $\Delta\lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решётки; N – число штрихов решётки; k – порядковый номер дифракционного максимума.

Угловая дисперсия дифракционной решётки

$$D_\varphi = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{d\cos\varphi}.$$

Линейная дисперсия дифракционной решётки

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda};$$

для малых углов дифракции

$$D_l \approx F D_\varphi \approx F\frac{k}{d},$$

где F– главное фокусное расстояние линзы, собирающей на экране дифрагирующие волны.

Формула Вульфа – Брэгга:

$$2d\sin\Theta = k\lambda,$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; Θ – угол скольжения.

Закон Брюстера:

$$tg\alpha_Б = n_{2,1},$$

где $\alpha_Б$ – угол падения, при котором отражённая световая волна полностью поляризована; $n_{2,1}$ – относительный показатель преломления.

Закон Малюса:

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

где I – интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор; I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; α – угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора.

Степень поляризации света

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}},$$

где I_{max} и I_{min} – максимальная и минимальная интенсивность частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

Угол поворота φ плоскости поляризации оптически активными веществами определяется соотношениями:

- *в твёрдых телах* $\varphi = \alpha d$, где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;
- *в чистых жидкостях* $\varphi = [\alpha]\rho d$, где $[\alpha]$ – удельное вращение; ρ – плотность жидкости;
- *в растворах* $\varphi = [\alpha]Cd$, где C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

2.2. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Закон Стефана – Больцмана:

$$R = \sigma T^4,$$

где R – энергетическая светимость чёрного тела; T – термодинамическая температура тела; σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Закон смещения Вина:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$

где λ_{max} – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения чёрного тела; b – постоянная Вина.

Энергия фотона

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где h – постоянная Планка; ν – частота света.

Давление света при нормальном падении на поверхность

$$P = \frac{E}{c}(1+\rho) = \omega(1+\rho),$$

где E – энергетическая освещённость (интенсивность света); ρ – коэффициент отражения; ω – объёмная плотность энергии излучения.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$E = A + E_{k_{\max}},$$

где A – работа выхода электронов из металла; $E_{k_{\max}}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Комптоновская длина волны частицы

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = \frac{hc}{E_0},$$

где m_0 – масса покоящейся частицы; E_0 – энергия покоя частицы.

Изменение длины волны излучения при эффекте Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c \left(1 - \cos\Theta\right) = 2\lambda_c \sin^2\frac{\Theta}{2},$$

где λ и λ' – длина волны падающего и рассеянного излучения; Θ – угол рассеяния.

Энергетическая светимость серого тела

$$R_Э^* = \alpha_T \sigma T^4,$$

где α_T – коэффициент теплового излучения (степень черноты) серого тела.

Формула Планка:

$$r_{\lambda,T}^* = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(2\pi\hbar c / kT\lambda\right) - 1};$$

$$r_{\omega,T}^* = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2 c^2} \cdot \frac{1}{\exp\left(\dfrac{\hbar\omega}{kT}\right) - 1},$$

где $r_{\lambda,T}^*, r_{\omega,T}^*$ – спектральные плотности энергетической светимости черного тела; λ – длина волны; ω – циклическая частота; c – скорость света в вакууме; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; $\hbar$ – постоянная Планка ($\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$, Дж×с).

Зависимость максимальной спектральной плотности энергетической светимости от температуры:

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

где C – постоянная ($C = 1{,}30\cdot10^{-5}$ Вт/(м$^3\cdot$К^5).

Связь энергетической светимости $R^*_Э$ абсолютно черного тела с равновесной объемной плотностью и энергией излучения:

$$R^*_Э = \frac{c}{4}\omega,$$

где c – скорость света в вакууме.

Энергия фотона

$$\varepsilon = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda}; \quad \varepsilon = \hbar\omega,$$

где $\hbar$ – постоянная Планка; ω – циклическая частота; λ – длина волны.

Масса и импульс фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{2\pi\hbar}{c\lambda};$$

$$p = mc = \frac{2\pi\hbar}{c\lambda} = \frac{\hbar\omega}{c}.$$

Комптоновская длина волны

$$\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{m_0 c}$$

(при рассеянии фотона на электроне $\lambda_c = 2{,}43$ нм).

2.3. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ, АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Длина волны де Брайля:

$$\lambda = h/p,$$

где h – постоянная Планка; p – импульс частицы.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга:

- для координаты и импульса

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar;$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi},$$

где Δx – неопределенность координаты частицы; Δp_x – неопределенность проекции импульса частицы на соответствующую координатную ось;

- для энергии и времени

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi} = \hbar,$$

где ΔE – неопределенность энергии частицы в некотором состоянии; Δt – время нахождения частицы в этом состоянии.

Плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства

$$\omega = |\psi|^2,$$

где ψ – волновая функция частицы.

Волновая функция, описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой однополярной потенциальной яме,

$$\psi_n \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\frac{n\pi x}{l},$$

где l – ширина ямы; x – координата частицы в яме ($0 < x < l$); n – квантовое число ($n = 1, 2, 3, \ldots$).

Энергия частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме

$$E_n = \frac{\hbar^2}{8ml^2} n^2,$$

где m – масса частицы.

Сериальные формулы спектра водородоподобных атомов:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

где λ – длина волны спектральной линии; R – постоянная Ридберга; Z – порядковый номер элемента; $n = 1, 2, 3, \ldots$; $k = n + 1, n + 2, \ldots$

Спектральные линии характеристического рентгеновского излучения:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z-a)^2\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{k^2}\right),$$

где a – постоянная экранирования.

Дефект массы ядра

$$\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - m_я,$$

где m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_я$ – масса ядра; Z и A – зарядовое и массовое числа.

Энергия связи ядра

$$E_{св} = c^2\Delta m,$$

где c – скорость света в вакууме.

Удельная энергия связи

$$\varepsilon_{св} = \frac{E_{св}}{A}.$$

Закон радиоактивного распада:

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

где N_0 – начальное число радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$; N – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t; λ – постоянная радиоактивного распада.

Активность радиоактивного вещества

$$a = \frac{dN}{dt} = \lambda N.$$

Энергия ядерной реакции

$$Q = \Delta mc^2 = (m_1 + m_2 - \sum m_i)c^2,$$

где m_1 и m_2 – массы покоя частиц, вступающих в реакцию; Σm_i – сумма масс покоя частиц, образовавшихся в результате реакции.

Закон поглощения излучения веществом:

$$I = I_0 exp(-\mu x),$$

где I_0 – интенсивность излучения на входе в поглощающий слой вещества; I – интенсивность излучения после прохождения поглощающего слоя вещества толщиной x; μ – линейный коэффициент поглощения.

Момент импульса электрона в водородоподобном атоме, находящемся в стационарном состоянии:

$$L_n = m\upsilon r = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3,\ldots),$$

где m – масса электрона; υ – его скорость на орбите радиуса r; n – главное квантовое число.

Энергия электрона в водородоподобном атоме

$$E_n = -\frac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0\hbar^2}\left(\frac{Z}{n}\right)^2,$$

где e – элементарный заряд; ε_0 – электрическая постоянная; Z – атомный номер (зарядовое число).

Радиус электронной орбиты в водородоподобном атоме

$$R_n = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2}\left(\frac{n^2}{Z}\right).$$

Радиус первой боровской орбиты в атоме водорода

$$a = R_1 = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2} = 5,29\cdot10^{-11}\ \text{м}.$$

Коротковолновая граница $\lambda_{\min}$ сплошного рентгеновского спектра

$$\lambda_{\min} = \frac{2\pi\hbar c}{|e|U},$$

где e – заряд электрона; U – разность потенциалов, приложенная к рентгеновской трубке.

Радиус ядра

$$R = R_0 A^{1/3},$$

где R_0 – коэффициент пропорциональности, который можно считать для всех ядер постоянным, равным $1{,}3\cdot10^{-15}$ м; A – массовое число (число нуклонов в ядре).

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. В зеркале Ллойда (рис. 1) точечный источник *S* находится на расстоянии l = 2 м от экрана. На экране образуется система интерференционных полос (когерентными источниками являются первичный источник *S* и его мнимое изображение S' в зеркале). Ширина интерференционных полос *b* на экране равна 1,2 мм. Определить длину волны λ света, если после того, как источник света *S* отодвинули от плоскости зеркала на Δd = 0,5 мм, ширина полос уменьшилась в n = 2 раза.

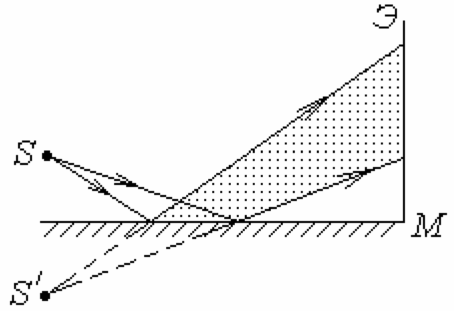

Рис. 1

Решение. Ширина интерференционной полосы (расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами) $b = \frac{l}{d}\lambda$ не зависит от порядка интерференции (величины m) и является постоянной для данных l, d и λ, откуда расстояние между источником *S* и его мнимым изображением S'

$$d = \frac{l\lambda}{b}. \qquad (1)$$

После того, как источник *S* отодвинули от плоскости зеркала на Δd, расстояние между источником и его мнимым изображением стало

$$d + 2\Delta d = \frac{l\lambda n}{b} \qquad (2)$$

(учли, что ширина полос стала в n раз меньше).

Вычитая выражение (1) из выражения (2), получаем: $2\Delta d = \frac{l\lambda}{b}(n-1)$.

Откуда искомая длина волны равна $\lambda = \frac{2b\Delta d}{(n-1)l}$.

Вычисляя, получаем $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м.

Задача 2. Какую наименьшую толщину должна иметь мыльная пленка, чтобы отраженные лучи имели красную окраску (λ = 0,63 мкм)? Белый луч падает на пленку под углом 30° (n = 1,33).

Решение. Условие максимума при интерференции: $\Delta = k\lambda$, где Δ – разность хода лучей; k – порядок интерференционного максимума; λ – длина волны.

При интерференции на тонкой пленке толщиной d, обладающей показателем преломления n, в отраженном свете разность хода лучей определяется выражением: $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + \dfrac{\lambda}{2}$.

Приравнивая выражения для Δ, получим: $2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} + \dfrac{\lambda}{2} = k\lambda$.

Откуда $d = \dfrac{(k - \frac{1}{2})\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}$.

Очевидно, что d будет минимальной при $k = 1$:

$$d_{\min} = \frac{0{,}5 \cdot 6{,}3 \cdot 10^{-7}}{2\sqrt{1{,}33^2 - 0{,}25}} \approx 0{,}13 \cdot 10^{-6} = 0{,}13 \text{ мкм.}$$

Задача 3. Для получения колец Ньютона используют плосковыпуклую линзу. Освещая ее монохроматическим светом с длиной волны 0,6 мкм, установили, что расстояние между 5-м и 6-м светлыми кольцами в отраженном свете равно 0,56 мм. Определить радиус кривизны линзы.

Решение. Расстояние Δr между кольцами есть разность радиусов r_6 и r_5 колец: $\Delta r = r_6 - r_5$.

Радиус светлого кольца в отраженном свете определяется по формуле:

$$r_k = \sqrt{(2k-1)\frac{\lambda}{2}R},$$

где k – номер кольца.

$$\Delta r = \sqrt{(2 \cdot 6 - 1)\frac{\lambda}{2}R} - \sqrt{(2 \cdot 5 - 1)\frac{\lambda}{2}R} = \sqrt{\frac{\lambda R}{2}}(\sqrt{11} - \sqrt{9});$$

$$\Delta r^2 = \frac{\lambda R}{2}(\sqrt{11} - 3)^2.$$

Откуда $R = \dfrac{2 \cdot \Delta r^2}{(\sqrt{11} - 3)^2 \lambda} = \dfrac{2 \cdot 5{,}6^2 \cdot 10^{-8}}{0{,}32^2 \cdot 6 \cdot 10^{-7}} \approx 10{,}4$ м.

Задача 4. Найти длину волны света, падающего на установку в опыте Юнга, если при помещении на пути одного из интерферирующих лучей стеклянной пластинки (n = 1,52) толщиной 3 мкм картина интерференции на экране смещается на 3 светлые полосы.

Решение. При помещении пластинки с показателем преломления n_2 на пути одного из лучей образуется дополнительная разность хода лучей $\Delta = n_2 l - n_1 l$, которая по условию максимумов будет равна $\Delta = k\lambda$. Приравнивая правые части, получим $(n_2 - n_1)l = k\lambda$.

Откуда $\lambda = \dfrac{n_2 - n_1}{k} l = \dfrac{0,52 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{3} \approx 0,52 \cdot 10^{-6}$ м.

Задача 5. На толстую стеклянную пластинку ($n_{ст}$ = 1,5), покрытую очень тонкой пленкой, абсолютный показатель преломления вещества которой равен 1,4, падает параллельный пучок лучей монохроматического света (λ = 0,6 мкм). Определить толщину пленки, при которой отраженный свет максимально ослаблен вследствие интерференции.

Решение. Выделим один луч SA. Ход этого луча в случае, когда угол падения $\alpha_1 \neq 0$, показан на рис. 2. В точках A и B падающий луч частично отражается и частично преломляется. Отраженные лучи AS_1 и BCS_2 падают на собирающую линзу L, пересекаются в ее фокусе и интерферируют между собой. Так как n_1 = 1; n_2 = 1,4; n_3 = 1,5, то в обоих случаях отражение происходит от среды оптически более плотной. Поэтому фаза колебания луча AS_1 при отражении в точке A изменяется на π рад и точно так же на π рад изменяется фаза колебаний луча BCS_2 при отражении в точке B. Следовательно, результат интерференции этих лучей при пересечении в фокусе F линзы будет такой же, как если бы никакого изменения фазы колебаний ни у того, ни у другого луча не было.

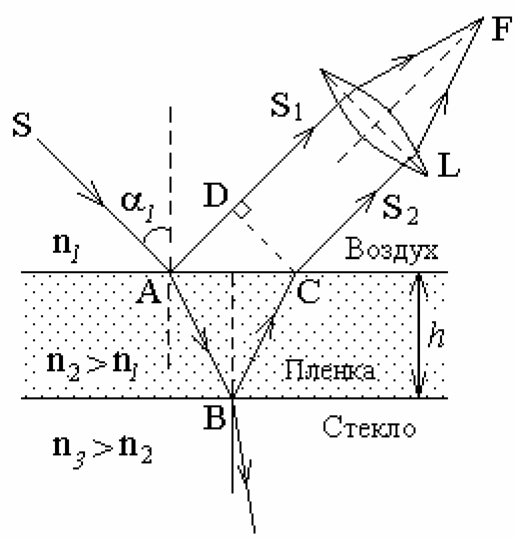

Рис. 2

Из рисунка видно, что оптическая разность хода лучей $SADS_1$ и $SABCS_2$: $\Delta = (AB + BC)n_2 - AD \cdot n_1$.

Следовательно, условие максимального ослабления света примет вид:

$$(AB + BC)n_2 - AD \cdot n_1 = \frac{(2m+1)\lambda}{2}.$$

При $\alpha = 0$ геометрическая разность хода $AB + BC = 2h$ и

$$\Delta = 2hn_2 = \frac{(2m+1)\lambda}{2}.$$

Откуда $h = \dfrac{(2m+1)\lambda}{4n_2}$.

Полагая $m = 0, 1, 2, 3, \ldots$, получим ряд возможных значений толщин пленки:

$$h_0 = \frac{\lambda}{4n_2} = 0{,}11 \text{ мкм}; \quad h_1 = \frac{3\lambda}{4n_0} = 3h_0 = 0{,}33 \text{ мкм и т.д.}$$

Задача 6. На стеклянный клин (n = 1,5) с преломляющим углом $\alpha = 40''$ нормально падает монохроматический свет с длиной волны λ = 600 нм. Определить в интерференционной картине расстояние между двумя соседними минимумами.

Решение. Параллельный пучок света, падая нормально к граням клина, отражается от его верхней и нижней грани (рис. 3). Так как угол клина мал, то отраженные лучи когерентны и на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы.

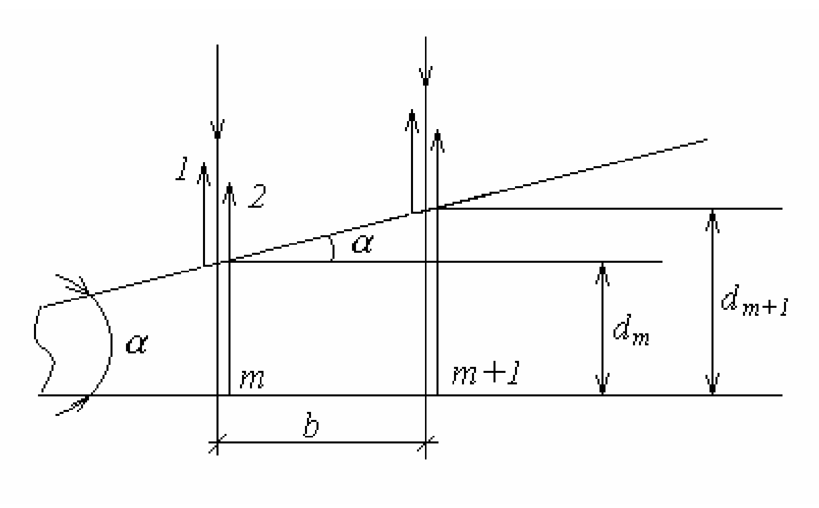

Рис. 3

Условие минимума для клина в общем случае:

$$2dn\cos\gamma + \frac{\lambda}{2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}; \qquad m = 0,\ 1,\ 2,\dots, \tag{1}$$

где d – толщина клина в месте темной полосы, соответствующей номеру m; γ – угол преломления; $\lambda/2$ – дополнительная разность хода, обусловленная отражением световой волны от оптически более плотной среды.

Угол падения, согласно условию, равен нулю, следовательно, $\gamma = 0$. Тогда условие (1) запишется в виде $2dn = m\lambda$. Откуда $d = \frac{m\lambda}{2n}$. Из рис. 3 следует, что

$$\sin\alpha = \frac{d_{m+1} - d_m}{b}. \tag{2}$$

Однако из-за малости угла $\sin\alpha \approx \alpha$, поэтому, подставив в формулу (2) толщины d_{m+1} и d_m, получим $\alpha = \frac{(m+1)\lambda - m\lambda}{2bn} = \frac{\lambda}{2bn}$.

Откуда найдем искомое расстояние между двумя соседними минимумами: $b = \frac{\lambda}{2n\alpha}$ (α здесь выражается в радианах).

Вычисляя, получаем b = 1,03 мм.

Задача 7. Определить радиус пятой зоны Френеля, если расстояние a от точечного монохроматического источника света (λ = 600 нм) до волновой поверхности равно 2 м, а расстояние b от волновой поверхности до точки наблюдения равно 3 м.

Решение. На рис. 4 S – точечный источник монохроматического света, распространяющегося в однородной среде, M – точка наблюдения, Φ – волновая поверхность. Внешняя граница m-ой зоны Френеля радиуса r_m (см. рис. 4) выделяет на волновой поверхности сферический сегмент высотой h_m. Размеры кольцевых зон Френеля таковы, что разность хода лучей, идущих от соответственных точек каждой соседней зоны до точки наблюденiя M, равна $\frac{\lambda}{2}$, поэтому, если имеем m зон Френеля, то

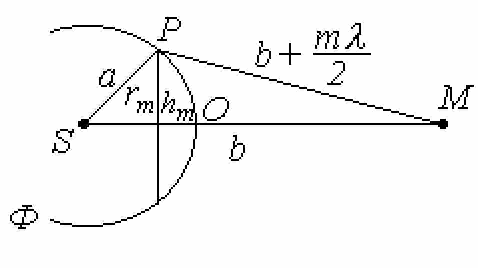

Рис. 4

$$PM = b + \frac{m\lambda}{2} \ (b = OM\ ).$$

Очевидно, что

$$r_m^2 = a^2 - \left(a - h_m\right)^2 = \left(b + \frac{m\lambda}{2}\right)^2 - \left(b + h_m\right)^2. \qquad (1)$$

Поскольку λ мала $\left(\lambda << a, \lambda << b\right)$, членом $\frac{m^2\lambda^2}{4}$ пренебрегаем. Тогда

$$h_m = \frac{bm\lambda}{2\left(a+b\right)}. \qquad (2)$$

Из уравнения (1) следует, что $r_m^2 = 2ah_m - h_m^2$, а при $h_m << a$

$$r_m^2 = 2ah_m. \qquad (3)$$

Подставив формулу (2) в выражение (3), найдем искомый радиус зоны Френеля: $r_m = \sqrt{\frac{mab\lambda}{a+b}}$.

Вычисляя, получим $r_m = 1{,}9$ мм.

Задача 8. На дифракционную решетку с периодом d = 10 мкм под углом $\Theta = 30^\circ$ к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 550$ нм. Определить угол φ дифракции, отвечающий третьему главному максимуму.

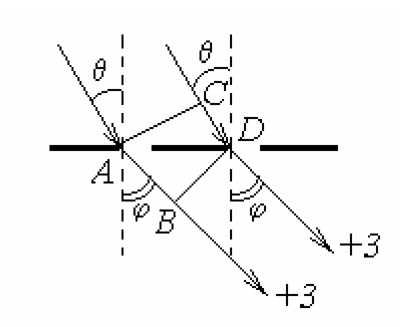

Рис. 5

Решение. Оптическая разность хода двух сходственных лучей (рис. 5) при наклонном падении параллельного пучка монохроматического света на дифракционную решетку (на рисунке *АД* – период *d* дифракционной решетки)

$$\Delta = AB - C\text{Д} = d\sin\varphi - d\sin\Theta, \qquad (1)$$

где φ – угол дифракции, Θ – угол падения пучка света к поверхности дифракционной решетки.

Условие главных максимумов для дифракционной решетки:

$$\Delta = \pm m\lambda \ \left(m = 0, 1, 2, \ldots\right), \qquad (2)$$

где согласно условию задачи m = 3.

Приравняв выражения (1) и (2), получим

$$d\sin\varphi - d\sin\Theta = m\lambda,$$

или

$$\sin\varphi = \sin\Theta + \frac{m\lambda}{d}.$$

Откуда искомый угол дифракции

$$\varphi = \arcsin\left(\sin\Theta + \frac{m\lambda}{d}\right).$$

Вычисляя, получаем $\varphi = 37{,}6^\circ$.

Задача 9. На щель шириной a = 0,1 мм параллельно падает пучок света от монохроматического источника (λ = 0,6 мкм). Определить ширину l центрального максимума в дифракционной картине, проецируемой с помощью линзы, находящейся непосредственно за щелью, на экран, отстающий от линзы на расстояние L = 1м.

Решение. Центральный максимум интенсивности света занимает область между ближайшими от него справа и слева минимумами интенсивности. Поэтому ширину центрального максимума интенсивности примем равной расстоянию между этими двумя минимумами интенсивности (рис. 6). Минимумом интенсивности света при дифракции от одной щели наблюдается под углами φ, определяемыми условием:

$$a\sin\varphi = \pm m\lambda, \qquad (1)$$

где m – порядок минимума; в нашем случае равен единице.

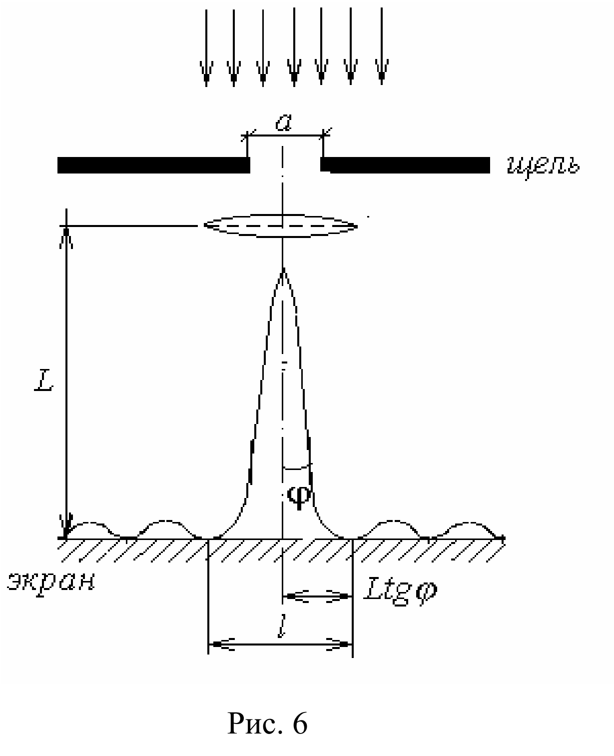

Рис. 6

Расстояние между двумя минимумами на экране определим непосредственно по чертежу: $l = 2Ltd\varphi$. Так как при малых углах $tg\varphi \approx \sin\varphi$, перепишем эту формулу в виде:

$$l = 2L\sin\varphi \qquad (2)$$

Выразим $\sin\varphi$ из формулы (1) и подставим его в равенство (2):

$$l = \frac{2Lm\lambda}{a}.$$

После вычисления получим $l = 1{,}2$ см.

Задача 10. На дифракционную решетку с периодом 2 мкм нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. Какую разность длин волн может разрешить эта решетка в области красного света ($\lambda_1 = 0,7$ мкм) в спектре второго порядка, если ширина решетки 2,5 см? На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается синяя линия ($\lambda_2 = 0,447$ мкм) спектра третьего порядка?

Решение. Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN, \qquad (1)$$

где N – общее число щелей решетки, m – порядок спектра.

Период решетки $d = \dfrac{1}{N_0}$, где N_0 – число щелей на 1 м длины.

Зная ширину ℓ дифракционной решетки, находим общее число щелей решетки

$$N = N_0\ell = \frac{\ell}{d}. \qquad (2)$$

Из формулы (1) с учетом (2) находим:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{mN} = \frac{\lambda d}{m\ell}; \qquad \Delta\lambda = \frac{7\cdot 10^{-7}\cdot 2\cdot 10^{-6}}{2\cdot 2,5\cdot 10^{-2}} = 2,8\cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Направления на главные максимумы дифракционной решетки определяются условием $d\sin\varphi = m\lambda$, где m = 0, 1, 2, … – порядок спектра, φ – угол между направлением на дифракционный максимум и нормалью к решетке.

При наложении спектральных линий выполняется условие:

$$d\sin\varphi = m_2\lambda_2;\ d\sin\varphi = m_3\lambda_3 \text{ или } m_2\lambda_2 = m_3\lambda_3, \text{ откуда } \lambda_3 = \frac{m_2\lambda_2}{m_3};$$

$$\lambda_3 = \frac{2\cdot 4,47\cdot 10^{-7}}{3} = 2,98\cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Задача 11. Свет от монохроматического источника ($\lambda = 0,6$ мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием r = 0,6 мм. Темным или светлым будет центр дифракционной картины на экране, находящемся на расстоянии b = 0,3 м от диафрагмы?

Решение. Радиусы зон Френеля, на которые следует разбить отверстия, чтобы определить их число, определяются по формуле $r_m = \sqrt{m\lambda b}$, где m – номер зоны, λ – длина волны, b – расстояние от диафрагмы до экрана.

Из этой формулы $m = \frac{r_m^2}{b\lambda}$; $m = \frac{36 \cdot 10^{-8}}{0{,}3 \cdot 6 \cdot 10^{-7}} = 2$.

Число зон четное, следовательно, центр картины на экране будет темным.

Задача 12. Определить расстояние между атомными плоскостями в кристалле каменной соли, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при падении рентгеновских лучей с длиной волны 0,147 нм под углом 15°12′ к поверхности кристалла.

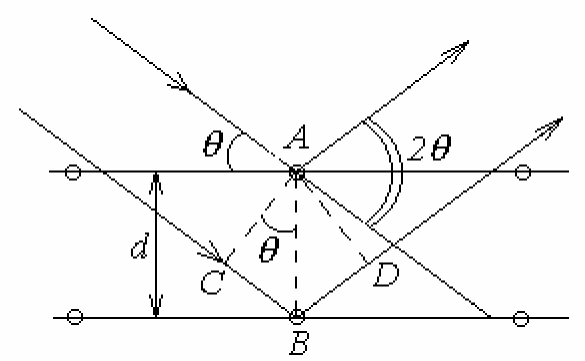

Рис. 7

Решение. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах – это результат интерференции рентгеновского излучения, зеркально отражающегося от системы параллельных плоскостей, которые проходят через узлы – атомы (например, А, рис. 7) кристаллической решетки. Эти плоскости называют атомными. Отражение наблюдается лишь в тех направлениях, соответствующих дифракционным максимумам, которым удовлетворяет соотношение $\Delta = |BC| + |BД| = 2d \sin\Theta$, или

$$2d \sin\Theta = m\lambda, \qquad (1)$$

где m = 1, 2, 3, … – порядок дифракционного максимума, Θ – угол скольжения, то есть угол между падающим лучом и плоскостью кристалла, d – расстояние между соседними плоскостями, называемое межплоскостным.

Исходя из условия (1) и учитывая, что m = 1, имеем:

$$d = \frac{\lambda}{2\sin\Theta}; \quad d = \frac{1{,}47 \cdot 10^{-10}}{2\sin 15^\circ 12'} \approx 2{,}8 \cdot 10^{-10}\,\text{м} = 0{,}28 \text{ нм}.$$

Задача 13. Естественный свет падает на кристалл алмаза под углом полной поляризации. Найти угол преломления света (n = 2,42).

Решение. При падении естественного света на поверхность под углом $\alpha_Б$ полной поляризации отраженный луч будет полностью поляризован. По закону Брюстера $\text{tg}\alpha_Б = \frac{n_2}{n_1}$ равен отношению показателей преломления алмаза и воздуха, и угол между отраженным и преломленным лучами равен 90°. Поэтому $\text{tg}\alpha_Б = 2{,}42$ и $\alpha_Б = 67°30'$, а из рис. 8 видно, что угол преломления $\gamma = 180^\circ - 90^\circ - \lambda_< = 22^\circ 30'$.

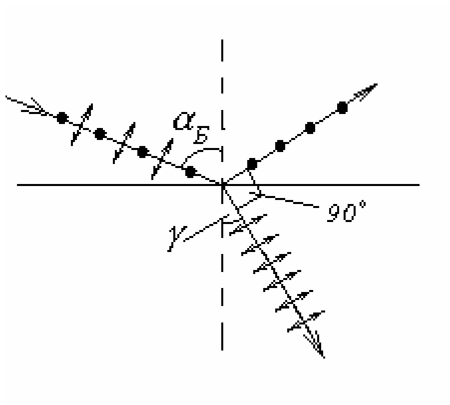

Рис. 8

Задача 14. Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор, уменьшилась в 2,3 раза. Во сколько раз она уменьшится, если за первым поставить второй такой же поляризатор так, чтобы угол между их главными плоскостями был равен 60°?

Решение. Естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интенсивность. Идеальный поляризатор пропускает колебания, параллельные его главной плоскости, и полностью задерживает колебания, перпендикулярные этой плоскости. На выходе из первого поляризатора получается плоскополяризованный свет, интенсивность которого I_1 с учетом потерь на отражение и поглощение света поляризатором равна

$$I_1 = \frac{I_0}{2}(1-k). \qquad (1)$$

После прохождения второго поляризатора интенсивность света уменьшается как за счет отражения и поглощения света поляризатором, так и из-за несовпадения плоскости поляризации света с главной плоскостью поляризатора. В соответствии с законом Малюса и с учетом потерь на отражение и поглощение света эта интенсивность равна

$$I_2 = I_1(1-k)\cos^2\alpha, \qquad (2)$$

где α – угол между плоскостью поляризации света, которая параллельна главной плоскости первого поляризатора, и главной плоскостью второго поляризатора.

Найдем, во сколько раз уменьшилась интенсивность света:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-k)^2 \cos^2 \alpha}. \tag{3}$$

Выразим из (1):

$$1 - k = \frac{2I_1}{I_0}. \tag{4}$$

Подставляя (4) в (3), получим: $\dfrac{I_0}{I_2} = \dfrac{1}{2\cos^2 \alpha}\left(\dfrac{I_0}{I_1}\right)^2$.

Проверяя вычисления, найдем: $\dfrac{I_0}{I_2} = \dfrac{1}{2\cos^2 60^\circ} 2{,}3^2 \approx 10{,}6$.

Задача 15. Плоскопараллельная пластинка из исландского шпата с минимальной толщиной $d_{\min}$ = 1,93 мкм служит пластинкой в полдлины волны для оранжевого света (λ = 656 нм). Определить показатель преломления для необыкновенного луча, если показатель преломления для обыкновенного луча n_0 = 1,655.

Решение. Кристаллическая пластинка в полдлины волны – пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, для которой оптическая разность хода

$$\Delta = (n_0 - n_e)d = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda, \ \ (m = 0, 1, 2, ...),$$

причем знак «+» соответствует отрицательным кристаллам, а знак « – » – положительным. При нормальном падении на пластинку «λ/2» плоскополяризованного света между обыкновенным и необыкновенным лучами в пластинке (в кристалле эти лучи пространственно не разделены) возникает оптическая разность хода, равная λ/2.

Рассматриваемый в задаче исландский шпат – отрицательный кристалл ($n_0 > n_e$), поэтому можно записать:

$$(n_0 - n_e)d = (m + \frac{1}{2})\lambda, \ \ (m = 0, 1, 2, ...).$$

Минимальная толщина пластинки в полдлины волны соответствует m = 0. Тогда $d_{\min}(n_0 - n_e) = \dfrac{\lambda}{2}$.

Откуда искомый показатель преломления для необыкновенного луча $n_e = n_0 - \dfrac{\lambda}{2d_{\min}}$. Вычисляя, получаем: n_e = 1,485.

Задача 16. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Степень поляризации преломленного луча составляет 0,124. Найти коэффициент пропускания света.

Решение. Естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интенсивность:

$$I_{II} = I_{\perp}, \tag{1}$$

где индексы обозначают колебания, параллельные и перпендикулярные плоскости падения света на поверхность диэлектрика, причем интенсивность падающего света

$$I = I_{II} + I_{\perp}. \tag{2}$$

При падении света под углом полной поляризации отражаются только волны, поляризованные в плоскости, перпендикулярной к плоскости падения. В преломленной волне преобладают колебания, параллельные плоскости падения.

Интенсивность преломленной волны можно записать как

$$I'' = I''_{II} + I''_{\perp}. \tag{3}$$

Составляющие I''_{II} и $I''_{\perp}$ интенсивности преломленной волны равны:

$$I''_{II} = I''_{\perp} \qquad \text{и} \qquad I''_{\perp} = I_{\perp} - I', \tag{4}$$

где I' – интенсивность отраженного света.

Степень поляризации преломленного луча

$$p'' = \frac{I''_{II} - I''_{\perp}}{I''_{II} + I''_{\perp}} = \frac{I''_{II} - I''_{\perp}}{I''}. \tag{5}$$

С учетом равенств (4) и (1) выражение (5) можно представить в виде:

$$p'' = \frac{I'}{I''}. \tag{6}$$

Коэффициент пропускания света определяется как

$$\tau = \frac{I''}{I} = \frac{I''}{I' + I''}, \tag{7}$$

или с учетом выражения (6) $\tau = \dfrac{1}{1 + p''}$.

Проведя вычисления, получим: $\tau = \dfrac{1}{1 + 0{,}124} \approx 0{,}89$.

Задача 17. Раствор сахара с концентрацией 0,25 г/см^3 толщиной 20 см поворачивает плоскость поляризации монохроматического света на 30°20′. Другой раствор толщиной 15 см поворачивает плоскость поляризации на 20°. Определить концентрацию сахара во втором растворе.

Решение. Угол поворота плоскости поляризации определяется по формуле

$$\varphi = [\alpha] c\ell ,$$

где $[\alpha]$ – удельное вращение, $\varphi_1 = [\alpha] c_1 \ell_1$, отсюда $[\alpha] = \dfrac{\varphi_1}{c_1 \ell_1}$; $\varphi_2 = [\alpha] c_2 \ell_2$, тогда $c_2 = \dfrac{\varphi_2}{[\alpha]\ell_2} = \dfrac{\varphi_2 c_1 \ell_1}{\varphi_1 \ell_2}$; $c_2 = \dfrac{20 \cdot 0,25 \cdot 20}{30,33 \cdot 15} \approx 0,22$ г/см^3.

Задача 18. Показатель преломления сероуглерода для света с длинами волн 509, 534 и 589 нм равен соответственно 1,647; 1,640 и 1,630. Вычислить фазовую и групповую скорость света вблизи длины волны 534 нм.

Решение. Групповая скорость U связана с фазовой скоростью υ света в среде соотношением:

$$U = \upsilon - \lambda \frac{d\upsilon}{d\lambda}. \tag{1}$$

Учитывая, что $\upsilon = \dfrac{c}{n}$, из (1) получаем: $U = \upsilon \left[1 + \dfrac{\lambda dn}{n d\lambda} \right]$.

Для средней дисперсии вещества имеем:

$$U = \upsilon \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{\Delta n}{\Delta\lambda} \right) \tag{2}$$

Для $\lambda = 534$ нм и n = 1,640 находим относительную дисперсию $\dfrac{\lambda}{n}\dfrac{\Delta n}{\Delta\lambda} = \dfrac{535(1,647 - 1,630)}{1,640(509 - 589)} \approx -0,069$. Из соотношения (2) определяем

$$\frac{U}{\upsilon} = \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{\Delta n}{\Delta\lambda} \right) = (1 - 0,069) = 0,931;\ U = 0,931\upsilon. \tag{3}$$

Учитывая, что фазовая скорость $\upsilon = \dfrac{c}{n}$, находим ее значение вблизи $\lambda = 534$ нм:

$$\upsilon = \frac{3 \cdot 10^8}{1,640} \approx 1,83 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

По формуле (3) вычисляем групповую скорость:

$$U = 0,931 \cdot 1,83 \cdot 10^8 \approx 1,70 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Задача 19. В черенковском счетчике из каменной соли релятивистские протоны излучают в конусе с раствором 82°. Определить кинетическую энергию протонов. Показатель преломления каменной соли 1,54.

Решение. Излучение Вавилова – Черенкова возникает, когда скорость движения υ заряженной частицы в среде больше фазовой скорости света $\frac{c}{n}$ в этой среде (c – скорость света в вакууме, n – показатель преломления среды). Излучение направлено вдоль образующих конуса, ось которого совпадает с направлением движения частицы. Угол Θ между направлением излучения и направлением движения частицы определяется формулой

$$\cos\Theta = \frac{c}{n\upsilon}. \qquad (1)$$

Кинетическая энергия релятивистской частицы определяется как

$$T = E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\upsilon}{c}\right)^2}} - 1\right), \qquad (2)$$

где $E_0 = mc^2$ – энергия покоя частицы, m – масса.

Для протонов E_0 = 938,28 МэВ. Отношение $\frac{\upsilon}{c}$ определим из (1):

$$\frac{\upsilon}{c} = \frac{1}{n\cos\Theta}. \qquad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим:

$$T = E_0\left(\frac{n\cos\Theta}{\sqrt{n^2\cos^2\Theta - 1}} - 1\right).$$

Проведя вычисления, найдем:

$$T = 938{,}28\left(\frac{1{,}54\cos 41^\circ}{\sqrt{\left(1{,}54\cos 41^\circ\right)^2 - 1}} - 1\right) \approx 902{,}9 \text{ МэВ}.$$

Задача 20. Абсолютно чёрное тело было нагрето от температуры 100 °С до 300 °С. Найти, во сколько раз изменилась мощность суммарного излучения при этом.

Решение. Мощность N излучения тела определяется выражением

$$N = RS,$$

где R – энергетическая светимость тела; S – площадь его поверхности.

В соответствии с законом Стефана – Больцмана $R=\sigma T^4$. Из этих выражений получаем:

$$N_2/N_1 = \sigma T_2^4 S/\sigma T_1^4;$$

$$N_2/N_1 = (T_2/T_1)^4 = (573/373)^4 \approx 5{,}6.$$

Мощность излучения возрастает в 5,6 раза.

Задача 21. Температура абсолютно чёрного тела понизилась с 1000 К до 850 К. Определить, как и на сколько при этом изменилась длина волны, отвечающая максимуму распределения энергии.

Решение. В соответствии с законом смещения Вина длина волны λ_{max}, на которую приходится максимум распределения энергии, выражается формулой $\lambda_{max}=b/T$. Исходя из этого, запишем:

$$\lambda_{1max} = b/T_1; \qquad \lambda_{2max} = b/T_2;$$

$$\Delta\lambda_{max} = b/T_2 - b/T_1 = b((T_1 - T_2)/T_2T_1);$$

$$\Delta\lambda_{max} = 2{,}89\cdot 10^{-3}((1000 - 850)/1000\cdot 850) = 0{,}51\cdot 10^{-6}\ (\text{м});$$

$$\lambda_{1max} = (2{,}89\cdot 10^{-3})/1000 = 2{,}89\cdot 10^{-6}\ (\text{м});$$

$$\lambda_{2max} = (2{,}89\cdot 10^{-3})/850 = 3{,}4\cdot 10^{-6}\ (\text{м}).$$

Следовательно, длина волны возросла на 0,51 мкм.

Задача 22. Исследование спектра излучения Солнца показывает, что максимум спектральной плотности энергетической светимости соответствует длине волны λ = 500 нм. Принимая Солнце за чёрное тело, определить: 1) энергетическую светимость $R_Э^*$ Солнца; 2) поток энергии Φ_e, излучаемый Солнцем; 3) массу m электромагнитных волн (всех длин), излучаемых Солнцем за 1 с.

Решение. 1. Энергетическая светимость $R_Э^*$ чёрного тела выражается формулой Стефана – Больцмана: $R=\sigma T^4$. Температура излучающей поверхности может быть определена из закона смещения Вина: $\lambda_m = b/T$. Выразив отсюда температуру T и подставив её в формулу Стефана – Больцмана, получим: $R_Э^* = \sigma(b/\lambda)^4$. Произведя вычисления, получим:

$$R_Э^* = 6{,}4\cdot 10^7\ (\text{Вт/м}^2).$$

2. Поток энергии Φ_e, излучаемый Солнцем, равен произведению энергетической светимости Солнца на площадь S его поверхности:

$$\Phi_e = R_Э^* S \quad \text{или} \quad \Phi_e = 4\pi r^2 R_Э^*,$$

где r – радиус Солнца.

Подставив в формулу значения π, r и $R_Э^*$ и произведя вычисления, получим:

$$\Phi_e = 3{,}9 \cdot 10^{26} \text{ (Вт)}.$$

3. Массу электромагнитных волн (всех длин), излучаемых Солнцем за время $t = 1$ с, определим, применив закон пропорциональности массы и энергии: $E = mc^2$. Энергия электромагнитных волн, излучаемых за время t, равна произведению потока энергии Φ (мощности излучения) на время:

$$E = \Phi_e t.$$

Следовательно,

$$\Phi_e t = mc^2,$$

откуда

$$m = \Phi_e t / c^2.$$

Произведя вычисления по этой формуле, найдём:

$$m = 4{,}3 \cdot 10^9 \text{ (кг)}.$$

Задача 23. Длина волны λ_m, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, равна 580 нм. Определить максимальную спектральную плотность энергетической светимости $(R_{\lambda,T}^*)_{\max}$, рассчитанную на интервал длины волны $\Delta\lambda = 1$ нм, вблизи λ_m.

Решение. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости пропорциональна пятой степени температуры Кельвина и выражается формулой

$$(R_{\lambda,T}^*)_{\max} = CT^5. \qquad (1)$$

Температуру T выразим из закона смещения Вина:

$$\lambda_m = \frac{b}{T},$$

откуда

$$T = \frac{b}{\lambda_m}.$$

Подставив полученное выражение температуры в формулу (1), найдем:

$$(R_{\lambda,T}^*)_{\max} = C\left(\frac{b}{\lambda_m}\right)^5. \qquad (2)$$

В таблице значение C дано в единицах СИ, в которых единичный интервал длин волн λ_m = 1 м. По условию же задачи требуется вычислить спектральную плотность энергетической светимости, рассчитанную на интервал длин волн 1 нм, поэтому взамен значения C в единицах СИ пересчитаем его на заданный интервал длин волн:

$$C = 1{,}30\cdot10^{-5}\ \text{Вт}/(\text{м}^3\cdot\text{К}^5) = 1{,}30\cdot10^{-5}\ \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{м}\cdot\text{К}^5) = 1{,}30\cdot10^{-14}\ \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{нм}\cdot\text{К}^5).$$

Вычисление по формуле (2) дает:

$$(R^*_{\lambda,T})_{\max} = 40{,}6\ \text{КВт}/(\text{м}^2\cdot\text{нм}).$$

Задача 24. На зачерненную поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,65мкм, производя давление $5\cdot10^{-6}$ Па. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности и число фотонов, падающих на площадь 1 м^2 за 1 с.

Решение. Давление света при нормальном падении на поверхность с коэффициентом отражения ρ вычисляется по формуле

$$p = \omega(1 + \rho) \qquad (1)$$

или

$$p = \frac{E_e}{c}(1+\rho), \qquad (2)$$

где ω – объемная плотность энергии; E_e – энергетическая освещенность; c – скорость света в вакууме, ρ – коэффициент отражения поверхности, в данном случае ρ = 0.

Объемная плотность энергии равна произведению концентрации фотонов (число фотонов в единицу объема) на энергию одного фотона:

$$\omega = n_0 \frac{hc}{\lambda}, \qquad (3)$$

откуда

$$n_0 = \frac{\omega\lambda}{hc}. \qquad (4)$$

Определяя объемную плотность энергии из (1) и подставляя в (4), имеем:

$$n_0 = \frac{\rho\lambda}{hc}; \qquad (5)$$

$$n_0 = \frac{5\cdot10^{-6}\cdot6{,}5\cdot10^{-7}}{6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}} \approx 1{,}6\cdot10^{13}\ (\text{м}^{-3}).$$

Число фотонов, падающих на площадь 1 м^2 за 1 с, численно равно отношению энергетической освещенности к энергии одного фотона:

$$n = \frac{E_e}{\frac{hc}{\lambda}} = \frac{E_e \lambda}{hc}. \qquad (6)$$

Энергетическую освещенность определяем из выражения (2) и, подставляя в (6), получаем:

$$n = \frac{pc\lambda}{hc} = \frac{p\lambda}{h}. \qquad (7)$$

С учетом (5) выражение (7) примет вид: $n = n_0 c$. Подставляя числовые значения, получаем:

$$n = 1{,}6\cdot 10^{13}\cdot 3\cdot 10^{8} = 4{,}8\cdot 10^{21}\ (\text{с}^{-1}\text{м}^{-2}).$$

Задача 25. Пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 663$ нм падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток энергии Φ_e = 0,6 Вт. Определить силу F давления, испытываемую этой поверхностью, а также число N фотонов, падающих на нее за время $\Delta t = 5$ с.

Решение. Сила светового давления на поверхность равна произведению светового давления p на площадь S поверхности:

$$F = p\cdot S. \qquad (1)$$

Световое давление может быть найдено по формуле:

$$p = \frac{E_e}{c}(1+\rho). \qquad (2)$$

Подставляя выражение (2) давления света в формулу (1), получим:

$$p = \frac{E_e S}{c}(1+\rho). \qquad (3)$$

Так как произведение облученности E_e на площадь S поверхности равно потоку Φ_e энергии излучения, падающего на поверхность, то соотношение (3) можно записать в виде:

$$F = \frac{\Phi_e}{c}(1+\rho).$$

После подстановки значений Φ_e и с учетом, что $\rho = 1$ (поверхность зеркальная), получим $F = 4\cdot 10^{-9}$ Н. Число N фотонов, падающих за время Δt на поверхность, определяется по формуле

$$N = \frac{\Delta W}{\varepsilon} = \frac{\Phi_e \Delta t}{\varepsilon},$$

где ΔW – энергия излучения, получаемая поверхностью за время Δt.

Выразив в этой формуле энергию фотона через длину волны $\varepsilon = \dfrac{2\pi\hbar c}{\lambda}$, получим:

$$N = \frac{\Phi_e \lambda \Delta t}{2\pi\hbar c}.$$

Подставив в этой формуле числовые значения величины, найдем $N = 10^{19}$ фотонов

Задача 26. Определить максимальную скорость $\upsilon_{\max}$ фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра:

1) ультрафиолетовым излучением с длиной волны λ = 155 нм;

2) γ- излучением с длиной волны λ_2 = 2,47 пм.

Решение. Максимальную скорость фотоэлектронов определим из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + E_{k_{\max}}. \tag{1}$$

Энергия фотона вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda}.$$

Работу выхода A возьмем из таблицы; для серебра A = 4,7 эВ. Кинетическая энергия фотоэлектрона в зависимости от того, какая скорость ему сообщается, может быть выражена или по классической формуле

$$E_k = \frac{m_0 \upsilon^2}{2}, \tag{2}$$

или по релятивистской

$$E_k = (m - m_0)c^2. \tag{3}$$

Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект: если энергия фотона ε много меньше энергии покоя электрона E_0, то может быть применена формула (2); если же ε сравнима по размеру с E_0, то вычисление по формуле (2) приводит к грубой ошибке, в этом случае кинетическую энергию фотоэлектрона необходимо выражать по формуле (3).

1. В формулу энергии фотона $\varepsilon = \dfrac{2\pi\hbar c}{\lambda}$ подставим значения величины $\hbar$, c и λ и, производя вычисления для ультрафиолетового излучения, получим:

$$\varepsilon_1 = 1{,}28 \cdot 10^{-18} \text{ (Дж)} = 8 \text{ (эВ)}.$$

Это значение энергии фотона много меньше энергии покоя электрона (0,51 МэВ). Следовательно, для данного случая максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (1) может быть выражена по классической формуле (2):

$$\varepsilon_1 = A + \frac{m_0 \upsilon_{\max}^2}{2},$$

откуда

$$\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_0}}. \tag{4}$$

Выпишем величины, входящие в формулу (4):
$\varepsilon_1 = 1{,}28 \cdot 10^{-18}$ Дж (вычислено выше);
$m_0 = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг (взято из таблицы);
$A = 4{,}7$ эВ $= 4{,}7 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{19}$ Дж $= 0{,}75 \cdot 10^{-18}$ Дж.

Подставив числовые значения в формулу (4), найдем максимальную скорость:

$$\upsilon_{\max} = 1{,}08 \cdot 10^6 \text{ (м/с)}.$$

2. Вычислим теперь энергию фотона γ-излучения:

$$\varepsilon_2 = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda_2} = 8{,}04 \cdot 10^{-15} \text{ Дж} = 0{,}502 \text{ МэВ}.$$

Работа выхода электрона ($A = 4{,}7$ эВ) пренебрежимо мала по сравнению с энергией γ-фотона, поэтому можно принять, что максимальная кинетическая энергия электрона равна энергии фотона:

$$E_{k_{\max}} = \varepsilon_2 = 0{,}502 \text{ МэВ}.$$

Так как в данном случае кинетическая энергия электрона сравнима с его энергией покоя, то для вычисления скорости электрона следует взять релятивистскую формулу кинетической энергии:

$$E_{k_{\max}} = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right),$$

где $E_0 = m_0 c^2$. Выполнив преобразования, найдем:

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + E_{k_{\max}})E_{k_{\max}}}}{E_0 + E_{k_{\max}}}.$$

Сделав вычисления, получим: $\beta = 0{,}755$. Следовательно, максимальная скорость фотоэлектронов, вызываемых γ-излучением:

$$\upsilon_{\max} = c \cdot \beta = 226 \cdot 10^6 \text{ (м/с)}.$$

Задача 27. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\theta = 90°$. Энергия ε' рассеянного фотона равна 0,4 МэВ. Определить энергию ε фотона до рассеяния.

Решение. Для определения первичного фотона воспользуемся формулой Комптона в виде:

$$\lambda' - \lambda = \frac{2 \cdot 2\pi\hbar}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}. \qquad (1)$$

Формулу (1) преобразуем следующим образом:

1) выразим длины волн λ' и λ через энергии ε' и ε соответствующих фотонов, воспользовавшись соотношением $\varepsilon = \dfrac{2\pi\hbar c}{\lambda}$;

2) умножим числитель и знаменатель правой части формулы на c. Тогда получим:

$$\frac{2\pi\hbar c}{\varepsilon'} - \frac{2\pi\hbar c}{\varepsilon} = \frac{2\pi\hbar c}{m_0 c^2} 2\sin^2 \frac{\theta}{2}.$$

Сократив на $2\pi\hbar c$, выразим из этой формулы искомую энергию:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' m_0 c^2}{m_0 c^2 - \varepsilon' 2\sin^2 \dfrac{\theta}{2}} = \frac{\varepsilon' E_0}{E_0 - 2\varepsilon' \sin^2 \dfrac{\theta}{2}}, \qquad (2)$$

где $E_0 = m_0 c^2$ – энергия покоя электрона.

Вычисления по формуле (2) удобнее вести во внесистемных единицах. Взяв из таблицы значение энергии покоя электрона в мегаэлектровольтах ($E_0 = 0{,}511$ МэВ) и подставив числовые данные, получим:

$$\varepsilon = 1{,}84 \text{ МэВ}.$$

Задача 28. Фотон с энергией $\varepsilon = 0{,}75$ МэВ рассеялся на свободном электроне под углом $\theta = 60°$. Принимая, что кинетическая энергия и импульс электрона до соударения с фотоном были пренебрежимо малы, определить:

1) энергию рассеянного фотона;

2) кинетическую энергию $E_к$ электрона отдачи;

3) направление его движения.

Решение. Энергию рассеянного фотона найдем, воспользовавшись формулой Комптона:

$$\lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_0 c}(1 - \cos\theta).$$

Выразив длины волн λ' и λ через энергии ε' и ε соответствующих фотонов, получим:

$$\frac{2\pi\hbar c}{\varepsilon'} - \frac{2\pi\hbar c}{\varepsilon} = \frac{2\pi\hbar}{m_0 c^2}(1-\cos\theta).$$

Разделим обе части этого равенства на $2\pi\hbar c$:

$$\frac{1}{\varepsilon'} - \frac{1}{\varepsilon} = \frac{1-\cos\theta}{m_0 c^2}.$$

Отсюда, обозначив для краткости энергию покоя электрона m_0c^2 через E_0, найдем:

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{1+\dfrac{\varepsilon}{E_0}(1-\cos\theta)}. \qquad (1)$$

Подставив числовые значения величин, получим:

$$\varepsilon' = 0{,}43 \text{ МэВ}.$$

2. Кинетическая энергия электрона отдачи, как это следует из закона сохранения энергии, равна разности между энергией ε падающего фотона и энергией ε' рассеянного фотона: $E_k = \varepsilon - \varepsilon' =$ 0,32 МэВ.

3. Направление движения электрона отдачи найдем, применив закон сохранения импульса, согласно которому импульс падающего фотона $\vec{p}$ равен векторной сумме импульсов рассеянного фотона $\vec{p}'$ и электрона отдачи $m_0\vec{\upsilon}$:

$$\vec{p} = \vec{p}' + m\vec{\upsilon}_0.$$

Векторная диаграмма импульсов изображена на рис. 9.

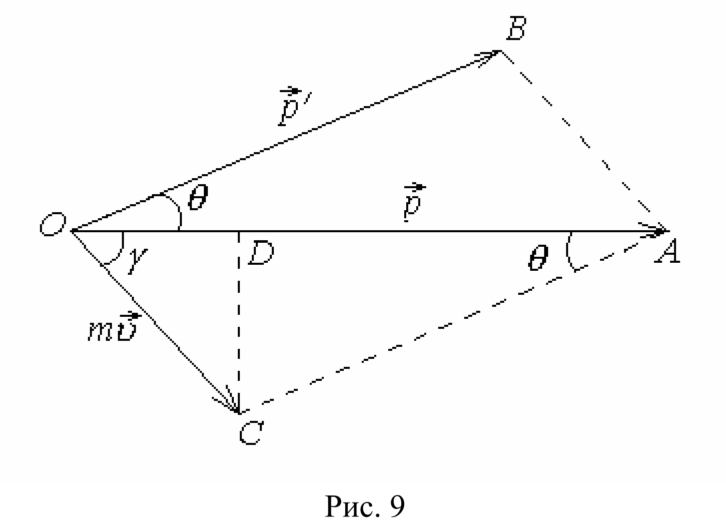

Рис. 9

Все векторы проведены из точки O, где находился электрон в момент соударения с фотоном. Угол γ определяет направление движения электрона отдачи. Из треугольника *ОСД* находим:

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{|CD|}{|OD|} = \frac{|CA|\sin\theta}{|OA| - |CA|\cos\theta}$$

или

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{p'\sin\theta}{p - p'\cos\theta} = \frac{\sin\theta}{\dfrac{p}{p'} - \cos\theta}.$$

Так как $p = \dfrac{\varepsilon}{c}$ и $p' = \dfrac{\varepsilon'}{c}$, то

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{\sin\theta}{\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon'} - \cos\theta}. \qquad (2)$$

Преобразуем формулу (2) так, чтобы угол γ выражался непосредственно через величины ε и θ, заданные в условии задачи. Из формулы (1) следует:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{\varepsilon}{E_0}(1 - \cos\theta) + 1. \qquad (3)$$

Заменим в формуле (2) соотношение $\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon'}$ по формуле (3):

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{\sin\theta}{(1 + \dfrac{\varepsilon}{E_0})(1 - \cos\theta)}.$$

Учитывая, что $\sin\theta = 2\sin\dfrac{\theta}{2}\cos\dfrac{\theta}{2}$ и $1 - \cos\theta = 2\sin\dfrac{\theta}{2}$, после соответствующих преобразований получим:

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{ctg\dfrac{\theta}{2}}{1 + \dfrac{\varepsilon}{E_0}}. \qquad (4)$$

После вычисления по формуле (4) найдем: tgγ = 0,701, откуда γ = 35°.

Задача 29. Определить первый Боровский радиус орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона по этой орбите.

Найти: r_1, υ.

Решение. Радиус n-й орбиты в водородоподобном атоме, заряд ядра которого равен ($Z \cdot e$), определяется по формуле

$$r_n = \frac{\hbar^2 4\pi\varepsilon_0}{mZe^2} n^2 = \frac{h\varepsilon_0}{\pi mZe^2} n^2,$$

где n – номер орбиты, m – масса электрона.

При $n = 1$ и $Z = 1$

$$r_n = \frac{h\varepsilon_0}{\pi me^2} = \frac{6,63^2 \cdot 10^{-68} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38}} \cong 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ (м)}.$$

По второму постулату Бора момент импульса электрона на n-й орбите равен $m\upsilon r_n = n\frac{h}{2}$.

Тогда $\upsilon = n\frac{h}{2\pi m r_n}$ и при $n = 1$ значение $\upsilon = \frac{h}{2\pi m r_n}$.

$$\upsilon = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,53 \cdot 10^{-10}} \cong 2,2 \cdot 10^6 \text{ (м/с)}.$$

Задача 30. Определить наибольшие и наименьшие длины волн фотонов, излучаемых при переходе электронов в сериях Лаймана, Бальмера и Пашена. Найти: λ_{1max}; λ_{1min}; λ_{2max}; λ_{2min}; λ_{3max}; λ_{3min}.

Решение. Обобщенная формула Бальмера позволяет определять длину волны λ при всевозможных переходах электрона в атоме водорода:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

или

$$\lambda = \frac{1}{R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)}.$$

В серии Лаймана переход осуществляется на первую орбиту со всех остальных, т.е. $m = 1$, $n = 2, 3, 4, \ldots \infty$. Следовательно,

$$\lambda_{1_{max}} = \frac{1}{R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)} = \frac{1}{1,097 \cdot 10^7 (1 - 0,25)} \cong 0,122 \text{ (мкм)};$$

$$\lambda_{1_{min}} = \frac{1}{R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty}\right)} = \frac{1}{R} \cong 0,091 \text{ (мкм)}.$$

В серии Бальмера переход осуществляется на вторую орбиту со всех вышележащих, т.е. $m = 2$; $n = 3, 4, 5,\ldots\infty$.

$$\lambda_{2_{\max}} = \frac{1}{R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)} = \frac{1}{1{,}097\cdot10^7(0{,}25-0{,}11)} \cong 0{,}656 \text{ (мкм)};$$

$$\lambda_{2_{\min}} = \frac{1}{R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{\infty}\right)} = \frac{1}{1{,}097\cdot10^7\cdot0{,}25} \cong 0{,}365 \text{ (мкм)}.$$

В серии Пашена переход осуществляется на третью орбиту со всех вышележащих, т.е. $m = 3$; $n = 4, 5, 6\ldots\infty$.

$$\lambda_{3_{\max}} = \frac{1}{R\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{4^2}\right)} = \frac{1}{1{,}097\cdot10^7(\frac{1}{9}-\frac{1}{16})} \cong 1{,}88 \text{ (мкм)};$$

$$\lambda_{3_{\min}} = \frac{1}{R\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{\infty}\right)} = \frac{1}{1{,}097\cdot10^7\cdot0{,}11} \cong 0{,}82 \text{ (мкм)}.$$

Задача 31. Кинетическая энергия электрона равна 1,02 МэВ. Вычислить длину волны де Бройля этого электрона. Найти: λ.

Решение. Длина волны де Бройля определяется по формуле

$$\lambda = \frac{h}{p}, \tag{1}$$

где λ – длина волны, соответствующая частице с импульсом p; h – постоянная Планка.

По условию задачи кинетическая энергия электрона больше его энергии покоя:

$$E_к = 2E_0. \tag{2}$$

Следовательно, движущийся электрон является релятивистской частицей. Импульс релятивистских частиц $p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k+2E_0)}$ или, учитывая соотношение (2),

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k(E_k+2E_0)} = \frac{E_k}{c}\sqrt{2}\,. \tag{3}$$

Подставляя (3) в (1), получаем:

$$\lambda = \frac{hc}{E_k\sqrt{2}} = \frac{6{,}62\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8}{16{,}2\cdot10^{-14}\cdot\sqrt{2}}\frac{\text{Дж}\cdot\text{с}\cdot\text{м/с}}{\text{Дж}} = 0{,}87\cdot10^{-12} \text{ (м)}.$$

Задача 32. Используя соотношение неопределенностей Гейзенберга, показать, что ядра атомов не могут содержать электронов. Считать радиус ядра равным 10^{-13} см.

Решение. Соотношение неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar = \frac{h}{2\pi},$$

где Δx – неопределенность координаты; Δp_x – неопределенность импульса; h – постоянная Планка.

Если неопределенность координаты принять равной радиусу ядра, т.е. $\Delta x = R_я$, то неопределенность импульса электрона $\Delta p_x = \frac{\hbar}{\Delta x}$.

Так как $\Delta p_x = m\Delta\upsilon_x$, то

$$m\Delta\upsilon_x = \frac{h}{2\pi\Delta x} \qquad \text{и} \qquad \Delta\upsilon_x = \frac{h}{2\pi\Delta x m}.$$

Неопределенность скорости электрона

$$\Delta\upsilon_x = \frac{6{,}62\cdot10^{-34}}{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot10^{-15}\cdot6{,}28} 1{,}158\cdot10^{11} \text{ (м/с).}$$

Сравнивая полученное значение $\Delta\upsilon_x$ со скоростью света в вакууме $c = 3\cdot10^8$ м/с, видим, что $\Delta\upsilon_x > c$, а это невозможно, следовательно, ядра не содержат электронов.

Задача 33. Среднее время жизни возбужденных состояний атома составляет 10 нс. Вычислить естественную ширину спектральной линии (λ = 0,7 мкм), соответствующую переходу между возбужденными уровнями атома. Найти: $\Delta\lambda_{\min}$.

Решение. При переходе электрона из одного стационарного состояния в другое излучается (или поглощается) энергия, равная

$$\frac{hc}{\lambda} = E_n - E_m. \tag{1}$$

Из (1) следует, что неопределенность длины волны $\Delta\lambda$ излучения связана с неопределенностью энергии уровней ΔE_n и ΔE_m атома соотношением

$$\frac{hc}{\lambda^2}\Delta\lambda = \Delta E_n - \Delta E_m. \tag{2}$$

Согласно соотношению неопределенностей Гейзенберга,

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}, \tag{3}$$

где Δt – неопределенность времени перехода атома из одного стационарного состояния в другое.

Поскольку Δt не превышает среднее время жизни τ возбужденного состояния атома, то минимальная неопределенность энергии возбужденных уровней, согласно (3), равна

$$\Delta E_{\min} = \frac{h}{2\pi\tau}. \tag{4}$$

Из (2) с учетом (4) найдем минимальную неопределенность длины волны излучения, которая называется естественной шириной спектральной линии:

$$\Delta\lambda_{\min} = \frac{\lambda^2}{2\pi c}\left(\frac{1}{\tau_n} + \frac{1}{\tau_m}\right). \tag{5}$$

Если одно из состояний, между которыми совершается переход, является основным, то

$$\Delta\lambda_{\min} = \frac{\lambda^2}{2\pi c}. \tag{6}$$

Поскольку для основного состояния $\tau = \infty$, для возбужденных состояний с одинаковым временем жизни $\tau_n = \tau_к = \tau$ имеем: $\Delta\lambda_{\min} = \dfrac{\lambda^2}{2\pi c\tau}$.

$$\Delta\lambda_{\min} = \frac{(7 \cdot 10^{-7})^2}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-8}} \cong 5{,}2 \cdot 10^{-14} \text{ (м).}$$

Задача 34. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 1 нм в возбужденном состоянии. Определить: 1) минимальное значение энергии электрона; 2) вероятность нахождения электрона в интервале $0 < x < l/3$ второго энергетического уровня.

Найти: $E_{\min}$; ω_2.

Решение. В квантовой механике информацию о движении частиц получают из волновой функции (ψ-функция), которая отражает распределение частиц или систем по квантовым состояниям. Эти частицы характеризуются дискретными значениями энергии, импульса, момента импульса, т.е. ψ-функция является функцией состояния частиц в микромире. Решая уравнение Шредингера, получаем, что для рассматриваемого случая собственная функция имеет вид:

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n x}{l}, \tag{1}$$

где $n = 1, 2, 3,\ldots$; x – координата частицы; l – ширина ямы.

Согласно соотношению де Бройля, двум отличающимся знаком проекциям импульса соответствуют две плоские монохроматические волны де Бройля, распространяющиеся в противоположных направлениях вдоль оси x. В результате их интерференции возникают стоячие волны де Бройля, характеризующиеся стационарным распределением вдоль оси x амплитуды колебаний. Эта амплитуда и есть волновая функция $\psi(x)$, квадрат которой определяет плотность вероятности пребывания электрона в точке с координатой x.

Для значения $n = 1$ на ширине ямы l укладывается половина длины стоячей волны де Бройля, для $n = 2$ – целая длина стоячей волны де Бройля и т.д., т.е. в потенциальной яме могут быть лишь волны де Бройля, длина которых удовлетворяет условию

$$l = \frac{n\lambda}{2}; \quad (n = 1, 2, 3,\ldots).$$

Таким образом, на ширине l ямы должно укладываться целое число полуволн:

$$\lambda = \frac{2l}{n}. \tag{2}$$

Полная энергия частицы в потенциальной яме зависит от ее ширины l и определяется по формуле

$$E = \frac{h^2 n^2}{8ml^2}, \tag{3}$$

где m – масса частицы; $n = 1, 2, 3\ldots$

Минимальное значение энергии электрон будет иметь при минимальном значении n, т.е. при $n = 1$. Следовательно,

$$E_{\min} = \frac{h^2 1^2}{8ml^2} = \frac{6{,}62^2 \cdot 10^{-68}}{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-18}} = 0{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж).}$$

Вероятность того, что электрон будет обнаружен в интервале от x до $x + dx$, равна

$$\omega = \int_{x}^{x+dx} \left|\Psi(x)\right|^2 dx.$$

Искомую вероятность находим интегрированием в пределах от 0 до $l/3$:

$$\omega = \int_0^{l/3} \left| \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\frac{\pi n x}{l} \right|^2 dx = \frac{2}{l} \int_0^{l/3} \sin^2 \frac{\pi n x}{l} dx .$$

Используя соотношение $\sin^2\alpha = \frac{1}{2}(1 - 2\cos 2\alpha)$, вычисляем интеграл при условии, что электрон находится на втором энергетическом уровне:

$$\omega_2 = \frac{2}{l} \int_0^{l/3} \sin^2 \frac{\pi n x}{l} dx = \frac{1}{l} \left| \int_0^{l/3} dx - \int_0^{l/3} \cos\frac{4\pi x}{l} dx \right| =$$

$$= \frac{1}{l} \left| \frac{l}{3} - \frac{l}{4}\pi \sin\frac{4\pi}{3} \right| = \frac{1}{3} - \frac{1}{4}\pi \sin\frac{4\pi}{3} = 0{,}4 .$$

Задача 35. Длина волны линии L_α у вольфрама равна 0,148 нм. Найти постоянную экранирования.

Решение. В соответствии с законом Мозли

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - a)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) . \qquad (1)$$

Для вольфрама $Z = 74$; для L-серии $n = 2$; для L_α-линии $m = 3$. Из (1) находим:

$$a = Z - \left(\lambda R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} .$$

Подставляя числовые данные, получаем:

$$a = 74 - \left(1{,}48 \cdot 10^{-10} \cdot 1{,}097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \cong 7{,}4 .$$

Задача 36. Граничная длина волны k-серии характеристического рентгеновского излучения некоторого элемента равна 0,1284 нм. Определить этот элемент.

Решение. Длина волны λ рентгеновского излучения определяется законом Мозли:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - a)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) ,$$

где n и m – энергетические уровни, между которыми осуществляется переход электрона.

Фотон с граничной длиной волны в k-серии излучается при переходе с уровня $m = \infty$ на уровень $m = 1$. Тогда

$$(Z-a)^2 = \frac{1}{\lambda R\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{m^2}\right)} = \frac{1}{\lambda R};$$

$$Z-a = \sqrt{\frac{1}{\lambda R}}; \qquad Z = \sqrt{\frac{1}{\lambda R}} + a;$$

$$Z = \sqrt{\frac{1}{1{,}097\cdot 10^{7}\cdot 1{,}28\cdot 10^{-10}}} + 1 \approx 26{,}6 + 1 \approx 27.$$

Этим элементом является кобальт (Co).

Задача 37. Через кварцевую пластинку толщиной 5 см пропускаются инфракрасные лучи. Угол падения равен нулю. Известно, что для инфракрасных лучей с длиной волны λ_1 = 2,72 мкм коэффициент линейного ослабления k_1 = 0,2 см$^{-1}$, а для лучей с λ_2 = 4,50 мкм k_2 = 7,3 см$^{-1}$. Определить слои половинного ослабления x_1 и x_2 соответственно для λ_1 и λ_2 и относительное измерение интенсивности этих лучей после прохождения ими кварцевой пластинки.

Решение. Поглощение лучей света в среде определяется законом Бугера, который строго выполняется только для монохроматических лучей:

$$I = I_0 e^{-kx},$$

где I_0 – сила света, входящего в вещество; I – сила света, прошедшего слой вещества; x – толщина слоя поглощающего вещества; k – коэффициент линейного ослабления.

При слое половинного ослабления $I = \frac{1}{2} I_0$, формула закона Бугера примет вид:

$$\frac{1}{2} I_0 = I_0 e^{-kx}.$$

Отсюда $e^{kx} = 2$ или $k \cdot x = \ln 2$.

Для лучей с длиной волны λ_1 слой половинного ослабления равен

$$x_1 = \frac{\ln 2}{k_1} = \frac{0{,}693}{0{,}2} \cong 3{,}47 \text{ (см)}.$$

Для лучей с длиной волны λ_2 слой половинного ослабления равен

$$x_2 = \frac{\ln 2}{k_2} = \frac{0,693}{7,3} \cong 0,0949 \text{ (см)} \cong 0,95 \text{ (мм)}.$$

Таким образом, слой половинного ослабления с длиной волны λ_2 в 3,67 раза меньше, чем для λ_1. Относительное изменение силы света после прохождения слоя x для лучей λ_1 и λ_2 получим из выражения $\frac{I_0}{I} = e^{kx}$. Для лучей с λ_1

$$\frac{I_0}{I} = e^{k_1 x} = e^{0,2 \cdot 5} = e^1 = 2,72;$$

для лучей с λ_2

$$\frac{I_0}{I} = e^{k_2 x} = e^{7,3 \cdot 5} = e^{36,5} \cong 10^{14}.$$

Для лучей с длиной волны λ_2 = 4,50 мкм слой кварца толщиной 5 см практически непрозрачен, в то время как лучи с длиной волны λ_1 = 2,72 мкм, проходя слой кварца в 5 см, ослабляются в 2,72 раза.

Задача 38. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра ${}^{16}_{8}O$.

Решение. Дефект массы Δm ядра определяется по формуле

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я. \qquad (1)$$

Формулу (1) можно также записать в виде:

$$\Delta m = Zm_{{}^1_1H} + (A - Z)m_n - m_a, \qquad (2)$$

где m_a – масса атома, дефект массы ядра которого определяется.

Подставляя в (2) числовые данные, получим:

$$\Delta m = 0,13708 \text{ а.е.м.}$$

Энергия связи ядра $E_{св}$ определяется по формуле

$$E_{св} = c^2 \Delta m. \qquad (3)$$

Если дефект массы Δm выражать в а.е.м., а энергию связи $E_{св}$ в Мэв, то формула (3) примет вид:

$$E_{св} = 931 \cdot \Delta m. \qquad (4)$$

Подставляя в (4) числовые значения, получим:

$$E_{св} = 931 \cdot 0,13708 \cong 128 \text{ (МэВ)}.$$

Удельную энергию связи $\varepsilon_{св}$ вычисляем по формуле

$$\varepsilon_{св} = E_{св} / A.$$

Производя вычисления, получим:

$$\varepsilon_{св} = 128/16 = 8 \text{ (МэВ)}.$$

Задача 39. 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.

Решение. Реакция α-распада имеет вид: ${}^{235}_{92}U \to {}^{4}_{2}He + {}^{231}_{90}X$, т.е. образовалось ядро тория ${}^{231}_{90}Th$;

$$m_{Th} = 231{,}02944 \text{ а.е.м.}$$

Дефект массы

$$\Delta m = Zm_{{}^{1}_{1}H} + (A - Z)m_n - m_{Th};$$

$$\Delta m = 90\cdot1{,}00783 + 141\cdot1{,}00867 - 231{,}02944 \cong 1{,}898 \text{ (а.е.м.)} = 3{,}14\cdot10^{-27} \text{ (кг)}.$$

Здесь $m_{{}^{1}_{1}H}$, m_n – массы водорода и нейтрона.

Энергия связи ядра тория

$$E_{св} = \Delta mc^2 = 3{,}15\cdot10^{-27}\cdot9\cdot10^{16} \approx 2{,}84\cdot10^{-10} \text{ (Дж)} = 1775 \text{ (МэВ)}.$$

Задача 40. Сколько ядер, содержащихся в 1 г трития ${}^{3}_{1}H$, распадается за среднее время жизни этого изотопа?

Решение. Согласно закону радиоактивного распада,

$$N = N_0 exp(-\lambda t). \qquad (1)$$

Среднее время жизни τ радиоактивного изотопа есть величина постоянная, обратная постоянной распада:

$$\tau = 1/\lambda. \qquad (2)$$

По условию задачи $t = \tau$. Подставляя в (1) вместо t значение τ из (2), получим:

$$N = N_0/e. \qquad (3)$$

Число распавшихся атомов за время $t = \tau$ равно

$$N' = N_0 - N = N_0(1 - \frac{1}{e}). \qquad (4)$$

Найдем число атомов N_0, содержащихся в массе $m = 1$ г изотопа ${}^{3}_{1}H$:

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A, \qquad (5)$$

где $M = 3\cdot10^{-3}$кг/моль – молярная масса изотопа ${}^{3}_{1}H$; N_A – число Авагадро.

С учетом (5) выражение (4) примет вид:

$$N' = \frac{m}{M} N_A (1 - \frac{1}{e}) . \qquad (6)$$

Подставляя в (6) числовые значения, получим:

$$N' = \frac{10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 10^{-3}} \left(1 - \frac{1}{2,72}\right) \cong 1,27 \cdot 10^{23} .$$

Задача 41. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^4_2He + {}^4_2He \to P + {}^7_3Li$. Выделяется или поглощается энергия при этой реакции?

Решение. Энергия ядерной реакции определяется по формуле

$$Q = c^2 (m_1 + m_2 - \sum m_i) , \qquad (1)$$

где m_1 и m_2 – массы частиц, вступающих в реакцию; $\sum m_i$ – сумма масс частиц, образовавшихся в результате реакции.

Если массу частиц выражать в а.е.м., а энергию реакции в МэВ, то формула (1) примет вид:

$$Q = 931 (m_1 + m_2 - \sum m_i) . \qquad (2)$$

При вычислении энергии ядерной реакции можно использовать массы атомов вместо масс их ядер. Из справочных данных находим:

$m\,{}^4_2He$ = 4,00260 а.е.м.;

$m\,{}^1_1H$ = 1,00783 а.е.м.;

$m\,{}^7_3Li$ = 7,01601 а.е.м.

Дефект массы реакции равен:

$2m\,{}^4_2He - m\,{}^1_1H - m\,{}^7_3Li$ = – 0,01864 а.е.м.

Подставляя значение дефекта массы реакции в (2), получим:

Q = 931·(– 0,01864) ≅ – 17,4 (МэВ).

Поскольку $Q < 0$, то энергия в результате реакции поглощается.

4. ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

Вариант		Номера задач							
предпоследняя цифра	последняя цифра								
0	**1**	1	41	81	121	161	201	241	281
	2	2	42	82	122	162	202	242	282
	3	3	43	83	123	163	203	243	283
	4	4	44	84	124	164	204	244	284
	5	5	45	85	125	165	205	245	285
	6	6	46	86	126	166	206	246	286
	7	7	47	87	127	167	207	247	287
	8	8	48	88	128	168	208	248	288
	9	9	49	89	129	169	209	249	289
	0	10	50	90	130	170	210	250	290
1	**1**	11	51	91	131	171	211	251	291
	2	12	52	92	132	172	212	252	292
	3	13	53	93	133	173	213	253	293
	4	14	54	94	134	174	214	254	294
	5	15	55	95	135	175	215	255	295
	6	16	56	96	136	176	216	256	296
	7	17	57	97	137	177	217	257	297
	8	18	58	98	138	178	218	258	298
	9	19	59	99	139	179	219	259	299
	0	20	60	100	140	180	220	260	300
2	**1**	21	61	101	141	181	221	261	301
	2	22	62	102	142	182	222	262	302
	3	23	63	103	143	183	223	263	303
	4	24	64	104	144	184	224	264	304
	5	25	65	105	145	185	225	265	305
	6	26	66	106	146	186	226	266	306
	7	27	67	107	147	187	227	267	307
	8	28	68	108	148	188	228	268	308
	9	29	69	109	149	189	229	269	09
	0	30	70	110	150	190	230	270	310
3	**1**	31	71	111	151	191	231	271	311
	2	32	72	112	152	192	232	272	312
	3	33	73	113	153	193	233	273	313
	4	34	74	114	154	194	234	274	314
	5	35	75	115	155	195	235	275	315
	6	36	76	116	156	196	236	276	316
	7	37	77	117	157	197	237	277	317
	8	38	78	118	158	198	238	278	318
	9	39	79	119	159	199	239	279	319
	0	40	80	120	160	200	240	280	320

5. ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

1. В опыте Юнга щели освещаются монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 550$ нм, расстояние d между щелями равно 0,5 мм и расстояние l от щелей до экрана 1 м. Определить положение второй световой полосы; положение четвертой темной полосы.

2. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм, падающим нормально. Определить толщину d воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плосковыпуклой линзой в том месте, где наблюдается третье темное кольцо в отраженном свете.

3. На линзу с показателем преломления n_c=1,59 нормально падает монохроматический свет с диной волны $\lambda = 0{,}60$ мкм. Для устранения потерь света в результате отражения на линзу наносится тонкая пленка. Определить оптимальный показатель преломления пленки и минимальную оптическую толщину пленки.

4. На пути луча, идущего в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной 1 мм. Как изменится оптическая длина пути луча, если луч будет падать на пластинку: а) нормально, б) под углом 30°?

5. Определить радиус 4-го темного кольца Ньютона в отраженном свете, если между линзой с радиусом кривизны 5 м и плоской поверхностью, к которой она прижата, находится вода. Свет с длиной волны 0,589 мкм падает нормально.

6. Монохроматический свет с длиной волны 0,5 мкм падает на мыльную пленку $n = 1{,}3$ толщиной 0,1 мкм, находящуюся в воздухе. Найти наименьший угол падения, при котором пленка в проходящем свете кажется темной.

7. На пленку из глицерина $n = 1{,}47$ толщиной 0,1 мкм падает белый свет. Каким будет казаться цвет пленки в отраженном свете, если угол падения луча 45°?

8. Расстояние между двумя когерентными источниками (опыт Юнга) 0,55 мм. Источники испускают свет с длиной волны 550 нм. Каково расстояние от щелей до экрана, если расстояние между соседними темными полосами на нем 1 мм?

9. Найти расстояние между третьим и пятым минимумами на экране, если расстояние двух когерентных источников $\lambda = 0{,}6$ мкм от экрана 1 м, расстояние между источниками 0,2 мм.

10. Два когерентных источника, расстояние между которыми 0,2 мм, расположены от экрана на расстоянии 1,5 м. Найти длину световой волны, если 3-й интерференционный минимум расположен на расстоянии 12,6 мм от центра картины.

11. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления n = 1,33 под углом α = 45° падает параллельный пучок белого света. Определить, при какой наименьшей толщине пленки зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый свет λ = 0,6 мкм.

12. На экране наблюдается интерференционная картина в результате наложения лучей от двух когерентных источников (λ = 500 нм). На пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили стеклянную пластинку (n = 1,6) толщиной d = 5 мкм. Определить, на сколько полос сместится при этом интерференционная картина.

13. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны λ = 0,6 мкм, падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью, и наблюдение ведется в проходящем свете. Радиус кривизны линзы R = 4 м. Определить показатель преломления жидкости, если радиус второго светлого кольца r = 1,8 мм.

14. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга d = 0,5 мм (λ = 0,6 мкм). Определить расстояние L от щелей до экрана, если ширина интерференционных полос равна 1,2 мм.

15. На стеклянный клин n = 1,5 нормально падает монохроматический свет (λ = 698 нм). Определить угол между поверхностями клина, если расстояние l между двумя соседними интерференционными минимумами в отраженном свете равно 2 мм.

16. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. При заполнении пространства между линзой и стеклянной пластинкой прозрачной жидкостью радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в 1,21 раза. Определить показатель преломления жидкости.

17. Для измерения показателя преломления аммиака в одно из плеч интерферометра Майкельсона помещена закрытая с обеих сторон откачанная до высокого вакуума стеклянная трубка длиной l = 15 см. При заполнении трубки аммиаком интерференционная картина для длины волны λ = 589 нм сместилась на 192 полосы. Определить показатель преломления аммиака.

18. На пути лучей интерференционного рефрактора помещаются трубки длиной l = 2 см с плоскопараллельными стеклянными основаниями, наполненные воздухом (n_0 = 1,000277). Одну трубку заполнили хлором, при этом интерференционная картина сместилась на m = 20 полос. Определить показатель преломления хлора, если наблюдение производится в монохроматическом свете с длиной волны λ = 589 нм.

19. Определить диаметр второго светлого кольца Ньютона, наблюдаемого в отраженном свете с длиной волны λ = 640 нм, если радиус кривизны плосковыпуклой линзы, лежащей выпуклой стороной на плоской стеклянной пластине, равен $R = 6{,}4$ м, а лучи параллельны главной оптической оси линзы.

20. На стеклянный клин нормально к его грани падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм. В возникшей при этом интерференционной картине на отрезке длиной $l = 1$ см наблюдается 10 полос. Определить преломляющий угол α клина.

21. На тонкий стеклянный клин ($n = 1{,}55$) падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол φ между поверхностями клина равен $2'$. Определить длину световой волны λ, если расстояние l между смеженными интерференционными максимумами в отраженном свете равно 0,3 мм.

22. Поверхности стеклянного клина образуют между собой угол $\varphi = 0{,}2'$. На клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0{,}55$ мкм. Определить ширину l интерференционной полосы.

23. На тонкий стеклянный клин в направлении нормали к его поверхности падает монохроматический свет ($\lambda = 600$ нм). Определить угол φ между поверхностями клина, если расстояние l между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете равно 4 мм.

24. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволочку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии $l = 75$ мм от нее. В отраженном свете $\lambda = 0{,}5$ мкм на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр d поперечного сечения проволочки, если на протяжении $a = 30$ мм насчитывается $m = 16$ светлых полос.

25. Расстояние $\Delta r_{2\text{-}1}$ между вторым и первым темным кольцами Ньютона в отраженном свете равно 1 мм. Определить расстояние $\Delta r_{10\text{-}9}$ между десятым и девятым кольцами.

26. Плосковыпуклая линза ($n = 1{,}6$) выпуклой стороной прижата к стеклянной пластинке. Расстояние между первыми двумя кольцами Ньютона, наблюдаемыми в отраженном свете, равно 0,5 мм. Определить оптическую силу линзы, если освещение производится монохроматическим светом с $\lambda = 550$ нм, падающим нормально.

27. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны 4 м выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить длину волны падающего монохроматического света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3 мм.

28. Расстояния от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана соответственно равны $a = 30$ см и $b = 1{,}5$ м. Бипризма стеклянная ($n = 1{,}5$) с преломляющим углом $\varphi = 20'$. Определить длину волны света, если ширина интерференционных полос $\Delta x = 0{,}65$ мм.

29. Определить, во сколько раз изменится ширина интерференционных полос на экране в опыте с зеркалом Френеля, если фиолетовый светофильтр (0,4 мкм) заменить красным (0,7 мкм).

30. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластину (n = 1,5), то центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны λ = 0,5 мкм. Определить толщину пластины.

31. В опыте с зеркалами Френеля расстояние d между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние от них до экрана равно 5 м. В желтом свете ширина интерференционных полос равна 6 мм. Определить длину волны желтого света.

32. В опыте Юнга расстояние между щелями d = 1 мм, а расстояние L от щелей до экрана равно 3 м. Определить: 1) положение первой светлой полосы; 2) положение третьей темной полосы, если щели освещать монохроматическим светом с длиной волны λ = 0,5 мкм.

33. Между стеклянной пластиной и лежащей на ней плосковыпуклой стеклянной линзой налита жидкость, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла. Радиус r_8 восьмого темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете (λ = 700 нм) равен 2 мм. Радиус R кривизны выпуклой поверхности линзы равен 1 м. Найти показатель преломления n жидкости.

34. Оптическая разность хода Δ двух интерферирующих волн монохроматического света равна 0,3 λ. Определить разность фаз $\Delta\varphi$.

35. В опыте Юнга расстояние d между щелями равно 0,8 мм, длина волны λ = 640 нм. На каком расстоянии L от щелей следует расположить экран, чтобы ширина интерференционной полосы оказалась равной 2 мм.

36. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной d = 1,2 мкм с показателем преломления n = 1,5 помещена между двумя средами с показателями преломления n_1 и n_2. Свет с длиной волны λ = 0,6 мкм падает нормально на пластину. Определить оптическую разность хода Δ волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей пластинки, и указать, усиление или ослабление интенсивности света происходит при интерференции в следующих случаях: 1) $n_1<n<n_2$; 2) $n_1>n>n_2$; 3) $n_1<n>n_2$; 4) $n_1>n<n_2$.

37. На пути одного из интерферирующих лучей в опыте Юнга помещают тонкую стеклянную (n = 1,52) пластинку толщиной 2,6 мкм. Луч света падает на пластинку перпендикулярно. На сколько светлых полос смещается интерференционная картина на экране, если длина световой волны 0,676 мкм?

38. При какой наименьшей толщине пленки из бензола (n = 1,5) при освещении белым светом под углом 30° пленка кажется желтой (λ = 0,59 мкм) в отраженном свете?

39. На тонкий стеклянный клин (n = 1,5) нормально падает монохроматический свет с длиной волны 668 нм. Определить преломляющий угол клина, если линейное расстояние между темными полосами 1,4 мм.

40. В просветленной оптике для устранения отражения света на поверхность линзы наносится тонкая пленка вещества с показателем преломления 1,26, меньшим, чем у стекла. При какой толщине пленки отражение света от линзы не будет наблюдаться? Длина волны падающего света 0,55 мкм, угол падения 30°.

41. Постоянная дифракционной решётки 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.

42. Какую разность длин волн $\Delta\lambda$ может разрешить дифракционная решётка с периодом 2,5 мкм шириной 1,5 см в спектре 3-го порядка для зелёных лучей (λ = 0,5 мкм)?

43. Дифракционная решётка шириной 12 мм содержит 4800 штрихов. Определить число главных максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решётки для длины волны 0,55 мкм.

44. На дифракционную решётку с периодом 4,8 мкм падает нормально естественный свет. Какие спектральные линии, соответствующие длинам волн в видимой области спектра, будут совпадать в направлении под углом 30°?

45. Период дифракционной решётки 0,005 мм. Определить число наблюдаемых главных максимумов в спектре для длины волны 0,445 мкм.

46. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,65 мкм. На экране, расположенном параллельно решётке и отстоящем от неё на расстояние 0,5 м, наблюдается дифракционная картина. Расстояние между дифракционными максимумами первого порядка равно 10 см. Определить постоянную дифракционной решётки и общее число главных максимумов, получаемых с помощью этой решётки.

47. Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальция равно 0,3 нм. Определить, при какой длине волны рентгеновского излучения второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом 30° к поверхности кристалла.

48. Точечный источник света (λ = 550 нм) расположен перед диафрагмой с круглым отверстием радиусом r = 2 мм. Определить расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения, если на открытой части волновой поверхности в плоскости отверстия умещается шесть зон Френеля, а расстояние a от источника до диафрагмы равно 2,1 м.

49. На экран с круглым отверстием радиусом r = 2 мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света (λ = 500 нм). Определить число зон Френеля, открываемых отверстием, если расстояние от экрана до точки наблюдения, расположенной на оси отверстия, составляет 2 м. Темное или светлое пятно наблюдается в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения помещён экран?

50. Дифракция наблюдается на расстоянии l от точечного источника монохроматического света (λ = 600 нм). Посередине между источником света и экраном помещён непрозрачный круглый диск диаметром 3 мм. Определить расстояние l, если диск закрывает три зоны Френеля.

51. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Определить его направление на третий дифракционный максимум, если на ширине щели умещается120 длин волн.

52. На узкую щель шириной a = 0,02 мм падает нормально монохроматический свет (λ = 500 нм). Определить направление света на второй дифракционный максимум (по отношению к первоначальному направлению света).

53. На щель падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ = 0,5 мкм. Дифракционная картина проецируется на экран, параллельный плоскости щели, с помощью линзы, расположенной вблизи щели. Определить ширину a щели, если расстояние l щели от экрана составляет 1 м, а ширина b центрального дифракционного максимума равна 1 см.

54. Монохроматический свет с длиной волны λ = 0,6 мкм падает на длинную прямоугольную щель под углом φ_0 = 30° к её нормали. Определить ширину a щели, если направление φ на первый минимум от центрального фраунгоферова максимума составляет 34°.

55. На дифракционную решётку нормально к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны λ = 600 нм. Определить постоянную d дифракционной решётки, если наибольший порядок спектра, получаемый с помощью этой решётки, $m_{\max}$ = 5.

56. На дифракционную решётку нормально к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны λ = 0,5 мкм. Определить число штрихов на 1 см дифракционной решётки, если углу φ = 30° соответствует дифракционный максимум пятого порядка.

57. На дифракционную решётку длиной l = 20 мм, содержащую N = 3500 штрихов, нормально к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны λ = 590 нм. Определить: общее число максимумов, наблюдаемых в дифракционном спектре; угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.

58. На дифракционную решётку, содержащую 100 штрихов на 1 мм, нормально к её поверхности падает монохроматический свет. Вблизи решётки помещена собирающая линза, в фокальной плоскости которой расположен экран, на который проецируется дифракционная картина. Определить длину волны падающего света, если расстояние L экрана от линзы составляет 1 м, а первый главный максимум наблюдается на расстоянии $b = 5$ см от центрального.

59. Определить максимальную разрешающую способность (для линии с $\lambda = 670$ нм) двух дифракционных решёток, имеющих одинаковую длину $l = 5$ мм, но разные периоды $d_1 = 3$ мкм и $d_2 = 6$ мкм.

60. На каком максимальном расстоянии от диафрагмы с круглым отверстием радиусом 0,6 мм надо поместить экран, чтобы при освещении отверстия плоской световой волной ($\lambda = 0{,}6$ мкм) в центре дифракционной картины на экране ещё наблюдалось тёмное пятно? Под каким углом при этом видно отверстие из точки наблюдения?

61. На щель шириной 12λ падает нормально монохроматический свет. Найти угол между направлениями на второй и третий максимумы интенсивности света.

62. На дифракционную решётку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, падает свет с длиной волны 600 нм. Определить наибольший порядок спектра, который можно получить данной решёткой.

63. Угол между спектрами вторых порядков равен 36°. Определить длину волны света, падающего на дифракционную решётку с $d = 4$ мкм.

64. На диафрагму с круглым отверстием радиусом $r = 1$ мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, помещают экран. Определить максимальное расстояние b_{max} от центра отверстия до экрана, при котором в центре дифракционной картины ещё будет наблюдаться тёмное пятно.

65. На дифракционную решётку нормально к её поверхности падает параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм. Помещённая вблизи решётки линза проецирует дифракционную картину на плоский экран, удалённый от линзы на $L = 1$ м. Расстояние l между двумя максимумами интенсивности первого порядка, наблюдаемыми на экране, равно 20,2 см. Определить: 1) постоянную d дифракционной решётки; 2) число n штрихов на 1 см; 3) число максимумов, которое при этом даёт дифракционная решётка; 4) максимальный угол φ_{max} отклонения лучей, соответствующих последнему дифракционному максимуму.

66. Точечный источник света ($\lambda = 0{,}5$ мкм) расположен на расстоянии $a = 1$ м перед диафрагмой с круглым отверстием диаметром $d = 2$ мм. Определить расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения, если отверстие открывает три зоны Френеля.

67. Определить радиус третьей зоны Френеля для случая плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения равно 1,5 м. Длина волны $\lambda = 0{,}6$ мкм.

68. Определить радиус четвёртой зоны Френеля, если радиус второй зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 2 мм.

69. Дифракция наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 0{,}5$ мкм). Посередине между источником света и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец на экране является наиболее темным.

70. Дифракция наблюдается на расстоянии от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 0{,}5$ мкм). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачный диск диаметром 5 мм. Определить расстояние l, если диск закрывает только центральную зону Френеля.

71. На узкую щель падает нормальный монохроматический свет. Его направление на четвёртую тёмную дифракционную полосу составляет 2°12′. Определить, сколько длин волн укладывается на ширине щели.

72. На щель шириной $a = 0{,}1$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном параллельно щели. Определить расстояние l от щели до экрана, если ширина центрального дифракционного максимума $b = 1$ см.

73. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм падает на длинную прямоугольную щель шириной $a = 12$ мкм под углом $\alpha_0 = 45°$ к её нормали. Определить угловое положение первых минимумов, расположенных по обе стороны центрального фраунгоферова максимума.

74. На дифракционную решётку длиной $l = 15$ мм, содержащую $N = 3000$ штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 550$ нм. Определить: 1) число максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решётки; 2) угол, соответствующий последнему максимуму.

75. Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решётки, если углу $\varphi = 30°$ соответствует максимум четвёртого порядка для монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм.

76. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм. На экран, находящийся от решётки на расстоянии $L = 1$ м, с помощью линзы, расположенной вблизи решётки, проецируется дифракционная картина, причём первый главный максимум наблюдается на расстоянии $l = 15$ см от центрального. Определить число штрихов на 1 см дифракционной решётки.

77. Монохроматический свет нормально падает на дифракционную решётку. Определить угол дифракции, соответствующий максимуму четвёртого порядка, если максимум третьего порядка отклонён на $\varphi_1 = 18°$.

78. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решётку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядка составляет 12°.

79. На дифракционную решётку с постоянной $d = 5$ мкм под углом $\Theta = 30°$ падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм. Определить угол φ дифракции для главного максимума третьего порядка.

80. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм. Угол дифракции для пятого максимума равен 30°, а минимальная разрешенная решёткой разность длин волн составляет $\delta\lambda = 0{,}2$ нм. Определить: 1) постоянную дифракционной решётки; 2) длину дифракционной решётки.

81. Какой угол образуют плоскости поляризации двух николей, если свет, вышедший из второго николя, был ослаблен в 5 раз? Учесть, что поляризатор поглощает 10, а анализатор 8 % падающего на них света.

82. Угол между плоскостями поляризации двух поляроидов 70°. Как изменится интенсивность прошедшего через них света, если этот угол уменьшить в 5 раз?

83. Луч света, проходя слой льда, падает на алмазную пластинку, частично отражается, частично преломляется. Определить, каким должен быть угол падения, чтобы отражённый луч был максимально поляризован.

84. Найти коэффициент поглощения света в поляроидах, если при угле 45° между их плоскостями поляризации через систему проходит 16 % падающего света.

85. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы поляризация солнечного света, отраженного от поверхности воды, была максимальной?

86. Во сколько раз изменится интенсивность света, проходящего через два николя, угол между главными направлениями которых составляет 60°, если между ними поместить пластинку левовращающегося кварца толщиной 3 мм, вырезанную перпендикулярно оптической оси. Такая же пластинка, но толщиной 1,5 мм, поворачивает плоскость поляризации на 25°. Потерями света в николях и кварце пренебречь.

87. Определить показатель преломления стекла, если при отражении света от стекла отражённый свет будет полностью поляризован при угле преломления 30°.

88. Во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света при прохождении его через два николя, плоскости поляризации которых составляют 60°?

89. На систему, состоящую из поляризатора и анализатора, у которых угол α между главными плоскостями составляет 45°, падает естественный свет. Пренебрегая потерями на отражение света, определить, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего эту систему, если и в поляризаторе, и анализаторе теряется 10 % интенсивности падающего на них света.

90. Пучок естественного света падает на стекло с показателем преломления $n = 1{,}73$. Определить, при каком угле преломления отражённый от стекла пучок света будет полностью поляризован.

91. Угол Брюстера при отражении света от поверхности некоторого вещества равен 56,3°. Определить скорость распространения света в этом веществе.

92. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n = 1{,}5$), и отражается от дна. Отражённый луч плоскополяризован при падении его на дно сосуда под углом $\alpha = 43°$. Определить: показатель преломления n_1 жидкости; предельный угол падения луча света на дно сосуда, чтобы наблюдалось полное отражение.

93. Пучок плоскополяризованного света падает на пластинку исландского шпата толщиной 100 мкм, вырезанную параллельно оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно $n_o = 1{,}66$ и $n_e = 1{,}49$, определить оптическую разность хода этих лучей, прошедших сквозь пластинку.

94. Определить разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, если наименьшая толщина кристаллической пластинки в четверть длины волны для $\lambda = 530$ нм составляет 13,3 мкм.

95. Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме $\lambda = 600$ нм, падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно $n_o = 1{,}66$ и $n_e = 1{,}49$, определить длины волн этих лучей в кристалле.

96. Плоскопараллельная пластинка из исландского шпата с минимальной толщиной $d_{\min} = 1{,}93$ мкм (служит пластинкой в полдлины волны для оранжевого света $\lambda = 656$ нм). Определить показатель преломления для обыкновенного луча.

97. Плоскополяризованный свет падает нормально на кристаллическую пластинку из отрицательного кристалла в полдлины волны. Плоскость колебаний падающего света составляет угол $\alpha = 45°$ с оптической осью кристалла. Определить поляризацию света, прошедшего через пластинку.

98. Частично поляризованный свет проходит сквозь николь. При повороте николя на угол $\varphi = \pi/3$ от положения, соответствующего максимальному пропусканию света, интенсивность прошедшего пучка уменьшилась в $n = 2$ раза. Пренебрегая поглощением света в николе, определить: отношение интенсивности поляризованного и естественного света; степень поляризации падающего света.

99. Пластинка кварца толщиной $d = 4$ мм (удельное вращение кварца 15 град/мм), вырезанная перпендикулярно оптической оси, помещена между двумя скрещёнными николями. Пренебрегая потерями света в николях, определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего эту систему.

100. Пучок естественного света падает на полированную поверхность стеклянной пластины, погруженной в жидкость. Отражённый от пластины пучок света составляет угол $\varphi = 97°$ с падающим пучком. Определить показатель преломления n жидкости, если отражённый свет полностью поляризован.

101. Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол α между их плоскостями пропускания равен 60°. Определить: 1) во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через один николь (N_1); 2) во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через оба николя? При прохождении каждого из николей потери на отражение и поглощение света составляют 5 %.

102. Пучок частично поляризованного света рассматривается через поляроид. Первоначально поляроид установлен так, что его плоскость пропускания параллельна плоскости линейно поляризованного света. При повороте поляроида на угол $\varphi = 60°$ интенсивность пропускаемого им света уменьшилась в $k = 2$ раза. Определить отношение I_e/I_n интенсивностей естественного и линейно поляризованного света, составляющих данный частично поляризованный свет, а также степень поляризации P пучка света.

103. Определить степень поляризации P света, который представляет собой смесь естественного света с плоско поляризованным, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.

104. Определить, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два николя, расположенных так, что угол между их главными плоскостями $\alpha = 60°$, а в каждом из николей теряется 8 % интенсивности падающего на него света.

105. Предельный угол полного отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен 40,5°. Определить угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла.

106. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки в четверть длины волны для $\lambda = 530$ нм, если для данной длины волны разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $n_o - n_e = 0{,}01$.

107. Пластинка кварца толщиной d_1 = 2 мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определённой длины волны на угол φ = 30°. Определить толщину d_2 кварцевой пластинки, помещённой между параллельными николями, чтобы данный монохроматический свет гасился полностью.

108. Степень поляризации частично поляризованного света составляет 0,75. Определить отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальной.

109. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет 30°. Определить изменение интенсивности прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями равен 45°.

110. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, главные плоскости которых образуют угол в 60°, если каждый из николей как поглощает, так и отражает 5 % падающего на них света.

111. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых равен α. Поляризатор и анализатор как поглощают, так и отражают 10 % падающего на них света. Определить угол α, если интенсивность света, вышедшего из анализатора, равна 12 % интенсивности света, падающего на поляризатор.

112. Пучок естественного света падает на стеклянную призму с углом α = 30°. Определить показатель преломления стекла, если отражённый луч является плоскополяризованным.

113. Естественный свет интенсивностью I_0 проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых составляет α. После прохождения света через эту систему он падает на зеркало и, отразившись, проходит вновь через неё. Пренебрегая поглощением света, определить интенсивность I света после его обратного прохождения.

114. Плоскополяризованный монохроматический свет, прошедший через поляроид, оказывается полностью погашенным. Если же на пути света поместить кварцевую пластинку, то интенсивность прошедшего через поляроид света уменьшится в 3 раза (по сравнению с интенсивностью света, падающего на поляроид). Принимая удельное вращение в кварце $[\alpha]$ = 0,52 рад/мм и пренебрегая потерями света, определить минимальную толщину кварцевой пластинки.

115. Пучок естественного света падает на стеклянную (n = 1,6) призму. Определить двугранный угол φ призмы, если отражённый пучок максимально поляризован.

116. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле α падения отражённый пучок света максимально поляризован?

117. Пучок света переходит из жидкости в стекло, угол падения α пучка равен 60°, угол преломления $\gamma = 50°$. При каком угле падения $\alpha_Б$ пучок света, отраженный от границы раздела этих сред, будет максимально поляризован?

118. Пучок света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину, нижняя поверхность которой находится в воде. При каком угле падения $\alpha_Б$ свет, отраженный от границы стекло – вода, будет максимально поляризован?

119. Параллельный пучок света приходит из глицерина в стекло так, что пучок, отражённый от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол φ между падающим и преломлённым пучками.

120. Кварцевую пластинку поместили между скрещёнными николями. При какой наименьшей толщине $d_{\min}$ кварцевой пластины поле зрения между николями будет максимально просветлено? Постоянная вращения α кварца равна 27 рад/мм.

121. Какую энергию теряет за 1 с раскаленная поверхность площадью 0,2 см^2 при температуре 2000 К? Поглощательная способность поверхности 0,5.

122. Определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности черного тела при температуре 37 °С, и энергетическую светимость тела.

123. Максимум испускательной способности Солнца приходится на длину волны 0,5 мм. Считая, что Солнце излучает как черное тело, определить температуру его поверхности и мощность излучения.

124. Считая, что Солнце излучает как черное тело, определить интенсивность солнечного излучения вблизи Земли. Температуру поверхности Солнца принять равной 5780 К.

125. Температура внутренней поверхности муфельной печи при открытом отверстии площадью 30 см^2 равна 1,3 кК. Принимая, что отверстие печи излучает как черное тело, определить, какая часть мощности рассеивается стеклами, если потребляемая печью мощность составляет 1,5 кВт.

126. Энергетическая светимость черного тела $R_e = 10$ кВт/м^2. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела.

127. Определить, как и во сколько раз изменится мощность излучения черного тела, если длина волны, соответствующая максимуму его спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_1 = 720$ нм до $\lambda_2 = 400$ нм.

128. Черное тело находится при температуре T_1 = 3 кК. При остывании тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda$ = 8 мкм. Определить температуру T_2, до которой тело охладилось.

129. Черное тело нагрели от температуры T_1 = 600 К до T_2 = 2400 К. Определить: 1) во сколько раз увеличилась эго энергетическая светимость; 2) как изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости.

130. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости $R_{\lambda T}$ черного тела, при переходе от термодинамической температуры T_1 к температуре T_2 увеличилась в 5 раз. Определить, как изменится при этом длина волны λ_{max}, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости черного тела.

131. Определить, какая длина волны соответствует максимальной спектральной плотности энергетической светимости $(R_{\lambda T})_{max}$, равной $1{,}3\cdot10^{11}$ Вт/м^3.

132. В результате нагревания черного тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с λ_1 = 2,7 мкм до λ_2 = 0,9 мкм. Определить, во сколько раз увеличилась: 1) энергетическая светимость тела; 2) максимальная спектральная плотность энергетической светимости тела. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости черного тела возрастает по закону $(R_{\lambda T})_{max} = CT^5$, где $C = 1{,}3\cdot10^{-5}$ Вт/(м^{3}К^5).

133. Принимая Солнце за черное тело и учитывая, что его максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны 500 Нм, определить: 1) температуру поверхности Солнца; 2) энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за 10 мин; 3) массу, теряемую Солнцем за это время за счет излучения.

134. Считая никель черным телом, определить мощность, необходимую для поддержания температуры расплавленного никеля 1453 °С неизменной, если площадь его поверхности равна 0,5 см^2. Потерями энергии пренебречь.

135. Металлическая поверхность площадью S = 15 см^2, нагретая до температуры T = 3 кК, излучает в одну минуту 100 кДж. Определить: 1) энергию, излучаемую этой поверхностью, считая ее черной; 2) отношение энергетических светимостей этой поверхности и черного тела при данной температуре.

136. Определить температуру тела, при которой оно при температуре окружающей среды t_0 = 27 °С излучало бы энергии в 10 раз больше, чем поглощало.

137. Считая, что тепловые потери обусловлены только излучением, определить, какую мощность необходимо подводить к медному шарику диаметром d = 2 см, чтобы при температуре окружающей среды t_0 = – 13 °С поддерживать его температуру равной t = 17 °С. Принять поглощательную способность меди A_m = 0,6.

138. Принимая, что Солнце излучает как абсолютно черное тело, вычислить его энергетическую светимость $R^*_э$ и температуру T его поверхности. Солнечный диск виден с Земли под углом θ = 32'. Солнечная постоянная C = 1,4 кДж/(м^2·с).

139. Определить установившуюся температуру T зачерненной металлической пластины, расположенной перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Солнечная постоянная C = 1,4 кДж/(м^2·с).

140. Принимая коэффициент теплового излучения α_T угля при температуре T = 600 К равным 0,8, определить: 1) энергетическую светимость $R^*_э$ угля; 2) энергию W, излучаемую с поверхности угля площадью S = 5 см^2 за время t = 10 мин.

141. С поверхности сажи площадью S = 2 см^2 при температуре T = 400 К за время t = 5 мин излучается энергия W = 83 Дж. Определить коэффициент теплового излучения $\alpha_т$ сажи.

142. Вследствие изменения температуры черного тела максимум спектральной плотности $(R_{\lambda T})_{\max}$ сместился с λ_1 = 2,4 мкм на λ_2 = 0,8 мкм. Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость $R^*_э$ тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

143. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, λ_0 = 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость (излучаемость) R_e поверхности тела.

144. Черное тело имеет температуру T_1 = 500 К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в n = 5 раз?

145. Температура абсолютно черного тела T = 2 кК. Определить длину волны λ_m, на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) $(R_{\lambda T})_{\max}$ для этой длины волны.

146. Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны λ_m, = 600 нм.

147. Из смотрового окошечка печи излучается поток Φ_e = 4 кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка S = 8 см^2.

148. Поток излучения абсолютно черного тела Φ_e = 10 кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны λ_m, = 0,8 мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.

149. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра (λ_{m_1} = 780 нм) на фиолетовую (λ_{m_2} = 390 нм)?

150. Определить поглощательную способность $\alpha_т$ серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{рад}$ = 1,4 кК, тогда как истинная температура T тела равна 3,2 кК.

151. Муфельная печь, потребляющая мощность P = 1 кВт, имеет отверстие площадью S = 100 см^2. Определить долю η мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1 кК.

152. Средняя энергетическая светимость R поверхности Земли равна 0,54 Дж/(см^2·мин). Какова должна быть температура T поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты α_T = 0,25?

153. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(R^*_{\lambda,T})_{\max}$ абсолютно черного тела равна $4{,}16\cdot10^{11}$ Вт/м^2. На какую длину волны λ_m она приходится?

154. На какую длину волны λ_m приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(R^*_{\lambda,T})_{\max}$ абсолютно черного тела при температуре t = 0 °С?

155. Максимум спектральной плотности энергетической светимости $(R^*_{\lambda,T})_{\max}$ яркой звезды Арктур приходится на длину волны λ_m = 580 нм. Принимая, что звезда излучает как абсолютно черное тело, определить температуру T поверхности звезды.

156. Эталон единицы силы света – кандела – представляет собой полный (излучающий волны всех длин) излучатель, поверхность которого площадью S = 0,5305 мм^2 имеет температуру T затвердевания платины, равную 1063 °С. Определить мощность P излучателя, принимая его за абсолютно черное тело.

157. Можно условно принять, что Земля излучает как серое тело, находящееся при температуре T = 280 К. Определить коэффициент теплового излучения $\alpha_т$ Земли, если энергетическая светимость $R^*_э$ ее поверхности равна 325 кДж/(м^2·ч).

158. Поток энергии Φ_e, излучаемый из смотрового окошка плавильной печи, равен 34 Вт. Принимая, что печь излучает как абсолютно черное тело, определить температуру T печи, если площадь отверстия $S = 6$ см^2.

159. Температура T верхних слоев звезды Сириус равна 10^4 К. Определить поток энергии Φ_e, излучаемый с поверхности площадью $S = 1$ км^2 этой звезды.

160. Мощность P излучения шара радиусом $R = 10$ см при некоторой постоянной температуре T равна 1 кВт. Найти эту температуру, считая шар серым телом с коэффициентом теплового излучения $\alpha_т = 0{,}25$.

161. Найти массу фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода (молярная масса водорода $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) при температуре $t = 20$ °С. Скорость молекулы считать равной среднеквадратичной скорости.

162. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длиной волны $\lambda = 520$ нм? Считать скорость электрона много меньшей скорости света. Масса электрона $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$кг.

163. Электрон, пройдя разность потенциалов 4,9 В, сталкивается с атомом ртути и переводит его в первое возбужденное состояние. Какую длину волны имеет фотон, соответствующий переходу атома ртути в нормальное состояние?

164. Определить давление солнечных лучей, нормально падающих на зеркальную поверхность. Интенсивность солнечного излучения принять равной 1,37 кВт/м^2.

165. Свет с длиной волны 0,5 мкм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление 4 мкПа. Определить число фотонов, ежесекундно падающих на 1 см^2 этой поверхности.

166. Пучок параллельных лучей света падает нормально на плоскую зеркальную поверхность. Определить силу давления, испытываемую этой поверхностью, если ее площадь 2 см^2, а энергетическая освещенность поверхности 0,6 Вт/м^2.

167. Определить давление, оказываемое светом с длиной волны 0,4 мкм на черную поверхность, если ежесекундно на 1 см^2 поверхности нормально падает $6 \cdot 10^{16}$ фотонов.

168. Световое давление, испытываемое зеркальной поверхностью площадью 1 см^2, равно 10^{-6} Па. Найти длину света, если на поверхность ежесекундно падает $5 \cdot 10^{16}$ фотонов.

169. Давление света на зеркальную поверхность, расположенную на расстоянии 2 м от лампочки, нормально падающим лучом равно 10^{-8} Па. Определить мощность, расходуемую на излучение.

170. Давление света с длиной волны 0,55 мкм, нормально падающего на зеркальную поверхность, равно 9 мкПа. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности.

171. Определить давление P солнечного излучения на зачерненную пластинку, расположенную перпендикулярно солнечным лучам и находящуюся вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Солнечная постоянная C = 1,4 кДж/(м^2·с).

172. Определить поверхностную плотность J потока энергии излучения, падающего на зеркальную поверхность, если световое давление P при перпендикулярном падении лучей равно 10 мкПа.

173. Поток энергии Φ_e, излучаемый электрической лампочкой, равен 600 Вт. На расстоянии R = 1 м от лампы перпендикулярно падающим лучам расположено круглое плоское зеркальце диаметром d = 2 см. Принимая, что излучение лампы одинаково во всех направлениях и что зеркальце полностью отражает падающий на него свет, определить силу F светового давления на зеркальце.

174. На зеркальце с идеально отражающей поверхностью площадью S = 1,5 см^2 падает нормально свет от электрической дуги. Определить импульс P, полученный зеркальцем, если поверхностная плотность потока излучения φ, падающего на зеркальце, равна 0,1 МВт/м^2. Продолжительность облучения t = 1 с.

175. Спутник в форме шара движется вокруг Земли на такой высоте, что поглощением солнечного света в атмосфере можно пренебречь. Диаметр спутника d = 40 м. Зная солнечную постоянную (C = 1,4 кДж/(м^2·с) и принимая, что поверхность спутника полностью отражает свет, определить силу давления F солнечного света на спутник.

176. Определить энергию ε, массу m и импульс p фотона, которому соответствует длина волны λ = 380 нм (фиолетовая граница видимого спектра).

177. Определить длину волны λ, массу m и импульс p фотона с энергией ε = 1 МэВ. Сравнить массу этого фотона с массой покоящегося электрона.

178. Определить длину волны λ фотона, импульс которого равен импульсу электрона, обладающего скоростью $\upsilon = 10^7$ м/с.

179. Определить длину волны λ фотона, масса которого равна массе покоя: 1) электрона; 2) протона.

180. Давление P монохроматического света (λ = 600 нм) на черную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно 0,1 мкПа. Определить число N фотонов, падающих за время t = 1 с на поверхность площадью S = 1 см^2.

181. Монохроматическое излучение с длиной волны λ = 500 нм падает нормально на плоскую зеркальную поверхность и давит на нее с силой

$F = 10^{-8}$ Н. Определить число N_1 фотонов, ежесекундно падающих на эту поверхность.

182. Давление монохроматического света с длиной волны λ = 500 нм на зеркальную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно 0,12 мкПа. Определить число фотонов, падающих ежесекундно на 1 $м^2$ поверхности.

183. На идеально отражающую поверхность площадью S = 5 $см^2$ за время t = 3 мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого W = 9 Дж. Определить: 1) облученность поверхности; 2) световое давление, оказываемое на поверхность.

184. Определить давление света на стенки 150-ваттной лампочки, принимая, что вся потребляемая мощность идет на излучение, и стенки лампочки отражают 15 % падающего на них света. Считать лампочку сферическим сосудом радиусом 4 см.

185. Давление монохроматического света с длиной волны λ = 500 нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, равно 0,15 мкПа. Определить число фотонов, падающих на поверхность площадью 40 $см^2$ за одну секунду.

186. Давление P монохроматического света с длиной волны λ = 600 нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, составляет 0,1 мкПа. Определить: 1) концентрацию n протонов в световом пучке; 2) число N фотонов, падающих ежесекундно на 1 $м^2$.

187. На идеально отражающую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны λ = 0,55 мкм. Поток излучения Φ_e составляет 0,45 Вт. Определить: 1) число фотонов N, падающих на поверхность за время t = 3 с; 2) силу давления, испытываемую этой поверхностью.

188. Определить энергетическую освещенность (облученность) E_e зеркальной поверхности, если давление, производимое излучением, равно 40 мкПа. Излучение падает нормально к поверхности.

189. Давление света с длиной волны λ = 40 нм, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа. Определить число N фотонов, падающих за время t = 10 с на площадь S = 1 $мм^2$ этой поверхности.

190. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при энергетической освещенности E_e = 120 Вт/$м^2$ давление света на нее оказалось равным 0,5 мкПа.

191. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, p = 5 мПа. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, λ = 0,5 мкм.

192. На расстоянии r = 5 м от точечного монохроматического (λ = 0,5 мкм) изотропного источника расположена площадка (S = 8 $мм^2$) перпендикулярно падающим пучкам. Определить число N фотонов, ежесекундно падающих на площадку. Мощность излучения P = 100 Вт.

193. На зеркальную поверхность под углом $\alpha = 60°$ к нормали падает пучок монохроматического света ($\lambda = 590$ нм). Плотность потока энергии светового пучка $\varphi = 1$ кВт/м^2. Определить давление p, производимое светом на зеркальную поверхность.

194. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $r = 10$ см от точечного изотропного излучателя. При какой мощности P излучателя давление p на зеркальную поверхность будет равным 1 мПа?

195. Свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление $p = 4$ мкПа. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10$ с на площадь $S = 1$ мм^2 этой поверхности.

196. На зеркальную поверхность площадью $S = 6$ см^2 падает нормально поток излучения $\Phi_e = 0{,}8$ Вт. Определить давление p и силу давления F света на эту поверхность.

197. Точечный источник монохроматического ($\lambda = 1$ нм) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиусом $R = 10$ см. Определить световое давление p, производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника $P = 1$кВт.

198. Короткий импульс света с энергией $E = 10$ Дж в виде узкого параллельного монохроматического пучка фотонов падает на пластинку под углом падения $\alpha = 60°$. При этом $K = 30$ % фотонов поглощается пластинкой, а остальные зеркально отражаются. С какой силой действует этот импульс на пластинку, если его длительность $\Delta t = 5\cdot10^{-12}$с?

199. Существует проект запуска космических аппаратов с помощью наземного лазера. Запускаемый аппарат при этом снабжается зеркалом, полностью отражающим лазерное излучение. Какова должна быть минимальная мощность лазера, обеспечивающего запуск по этой схеме аппарата массой $m = 100$ кг?

200. Параллельный пучок света с интенсивностью $I = 0{,}2$ Вт/см^2 падает под углом $\alpha = 60°$ на плоское зеркало с коэффициентом отражения $\rho = 0{,}9$. Определить давление света на поверхность зеркала.

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

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

203. Какую часть энергии фотона составляет энергия, которая пошла на совершение работы выхода электронов из фотокатода, если красная граница для материала фотокатода равна 0,54 мкм, кинетическая энергия фотоэлектронов 0,5 эВ?

204. Кинетическая энергия электронов, выбитых из цезиевого катода, равна 3 эВ. Определить, при какой максимальной длине волны света выбиваются электроны. Работа выхода из цезия 1,8 эВ.

205. Облучение литиевого фотокатода производится фиолетовыми лучами, длина волны которых равна 0,4 мкм. Определить скорость фотоэлектронов, если длина волны красной границы фотоэффекта для лития равна 0,52 мкм.

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

207. 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.

208. На пластинку падает монохроматический свет с длиной волны 0,42 мкм. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов 0,95 В. Определить работу выхода электронов с поверхности пластины.

209. Гамма-фотон с длиной волны 1,2 пМ в результате комптоновского рассеяния на свободном электроне отклонился от первоначального направления на угол 60°. Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

210. Угол рассеяния фотона с энергией 1,2 МэВ на свободном электроне 60°. Найти длину волны рассеянного фотона, энергию и импульс электрона отдачи (кинетической энергией электрона до соударения пренебречь).

211. Фотон с импульсом $5{,}44\cdot10^{-22}$ кгм/с был рассеян на свободном электроне на угол 30° в результате эффекта Комптона. Определить импульс рассеянного фотона.

212. В результате комптоновского эффекта электрон приобрел энергию 0,5 МэВ. Определить энергию падающего фотона, если длина волны рассеянного фотона $2{,}5\cdot10^{-12}$ м.

213. В результате комптоновского рассеяния на свободном покоящемся электроне длина волны γ-фотона увеличилась вдвое. Найти кинетическую энергию и импульс электронной отдачи, если угол рассеяния равен 60°.

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

215. Красная граница для некоторого металла 0,6 мкм. Металл освещается светом, длина волны которого 0,4 мкм. Определить максимальную скорость электронов, выбиваемых светом из металла.

216. Найти частоту света, падающего на пластинку никеля, если скорость фотоэлектронов $2{,}8\cdot10^{6}$ м/с. Работа выхода электронов из никеля 4,8 эВ.

217. При освещении поверхности некоторого металла светом с длиной волны 0,22 мкм задерживающий потенциал равен 1,14 В. Найти работу выхода электронов из этого металла.

218. Фотон с энергией 0,500 МэВ рассеялся на свободном электроне под углом 60°. Найти энергию рассеянного фотона, кинетическую энергию и импульс отдачи. Считать, что кинетической энергией электрона до соударения можно пренебречь.

219. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, если фототок прекращается при приложении задерживающего напряжения $U_з = 3{,}7$ В.

220. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 500 нм. Определить минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект.

221. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении обратного напряжения $U_o = 3$ В. Фотоэффект для этого металла начинается при частоте падающего монохроматического света $\nu_o = 6 \cdot 10^{14}$ с$^{-1}$. Определить :1) работу выхода электронов из этого металла; 2) частоту применяемого излучения.

222. Калий освещается монохроматическим светом с длиной волны 400 нм. Определить наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из калия равна 2,2 эВ.

223. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 500 нм. Определить: 1) работу выхода электронов из этого металла; 2) максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны 400 нм.

224. Определить импульс p_e электрона отдачи, если фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1{,}53$ МэВ в результате рассеяния на свободном электроне потерял 1/3 своей энергии.

225. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0{,}51$ МэВ при рассеянии на свободном электроне потерял половину своей энергии. Определить угол рассеяния θ.

226. Определить угол θ, на который был рассеян квант с энергией $\varepsilon_1 = 1{,}53$ МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи $E_к = 0{,}51$ МэВ.

227. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1{,}02$ МэВ рассеян на свободных электронах на угол $\theta = 150°$. Определить энергию ε_2 рассеянного фотона.

228. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0{,}51$ МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\theta = 180°$. Определить кинетическую энергию $E_к$ электрона отдачи.

229. Фотон с длиной волны λ_1 = 15 пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона λ_2 = 16 пм. Определить угол θ рассеяния.

230. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\theta = \pi/2$? Энергия фотона до рассеяния ε_1 = 0,51МэВ.

231. Фотон с длиной волны λ = 5 пм испытал комптоновское рассеяние под углом $\theta = 90°$ на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить: 1) изменение длины волны при рассеянии; 2) энергию электрона отдачи; 3) импульс электрона отдачи.

232. Фотон с энергией ε = 0,25 МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на 20 %.

233. Фотон с энергией 100 кэВ в результате комптоновского эффекта рассеялся при соударении со свободным электроном на угол $\theta = \pi/2$. Определить энергию фотона после рассеяния.

234. Фотон с энергией ε = 0,25 МэВ рассеялся под углом $\theta = 120°$ на первоначально покоившемся электроне. Определить кинетическую энергию электрона отдачи.

235. Узкий поток монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеивающее вещество. Оказывается, что длины волн рассеянного под углом $\theta_1 = 60°$ и $\theta_2 = 120°$ излучения отличаются в 1,5 раза. Определить длину волны падающего излучения, предполагая, что рассеяние происходит на свободных электронах.

236. Фотон с энергией ε = 1,025 МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить угол рассеяния фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны λ_c = 2,43 пм.

237. Определить максимальную скорость $\upsilon_{\max}$ фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цинка (работа выхода A = 4 эВ), при облучении γ-излучением с длиной волны λ = 2,47 пм.

238. При освещении катода вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны λ = 310 нм фототок прекращается при некотором задерживающем напряжении. При увеличении длины волны на 25 % задерживающее напряжение оказывается меньше на 0,8 В. Определить по этим данным постоянную Планка.

239. Фотоны с энергией $\varepsilon = 5$ эВ вырывают фотоэлектроны из металла с работой выхода $A = 4{,}7$ эВ. Определить максимальный импульс, передаваемый поверхности этого металла при вылете электрона.

240. Плоский серебряный электрод освещается монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 83$ нм. Определить, на какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью $E = 10$ В/см. Красная граница фотоэффекта для серебра $\lambda = 264$ нм.

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

242. Определить длины волн де Бройля электрона и протона, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов 400 В.

243. Кинетическая энергия протона равна его энергии покоя. Вычислить длину волны де Бройля для такого протона.

244. Какой кинетической энергией должен обладать электрон, чтобы дебройлевская длина волны электрона была равна его комптоновской длине волны?

245. Сравнить длины волн де Бройля электрона, прошедшего разность потенциалов 1000 В, атома водорода, движущегося со скоростью, равной средней квадратичной скорости при температуре 27 °C, и шарика массой 1 г, движущегося со скоростью 0,1 м/с.

246. Кинетическая энергия протона в 4 раза меньше его энергии покоя. Вычислить дебройлевскую длину волны протона.

247. Вычислить длину волны де Бройля электрона, движущегося со скоростью $\upsilon = 0{,}75\,c$ (где c – скорость света в вакууме).

248. Кинетическая энергия протона равна его энергии покоя. Вычислить длину волны де Бройля для такого протона.

249. Определить кинетическую энергию протона и электрона, для которых длина волны де Бройля равна 0,06 нм.

250. Протон обладает кинетической энергией, равной энергии покоя. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля протона, если его кинетическая энергия увеличится в 2 раза?

251. Какой кинетической энергией должен обладать протон, чтобы длина волны де Бройля протона равнялась его комптоновской длине волны?

252. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов U. Найти длину волны де Бройля для случаев: $U = 51$ В; $U = 510$ кВ.

253. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии равно 12 нс. Вычислить минимальную неопределенность длины волны $\lambda = 12$ мкм излучения при переходе атома в основное состояние.

254. Среднее время жизни π-мезона равно $1{,}9 \cdot 10^{-16}$ с. Какова должна быть энергетическая разрешающая способность прибора, с помощью которого можно зарегистрировать π-мезон?

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

256. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, ширина которой $1{,}4 \cdot 10^{-9}$м. Определить энергию, излучаемую при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй.

257. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы $l = 1$ нм. Определить наименьшую разность энергетических уровней электрона.

258. Частица в потенциальной яме шириной l находится в возбужденном состоянии. Определить вероятность нахождения частицы в интервале $0 < x < l/2$ на третьем энергетическом уровне.

259. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Определить, во сколько раз изменяется отношение разности соседних энергетических уровней ΔE_{n+1}, n/E_n частицы при переходе от $n_1 = 3$ к $n_2 = 8$. Объяснить физическую сущность полученного результата.

260. Длина волны λ излучаемого атомом фотона составляет 0,6 мкм. Принимая время жизни возбужденного состояния $\Delta t = 10^{-8}$ с, определить отношение естественной ширины энергетического уровня, на который был возбужден электрон, к энергии, излученной атомом.

261. Используя соотношение неопределенностей в форме $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$, оценить минимально возможную полную энергию электрона в атоме водорода. Принять неопределенность координаты равной радиусу атома.

262. Электрон движется в атоме водорода по первой боровской орбите. Принимая, что допускаемая неопределенность скорости составляет 10 % от ее числового значения, определить неопределенность координаты электрона.

263. Определить отношение неопределенностей скорости электрона, если его координата установлена с точностью до 10^{-5} м, и пылинки массой $m = 10^{-12}$ кг, если ее координата установлена с такой же точностью.

264. Электронный пучок ускоряется разностью потенциалов $U = 1$ кВ. Известно, что неопределенность скорости составляет 0,1 % от ее числового значения. Определить неопределенность координаты электрона.

265. Пучок нейтронов падает на кристалл с периодом $d = 0{,}15$ нм. Определить скорость нейтронов, если брэгговское отражение первого порядка наблюдается, когда угол скольжения $\theta = 30°$.

266. Определить, как изменится длина волны де Бройля электрона в атоме водорода при переходе его с четвертой боровской орбиты на вторую.

267. Кинетическая энергия электрона равна 0,6 МэВ. Определить длину волны де Бройля.

268. Кинетическая энергия электрона равна 1 КэВ. Определить длину волны де Бройля.

269. Определить длину волны де Бройля для нейтрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при $T = 290$ К.

270. Определить, какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля λ для него была равна 1 нм.

271. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов U = 500 В, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 1{,}282$ Пм. Принимая заряд этой частицы равным заряду электрона, определить ее массу.

272. Определить длину волны де Бройля для электрона, находящегося в атоме водорода на третьей боровской орбите.

273. Электрон выбит из атома водорода, находящегося в основном состоянии, фотоном, энергия которого $\varepsilon = 17{,}7$ эВ. Определить скорость υ электрона за пределами атома.

274. Фотон в энергией $\varepsilon = 12{,}12$ эВ, поглощенный атомом водорода, находящимся в основном состоянии, переводит атом в возбужденное состояние. Определить главное квантовое число этого состояния.

275. Основываясь на том, что энергия ионизации атома водорода E_i = 13,6 эВ, определить в электрон-вольтах энергию фотона, соответствующую самой длинноволновой линии серии Бальмера.

276. Основываясь на том, что первый потенциал возбуждения атома водорода $U_1 = 10{,}2$ В, определить в электрон-вольтах энергию фотона, соответствующую второй линии серии Бальмера.

277. Основываясь на том, что энергия ионизации атома водорода E_i = 13,6 эВ, определить первый потенциал возбуждения U_1 этого атома.

278. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом $n = 2$, если радиус орбиты электрона изменился в $K = 9$ раз.

279. Используя теорию Бора, определить орбитальный магнитный момент электрона, движущегося по третьей орбите атома водорода.

280. Определите частоту ν вращения электрона на третьей орбите атома водорода в теории Бора.

281. Определить минимальную длину волны тормозного рентгеновского излучения, если к рентгеновской трубке приложены напряжения 30 кВ, 75 кВ.

282. Найти граничную длину волны *K*-серии рентгеновского излучения от платинового антикатода.

283. При каком наименьшем напряжении на рентгеновской трубке с железным антикатодом появляются линии *K*-серии?

284. Какую наименьшую разность нужно приложить к рентгеновской трубке с вольфрамовым антикатодом, чтобы в спектре излучения были все линии *K*-серии?

285. На поверхность воды падает γ-излучение с длиной волны 0,414 пм. На какой глубине интенсивность излучения уменьшится в 2 раза?

286. На железный экран падает пучок γ-лучей, длина волны которых $0{,}124 \cdot 10^{-2}$ нм. Найти толщину слоя половинного ослабления γ-излучения в железе.

287. Определить, как изменится интенсивность узкого пучка лучей при прохождении через экран, состоящий из двух плит: алюминиевой толщиной 10 см и железной – 5 см. Коэффициент линейного ослабления для *Al* $\mu_1 = 0{,}1$ см$^{-1}$, для *Fe* $\mu_2 = 0{,}3$ см$^{-1}$.

288. Какова энергия γ-лучей, если при прохождении через слой железа толщиной 3,15 см интенсивность излучения ослабляется в 4 раза?

289. Рассчитать толщину защитного водяного слоя, который ослабляет интенсивность излучения с энергией 1,6 МэВ в 5 раз.

290. Как изменится степень ослабления γ-лучей при прохождении через свинцовый экран, если длина волны этих лучей $4{,}1 \cdot 10^{-13}$ м и $8{,}2 \cdot 10^{-13}$ м, толщина экрана 1 см?

291. Вычислить дефект массы, энергию связи ядра и удельную энергию связи для элемента $^{108}_{47}Ag$.

292. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи для ядра элемента $^{24}_{12}Mg$.

293. В какой элемент превращается $^{238}_{92}U$ после трех α-распадов и двух β-распадов?

294. Период полураспада $^{60}_{27}Co$ равен примерно 5,3 года. Определить постоянную распада и среднюю продолжительность жизни атомов этого изотопа.

295. За год распалось 60 % некоторого исходного радиоактивного элемента. Определить период полураспада этого элемента.

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

297. Определить постоянную распада и число атомов радона, распавшихся в течение суток, если первоначальная масса радона 10 г. Период полураспада ${}^{222}_{86}Rn$ равен 3,82 суток.

298. Вычислить энергию термоядерной реакции ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$.

299. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^{2}_{1}H + {}^{7}_{3}Li \rightarrow 2\,{}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$.

300. Какое количество энергии освобождается при соединении одного протона и двух нейтронов в одно ядро?

301. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра ${}^{14}_{7}N$.

302. Вычислить энергию связи ядра ${}^{7}_{3}Li$.

303. Вычислить энергетический эффект реакции ${}^{3}_{2}He + n \rightarrow {}^{3}_{1}H + p$.

304. Вычислить энергетический эффект реакции ${}^{2}_{1}H + {}^{7}_{3}Li \rightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{1}_{0}n$.

305. Наибольшая длина волны K_α-серии рентгеновского излучения 0,21 нм. Из какого материала сделан антикатод?

306. Период полураспада радиоактивного вещества равен 5,3 года. Определить, в течение какого времени масса этого вещества уменьшится в 10 раз.

307. Постоянная распада радиоактивного элемента ${}^{26}_{13}Al$ равна $\lambda = 2{,}97\cdot10^{-14}$ с$^{-1}$. Определить продолжительность жизни и период полураспада этого элемента.

308. Ядро нептуния ${}^{234}_{93}Np$ захватило электрон из *К*-оболочки атома (*К*-захват) и испустило α-частицу. Ядро какого элемента получилось в результате этих превращений?

309. Определить массу изотопа ${}^{15}_{7}N$, если изменение массы при образовании ядра ${}^{15}_{7}N$ составляет $0{,}2058\cdot10^{-27}$ кг.

310. При отрыве нейтрона от ядра гелия ${}^{4}_{2}He$ образуется ядро ${}^{3}_{2}He$. Определить энергию связи, которую необходимо для этого затратить. Масса нейтральных атомов ${}^{4}_{2}He$ и ${}^{3}_{2}He$ соответственно равна $6{,}6467\cdot10^{-27}$ кг и $5{,}0084\cdot10^{-27}$ кг.

311. Энергия связи $E_{св}$ ядра, состоящего из трех протонов и четырех нейтронов, равна 39,3 МэВ. Определить массу m нейтрального атома, обладающего этим ядром.

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

313. Постоянная радиоактивного распада изотопа ${}^{210}_{82}Pb$ равна 10^{-9} с$^{-1}$. Определить время, в течение которого распадается 2/5 начального количества ядер этого радиоактивного изотопа.

314. Первоначальная масса радиоактивного изотопа йода ${}^{131}_{53}J$ (период полураспада $T_{1/2} = 8$ суток) равна 1 г. Определить: 1) начальную активность изотопа; 2) его активность через 3 суток.

315. Начальная активность 1 г изотопа радия ${}^{226}_{88}Ra$ равна 1 Ки. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

316. Пользуясь таблицей Менделеева и правилами смещения, определить, в какой элемент превращается ${}^{238}_{92}U$ после трех α и двух β-распадов.

317. Покоившееся ядро полония ${}^{200}_{84}Po$ испускает α-частицу с кинетической энергией $T_\alpha = 5{,}77$ МэВ. Определить: 1) скорость отдачи дочернего ядра; 2) какую долю кинетической энергии α-частицы составляет энергия отдачи дочернего ядра.

318. Определить энергию, выделяющуюся в результате реакции ${}^{23}_{12}Mg \to {}^{23}_{11}Na + {}^{0}_{1}L + {}^{0}_{0}\upsilon$. Массы нейтральных атомов магния и натрия соответственно равны $3{,}2184 \cdot 10^{-26}$ кг и $3{,}8177 \cdot 10^{-26}$ кг.

319. Свободное покоившееся ядро ${}^{191}_{77}Jr$ ($m = 317{,}10953 \cdot 10^{-27}$ кг) с энергией возбуждения $E = 129$ кэВ перешло в основное состояние, испустив γ-квант. Определить изменение энергии γ-кванта, возникающее в результате отдачи ядра.

320. Определить зарядовое число Z и массовое число A частицы, обозначенной буквой X, в символической записи реакции: 1) ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \to {}^{17}_{8}O + X$; 2) ${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \to {}^{12}_{6}C + X$; 3) ${}^{6}_{3}Li + X \to {}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

Кафедра физики

Контрольная работа № 3
студента 2 курса
учебная группа 04-ПГз
шифр 0460832
геодезического факультета

Александрова Ивана Петровича

г. Витебск, пр. Фрунзе, д. 30, кв. 42
Тел. 22-62-72

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

1. Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозна-чение	Числовое значение
Элементарный заряд	(e)	$1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	(m_e)	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг
Скорость света в вакууме	(c)	$3 \cdot 10^{8}$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	(σ)	$5{,}67 \cdot 10^{-8}$ ВТ/(м^2·К^4)
Постоянная Вина в первом законе (смещения)	(b_1)	$2{,}89 \cdot 10^{-3}$ (м·К)
Постоянная Вина во втором законе	(b_2)	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$ ВТ/(м^2·К^5)
Постоянная Планка	(h)	$6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	($\hbar$)	$1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	(R')	$1{,}097 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$
Боровский радиус	(a)	$0{,}529 \cdot 10^{-10}$ м
Комптоновская длина волны электрона	(λ_c)	$2{,}43 \cdot 10^{-12}$ м
Энергия ионизации атома водорода	(E_i)	$2{,}18 \cdot 10^{-18}$ Дж = 13,6 эВ
Атомная единица массы	(а.е.м.)	$1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Энергия, соответствующая 1 а.е.м.		931,50 МэВ
Масса покоя протона	(m_{0p})	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг
Магнетон Бора	($\mu_Б$)	$9{,}27 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл
Ядерный магнетон	(μ)	$5{,}05 \cdot 10^{-27}$ Дж/Тл

2. Показатели преломления

алмаз	2,42	кварц	1,55
вода	1,33	сероуглерод	1,63
глицерин	1,47	скипидар	1,48
каменная соль	1,54	стекло	1,52

3. Интервалы длин волн, соответствующие различным цветам спектра, нм

фиолетовый	400 – 450	желтый	560 – 590
синий	450 – 480	оранжевый	590 – 620
голубой	480 – 500	красный	620 – 760
зеленый	500 – 560		

4. Масса m и энергия E_0 покоя некоторых частиц и легких ядер

Частицы	m		E_0	
	а.е.м.	10^{27}, кг	МэВ	10^{10}, Дж
электрон	$5{,}486 \cdot 10^{-4}$	0,00091	0,511	0,00082
протон	1,00728	1,6726	938,28	1,50
нейтрон	1,00867	1,675	939,57	1,51
дейтрон	2,01355	3,3325	1876,5	3,00
α-частица	4,0015	6,6444	3726,2	5,96

5. Работа выхода электронов из металла, эВ

алюминий	3,7	николь	4,8
вольфрам	4,5	платина	6,3
калий	2,2	серебро	4,7
литий	2,3	цезий	1,8
медь	4,4	цинк	4,0
натрий	2,5		

6. Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов

$^{45}_{20}Ca$	164 сут.	$^{235}_{92}U$	$7{,}1 \cdot 10^8$ лет
$^{90}_{38}Sr$	27 лет	$^{238}_{92}U$	$4{,}5 \cdot 10^9$ лет
$^{210}_{84}Po$	138 сут.	$^{226}_{86}Ra$	1590 лет
$^{222}_{86}Rn$	3,82 сут.	$^{3}_{1}H$	12 лет

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенович Л.А., Жаврид С.М., Медведь И.Н. Физика: Практические занятия. – Мн.: Выш. шк., 1993. – 300 с.
2. Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Корженцев В.В. и др. Физика: Сборник задач. – М.: ОНИКС XXI век, 2002. – 384 с.
3. Богдан В.И., Бондарь В.А, Кульбицкий Д.Н. и др. Практикум по методике решения физических задач. – Мн.: Выш. шк., 1983. – 272 с.
4. Буховцев Б.Б., Кривченков В.Д., Мякишев Г.Я. и др. Сборник задач по элементарной физике. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
5. Варикащ В.М., Цедрик М.С. Руководство по решению задач по общей физике. – Мн.: Выш. шк., 1995. – 297 с.
6. Ветрова В.Т. Сборник задач по физике. – Мн.: Выш. шк., 1991. – 386 с.
7. Волохов А.Н., Воробьев А.А., Федоров М.Ф. и др. Задачник по физике. – Петрозаводск: Росвузиздат, 1963. – 400 с.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1973. – 464 с.
9. Гофман Ю.В. Законы, формулы, задачи физики. – Киев: Навукова думка, 1977. – 575 с.
10. Демков В.П., Третьякова О.Н. Физика. Теория. Методика. Задачи. – М.: Наука, 2001. – 414 с.
11. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. – М.: Наука, 1988 – 416 с.
12. Касаткина И.Л. Репетитор по физике. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 896 с.
13. Новодворская Е.М., Дмитриев Э.М. Методика проведения упражнений по физике во втузе. – М.: Высш. шк., 1981. – 320 с.
14. Сена А.А. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Высш. шк., 1986. – 386 с.
15. Сенько Е.Е., Вераксы В.И., Ефимчик Г.А. Практические занятия по курсу общей физики. – Мн.: Выш. шк., 1984. – 112 с.
16. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. – М.: Высш. шк., 2001. – 392 с.
17. Трофимова Т.И. Справочник по физике для студентов и абитуриентов. – М.: Астрель-АСТ, 2001. – 400 с.
18. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов. – М.: ОНИКС XXI век, 2003. – 384 с.
19. Физика: Задания к практическим занятиям / Под общ. ред. Ж.П. Лагутиной. – Мн.: Выш. шк., 1989. – 236 с.
20. Физика: Метод. указания и контр. задания / Под ред. А.Г. Чертова. – М.: Высш. шк., 1987. – 269 с.
21. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. – М.: Высш. шк., 1978. – 352 с.
22. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – М.: Физматиздат, 2003. – 640 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Учебное издание

Составители:
ГРУЗДЕВ Владимир Алексеевич;
ДУБЧЕНОК Геннадий Аркадьевич;
МАКАРЕНКО Геннадий Макарович

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В трех частях

ЧАСТЬ 3

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА,
КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ,
ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ,
АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Редактор Т.В. Булах

Подписано в печать 28.04.06 Формат 60х84/16 Бумага офсетная Гарнитура Таймс
Печать трафаретная Усл.-п. л. 4,87 Уч.-изд. л. 4,8 Тираж 400 Заказ 561

Издатель и полиграфическое исполнение –
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04
211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29