Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государтвенный университет
информатики и радиоэлектроники»

Институт информационных технологий БГУИР

Кафедра физико-математических дисциплин

Г. Н. Синяков, А. Н. Тараканов, В. В. Махнач

ТЕСТЫ ПО ФИЗИКЕ

В двух частях

Часть 2

ОПТИКА. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ФИЗИКА АТОМА. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

*Рекомендовано УМО по образованию в
области информатики и радиоэлектроники в качестве пособия
для специальностей I ступени высшего образования,
закрепленных за УМО*

Минск БГУИР 2015

УДК 53(076)
ББК 22.3я73
С38

Рецензенты:

кафедра общей физики учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка» (протокол № 6 от 27.01.2015);

заведующий кафедрой физики и математики учреждения образования «Высший государственный колледж связи», доктор физико-математических наук, доцент Л. Л. Гладков

Синяков, Г. Н.

Тесты по физике. В 2 ч. Ч. 2 : Оптика. Квантовая механика и физика атома. Ядерная физика : пособие / Г. Н. Синяков, А. Н. Тараканов, В. В. Махнач. – Минск : БГУИР, 2015. – 105 с. : ил.

ISBN 978-985-543-162-7 (ч. 2).

Пособие содержит основные формулы для решения задач по оптике, квантовой природе излучения, квантовой механике, атомной и ядерной физике. По каждой теме разработаны десять вариантов тестовых заданий. К первым вариантам тестов даны ответы. Включает объединённый тест с подробными решениями.

Тестовые задания предназначены для оценки знаний и самостоятельной работы студентов.

Может быть использовано преподавателями для составления контрольных заданий.

УДК 53(076)
ББК 22.3я73

ISBN 978-985-543-162-7 (ч. 2)
ISBN 978-985-543-111-5

Содержание

Введение

Как надёжное и объективное средство диагностики уровня знаний студентов тестирование легло в основу современных технологий обучения. Использование тестов даёт возможность преподавателям и учащимся объективно судить о том, в какой степени их труды и усилия достигают цели. Тестовый контроль способствует совершенствованию методик обучения, позволяя оценивать их результативность на основе объективных критериев.

По сравнению с традиционными методиками тестовый контроль знаний обеспечивает целый ряд преимуществ, таких, как:

– большая объективность и, как следствие, большее позитивное стимулирующее воздействие на познавательную деятельность обучаемого;
– устранение негативного влияния на результаты оценивания настроения, уровня квалификации конкретного преподавателя;
– возможность использования как для оперативного промежуточного контроля знаний, обучения, самоподготовки и самоконтроля, так и для итоговой аттестации;
– ориентированность на использование в среде компьютерных (автоматизированных) обучающих систем.

При этом тестовый контроль прост и доступен, с его помощью на основе унифицированных критериев можно быстро проверить степень подготовки большого числа испытуемых и выявить пробелы в их знаниях.

Физика как одна из фундаментальных дисциплин, изучаемых в технических вузах, занимает важное место в подготовке высококвалифицированных специалистов. Однако часто она не является профилирующей дисциплиной. В последнее время, в связи с изменением сроков обучения, произошло сокращение количества часов, отводимых на изучение курса физики. Поэтому особенно актуальным становится вопрос, как при уменьшении объёма часов не только сохранить, но и повысить уровень качества подготовки будущих специалистов.

Для реализации данной задачи авторами разработано настоящее пособие, состоящее из двух частей, которое включает различные тестовые вопросы и задания по курсу «Общая физика». Данное пособие представляет вторую часть, в которой задания систематизированы по следующим темам:

1. Оптика, включающая подтемы: геометрическая оптика, интерференция, дифракция, поляризация.

2. Квантовая природа излучения, включающая подтемы: тепловое излучение, фотоэффект, давление света, эффект Комптона.

3. Квантовая механика и физика атома, включающая подтемы: атом Бора, волны де Бройля, уравнение Шрёдингера (одномерная яма, потенциальный барьер), соотношение неопределённостей.

4. Ядерная физика, включающая подтемы: структура ядра, энергия связи и дефект масс, ядерные реакции (энергетический выход), закон радиоактивного распада.

Большое количество входящих в тест заданий, позволяет охватить большинство разделов курса общей физики, определённых рабочей программой в соответствии с требованиями подготовки квалифицированных специалистов.

В пособии представлено 10 вариантов тестовых заданий, каждый из которых включает задачи трёх типов:

А – задачи с выбором ответа из предложенных четырёх вариантов двух уровней сложности (оптика – 10 задач, квантовая природа излучения – 8 задач, квантовая механика и физика атома – 10 задач, ядерная физика – 10 задач), первый из которых можно определить как «понятийный»: я знаю эту формулу и могу провести правильный расчёт (2 теста). В задачах второго уровня (8-10 задач) необходимо показать умение применить правильную формулу и решить задачу в одно-два действия.

В – задачи третьего уровня сложности, которые следует решить и записать численный ответ, не приводя итоговой формулы (оптика – 6 задач, квантовая природа излучения – 5 задач, квантовая механика и физика атома – 6 задач, ядерная физика – 6 задач);

С – задачи четвёртого уровня сложности. Здесь необходимо решить две задачи, привести окончательную формулу и провести соответствующие вычисления с использованием инженерного калькулятора (оптика – 2 задачи, квантовая природа излучения – 2 задачи, квантовая механика и физика атома – 2 задачи, ядерная физика – 2 задачи).

Перед каждой темой приведены основные законы и формулы физики. В конце пособия дано объединённое тестовое задание, включающее все темы, с подробными решениями, а также даны ответы на тестовые задания первого варианта по всем темам. Представлена таблица значений фундаментальных физических констант с точностью, необходимой для решения задач.

Данное пособие может использоваться как студентами, так и преподавателями для составления контрольных заданий и проверочных работ.

Авторы выражают искреннюю благодарность кандидату физико-математических наук, доценту А. И. Болсуну за неоценимую помощь при составлении данного пособия.

1. ОПТИКА

1.1. Основные формулы

Геометрическая оптика

Абсолютный показатель преломления среды

$$n = \frac{c}{\upsilon} = \frac{c}{\lambda\nu} = \frac{2\pi c}{\lambda\omega} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \sqrt{\varepsilon\mu}\,, \tag{1.1}$$

где $c = \lambda_0\nu$ – скорость света в вакууме;

λ_0 – длина световой волны в вакууме;

υ – скорость света в среде;

λ – длина световой волны в среде;

$\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота света;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

μ – относительная магнитная проницаемость среды.

Оптическая длина пути луча света, проходящего через *N* сред

$$L = n_1 s_1 + n_2 s_2 + ... + n_N s_N\,, \tag{1.2}$$

где n_i – абсолютный показатель преломления *i*-й среды;

s_i – геометрическая длина пути луча в *i*-й среде;

$S = s_1 + s_2 + ... + s_N$ – геометрическая длина пути луча света.

Оптическая разность хода двух лучей света

$$\Delta = L_2 - L_1 = n_1\Delta s_1 + n_2\Delta s_2 + ... + n_N\Delta s_N\,, \tag{1.3}$$

где Δs_i – геометрическая разность хода лучей 1 и 2 в *i*-й среде.

Законы геометрической оптики:

1. Закон отражения *Луч света, падающий на границу раздела двух сред с различными показателями преломления, отражённый от границы луч света и перпендикуляр к поверхности раздела, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости, причём угол отражения равен углу падения:* $\varphi' = \varphi$.

2. Закон преломления *Луч света, падающий на границу раздела двух сред с различными показателями преломления, преломлённый на границе луч света и перпендикуляр к поверхности раздела, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости, причём угол падения* φ *и угол преломления* ψ *связаны соотношением*

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\psi} = n_{21}, \tag{1.4}$$

где $n_{21} = \dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{\upsilon_1}{\upsilon_2}$ – относительный показатель преломления второй среды относительно первой;

n_1 – абсолютный показатель преломления первой среды, из которой свет падает на границу раздела;

n_2 – абсолютный показатель преломления второй преломляющей среды;

υ_1 и υ_2 – скорости света в первой и во второй среде.

Полное внутреннее отражение возможно только от оптически менее плотной среды, т. е. от среды с меньшим абсолютным показателем преломления. При этом угол преломления равен $\psi = \pi / 2$ и, следовательно,

$$n_{21} = \sin\varphi < 1. \tag{1.5}$$

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = (n_{21} - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = \frac{1}{f} = D, \tag{1.6}$$

где a – координата изображаемой точки или предмета (источника), расположенной на главной оптической оси относительно центра линзы;

b – координата изображения источника относительно центра линзы;

r_1 – координата центра сферической поверхности линзы, обращённой к источнику;

r_2 – координата центра сферической поверхности линзы, обращённой к изображению;

f – фокусное расстояние линзы;

D – оптическая сила линзы.

Изображение в линзе является *действительным*, если источник и изображение находятся по разные стороны линзы, и *мнимым*, если по одну сторону линзы.

Линейное увеличение оптической системы

$$U = \pm\frac{L'}{L}, \tag{1.7}$$

где L – поперечный линейный размер предмета;

L' – поперечный линейный размер изображения, причём знак «+» соответствует прямому изображению, знак «–» – перевёрнутому изображению.

Интерференция

Световая волна

$$u(\vec{\mathbf{x}}, t) = u_0 \cos\varphi = u_0 \cos[\omega t - (\vec{\mathbf{k}} \cdot \vec{\mathbf{x}}) + \varphi_0], \tag{1.8}$$

где $u(\vec{\mathbf{x}}, t) = \{\vec{\mathbf{E}}, \vec{\mathbf{H}}\}$ – любая компонента электрического $\vec{\mathbf{E}}$ или магнитного $\vec{\mathbf{H}}$ вектора;

$u_0 = \{\vec{\mathbf{E}}_0, \vec{\mathbf{H}}_0\}$ – амплитуда компоненты электрического $\vec{\mathbf{E}}$ или магнитного $\vec{\mathbf{H}}$ вектора;

$\vec{\mathbf{x}}$ – координаты точки пространства, в которую приходит световая волна в момент времени t;

φ – фаза световой волны;

ω – циклическая частота световой волны;

$\mathbf{k}$ – волновой вектор;

φ_0 – начальная фаза.

Волновой вектор волны

$$\vec{\mathbf{k}} = k\vec{\mathbf{n}} = \frac{\omega}{v}\vec{\mathbf{n}}, \qquad (1.9)$$

где $k = |\vec{\mathbf{k}}| = 2\pi/\lambda$ – волновое число;

$v = \omega/k$ – фазовая скорость волны в среде;

λ – длина световой волны в среде;

$\vec{\mathbf{n}}$ – единичный вектор в направлении распространения волны.

Циклическая частота волны

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi \mathrm{v}}{\lambda} = \frac{2\pi c}{\lambda_0}, \qquad (1.10)$$

где ν – линейная частота световой волны;

c – скорость света в вакууме;

λ_0 – длина световой волны в вакууме.

Связь между разностью фаз $\Delta\varphi$ и оптической разностью хода Δ двух волн:

$$\Delta\varphi = 2\pi\Delta/\lambda_0. \qquad (1.11)$$

Длина когерентности

$$l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}} = \lambda^2/\delta\lambda, \qquad (1.12)$$

где $\tau_{\text{ког}}$ – время когерентности;

$(\lambda - \delta\lambda/2, \lambda + \delta\lambda/2)$ – интервал длин волн в пучке света.

Радиус когерентности

$$\rho_{\text{ког}} = \lambda/\Delta\psi, \qquad (1.13)$$

где $\Delta\psi$ – угловой размер источника.

Условие когерентности световых пучков:

$$\Delta < l_{\text{ког}}, \qquad (1.14)$$

где Δ – оптическая разность хода лучей.

Интенсивность I света в точке пространства, в которую приходят две когерентные световые волны одинаковой интенсивности I_0:

$$I = 4I_0\cos^2\frac{\Delta\varphi}{2}, \qquad (1.15)$$

где $\Delta\varphi$ – разность фаз двух волн.

Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta\varphi = 2m\pi, \text{ или } \Delta = m\lambda_0, \ (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \qquad (1.16)$$

Условие максимального ослабления света при интерференции:

$$\Delta\varphi = (2m+1)\pi, \text{ или } \Delta = \frac{2m+1}{2}\lambda_0, \ (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \qquad (1.17)$$

Условие максимумов в опыте Юнга (рис 1.1):

$$\frac{xd}{L} = m\lambda, \ m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \qquad (1.18)$$

где d – расстояние между щелями;

L – расстояние между экранами;

x – расстояние от оптической оси опыта до точки, в которой наблюдается максимум интенсивности света.

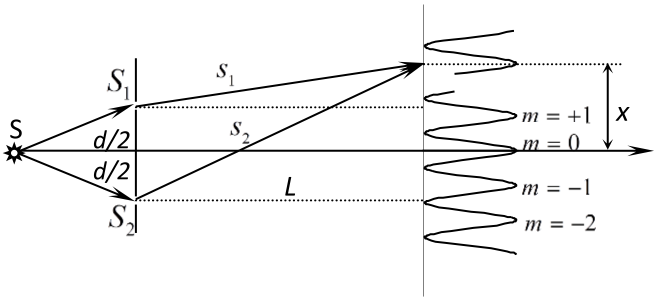


Рис. 1.1. Схема интерференционного опыта Юнга

Оптическая разность хода, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой плёнки или клина:

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} + \frac{\lambda_0}{2} = 2nh\cos\psi + \frac{\lambda_0}{2}, \qquad (1.19)$$

где h – толщина плёнки или клина в том месте клина, где наблюдается интерференция;

n – показатель преломления вещества, из которого изготовлена плёнка или клин;

φ – угол падения луча света;

ψ – угол преломления луча;

$\lambda_0 / 2$ – добавляемая к оптической разности хода половина длины волны, соответствующая изменению фазы волны на π при отражении от оптически более плотной среды.

Радиус светлых колец Ньютона в отражённом свете

$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}}, \qquad (1.20)$$

где $k = 1, 2, \ldots$ – номер светлого кольца;

R – радиус кривизны линзы;

$\lambda = \lambda_0 / n$ – длина волны света в среде, заполняющей пространство между линзой и плоскостью.

Радиус тёмных колец Ньютона в отражённом свете

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}, \qquad (1.21)$$

где $k = 1, 2, \ldots$ – номер тёмного кольца.

Дифракция

Радиус внешней границы m-й зоны Френеля для сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m\lambda}, \qquad (1.22)$$

где a – расстояние от источника до вершины волнового фронта;

b – расстояние от вершины волнового фронта до точки наблюдения.

Число m открытых зон Френеля при дифракции на круглом отверстии:

$$m \approx \frac{R^2}{\lambda}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right), \tag{1.23}$$

где R – радиус отверстия;

a – расстояние от источника до экрана с отверстием;

b – расстояние от экрана с отверстием до экрана, на котором наблюдается дифракционная картина.

Углы φ отклонения лучей, соответствующие максимуму (светлая полоса) и минимуму (тёмная полоса) при дифракции Фраунгофера на одной щели, определяются соответственно из условий

$$b(\sin\varphi - \sin\varphi_0) = \frac{2m+1}{2}\lambda,\ m = 0, \pm1, \pm2, \ldots, \tag{1.24}$$

$$b(\sin\varphi - \sin\varphi_0) = m\lambda,\ m = \pm1, \pm2, \ldots, \tag{1.25}$$

где b – ширина щели;

φ_0 – угол, под которым свет падает на щель (при нормальном падении лучей $\varphi_0 = 0$);

m – порядковый номер максимума в (1.24) или минимума в (1.25).

Угол φ отклонения лучей, соответствующий главному максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решётке, определяется из условия

$$d(\sin\varphi - \sin\varphi_0) = m\lambda,\ m = 0, \pm1, \pm2, \ldots, \tag{1.26}$$

где d – период дифракционной решётки;

φ_0 – угол, под которым свет падает на дифракционную решётку;

m – порядковый номер главного максимума.

Условие вторичных минимумов для дифракционной решётки:

$$d(\sin\varphi - \sin\varphi_0) = \left(m + \frac{k}{N}\right)\lambda,\ k = 1, 2, \ldots, N-1, \tag{1.27}$$

где k – порядок вторичного минимума;

N – полное число щелей решётки.

Угловая дисперсия оптического прибора

$$D_\varphi = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}, \tag{1.28}$$

где $\delta\varphi$ – угловое расстояние между спектральными линиями, отличающимися по длине волны на $\delta\lambda$.

Линейная дисперсия оптического прибора

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda}, \tag{1.29}$$

где δl – расстояние на экране между спектральными линиями, отличающимися по длине волны на $\delta\lambda$.

Разрешающая способность оптического прибора

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \tag{1.30}$$

где $\delta\lambda$ – наименьшая разность длин волн соседних спектральных линий (λ и $\lambda+\delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данного оптического прибора.

Для дифракционной решётки

$$D_\varphi = \frac{m}{d\cos\varphi} = \frac{\sin\varphi - \sin\varphi_0}{\lambda\cos\varphi}, \; R = mN, \tag{1.31}$$

где m – порядок спектра;

N – полное число щелей решётки.

Формула Вульфа – Брэггов:

$$2d\sin\vartheta = m\lambda, \; m = 0, 1, 2, \ldots, \tag{1.32}$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла;

ϑ – угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения с длиной волны λ, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле).

Поляризация

Закон Малюса для идеального поляризатора:

$$I = I_0\cos^2\varphi, \tag{1.33}$$

где I_0 – интенсивность линейно поляризованного света, падающего на поляризатор;

I – интенсивность света, прошедшего через поляризатор;

φ – угол между плоскостью поляризации (направлением электрического вектора) падающего света и плоскостью пропускания (оптической осью) поляризатора.

Закон Малюса для неидеального поляризатора:

$$I = (1-k)I_0\cos^2\varphi, \tag{1.34}$$

где k – коэффициент поглощения поляризатора.

Интенсивность естественного света, прошедшего через идеальный поляризатор:

$$I = I_0/2, \tag{1.35}$$

где I_0 – интенсивность естественного света, падающего на поляризатор.

Частично поляризованный свет определяется как смесь естественного света интенсивности $I_{\text{ест}}$ и поляризованного света интенсивности $I_{\text{пол}}$. Его интенсивность равна $I_0 = I_{\text{ест}} + I_{\text{пол}}$.

Степень поляризации

$$P = \frac{I_{\text{пол}}}{I_0} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \tag{1.36}$$

где $I_{\max}$ и $I_{\min}$ – максимальное и минимальное значения интенсивности света, прошедшего через поляризатор, которые можно измерить с помощью анализатора.

Закон Брюстера:

$$\mathrm{tg}\varphi_{\mathrm{B}} = n, \tag{1.37}$$

где φ_{B} – угол Брюстера – угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован;

n – относительный показатель преломления преломляющей среды.

Угол φ поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество (гиротропную среду):

а) в твёрдых телах

$$\varphi = \alpha d, \tag{1.38}$$

где α – постоянная вращения, или вращательная способность;

d – длина пути, пройденного светом в гиротропной среде;

б) в растворах

$$\varphi = [\alpha]\rho d, \tag{1.39}$$

где $[\alpha] = \alpha / \rho$ – удельное вращение;

ρ – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Угол φ поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через однородную жидкость, помещённую в магнитное поле (эффект Фарадея):

$$\varphi = VHd, \tag{1.40}$$

где V – постоянная Верде, зависящая от вещества, из которого состоит жидкость, и длины волны λ;

H – напряжённость магнитного поля;

d – толщина слоя жидкости, пройденного светом.

Анизотропия

Связь между показателями преломления обыкновенной и необыкновенной волны при прохождении света через однородную жидкость, помещённую в электрическое поле, перпендикулярное направлению луча (электрооптический эффект Керра):

$$n_e - n_o = \lambda_0 B E^2, \tag{1.41}$$

где n_e – показатель преломления необыкновенной волны;

n_o – показатель преломления обыкновенной волны;

λ_0 – длина волны света в вакууме;

B – постоянная Керра;

E – величина напряжённости электрического поля.

Связь между показателями преломления обыкновенной и необыкновенной волны при прохождении света через однородный кристалл, помещённый в электрическое поле, перпендикулярное направлению луча (электрооптический эффект Поккельса):

$$n_e - n_o = kE, \tag{1.42}$$

где k – постоянная, зависящая от длины волны λ_0.

Связь между показателями преломления обыкновенной и необыкновенной волны при прохождении света через однородный кристалл, помещённый в магнитное поле, перпендикулярное направлению луча (эффект Коттона – Мутона):

$$n_e - n_o = \lambda_0 D H^2, \tag{1.43}$$

где D – постоянная Коттона – Мутона;

H – величина напряжённости магнитного поля.

Связь между показателями преломления обыкновенной и необыкновенной волны при прохождении света через однородное вещество, на которое действует механическая нагрузка перпендикулярно направлению луча (фотоупругость):

$$n_e - n_o = k\sigma, \tag{1.44}$$

где k – коэффициент фотоупругости, зависящий от свойств вещества и длины волны λ_0;

σ – нормальное напряжение, возникающее в образце.

Дисперсия света

Зависимость показателя преломления от частоты света по элементарной теории дисперсии (для немагнитных сред):

$$n^2 = \varepsilon = 1 + \frac{N_0 e^2}{\varepsilon_0 m_e (\omega_0^2 - \omega^2)}, \tag{1.45}$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

N_0 – количество элементарных заряженных осцилляторов, представляющих электроны атомов, в единице объёма (концентрация электронов);

e – заряд электрона;

m_e – масса электрона;

ε_0 – электрическая постоянная;

ω_0 – циклическая собственная частота колебаний электронов в атомах;

ω – циклическая частота падающего света.

Поглощение света

Закон Бугера – Ламберта поглощения света:

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \tag{1.46}$$

где I_0 – интенсивность падающего света;

I – интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной d;

μ – показатель поглощения, зависящий от длины волны и физических свойств вещества.

Закон Бера поглощения света в разбавленных растворах:

$$I = I_0 e^{-Acd}, \tag{1.47}$$

где A – коэффициент ослабления, зависящий от длины волны и постоянный для каждой линии поглощения;

c – концентрация растворённого вещества.

Рассеяние света

Закон Рэлея для интенсивности света, рассеянного на неоднородностях, размеры которых малы (не более ~0,1λ):

$$I \sim \omega^4 \sim \frac{1}{\lambda^4}. \qquad (1.48)$$

1.2. Задачи для самостоятельного решения

Вариант 1

А1. На какой угол повернётся луч, отражённый от плоского зеркала, если зеркало повернуть на угол 10°:

1) 5°; 2) 10°; 3) 15°; 4) 20°?

А2. Луч света падает под углом φ на тело с показателем преломления n. Как должны быть связаны между собой φ и n, чтобы отражённый луч был перпендикулярен преломлённому:

1) $n\sin\varphi = 1$; 2) $n\,\mathrm{tg}\varphi = 1$; 3) $\mathrm{tg}\varphi = n$; 4) $\sin\varphi = n$?

А3. Радиусы зон Френеля для плоской волны, проходящей через щель, определяются выражением:

1) $2d\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} \pm \frac{\lambda}{2}$; 2) $\sqrt{m\lambda b}$; 3) $\sqrt{\frac{m\lambda ab}{a+b}}$; 4) $\sqrt{(m - \frac{1}{2})\lambda R}$.

А4. Клин с очень малым углом α, освещается пучком света с длиной волны 650 нм, падающим перпендикулярно его поверхности. На нём наблюдаются чередующиеся тёмные и светлые полосы. Показатель преломления материала клина 1,5. Расстояние между двумя соседними тёмными полосами на поверхности клина оказалось равным 12 мм. Определить $\mathrm{tg}\alpha$:

1) $2{,}6\cdot10^{-3}$; 2) $7{,}2\cdot10^{-5}$; 3) $18\cdot10^{-6}$; 4) 0,055.

А5. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны 40 см соприкасается выпуклой поверхностью с плоской стеклянной пластинкой. При этом в отражённом свете радиус некоторого кольца равен 2,5 мм. Если линзу отодвинуть от пластинки на расстояние 5,0 мкм, то радиус этого же кольца станет равным:

1) 1,5 мм; 2) 2,1 мм; 3) 2,3 мм; 4) 3,6 мм.

А6. Условие дифракционных минимумов от одной щели определяется формулой:

1) $b\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$, $m = 1, 2, \ldots$; 2) $b\sin\varphi = m\lambda$, $m = \pm1, \pm2, \ldots$;

3) $d\sin\varphi = m\lambda$, $m = 0, \pm1, \pm2, \ldots$; 4) $2d\sin\varphi = m\lambda$, $m = 1, 2, \ldots$.

А7. Расстояние между экраном и дифракционной решёткой, имеющей 125 штрихов на 1 мм, равно 2,5 м. При освещении решётки светом с длиной волны 420 нм на экране видны дифракционные линии. Определить расстояние от центрального дифракционного максимума до первого дифракционного максимума на экране:

1) 6 см; 2) 8 см; 3) 11 см; 4) 13 см.

А8. Узкий параллельный пучок рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 245$ пм падает на естественную грань монокристалла каменной соли под углом $\varphi = 29°$. При этом наблюдается дифракционный максимум второго порядка. Определить расстояние между атомными плоскостями монокристалла:

1) 0,25 нм; 2) 0,28 нм; 3) 0,50 нм; 4) 0,56 нм.

А9. Найти угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшается в четыре раза? Поглощением света пренебречь.

1) 15°; 2) 30°; 3) 45°; 4) 60°.

А10. Определить толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации монохроматического света определённой длины волны равен $\varphi = 180°$. Удельное вращение в кварце для данной длины волны равно $\alpha = 0{,}52$ рад/мм.

1) 3,46 мм; 2) 6,04 мм; 3) 10,06 мм; 4) 12,08 мм.

В1. На пути пучка света поставлена стеклянная пластина толщиной $d = 1$ мм так, что угол падения луча $\varphi = 30°$. Насколько изменится оптическая длина пути светового пучка?

В2. На горизонтальном дне бассейна глубиной $h = 1{,}5$ м лежит плоское зеркало. Луч света входит в воду под углом $\varphi = 45°$. Определить расстояние s от места вхождения луча в воду до места выхода его на поверхность воды после отражения от зеркала. Показатель преломления воды $n = 1{,}33$.

В3. Плоская световая волна $\lambda = 640$ нм интенсивностью I_0 падает нормально на круглое отверстие радиусом $r = 1{,}20$ мм. Найти интенсивность в центре дифракционной картины на экране, отстоящем на расстоянии $b = 1{,}5$ м от отверстия.

В4. На мыльную плёнку с показателем преломления $n = 1{,}33$ падает по нормали монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм. Отражённый свет в результате интерференции имеет наибольшую яркость. Какова наименьшая возможная толщина $d_{\min}$ плёнки?

В5. На установке для наблюдения колец Ньютона был измерен в отражённом свете радиус третьего тёмного кольца. Когда пространство между плоскопараллельной пластиной и линзой заполнили жидкостью, то тот же радиус стало иметь кольцо с номером, на единицу большим. Определить показатель преломления жидкости.

В6. На пластину со щелью шириной $b = 0{,}07$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}67$ мкм. Определить угол φ отклонения лучей, соответствующих первому дифракционному максимуму.

С1. Определить период дифракционной решётки, если в дифракционном спектре первого порядка две близкие спектральные линии с длинами волн $\lambda_1 = 578$ нм и $\lambda_2 = 580$ нм видны раздельно (разрешаются). Длина активной части решётки $l = 10$ мм.

С2. Узкий пучок рентгеновских лучей с длиной волны λ падает под углом скольжения $\theta = 60°$ на естественную грань монокристалла NaCl, плотность которого $\rho = 2{,}16$ г/см^3. При зеркальном отражении от этой грани образуется максимум второго порядка. Определить длину волны излучения.

Вариант 2

А1. Пластинка кварца толщиной $d_1 = 2$ мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определённой длины волны на угол $\varphi_1 = 30°$. Определить толщину d_2 кварцевой пластинки, помещённой между параллельными николями, чтобы данный монохроматический свет гасился полностью:

1) 3 мм; 2) 5 мм; 3) 6 мм; 4) 9 мм.

А2. Оптическая разность хода световых волн, отражённых от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки, определяется выражением:

1) $2d\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} \pm \dfrac{\lambda}{2}$; 2) $\sqrt{m\lambda b}$; 3) $\sqrt{\dfrac{m\lambda ab}{a+b}}$; 4) $\sqrt{m\lambda R}$.

А3. При падении на плоскую границу двух сред с показателями преломления n_1 и $n_2 > n_1$ луч света частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения φ отражённый луч перпендикулярен преломлённому:

1) $\varphi = \arcsin(n_2 / n_1)$; 2) $\varphi = \mathrm{arctg}(n_2 / n_1)$;
3) $\varphi = \arcsin(n_1 / n_2)$; 4) $\varphi = \mathrm{arctg}(n_1 / n_2)$?

А4. Точечный источник света ($\lambda = 0{,}5$ мкм) расположен на расстоянии $a = 1$ м перед диафрагмой с круглым отверстием диаметром $d = 2$ мм. Отверстие открывает три зоны Френеля. Определить расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения:

1) 0,4 м; 2) 0,73 м; 3) 1,6 м; 4) 2,0 м.

А5. Для измерения толщины волоса его положили на стеклянную пластинку и сверху прикрыли другой пластинкой. Расстояние от волоса до линий соприкосновения пластинок, которой он параллелен, 20 см. При освещении пластинок красным светом ($\lambda = 750$ нм) на 1 см умещается восемь светлых полос. Определить толщину волоса:

1) 20 мкм; 2) 30 мкм; 3) 40 мкм; 4) 50 мкм.

А6. Сферическая поверхность плосковыпуклой линзы соприкасается с плоской стеклянной пластинкой. Пространство между линзой и пластинкой заполнено сероуглеродом. Показатели преломления линзы, сероуглерода и пластинки равны соответственно $n_1 = 1{,}50$, $n_2 = 1{,}63$, $n_3 = 1{,}70$. Радиус кривизны сферической поверхности линзы равен 100 см. На плоскую поверхность линзы падает нормально плоская монохроматическая волна длиной 500 нм. Найти радиус пятого тёмного кольца Ньютона в отражённом свете:

1) 1,17 мм; 2) 1,24 мм; 3) 1,30 мм; 4) 1,58 мм.

А7. На узкую щель шириной $b = 0{,}05\,\text{мм}$ падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 694\,\text{нм}$. Определить угол, под которым наблюдается вторая дифракционная полоса:

1) $1°11'35''$; 2) $1°59'19''$; 3) $1°35'27''$; 4) $1°54'17''$.

А8. Условие главных максимумов дифракционной решётки определяется формулой:

1) $b\sin\varphi = (2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$, $m = 1, 2, \ldots$; 2) $b\sin\varphi = m\lambda$, $m = \pm 1, \pm 2, \ldots$;

3) $d\sin\varphi = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$; 4) $2d\sin\varphi = m\lambda$, $m = 1, 2, \ldots$.

А9. Пучок рентгеновских лучей падает на решётку с периодом 1 мкм под углом 89°30'. Угол дифракции для спектра второго порядка равен 89°. Определить длину волны лучей:

1) 57,1 пм; 2) 8,72 нм; 3) 114,2 пм; 4) 495,6 нм.

А10. Степень поляризации частично поляризованного света $P = 0{,}36$. Интенсивность поляризованной составляющей этого света:

1) 21,95 %; 2) 56,25 %; 3) 64,0 %; 4) 177,8 %

от интенсивности естественной составляющей.

В1. Плоскополяризованный монохроматический свет, прошедший через поляроид, оказывается полностью погашенным. Если же на пути света поместить кварцевую пластинку, то интенсивность прошедшего через поляроид света уменьшается в $k = 3$ 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.

В2. Два параллельных световых пучка, отстоящих друг от друга на расстоянии $d = 5\,\text{см}$, падают на кварцевую призму ($n = 1{,}49$) с преломляющим углом $\alpha = 25°$. Определить оптическую разность хода этих пучков на выходе их из призмы.

В3. В прозрачной среде с показателем преломления $n = 1{,}5$ находится сферическая воздушная полость радиусом $R = 3\,\text{см}$. На полость падает широкий пучок параллельных лучей. Определить на входе диаметр пучка лучей, попадающих в полость.

В4. Расстояние от точечного источника света с длиной волны $\lambda = 0{,}55\,\text{мкм}$ до волновой поверхности равно $a = 1\,\text{м}$. На каком расстоянии от волновой поверхности находится точка наблюдения, если радиус четвёртой зоны Френеля равен $r_4 = 0{,}8\,\text{мм}$?

В5. Найти минимальную толщину плёнки с показателем преломления

$n = 1,33$, при которой свет с длиной волны $\lambda_1 = 640$ нм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны $\lambda_2 = 400$ нм не отражается совсем. Угол падения света равен $\varphi = 30°$.

В6. Когда в установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой и плоскопараллельной пластинкой заполнили жидкостью, диаметр восьмого тёмного кольца в отражённом свете уменьшился от значения $d_1 = 2,92$ см до $d_2 = 2,48$ см. Чему равен показатель преломления жидкости?

С1. На щель шириной 4 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны, равной 630 нм. С точностью до угловых минут найти углы, в направлении которых будут наблюдаться минимумы света.

С2. Определить период дифракционной решётки, если для того чтобы увидеть красную линию ($\lambda = 700$ нм) в спектре второго порядка, зрительную трубу пришлось установить под углом 30° к оси коллиматора. Свет падает на решётку нормально.

Вариант 3

А1. При падении естественного света на некоторый поляризатор через него проходит 30 % светового потока, а через два таких поляризатора – 13,5 %. Угол между плоскостями пропускания этих поляризаторов равен:

1) 30°; 2) 45°; 3) 48°; 4) 77°.

А2. Раствор глюкозы с массовой концентрацией $C_1 = 0,21$ г/см^3, находящийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через раствор, на угол $\varphi_1 = 24°$. Определить массовую концентрацию C_2 глюкозы в другом растворе в трубке такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на угол $\varphi_2 = 18°$:

1) $C_2 = 0,140$ г/см^3; 2) $C_2 = 0,158$ г/см^3;
3) $C_2 = 0,193$ г/см^3; 4) $C_2 = 0,280$ г/см^3.

А3. На пути пучка света поставлена стеклянная пластина толщиной $d = 1$ мм. Насколько изменится оптическая длина пути светового пучка, если свет падает на пластинку нормально:

1) 0,5 мм; 2) 1,0 мм; 3) 1,5 мм; 4) 2 мм?

А4. Скорость распространения света в первой прозрачной среде $2,25 \cdot 10^8$ м/с, а во второй – $2,0 \cdot 10^8$ м/с. Луч света падает на поверхность раздела этих сред под углом 30° и переходит во вторую среду. Угол преломления луча равен:

1) 12°; 2) 18°; 3) 26°; 4) 45°.

А5. Определить радиус третьей зоны Френеля, если расстояние от точечного источника света ($\lambda = 0,6$ мкм) до волновой поверхности и от волновой поверхности до точки наблюдения равно 1,5 м:

1) 1,16 мм; 2) 1,35 мм; 3) 1,41 мм; 4) 1,51 мм.

А6. Плоская монохроматическая световая волна длиной 550 нм падает нормально на поверхность стеклянного клина. В отражённом свете наблюдают систему интерференционных полос, расстояние между соседними максимумами которых на поверхности клина составляет 0,21 мм. Если абсолютный показатель преломления стекла равен 1,5, то величина угла между гранями клина составляет:

1) $3'$; 2) $5{,}21\cdot10^{-4}$ рад; 3) $5'$; 4) $9{,}37\cdot10^{-4}$ рад.

А7. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Радиус кривизны линзы $R = 0{,}5$ м. Найти показатель преломления жидкости, если радиус третьего тёмного кольца Ньютона при наблюдении в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм равен 0,82 мм:

1) 1,33; 2) 1,34; 3) 1,46; 4) 1,50.

А8. На узкую щель падает монохроматический свет. Его направление на четвёртую светлую дифракционную полосу составляет $2°12'$. Определить, сколько длин волн укладывается на ширине щели:

1) 91; 2) 117; 3) 104; 4) 105.

А9. Период дифракционной решётки 3 мкм. Наибольший порядок спектра для жёлтого света ($\lambda = 580$ нм) равен:

1) 3; 2) 4; 3) 5; 4) 6.

А10. На монокристалл NaCl падает рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 154$ пм. Ионы Na^+ и Cl^- в кубической решётке NaCl расположены на расстоянии $d = 281$ пм. Наименьшее значение угла дифракции равно:

1) $15°54'$; 2) $21°32'$; 3) $33°14'$; 4) $36°48'$.

В1. Пучок естественного света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\varphi = 40°$. Принимая, что коэффициент поглощения каждого николя равен $k = 0{,}15$, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый николь.

В2. Определить массовую концентрацию *C* сахарного раствора, если при прохождении света через трубку с этим раствором длиной $l = 20$ см плоскость поляризации света поворачивается на угол $\varphi = 10°$. Удельное вращение сахара равно $[\alpha] = 1{,}17\cdot10^{-2}$ рад·м²/кг.

В3. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластинку ($n = 1{,}5$), то центральная светлая полоса сместится в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны $\lambda = 500$ нм. Определить толщину пластинки.

В4. В дно водоёма глубиной $H = 3$ м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи $h = 2$ м. Свая отбрасывает на дне водоёма тень длиной

$l = 0,75$ м. Определить угол падения солнечных лучей на поверхность воды. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

B5. Расстояние от точечного источника света с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм до волновой поверхности равно $a = 1$ м. Точка наблюдения находится на расстоянии $b = 0,5$ м от волновой поверхности. Насколько изменится радиус третьей зоны Френеля, если точка наблюдения сместится на $d = 0,2$ м от волновой поверхности?

B6. На тонкую мыльную плёнку ($n = 1,33$) под углом $\varphi = 30°$ падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. Расстояние между интерференционными полосами в отражённом свете равно $b = 4$ мм. Найти угол между поверхностями плёнки.

C1. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны $R = 75$ см соприкасается выпуклой поверхностью с плоской стеклянной пластинкой. При этом в отражённом свете радиус некоторого кольца равен $r_m = 3,6$ мм. Найти радиус этого же кольца, если линзу отодвинуть от пластинки на расстояние $b = 6,5$ мкм.

C2. На щель шириной 20 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на 1 м. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещённости.

Вариант 4

A1. При падении рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 300$ пм под углом $\theta = 30°$ к плоскости грани наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла:

1) 0,3 нм; 2) 0,5 нм; 3) 0,6 нм; 4) 1,0 нм.

A2. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет $\alpha_1 = 30°$. Как изменится интенсивность прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями увеличить до $\alpha_2 = 45°$:

1) не изменится; 2) уменьшится в 1,5 раза;
3) увеличится в 2,0 раза; 4) уменьшится в 2,5 раза?

A3. Для просветления оптики (уменьшения отражения света) на объектив нанесли тонкую плёнку с показателем преломления $n = 1,25$. Определить минимальную толщину плёнки, если её освещать светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм:

1) 10^{-5} м; 2) 10^{-6} м; 3) 10^{-7} м; 4) 10^{-9} м.

A4. В опыте Юнга расстояние между щелями $d = 1$ мм, а расстояние от щелей до экрана $l = 3$ м. Определить положение третьей тёмной полосы x_3, если щели освещать монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм:

1) 1,35 мм; 2) 1,50 мм; 3) 3,75 мм; 4) 5,25 мм.

А5. В комнате длиной $L = 9$ м и высотой $H = 2{,}8$ м на стене висит плоское зеркало. Человек находится на расстоянии 3 м от зеркала. Какова должна быть наименьшая высота зеркала, чтобы человек мог видеть стену, находящуюся за его спиной, во всю высоту:

1) 0,5 м; 2) 0,7 м; 3) 0,85 м; 4) 1,1 м?

А6. Определить радиус третьей зоны Френеля r_3, если расстояние от точечного источника света ($\lambda = 0{,}6$ мкм) до волновой поверхности и от волновой поверхности до точки наблюдения равно $a = b = 1{,}5$ м:

1) 0,68 мм; 2) 0,85 мм; 3) 0,96 мм; 4) 1,16 мм.

А7. Определить, во сколько раз интенсивность молекулярного рассеяния синего света $\lambda_1 = 460$ нм превосходит интенсивность рассеяния красного света $\lambda_2 = 650$ нм:

1) 1,5; 2) 2,0; 3) 2,5; 4) 4,0.

А8. Плосковыпуклая линза с радиусом кривизны $R = 4$ м выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить длину волны падающего монохроматического света, если радиус пятого светлого кольца Ньютона в отражённом свете равен $r_5 = 3$ мм:

1) 400 нм; 2) 450 нм; 3) 500 нм; 4) 600 нм.

А9. Монохроматический свет испытывает дифракцию Френеля на непрозрачной диафрагме с круглым отверстием, диаметр которого изменяется от d_1 до d_2. Источник расположен на расстоянии *a* от преграды, а экран находится на расстоянии *b* от источника. Определить отношение диаметров (d_1 / d_2), при котором освещённость в центре экрана изменяется от максимальной до минимальной:

1) $\frac{1}{\sqrt{2}}$; 2) $\frac{1}{2}$; 3) $\sqrt{2}$; 4) 2.

А10. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм. Угол дифракции для пятого максимума равен $\varphi_5 = 30°$, а минимальная разрешаемая решёткой разность длин волн составляет $\Delta\lambda = 0{,}2$ нм. Определить длину дифракционной решётки:

1) 1,5 мм; 2) 2,4 мм; 3) 3,6 мм; 4) 4,8 мм.

В1. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями кристалла равно $d = 280$ пм. Определить длину волны рентгеновского излучения, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при угле скольжения, равном $\theta = 63°$.

В2. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, плоскости пропускания которых составляют между собой угол $\varphi = 60°$. Во сколько раз уменьшится при этом интенсивность света, если поляризатор и анализатор поглощают $k_1 = 10\,\%$ и отражают $k_2 = 10\,\%$ падающего на них света?

В3. Из некоторого вещества изготовили две пластинки: одну толщиной $d_1 = 3{,}8\,\text{мм}$, другую толщиной $d_2 = 9{,}0\,\text{мм}$. Введя поочерёдно эти пластинки в пучок монохроматического света, обнаружили, что первая пластинка пропускает $\eta_1 = 0{,}84$ светового потока, а вторая – $\eta_2 = 0{,}70$. Найти линейный показатель поглощения κ этого вещества. Свет падает нормально. Вторичными отражениями пренебречь.

В4. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана $l = 3\,\text{м}$. Определить угловое расстояние между соседними светлыми полосами, если третья светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на $x = 4{,}5\,\text{мм}$.

В5. Точечный источник света находится в жидкости на некоторой глубине H под центром плавающего непрозрачного круга диаметром D. Угол, под которым лучи от источника выходят из воды у края круга, равен β, показатель преломления жидкости равен n. Определить глубину H.

В6. Дифракция Френеля наблюдается на экране на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda_1 = 0{,}5\,\text{мкм}$). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачная пластинка с круглым отверстием таким радиусом, что на экране центр дифракционных колец оказался наиболее тёмным. Затем изменяют длину волны излучения ($\lambda_2 = 0{,}6\,\text{мкм}$). Определить, на сколько миллиметров надо увеличить радиус отверстия Δr, чтобы дифракционная картина не изменилась.

С1. Для измерения толщины волоса его положили на пластинку и сверху прикрыли другой пластинкой. Расстояние от волоса до линии соприкосновения пластинок, параллельной волосу, равно $l = 20\,\text{см}$. При освещении пластинок светом ($\lambda = 750\,\text{нм}$) на $\Delta l = 1\text{см}$ длины образовавшегося таким образом клина умещается $N = 8$ интерференционных полос. Определить толщину волоса.

С2. На плосковыпуклую линзу нормально падает свет с длиной волны $\lambda = 445{,}9\,\text{нм}$, и в отражённом свете наблюдаются кольца Ньютона. Некое кольцо имеет радиус $r_m = 5{,}3\,\text{мм}$. Определить, светлое или тёмное кольцо имеет такой радиус, и вычислить его порядковый номер m. Радиус кривизны линзы равен $R = 18\,\text{мм}$.

Вариант 5

А1. Коэффициент поглощения раствора красителя для света некоторой длины волны равен $\alpha = 0{,}1\,\text{см}^{-1}$. Определить толщину слоя раствора, которая необходима для ослабления в 5 раз света, прошедшего через раствор:

1) 6,93 см; 2) 7,58 см; 3) 12,5 см; 4) 16,1 см.

А2. В опытах по дифракции рентгеновских лучей на кристалле каменной соли (NaCl) второй дифракционный максимум интенсивности света наблюдался при угле скольжения $\theta = 12°03'$. Расстояние между атомными плоскостями, параллельными естественным граням кристалла $d = 0,282$ нм. Определить длину волны рентгеновских лучей:

1) 58,8 пм; 2) 88,5 пм; 3) 95,3 пм; 4) 115,2 пм.

А3. Определить показатель преломления стекла, если при отражении от его поверхности свет полностью поляризован при угле преломления $\beta = 35°$:

1) 1,25; 2) 1,33; 3) 1,43; 4) 1,55.

А4. Некоторое вещество поместили в продольное магнитное поле соленоида, расположенного между двумя поляризаторами. Длина трубки с веществом $l = 30$ см. Найти постоянную Верде, если при напряжённости поля $H = 56,5$ кА/м угол поворота плоскости поляризации $\varphi_1 = +5°10'$ для одного направления поля и $\varphi_2 = -3°20'$ для противоположного направления:

1) 0,003 угл. мин/А; 2) 0,015 угл. мин/А;
3) 0,004 угл. мин/А; 4) 0,030 угл. мин/А.

А5. Параллельный пучок лучей падает нормально на пластинку из исландского шпата толщиной $d = 50$ мкм, вырезанную параллельно оптической оси. Определить оптическую разность хода этих лучей, прошедших через пластинку, если показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей равны соответственно $n_o = 1,66$, $n_e = 1,49$:

1) 4,25 мкм; 2) 5,33 мкм; 3) 8,50 мкм; 4) 10,55 мкм.

А6. На горизонтальном столе по прямой движется шарик. Под каким углом к плоскости стола следует установить плоское зеркало, чтобы при движении шарика к зеркалу изображение шарика двигалось по вертикали:

1) 15°; 2) 30°; 3) 45°; 4) 60°?

А7. Точечный источник света с $\lambda = 500$ нм помещён на расстоянии $a = 2$ м перед непрозрачной преградой с отверстием радиусом $r = 2$ мм. Экран вначале находится на расстоянии $b_1 = 2$ м от преграды, а затем его перемещают на расстояние $b_2 = 4$ м. Определить, на какое число Δm изменится количество открытых зон Френеля:

1) 2; 2) 5; 3) 8; 4) 10.

А8. На стеклянный клин с показателем преломления $n = 1,5$ нормально падает монохроматический свет. Угол клина равен $\alpha = 4'$. Определить длину световой волны, если расстояние между двумя интерференционными максимумами в отражённом свете равно $\Delta l = 0,2$ мм:

1) 405 нм; 2) 548 нм; 3) 600 нм; 4) 698 нм.

А9. Кольца Ньютона наблюдаются в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Радиус m-го тёмного кольца равен 0,4 см, а $(m+1)$-го кольца на 0,38 мм больше. Определить радиус кривизны линзы:

1) 4,0 м; 2) 4,6 м; 3) 6,0 м; 4) 6,4 м.

А10. На щель шириной $b = 0,05$ мм нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить угол, под которым должен наблюдаться четвёртый дифракционный максимум:

1) $2°30'$; 2) $3°00'$; 3) $4°40'$; 4) $5°10'$.

B1. На дифракционную решётку падает нормально пучок света от разрядной трубки. Чему должен быть равен период решётки, чтобы в направлении $\varphi = 41°$ совпадали максимумы двух соседних линий: $\lambda_1 = 656{,}3$ нм и $\lambda_2 = 410{,}2$ нм?

B2. Определить, светлое или тёмное кольцо Ньютона в отражённом свете будет иметь радиус $r_1 = 5{,}3$ мм, если оно возникло при освещении линзы светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм, падающим параллельно главной оптической оси линзы. Радиус кривизны линзы $R = 18$ м. Каким станет радиус этого же кольца r_2, если в зазоре между линзой и пластинкой, на которой лежит линза, будет находиться этиловый спирт (показатель преломления $n = 1{,}36$)?

B3. Луч света падает на плоскую границу раздела двух сред с показателем преломления n_{21}, частично отражается и частично преломляется. Определить угол падения, при котором отражённый луч перпендикулярен преломлённому лучу.

B4. Через оконное стекло распространяется плоская монохроматическая волна. Коэффициент поглощения стекла для данной длины волны $\alpha = 1{,}0\ \text{м}^{-1}$. Определить, на сколько процентов уменьшится интенсивность света, прошедшего через стекло толщиной $d = 5$ мм.

B5. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластинку с показателем преломления $n = 1{,}5$, то центральная полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны света $\lambda = 0{,}5$ мкм. Определить толщину пластинки.

B6. В веществе с показателем преломления $n = 1{,}3$ распространяется узкий параллельный световой пучок. Сечение пучка – круг. Пучок попадает на сферическую воздушную полость, диаметр которой совпадает с осью пучка. При этом диаметр полости существенно превышает диаметр пучка. Определить, во сколько раз пучок будет шире на выходе из воздушной полости.

C1. На экран с круглым отверстием радиусом $r = 1{,}2$ мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм. Определить максимальное расстояние от отверстия до точки на его оси, где ещё можно наблюдать наиболее тёмное пятно.

C2. Луч света падает под углом α на стопу плоских прозрачных пластинок одинаковой толщины в количестве N штук. Показатели преломления пластинок разные: у нижележащей пластинки показатель преломления в K раз меньше, чем у вышележащей. При каком наименьшем угле падения луч не выйдет из стопы?

Вариант 6

А1. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле описывается формулой:

$$1)\ b\sin\varphi = m\lambda;\quad 2)\ d\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2};$$

$$3)\ 2d\sin\theta = m\lambda;\quad 4)\ 2b\sin\theta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

А2. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения лучей, соответствующих второму максимуму, равен 2,9°. Сколько длин волн падающего света укладывается на расстоянии, равном ширине щели:

1) 60; 2) 70; 3) 50; 4) 40?

А3. На дифракционную решётку, содержащую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,64 мкм. Определить общее количество максимумов, которые могут быть образованы с помощью этой решётки:

1) 3; 2) 7; 3) 8; 4) 9.

А4. При прохождении в некотором веществе пути L интенсивность света уменьшилась в три раза. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении пути $2L$:

1) 2; 2) 5; 3) 6; 4) 9.

А5. Определить степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, прошедшего через анализатор в три раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности:

1) 0,8; 2) 0,7; 3) 0,6; 4) 0,3.

А6. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга $d = 0{,}5$ мм, длина волны $\lambda = 0{,}6$ мкм. Определить расстояние от щелей до экрана, если ширина интерференционных полос равна $\Delta x = 1{,}2$ мм:

1) 1 м; 2) 2 м; 3) 3 м; 4) 4 м.

А7. Предельный угол полного внутреннего отражения при переходе света из стекла в воздух равен 30°. Какова скорость света в этом стекле:

1) $1{,}0\cdot10^8$ м/с; 2) $1{,}5\cdot10^8$ м/с; 3) $2{,}4\cdot10^8$ м/с; 4) $2{,}8\cdot10^8$ м/с?

А8. Дифракция наблюдается на расстоянии $l = 1$ 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 тёмным:

1) 0,1 мм; 2) 0,3 мм; 3) 0,5 мм; 4) 0,8 мм.

А9. Свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм падает на стеклянный клин, показатель преломления которого равен $n = 1{,}5$. Угол при основании клина $\alpha = 55{,}6\cdot10^{-6}$ рад. Определить, на каком расстоянии будут наблюдаться две соседние тёмные полосы:

1) 1,5 мм; 2) 2,3 мм; 3) 3,0 мм; 4) 3,8 мм.

А10. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм, падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью, и наблюдение ведётся в проходящем свете. Радиус кривизны линзы $R = 4$ м. Определить показатель преломления жидкости, если радиус второго светлого кольца $r_2 = 1{,}8$ мм:

1) 1,27; 2) 1,30; 3) 1,48; 4) 1,50.

В1. На щель шириной 2 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны, равной 600 нм. Найти углы, в направлении которых будут наблюдаться минимумы света.

В2. Дифракция Френеля наблюдается на экране на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda_1 = 0{,}5$ мкм). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачная пластинка с круглым отверстием таким радиусом, что на экране центр дифракционных колец оказался наиболее тёмным. Затем изменяют длину волны излучения $\lambda_2 = 0{,}6$ мкм. Определить, на сколько микрометров надо увеличить радиус отверстия, чтобы дифракционная картина не изменилась.

В3. На дифракционную решётку нормально падает монохроматический свет. В спектре, полученном с помощью этой дифракционной решётки, некоторая спектральная линия наблюдается в первом порядке под углом $\varphi = 11°$. Определить наивысший порядок спектра, в котором может наблюдаться эта линия.

В4. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен α. Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8 % падающего на них света. При этом интенсивность света, вышедшего из анализатора, равна 9 % интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Определить угол α.

В5. На плоскопараллельную плёнку с показателем преломления $n = 1{,}33$ под некоторым углом φ падает параллельный пучок белого света. При минимальной толщине плёнки $d = 133$ нм её цвет кажется жёлтым ($\lambda = 600$ нм). Определить угол падения φ.

В6. Для измерения показателя поглощения аммиака в одно из плеч интерферометра Майкельсона помещают закрытую со всех сторон трубку, заполненную аммиаком. При этом интерференционная картина смещается на 192 полосы. Определить показатель преломления аммиака, если длина трубки $L = 15$ см, длина волны света $\lambda = 589$ нм.

С1. В центр грани стеклянного кубика падает луч света. Определить максимальный угол падения, при котором луч после преломления на первой грани ещё может попасть на противоположную грань кубика. Показатель преломления стекла равен $n = 1{,}5$.

С2. Точечный источник, излучающий зеленый свет ($\lambda = 546$ нм) помещён на расстоянии $a = 1$ м перед непрозрачной преградой с отверстием радиусом $r = 1$ мм. За преградой находится экран. Можно ли поставить экран на расстоянии b от отверстия так, чтобы была открыта только одна зона Френеля?

Вариант 7

А1. Наблюдение колец Ньютона проводится в отражённом свете при нормальном падении лучей на установку. Длина волны излучения $\lambda = 550$ нм. На сколько следует изменить длину волны падающего излучения, чтобы совпали четвёртые тёмные кольца в случаях, когда пространство между линзой и пластинкой заполняется воздухом ($n \approx 1$), а затем бензолом ($n = 1{,}5$):

1) +183 нм; 2) +275 нм; 3) –183 нм; 4) –275 нм?

А2. На узкую щель падает монохроматический свет. Его направление на четвёртую светлую дифракционную полосу составляет $\varphi = 2°50'$. Определить, сколько длин волн укладывается на ширине щели:

1) 91; 2) 104; 3) 105; 4) 117.

А3. Второй дифракционный максимум находится на расстоянии 4 см от центра экрана. На каком расстоянии от центра экрана будет находиться этот дифракционный максимум при увеличении расстояния от дифракционной решётки до экрана на 25 %:

1) 8 см; 2) 7 см; 3) 6 см; 4) 5 см?

А4. При падении рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 300$ пм под углом $\theta = 30°$ к плоскости грани наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла:

1) 0,3 нм; 2) 0,5 нм; 3) 0,6 нм; 4) 1,0 нм.

А5. При падении естественного света на некоторый поляризатор через него проходит 30 % светового потока, а через два таких поляризатора – 13,5 %. Угол между плоскостями пропускания этих поляризаторов равен:

1) 30°; 2) 45°; 3) 48°; 4) 77°.

А6. При прохождении в некотором веществе пути L интенсивность света уменьшилась в три раза. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении пути $2L$:

1) 2; 2) 5; 3) 6; 4) 9.

А7. Экран освещается светом с длиной волны $\lambda = 590$ нм, идущим от двух когерентных источников S_1 и S_2 (рис. 1.2), расстояние между которыми $b = 177$ мкм, причём на расстоянии $x = 15$ мм расположен центр второй тёмной полосы. Найти расстояние l от источников до экрана:

1) 1,1 м; 2) 2,25 м; 3) 3,4 м; 4) 4,5 м.

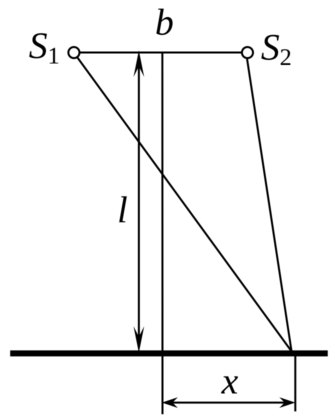


Рис. 1.2

А8. Луч света переходит из воды в воздух. Угол падения луча равен 52°. Показатель преломления воды 1,33. Найти угол преломления луча в воздухе:

1) луч не преломится; 2) 28°; 3) 36°; 4) 54°.

А9. Радиус третьей зоны Френеля равен 0,8 мм. Вычислить изменение этого радиуса, если при неизменных расстояниях от источника до волновой поверхности и от волновой поверхности до точки наблюдения (0,85 и 1,15 м соответственно), первоначальная длина волны монохроматического излучения $\lambda = 440\,\text{нм}$ изменится на $\Delta\lambda = 60\,\text{нм}$:

1) 37 мкм; 2) 44 мкм; 3) 53 мкм; 4) 68 мкм.

А10. На стеклянный клин с показателем преломления 1,5 нормально падает свет с длиной волны 500 нм. Определить угол (в радианах) между поверхностями клина, если расстояние между соседними интерференционными минимумами в отражённом свете равно 3 мм:

1) $5{,}56\cdot10^{-6}\,\text{рад}$; 2) $5{,}56\cdot10^{-5}\,\text{рад}$; 3) $8{,}33\cdot10^{-5}\,\text{рад}$; 4) $6{,}34\cdot10^{-5}\,\text{рад}$.

В1. На установке для наблюдения колец Ньютона в отражённом свете третье тёмное кольцо, наблюдаемое в зелёном цвете ($\lambda_1 = 550\,\text{нм}$), увеличилось в диаметре на 0,19 мм при наблюдении в красном свете ($\lambda_2 = 660\,\text{нм}$). Найти радиус кривизны линзы.

В2. Через оконное стекло распространяется плоская монохроматическая волна. Коэффициент поглощения стекла для данной длины волны $\mu = 1{,}0\,\text{м}^{-1}$. Определить, на сколько процентов уменьшится интенсивность света, прошедшего через стекло толщиной $d = 5\,\text{мм}$.

В3. На дифракционную решётку падает нормально пучок света от разрядной трубки. Чему должен быть равен период решётки, чтобы в направлении $\varphi = 41^{\circ}$ совпадали максимумы двух соседних линий: $\lambda_1 = 656{,}3\,\text{нм}$ и $\lambda_2 = 410{,}2\,\text{нм}$?

В4. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями кристалла равно 280 пм. Определить длину волны рентгеновского излучения, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при угле скольжения, равном 63°.

В5. Луч света падает под углом φ на стопу плоских прозрачных пластинок одинаковой толщины в количестве N штук. Показатели преломления каждой из пластинок разные: у нижележащей пластинки показатель преломления в K раз меньше, чем у вышележащей. При каком наименьшем угле падения луч не выйдет из стопы?

В6. Сахарный раствор с массовой концентрацией $C_1 = 0{,}21\,\text{г/см}^3$, находящийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации на угол $\varphi_1 = 24^{\circ}$, а раствор с другой концентрацией – на угол $\varphi_2 = 18^{\circ}$. Определить массовую концентрацию сахара в другом растворе.

С1. Луч света испытывает преломление на границе при переходе из воздуха в стекло. Показатель преломления стекла $n=1{,}5$. Вычислить в градусах максимальное отклонение луча света от своего первоначального направления.

С2. В цистерне с сероуглеродом на глубине $h=26\,\text{см}$ под поверхностью расположен точечный источник света. Найти площадь круга на поверхности жидкости, в пределах которого возможен выход лучей в воздух. Показатель преломления сероуглерода $n=1{,}64$.

Вариант 8

А1. Плоская монохроматическая световая волна длиной 550 нм падает нормально на поверхность стеклянного клина. В отражённом свете наблюдают систему интерференционных полос, расстояние между соседними максимумами которых на поверхности клина составляет 0,21 мм. Если абсолютный показатель преломления стекла равен 1,5, то угол между гранями клина равен:

1) 3′; 2) 4′; 3) 5′; 4) 6′.

А2. Вычислить номер тёмного кольца, которое наблюдается в отражённом свете на установке по изучению колец Ньютона, если длина волны падающего нормально излучения $\lambda=600\,\text{нм}$, а толщина воздушной прослойки в месте нахождения кольца равна 1,2 мкм:

1) 2; 2) 3; 3) 4; 4) 6.

А3. На щель шириной 20 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 500 нм. Найти ширину изображения щели на экране, удалённом от щели на 1 м. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещённости.

1) 5,0 мм; 2) 5,0 см; 3) 2,0 см; 4) 2,5 см.

А4. Период дифракционной решётки 3 мкм. Найти наибольший порядок спектра для интервала длин волн от 501 до 600 нм:

1) 3; 2) 4; 3) 5; 4) 6.

А5. В опытах по дифракции рентгеновских лучей на кристалле каменной соли (NaCl) второй дифракционный максимум интенсивности света наблюдался при угле скольжения $\theta=12°03'$. Расстояние между атомными плоскостями, параллельными естественным граням кристалла, $d=0{,}282\,\text{нм}$. Определить длину волны рентгеновских лучей:

1) 58,8 пм; 2) 88,5 пм; 3) 95,3 пм; 4) 115,2 пм.

А6. Определить показатель преломления вещества, если известно, что угол полного внутреннего отражения при переходе света из этого вещества в воздух составляет 30°:

1) 1,25; 2) 1,50; 3) 1,75; 4) 2,00.

А7. Коэффициент поглощения раствора красителя для света некоторой длины волны равен $\mu=0{,}1\,\text{см}^{-1}$. Определить толщину слоя раствора, которая необходима для ослабления в 5 раз света, прошедшего через раствор:

1) 6,93 см; 2) 7,58 см; 3) 12,5 см; 4) 16,1 см.

А8. Разность фаз интерферирующих лучей с длиной волны 600 нм равна $\pi/2$. Разность хода этих лучей равна:

1) 0,15 мкм; 2) 1,50 мкм; 3) 2,50 мкм; 4) 3,00 мкм.

А9. При переходе из воздуха в стекло (угол падения 65°) с показателем преломления 1,5 луч света отклонится от своего первоначального направления на угол:

1) 28°; 2) 14°; 3) 37°; 4) 52°.

А10. Определить расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения, если длина волны излучения $\lambda = 500\,\text{нм}$, а радиус второй зоны Френеля равен 0,71 мм при расстоянии от источника до волновой поверхности, равном 1 м:

1) 0,58 м; 2) 0,87 м; 3) 1,02 м; 4) 1,33 м.

В1. На пути пучка света поставлена стеклянная пластина толщиной $d = 1\,\text{мм}$. Насколько изменится оптическая длина пути светового пучка, если свет падает на пластинку: 1) нормально; 2) под углом $\varphi = 30°$?

В2. Плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием $f = 1\,\text{м}$ лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого тёмного кольца Ньютона в отражённом свете $r_5 = 1{,}1\,\text{мм}$. Определить длину световой волны.

В3. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластинку с показателем преломления $n = 1{,}5$, то центральная полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны света $\lambda = 0{,}5\,\text{мкм}$. Определить толщину пластинки.

В4. На дифракционную решётку перпендикулярно её плоскости падает свет. Угол дифракции в спектре первого порядка для линии с $\lambda_1 = 600\,\text{нм}$ составляет $\varphi_1 = 30°$. Некоторая линия наблюдается в спектре второго порядка под углом дифракции $\varphi_2 = 45°$. Определить длину волны λ_2 этой линии и число штрихов N на единицу длины решётки.

В5. Узкий пучок рентгеновских лучей падает под углом скольжения $\theta = 60°$ на естественную грань монокристалла NaCl, плотность которого $\rho = 2{,}16\,\text{г/см}^3$. При зеркальном отражении от этой грани образуется максимум второго порядка. Определить длину волны излучения.

В6. На пути частично поляризованного света поместили поляризатор. При повороте поляризатора на угол $\varphi = 60°$ из положения, соответствующего максимуму пропускания, интенсивность прошедшего света уменьшилась в $k = 3$ раза. Найти степень поляризации падающего света.

С1. На две пластинки, изготовленные из одного и того же вещества, расположенные рядом, нормально падает широкий параллельный пучок монохроматического света. Толщина первой пластинки $d_1 = 5\,\text{мм}$, а второй – в два раза больше. Интенсивность света, прошедшего через первую пластинку, составляет 82 %, а через вторую – 67 % от начальной интенсивности. Определить коэффициент поглощения этого вещества (α, см^{-1}).

С2. На прозрачный шар радиусом 50 см и показателем преломления n падает в направлении одного из диаметров узкий параллельный пучок монохроматического света. Лучи оказываются сфокусированными на границе раздела сред на противоположной стороне диаметра. При каком показателе преломления это возможно?

Вариант 9

А1. Во сколько раз увеличится число открытых зон Френеля при дифракции Френеля на круглом отверстии, если радиус отверстия возрастет в N раз:

1) в N^2 раз; 2) в N раз; 3) в $\sqrt{N}$ раз; 4) в $2N$ раз?

А2. На стеклянный клин с показателем преломления 1,5 нормально падает монохроматический свет. Угол клина равен $4'$. Определить длину световой волны, если расстояние между двумя интерференционными максимумами в отражённом свете равно 0,2 мм:

1) 400 нм; 2) 419 нм; 3) 557 нм; 4) 698 нм.

А3. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 580\,\text{нм}$, падающим нормально к поверхности пластинки. Вычислить толщину заполненной бензолом ($n = 1{,}5$) прослойки между линзой и пластинкой в месте, где в отражённом свете наблюдается второе тёмное кольцо:

1) 0,39 мкм; 2) 0,58 мкм; 3) 0,77 мкм; 4) 0,87 мкм.

А4. На щель шириной 0,05 мм нормально падает монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Определить угол, под которым должен наблюдаться четвёртый дифракционный максимум:

1) $2°30'$; 2) $3°00'$; 3) $4°40'$; 4) $5°10'$.

А5. Второй дифракционный максимум находится на расстоянии 4 см от центра экрана. На каком расстоянии от центра экрана будет находиться этот дифракционный максимум при увеличении расстояния от дифракционной решётки до экрана на 25 %:

1) 8 см; 2) 7 см; 3) 6 см; 4) 5 см?

А6. При рентгенографическом исследовании кристалла каменной соли оказалось, что дифракционный максимум второго порядка наблюдается при угле скольжения $\vartheta = 30°$. Длина волны пучка ренгеновсго излучения $\lambda = 0{,}15\,\text{нм}$. Определить расстояние d между атомными плоскостями кристалла:

1) 0,9 нм; 2) 0,6 нм; 3) 0,5 нм; 4) 0,3 нм.

А7. Определить степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, прошедшего через анализатор в три раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности:

1) 0,3; 2) 0,6; 3) 0,7; 4) 0,8.

А8. Параллельный пучок лучей падает нормально на пластинку из исландского шпата толщиной $d = 50$ мкм, вырезанную параллельно оптической оси. Определить разность хода этих лучей, прошедших через пластинку, если показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей равны соответственно $n_o = 1,66$, $n_e = 1,49$:

1) 4,25; 2) 5,33; 3) 8,50; 4) 10,55.

А9. Луч света падает на плоскопараллельную пластинку под углом $\alpha = 60°$. Угол преломления $\beta = 30°$. Вышедший из пластинки луч сместился относительно падающего луча на расстояние $l = 5,8$ см. Определить толщину пластинки:

1) 4 см; 2) 6 см; 3) 10 см; 4) 15 см.

А10. Свет, падая из воздуха на плоскопараллельную пластину, отражается от нее под углом 66°, а преломляется под углом 36°. Скорость света в пластине равна:

1) $c/\sqrt{3}$; 2) $0,64 \cdot c$; 3) ñ/3; 4) $0,17 \cdot c$.

В1. Расстояние от точечного источника до точки наблюдения равно 2,5 м. Рассчитать радиус волновой поверхности, если длина волны излучения $\lambda = 505$ нм, а радиус второй зоны Френеля равен 0,74 мм.

В2. Плоская пластинка освещается монохроматическим светом с длинами волн 540 и 420 нм. Максимум в отражённом свете наблюдается под одним и тем же углом. Какой номер *k* соответствует первому совпадению.

В3. Как изменится радиус второго тёмного кольца, которое видно в отражённом свете на установке по наблюдению колец Ньютона, если пространство между линзой ($R = 1$ м) и пластинкой заполнить бензолом ($n = 1,5$)? Линза и пластинка изготовлены из одного и того же материала. Излучение с длиной волны $\lambda = 590$ нм падает на установку нормально.

В4. Трубка с бензолом длиной $l = 26$ см находится в продольном магнитном поле соленоида, расположенного между двумя поляризаторами. Угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен 45°. Найти минимальную напряжённость магнитного поля, при которой свет с длиной волны $\lambda = 589$ нм будет проходить через эту систему только в одном направлении (оптический вентиль). Как будет вести себя этот оптический вентиль, если изменить направление данного магнитного поля на противоположное? Постоянная Верде для бензола $V = 2,59$ угл. мин/А.

В5. Свет с длиной волны λ падает нормально на дифракционную решётку. Найти её угловую дисперсию в зависимости от угла дифракции φ.

В6. На экран с круглым отверстием радиусом $r = 1,2$ мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм.

Определить максимальное расстояние от отверстия до точки на его оси, где ещё можно наблюдать наиболее тёмное пятно.

С1. Для измерения толщины волоса его положили на пластинку и сверху прикрыли другой пластинкой. Расстояние от волоса до линии соприкосновения пластинок, параллельной волосу, равно $l = 20$ см. При освещении пластинок светом ($\lambda = 750$ нм) на $\Delta l = 1$ см длины образовавшегося таким образом клина умещается $N = 8$ интерференционных полос. Определить толщину волоса.

С2. На николь падает пучок частично поляризованного света. Степень поляризации света P. При повороте николя на угол α из положения, соответствующего максимальной интенсивности прошедшего света, интенсивность прошедшего света уменьшилась в n раз. Определить зависимость P от n и α.

Вариант 10

А1. Скорость распространения света в некоторой жидкости $2{,}4 \cdot 10^8$ км/с. На поверхность этой жидкости из воздуха падает луч под углом 36° к поверхности. Угол преломления луча:

1) 28°; 2) 14°; 3) 31°; 4) 46°.

А2. Вычислить радиус третьей зоны Френеля, если расстояние от источника до волновой поверхности 0,8 мм, от волновой поверхности до точки наблюдения 1,2 м, а длина волны падающего излучения 440 нм:

1) 0,46 мм; 2) 0,80 мм; 3) 0,96 мм; 4) 1,66 мм.

А3. Луч света падает на плоскопараллельную пластинку под углом $\alpha = 60°$. Угол преломления $\beta = 30°$. Вышедший из пластинки луч сместился относительно падающего луча на расстояние $s = 5{,}8$ см. Определить толщину пластинки:

1) 4 см; 2) 6 см; 3) 10 см; 4)15 см.

А4. Вычислить расстояние между вторым и четвёртым тёмными кольцами Ньютона, наблюдаемыми в отражённом свете с длиной волны 480 нм, если радиус выпуклости линзы 1,6 м. Излучение падает на пластинку нормально.

1) 1,6 мм; 2) 0,76 мм; 3) 0,51 мм; 4) 0,34 мм.

А5. На щель шириной $b = 0{,}1$ мм падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0{,}6$ мкм). Экран, на котором наблюдается дифракционная картина, расположен параллельно щели на расстоянии $l = 1$ м. Определить расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны центрального фраунгоферова максимума:

1) 1,0 см; 2) 1,2 см; 3) 2,0 см; 4) 2,5 см.

А6. Дифракционная решётка имеет 500 штрихов на 1мм. На решётку падает нормально свет с длиной волны 580 нм. Главный максимум второго порядка виден под углом:

1) $16°51'$; 2) $25°32'$; 3) $35°27'$; 4) $59°33'$.

А7. К рентгеновской трубке приложена разность потенциалов 40 кВ.

Найти минимальную длину волны непрерывного рентгеновского спектра:

1) 29 нм; 2) 31 пм; 3) 43 пм; 4) 43 нм.

А8. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет $\alpha_1 = 30°$. Определить, как изменится интенсивность прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями увеличить до $\alpha_2 = 45°$:

1) не изменится; 2) уменьшится в 1,5 раза;
3) увеличится в 2,0 раза; 4) уменьшится в 2,5 раз.

А9. Монохроматический свет падает нормально на поверхность воздушного клина, расстояние между интерференционными полосами равно Δx_1. Когда пространство между пластинами, образующими клин, заполнили прозрачной жидкостью с показателем преломления n, расстояние между полосами Δx_2 уменьшилось на 25 %. Определить показатель преломления жидкости:

1) 1,20; 2) 1,30; 3) 1,33; 4) 1,50.

А10. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 1 см, а расстояние от щелей до экрана – 80 см. Определить показатель преломления пластинки толщиной 5 мм, которую поставили на пути одного из лучей, если это привело к смещению интерференционной картины вдоль экрана на расстояние 20 см:

1) 1,35; 2) 1,40; 3) 1,50; 4) 1,66.

В1. Предельный угол полного внутреннего отражения при переходе света из вещества в воздух равен 45°. Определить показатель преломления этого вещества.

В2. Плоскополяризованный монохроматический пучок света интенсивностью I_0 падает на поляроид и полностью им гасится. Если на пути пучка, падающего на поляроид, поместить плоскопараллельную кварцевую пластинку, то свет появляется, причём его интенсивность I зависит от толщины пластинки d. Определить эту зависимость. Поглощением и отражением света поляроидом пренебречь, постоянную вращения кварца принять равной α.

В3. Какова наименьшая возможная толщина плоскопаралельной пластинки, если при освещении её белым светом под углами $\varphi_1 = 45°$ и $\varphi_2 = 60°$ она кажется красного цвета ($\lambda = 740$ нм)? Показатель преломления $n = 1{,}5$.

В4. Когда в установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой и плоскопараллельной пластинкой заполнили жидкостью, диаметр восьмого тёмного кольца в отражённом свете уменьшился от значения $d_1 = 2{,}92$ см до $d_2 = 2{,}48$ см. Найти показатель преломления жидкости.

В5. На призму из стекла падает луч белого света перпендикулярно грани. Найти граничные значения преломляющего угла призмы, при котором красные лучи еще выходят в воздух, а фиолетовые испытывают полное внутреннее отражение. Показатели преломления стекла призмы для красных и фиолетовых лучей равны $n_{кр} = 1{,}514$ и $n_{ф} = 1{,}5318$.

В6. Постоянная дифракционной решётки шириной $L = 2{,}5$ см равна $d = 2$ мкм. Какую разность длин волн может разрешить эта решётка в области жёлтых лучей ($\lambda = 600$ нм) в спектре второго порядка?

С1. Для измерения показателя поглощения аммиака в одно из плеч интерферометра Майкельсона помещают закрытую со всех сторон трубку, заполненную аммиаком, при этом интерференционная картина смещается на 192 полосы. Определить показатель преломления аммиака, если длина трубки $l = 15$ см, длина волны света $\lambda = 589$ нм.

С2. Луч света падает на плоскую границу раздела двух сред с показателем преломления n_{21}, частично отражается и частично преломляется. Определить угол падения, при котором отражённый луч перпендикулярен преломлённому лучу.

2. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. Основные формулы

Тепловое излучение

Световой поток Φ определяется как количество световой энергии *W*, переносимое через некоторую площадку Σ в единицу времени

$$\Phi = \int\limits_{\Sigma} (\vec{\mathbf{S}} \cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}}) = \frac{dW}{dt}, \tag{2.1}$$

где $\vec{\mathbf{S}}$ – вектор Умова – Пойнтинга:

$$\vec{\mathbf{S}} = [\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{H}}] = c^2 \vec{\mathbf{P}}; \tag{2.2}$$

$\vec{\mathbf{E}}$ и $\vec{\mathbf{H}}$ – векторы напряжённостей электрического и магнитного полей в световой волне;

$\vec{\mathbf{P}}$ – импульс электромагнитного поля;

$d\vec{\mathbf{\Sigma}} = \vec{\mathbf{n}} d\Sigma$ – элемент поверхности в окрестности некоторой точки *N* поверхности Σ;

$\vec{\mathbf{n}}$ – вектор нормали к поверхности Σ в данной точке.

Амплитуды напряжённостей электрического и магнитного полей в световой волне связаны соотношением

$$H_0 = \frac{1}{\mu_0 c} E_0. \tag{2.3}$$

Единицей измерения светового потока является *люмен* (лм): $1\,\text{лм} = 1\,\text{Дж/с}$.

Полный поток лучистой энергии источника излучения через замкнутую поверхность Σ:

$$\Phi_{\text{полн}} = \oint\limits_{\Sigma} (\vec{\mathbf{S}} \cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}}) = \int\limits_{0}^{\infty} d\Phi_{\lambda} = \frac{dW}{dt}, \tag{2.4}$$

где $d\Phi_{\lambda}$ – суммарный поток энергии, приходящийся на интервал длин волн $d\lambda$.

Сила света I, или *сила излучения* источника света:

$$I = \frac{\Phi_{\text{полн}}}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \oint\limits_{\Sigma_{\text{ист}}} (\vec{\mathbf{S}} \cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}}), \tag{2.5}$$

где $\Phi_{\text{полн}}$ – полный световой поток, *излучаемый* с поверхности $\Sigma_{\text{ист}}$ источника.

Единицей измерения силы света является *свеча* (св), или *кандела* (кд): $1\,\text{кд} = 1\,\text{лм/ср}$.

Сила света *dI*, или сила излучения малого участка $d\vec{\mathbf{\Sigma}}$ поверхности протяжённого источника света, в направлении, составляющем угол φ с нормалью $\vec{\mathbf{n}}$ к поверхности:

$$dI = \frac{d\Phi_{\varphi}}{d\Omega} = \frac{(\vec{\mathbf{S}} \cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}})}{d\Omega} = \frac{d\Phi_n}{d\Omega} \cos\varphi, \tag{2.6}$$

где $d\Phi_{\varphi} = (\vec{\mathbf{S}} \cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}}) = d\Phi \cos\varphi$ – световой поток, *излучаемый* участком поверхности $d\vec{\mathbf{\Sigma}}$ внутри телесного угла $d\Omega$, определяемого по формуле

$$d\Omega = \frac{(\vec{\mathbf{n}}\cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}})}{R^2} = \frac{d\Sigma}{R^2}\cos\varphi, \qquad (2.7)$$

где R – расстояние от вершины телесного угла $d\Omega$ до поверхности источника;

$d\Phi_n = |\vec{\mathbf{S}}|\, d\Sigma = |\vec{\mathbf{S}}|\, R^2 d\Omega$ – световой поток, *излучаемый* перпендикулярно элементу $d\vec{\mathbf{\Sigma}}$ поверхности Σ.

Энергетическая светимость источника излучения

$$R_э = \frac{d\Phi}{d\Sigma} = \frac{dW}{dtd\Sigma} = \int_0^\infty dR_\lambda = \int_0^\infty e(\lambda,T)\, d\lambda, \qquad (2.8)$$

где dR_λ – суммарная светимость, приходящаяся на интервал длин волн $d\lambda$;

$e(\lambda,T) = dR_\lambda / d\lambda$ – *испускательная способность*, или спектральная плотность энергетической светимости тела;

T – температура тела.

Энергетическая освещённость поверхности определяется как количество энергии W, *падающей* на единичную площадку в единицу времени:

$$E_э = \frac{d\Phi}{d\Sigma'} = \frac{dW}{d\Sigma' dt}, \qquad (2.9)$$

где $d\Phi = (\vec{\mathbf{S}}\cdot d\vec{\mathbf{\Sigma}}') = d\Phi_n \cos\alpha = |\vec{\mathbf{S}}|\, R^2 d\Omega \cos\alpha$ – суммарный поток энергии, падающий на участок поверхности $d\vec{\mathbf{\Sigma}}'$;

R – расстояние от источника до элемента $d\vec{\mathbf{\Sigma}}'$ освещаемой поверхности;

$d\Omega$ – телесный угол, под которым элемент поверхности $d\vec{\mathbf{\Sigma}}'$ виден из источника.

α – угол, под которым световой поток падает на элемент поверхности $d\vec{\mathbf{\Sigma}}'$.

Средняя освещённость, создаваемая плоской электромагнитной волной, связана с амплитудой светового вектора соотношением

$$\langle E_э \rangle = \frac{c\varepsilon_0}{2} E_0^2, \qquad (2.10)$$

Если I – сила источника света, то освещённость элемента поверхности $d\vec{\mathbf{\Sigma}}'$ равна

$$E = \frac{I\cos\alpha}{R^2}. \qquad (2.11)$$

Единицей освещённости является *люкс* (лк): $1лк = 1лм/м^2$.

Коэффициент поглощения

$$a = \frac{P_a}{P_f} = \int_0^\infty a(\lambda,T)\, d\lambda, \qquad (2.12)$$

где $P_f = \int_0^\infty p_f(\lambda,T)\, d\lambda$ – полный поток лучистой энергии, падающей на тело;

$p_f(\lambda,T)$ – часть полного потока энергии, падающей на тело, приходящаяся на интервал длин волн $d\lambda$;

$P_a = \int_0^\infty p_a(\lambda,T)d\lambda$ – часть полного потока энергии, поглощённая телом;

$p_a(\lambda,T)$ – часть потока энергии, поглощённая телом, приходящаяся на интервал длин волн $d\lambda$;

$a(\lambda,T)$ – спектральный коэффициент поглощения, или *поглощательная способность* тела.

Принцип детального равновесия *Испускательная способность тела равна спектральной плотности мощности равновесного излучения, поглощаемого этим телом*

$$e(\lambda,T) = p_a(\lambda,T). \tag{2.13}$$

Закон Кирхгофа (дифференциальный) *Отношение испускательной способности тела к его поглощательной способности одинаково для всех тел и является функцией только частоты и температуры*

$$\frac{e(\lambda,T)}{a(\lambda,T)} = r(\lambda,T), \tag{2.14}$$

где $r(\lambda,T)$ – спектральная плотность мощности излучения, или излучательная способность абсолютно чёрного тела.

Интегральный закон Кирхгофа:

$$\frac{R_э}{a} = R = \int_0^\infty r(\lambda,T)d\lambda = \int_0^\infty r(\omega,T)d\omega, \tag{2.15}$$

где R – энергетическая светимость абсолютно чёрного тела, для которого $a(\lambda,T)=1$ для всех длин волн и всех температур.

Закон Стефана – Больцмана:

$$R = \sigma T^4, \tag{2.16}$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана;

T – термодинамическая температура абсолютно чёрного тела.

Закон Вина:

$$r(\omega,T) = \frac{\lambda^2}{2\pi c} r(\lambda,T) = \omega^3 F\left(\frac{\omega}{T}\right), \tag{2.17}$$

где $\omega = 2\pi\nu = 2\pi c/\lambda$ – циклическая частота излучения абсолютно чёрного тела;

c – скорость света в вакууме;

$F(\omega/T)$ – функция, зависящая от модели механизма излучения.

Зависимость спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела от длины волны

$$r(\lambda,T) = \frac{(2\pi c)^4}{\lambda^5} F\left(\frac{2\pi c}{\lambda T}\right). \tag{2.18}$$

Закон смещения Вина – Голицына:

$$\lambda_{\max} T = b, \tag{2.19}$$

где $\lambda_{\max}$ – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно чёрного тела при температуре *T*;

$b = 2{,}898 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина.

Второй закон Вина:

$$r(\lambda_{\max}, T) = C_2 T^5, \tag{2.20}$$

где $C_2 = 1{,}29 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м^{3}К^5) – постоянная второго закона Вина.

Закон Рэлея – Джинса:

$$r_{\text{РД}}(\nu, T) = \frac{1}{2\pi} r_{\text{РД}}(\omega, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \bar{\varepsilon}_{osc} = \frac{2\pi\nu^2 kT}{c^2}, \tag{2.21}$$

где ν – линейная частота излучения абсолютно чёрного тела;

$\bar{\varepsilon}_{osc}$ – средняя энергия классического осциллятора, который может иметь любую энергию в интервале $(0, \infty)$:

$$\bar{\varepsilon}_{osc} = \int\limits_0^{\infty} E w(E) dE = kT; \tag{2.22}$$

$w(E)$ – вероятность того, что осциллятор имеет энергию E (функция распределения Больцмана):

$$w(E) = \frac{1}{kT} e^{-\frac{E}{kT}}; \tag{2.23}$$

k – постоянная Больцмана.

Закон излучения Планка:

$$r(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \bar{\varepsilon}_{osc} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \tag{2.24}$$

где $\bar{\varepsilon}_{osc}$ – средняя энергия квантового осциллятора:

$$\bar{\varepsilon}_{osc} = \sum_{n=0}^{\infty} E_n w(E_n) = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}; \tag{2.25}$$

$E_n = nh\nu$, $n = 0, 1, 2, \ldots$ – квантованные значения энергии осциллятора;

$w(E_n)$ – вероятность того, что осциллятор имеет энергию E_n (функция распределения Бозе – Эйнштейна):

$$w(E_n) = \frac{e^{-E_n/kT}}{1 - e^{-h\nu/kT}}; \tag{2.26}$$

$h = 2\pi\hbar$ – постоянная Планка.

Квантовые свойства света

Энергия фотона

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega = \frac{hc}{\lambda}, \tag{2.27}$$

где $\omega = 2\pi\nu = 2\pi c / \lambda$ – циклическая частота фотона;

λ – длина волны фотона.

Импульс фотона

$$\vec{\mathbf{p}} = \hbar\vec{\mathbf{k}}, \ p = \hbar k = \frac{h}{\lambda}, \tag{2.28}$$

где $\vec{\mathbf{k}}$ – волновой вектор фотона;

$k = |\vec{\mathbf{k}}| = 2\pi / \lambda$ – волновое число фотона.

Фотоэффект и тормозное излучение

Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = h\nu = A_{вых} + eU_з = A_{вых} + T_{\max}, \tag{2.29}$$

где $\varepsilon = h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла;

$A_{вых}$ – работа выхода электрона;

$U_з$ – задерживающая разность потенциалов, определяющая максимальную кинетическую энергию $T_{\max}$ фотоэлектронов;

$T_{\max} = \frac{m_e v_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, когда $h\nu \ll m_e c^2 = 0{,}511\,\text{МэВ}$;

$T_{\max} = m_e c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v_{\max}^2 / c^2}} - 1 \right]$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, когда энергия фотона сравнима или больше собственной энергии электрона $h\nu > m_e c^2 = 0{,}511\,\text{МэВ}$;

e – заряд электрона;

m_e – масса электрона;

$v_{\max}$ – максимальная скорость фотоэлектрона;

Красная граница фотоэффекта

$$\nu_{кр} = \frac{A}{h}, \text{ или } \lambda_{кр} = \frac{hc}{A}, \tag{2.30}$$

где $\nu_{кр}$ – минимальная частота света, при которой ещё возможен фотоэффект;

$\lambda_{кр} = \frac{hc}{A}$ – максимальная длина волны света, при которой ещё возможен фотоэффект.

Коротковолновая граница рентгеновского спектра

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\min}} = \frac{hc}{eU}, \tag{2.31}$$

где U – разность потенциалов, которой ускоряются электроны.

Давление света

Давление света при нормальном падении на поверхность:

$$p = \frac{E_э}{c}(1 + \rho) = w(1 + \rho), \tag{2.32}$$

где $E_э$ – энергетическая освещённость (облучённость) поверхности;

ρ – коэффициент отражения;

w – объёмная плотность энергии излучения:

$$w=\frac{h\nu dN}{cdSdt};\qquad(2.33)$$

dN – количество фотонов с энергией $h\nu$, падающих на площадку dS за время dt.

Эффект Комптона

Закон сохранения импульса в эффекте Комптона:

$$\hbar\vec{\mathbf{k}}=\hbar\vec{\mathbf{k}}'+\vec{\mathbf{p}}_e,\qquad(2.34)$$

где $\vec{\mathbf{k}}$ – волновой вектор фотона, налетающего на электрон (или микрочастицу массой m);

$\vec{\mathbf{k}}'$ – волновой вектор фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном;

$\vec{\mathbf{p}}_e$ – импульс электрона отдачи.

Закон сохранения энергии в эффекте Комптона:

$$\hbar\omega+m_ec^2=\hbar\omega'+E,\qquad(2.35)$$

где $\omega=2\pi\nu$ – циклическая частота фотона, налетающего на электрон;

$\omega'=2\pi\nu'$ – циклическая частота рассеянного фотона;

$E=c\sqrt{\vec{\mathbf{p}}_e^2+m_e^2c^2}$ – энергия электрона отдачи.

Изменение длины волны фотона, рассеявшегося на электроне (или микрочастице массой m) на угол θ:

$$\Delta\lambda=\lambda'-\lambda=\lambda_e(1-\cos\theta)=2\lambda_e\sin^2\frac{\theta}{2},\qquad(2.36)$$

где $\lambda=2\pi c/\omega=c/\nu$ – длина волны налетающего фотона;

$\lambda'=2\pi c/\omega'=c/\nu'$ – длина волны рассеянного фотона;

λ_e – комптоновская длина волны электрона:

$$\lambda_e=\frac{h}{m_ec}\approx 2{,}426\ \text{пм}.\qquad(2.37)$$

2.2. Задачи для самостоятельного решения

Вариант 1

А1. Импульс фотона с частотой ω и длиной волны λ равен:

1) $\frac{\hbar\omega}{c}$; 2) $\hbar\omega\cdot c^2$; 3) $\frac{\hbar}{\lambda}$; 4) $\hbar\lambda$.

А2. Спираль лампы накаливания мощностью $P=25$ Вт имеет температуру $T=2450$ К. Определить площадь излучающей поверхности спирали, если коэффициент полного излучения для неё $\alpha=0{,}3$:

1) 0,28 см^2; 2) 0,35 см^2; 3) 0,41 см^2; 4) 0,54 см^2.

А3. Имеются два абсолютно чёрных источника теплового излучения. Температура первого из них составляет 2500 К. Если длина волны, отвечающая максимуму испускательной способности первого источника, на 500 нм меньше длины волны, отвечающей максимуму испускательной способности второго источника, то его температура равна:

1) 3371 K; 2) 1342 K; 3) 1250 K; 4) 1747 K.

А4. Определить скорость электрона, при которой его импульс равен по модулю импульсу фотона с длиной волны $\lambda = 5\,\text{пм}$:

1) $5{,}732 \cdot 10^7\,\text{м/с}$; 2) $1{,}311 \cdot 10^8\,\text{м/с}$; 3) $1{,}456 \cdot 10^8\,\text{м/с}$; 4) $5{,}246 \cdot 10^8\,\text{м/с}$.

А5. Используя формулу Рэлея – Джинса, вычислить испускательную способность $r_{\text{РД}}(\nu, T)$ в области зелёной части спектра ($\lambda = 550\,\text{нм}$) поверхности Солнца, рассматриваемого как абсолютно чёрное тело, температура которого равна $T = 6000\,\text{K}$:

1) $1{,}72 \cdot 10^{-6}$ Дж/м^2; 2) $3{,}44 \cdot 10^{-6}$ Дж/м^2;
3) $10{,}95 \cdot 10^{-6}$ Дж/м^2; 4) $6{,}88 \cdot 10^{-6}$ Дж/м^2.

А6. Работа выхода электронов из калия 2,26 эВ. Энергия, падающих квантов равна 3,0 эВ. Найти максимальную кинетическую энергию электронов, вылетающих из калия:

1) 5,26 эВ; 2) 3,0 эВ; 3) 0,74 эВ; 4) 2,26 эВ.

А7. Точечный источник монохроматического ($\lambda = 1\,\text{нм}$) излучения находится в центре сферической зачернённой колбы радиусом $R = 10\,\text{см}$. Определить световое давление, производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника равна $P = 1\,\text{кВт}$:

1) 26,5 мкПа; 2) 53,1 мкПа; 3) 79,6 мкПа; 4) 5,3 мПа.

А8. Фотон с энергией 250 кэВ рассеялся под углом 120° на первоначально покоившемся свободном электроне. Энергия рассеянного фотона равна:

1) 125 кэВ; 2) 144 кэВ; 3) 167 кэВ; 4) 193 кэВ.

В1. Сколько фотонов содержится в излучении с энергией $19{,}8 \cdot 10^{-12}\,\text{Дж}$ при длине волны света 3 пм?

В2. В электрической лампочке вольфрамовая спираль имеет диаметр $d = 0{,}3\,\text{мм}$ и длину $l = 5\,\text{см}$. При включении лампочки в сеть напряжением $U = 127\,\text{В}$ через лампочку протекает ток $I = 0{,}25\,\text{А}$. Найти температуру спирали. Считать, что по установлении равновесия всё выделяющееся тепло теряется в результате излучения. Отношение энергетических светимостей вольфрама и абсолютно чёрного тела для данной температуры $a = 0{,}3$.

В3. Максимум спектральной плотности энергетической светимости Солнца приходится на длину волны $\lambda = 480\,\text{нм}$. Считая, что Солнце излучает как чёрное тело, определить температуру его поверхности и мощность, излучаемую его поверхностью. Радиус Солнца $R_{\text{С}} = 6{,}95 \cdot 10^8\,\text{м}$.

В4. Ртутная дуга имеет мощность $P = 125\,\text{Вт}$. Какое число фотонов испускается в единицу времени в излучении с длинами волн, равными 612,3; 579,1; 546,1; 404,7; 365,5; 253,7 нм? Интенсивности этих линий составляют соответственно 2 %; 4 %; 4 %; 2,9 %; 2,5 %; 4 % интенсивности ртутной дуги.

Считать, что 80 % мощности дуги идёт на излучение.

В5. Пользуясь законом Рэлея – Джинса $r_{\text{РД}}(\nu,T)=\dfrac{2\pi\nu^2 kT}{c^2}$ (2.21), выразить неизвестную функцию $F(\nu/T)$ в законе Вина.

С1. Уединённый железный шарик облучают ультрафиолетовым светом с длиной волны $\lambda=200\,\text{нм}$. Определить максимальный заряд, который накопится на шарике при длительном облучении, если работа выхода для железа $A_{\text{вых}}=4{,}4\,\text{эВ}$, а радиус шарика $R=9{,}0\,\text{см}$.

С2. Лазер излучает в импульсном режиме пучок света с энергией $\Delta E=10\,\text{Дж}$, продолжительность импульса $\Delta t=0{,}13\,\text{мс}$. Определить среднее давление такого светового импульса, если пучок сфокусировать в маленький кружок диаметром $d=10\,\text{мкм}$ на поверхность, перпендикулярную пучку света. Коэффициент отражения поверхности $\rho=0{,}50$.

Вариант 2

А1. Узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеивающее вещество. При этом длины волн смещённых составляющих излучения, рассеянного под углами 60° и 120°, отличаются друг от друга в два раза. Если считать, что рассеяние происходит на свободных электронах, то длина волны падающего излучения равна:

1) 1,2 нм; 2) 2,4 пм; 3) 1,2 пм; 4) 3,6 нм.

А2. Вектор плотности потока энергии электромагнитной волны в вакууме равен:

1) $\dfrac{[\vec{\mathbf{E}}\times\vec{\mathbf{D}}]}{2}+\dfrac{[\vec{\mathbf{B}}\times\vec{\mathbf{H}}]}{2}$; 2) $[\vec{\mathbf{E}}\times\vec{\mathbf{B}}]$; 3) $[\vec{\mathbf{E}}\times\vec{\mathbf{H}}]$; 4) $\dfrac{\varepsilon_0\vec{\mathbf{E}}^2}{2}+\dfrac{\mu_0\vec{\mathbf{H}}^2}{2}$.

А3. Поверхность абсолютно чёрного тела нагрета до температуры $T=1000\,\text{К}$. Во сколько раз изменится мощность излучения этого тела, если одну половину его поверхности нагреть, а вторую охладить на $\Delta T=200\,\text{К}$:

1) 0,83; 2) 1,24; 3) 1,66; 4) 2,48.

А4. При нагревании абсолютно чёрного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, уменьшилась на 20 %. Энергетическая светимость тела при этом:

1) уменьшилась в 1,56 раза; 2) уменьшилась в 2,44 раза;
3) увеличилась в 2,44 раза; 4) увеличилась в 3,05 раза.

А5. Импульс фотона с энергией 5 эВ равен:

1) $1{,}7\cdot10^{-8}\,\text{Н}\cdot\text{с}$; 2) $2{,}4\cdot10^{-10}\,\text{Н}\cdot\text{с}$; 3) $2{,}7\cdot10^{-27}\,\text{Н}\cdot\text{с}$; 4) $1{,}6\cdot10^{-43}\,\text{Н}\cdot\text{с}$.

А6. Используя формулу Планка, вычислить испускательную способность $r(\nu,T)$ в области зелёной части спектра ($\lambda=550\,\text{нм}$) поверхности Солнца, рассматриваемого как абсолютно чёрное тело, температура которого равна $T=6000\,\text{К}$:

1) $1{,}72 \cdot 10^{-6}$ Дж/м^2; 2) $9{,}67 \cdot 10^{-8}$ Дж/м^2;
3) $3{,}87 \cdot 10^{-7}$ Дж/м^2; 4) $6{,}88 \cdot 10^{-6}$ Дж/м^2.

А7. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетающих из рубидия, равна 1,77 эВ. Работа выхода электронов 2,13 эВ. Определить частоту квантов излучения, падающих на поверхность рубидия:

1) $0{,}94 \cdot 10^{15}$ Гц; 2) $0{,}87 \cdot 10^{14}$ Гц; 3) $3{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц; 4) $0{,}51 \cdot 10^{15}$ Гц.

А8. Определить поверхностную плотность потока энергии излучения, падающего на зеркальную поверхность, если световое давление при перпендикулярном падении лучей равно 10 мкПа:

1) 0,75 кВт/м^2; 2) 1,5 кВт/м^2; 3) 3,0 кВт/м^2; 4) 30,0 кВт/м^2.

В1. Фотон с импульсом $p = 5{,}44 \cdot 10^{-22}$ Н$\cdot$с рассеялся на покоящемся свободном электроне, после чего модуль импульса фотона уменьшился в $\eta = 4$ раза. Определить в электронвольтах кинетическую энергию электрона отдачи, а также угол рассеяния фотона.

В2. Импульс, переносимый монохроматическим пучком фотонов через площадку $S = 2\,\text{см}^2$ за время $t = 0{,}5\,\text{мин}$, равен $p = 3 \cdot 10^{-9}$ Н$\cdot$с. Найти для этого пучка энергию, падающую на единицу площади за единицу времени.

В3. Оценить температуру Земли, считая, что Солнце и Земля излучают как абсолютно чёрные тела и Земля находится в тепловом равновесии. Температура поверхности Солнца $T_{\text{С}} = 5500\,\text{К}$. Среднее расстояние от Солнца до Земли $r = 1{,}49 \cdot 10^{11}\,\text{м}$, радиус Солнца $R_{\text{С}} = 6{,}95 \cdot 10^{8}\,\text{м}$.

В4. Чёрное тело находится при температуре $T_1 = 1{,}5\,\text{кК}$. При остывании этого тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 5\,\text{мкм}$. Определить температуру, до которой охладилось тело.

В5. Какую длину волны должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?

С1. Пользуясь формулой Планка $r(\nu, T) = \dfrac{2\pi h\nu^3}{c^2}\dfrac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$ (2.24), выразить постоянную в законе Стефана – Больцмана через постоянные *h, c* и *k*.

С2. Определить в электронвольтах максимальную кинетическую энергию, а также максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности алюминия ($A_{\text{вых}} = 3{,}7\,\text{эВ}$) под действием рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 9{,}7\,\text{пм}$.

Вариант 3

А1. Давление монохроматического света ($\lambda = 600\,\text{нм}$) на чёрную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно $p = 0{,}1\,\text{мкПа}$.

Определить число N фотонов, падающих за время $t = 1\,\text{с}$ на поверхность площадью $S = 1\,\text{см}^2$:

1) $9{,}0 \cdot 10^{15}$; 2) $1{,}8 \cdot 10^{16}$; 3) $9{,}0 \cdot 10^{20}$; 4) $1{,}8 \cdot 10^{21}$.

А2. Фотон с энергией 1,00 МэВ рассеялся на покоившемся свободном электроне. Если в результате этого длина волны фотона изменилась на 25 %, то кинетическая энергия электрона отдачи составляет:

1) 0,75 МэВ; 2) 0,40 МэВ; 3) 0,25 МэВ; 4) 0,20 МэВ.

А3. Вектор плотности импульса электромагнитного поля равен:

1) $c[\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{H}}]$; 2) $[\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{H}}]$; 3) $\frac{1}{c}[\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{H}}]$; 4) $\frac{1}{c^2}[\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{H}}]$.

А4. Считая, что тепловые потери обусловлены только излучением, определить, какую мощность необходимо подводить к медному шарику диаметром $d = 2\,\text{см}$, чтобы при температуре окружающей среды $t_0 = -13\,^\circ\text{C}$ поддерживать его температуру равной $t = 17\,^\circ\text{C}$. Принять поглощательную способность меди $a = 0{,}6$.

1) 107 мВт; 2) 178 мВт; 3) 196 мВт; 4) 705 мВт.

А5. При нагревании абсолютно чёрного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, уменьшилась на 20 %. Максимум спектральной плотности энергетической светимости тела при этом:

1) уменьшился в 1,56 раза; 2) уменьшился в 2,44 раза;
3) увеличился в 2,44 раза; 4) увеличился в 3,05 раза.

А6. При какой температуре кинетическая энергия молекулы двухатомного газа будет равна энергии фотона с длиной волны $\lambda = 589\,\text{нм}$:

1) 6990 К; 2) 9780 К; 3) 8150 К; 4) 16300 К?

А7. Испускательная способность тела, рассматриваемого как абсолютно чёрное тело, вычисленная по закону Рэлея – Джинса в области зелёной части спектра ($\lambda = 550\,\text{нм}$) равна $r_{\text{РД}}(\nu, T) = 3{,}82 \cdot 10^{-15}\,\text{Дж/м}^2$. Формула Планка для этой температуры даёт значение:

1) $2{,}11 \cdot 10^{-17}\,\text{Дж/м}^2$; 2) $1{,}33 \cdot 10^{-16}\,\text{Дж/м}^2$;
3) $9{,}59 \cdot 10^{-15}\,\text{Дж/м}^2$; 4) $9{,}60 \cdot 10^{-16}\,\text{Дж/м}^2$.

А8. В некоторых опытах по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. Напряжение, при котором поле останавливает и возвращает назад все фотоэлектроны, назвали задерживающим напряжением. Ниже представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины.

Задерживающее напряжение U, В	0,4	0,6
Частота ν, 10^{14} Гц	5,5	6,1

Постоянная Планка по результатам этого эксперимента равна:

1) $4{,}6 \cdot 10^{-34}\,\text{Дж} \cdot \text{с}$; 2) $5{,}3 \cdot 10^{-34}\,\text{Дж} \cdot \text{с}$;
3) $6{,}3 \cdot 10^{-34}\,\text{Дж} \cdot \text{с}$; 4) $7{,}0 \cdot 10^{-34}\,\text{Дж} \cdot \text{с}$.

В1. Поток энергии, излучаемый электрической лампой, равен $\Phi = 600$ 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.

В2. Фотон с импульсом $p = 5{,}44 \cdot 10^{-22}$ Н·с рассеялся на покоящемся свободном электроне, после чего модуль импульса фотона уменьшился в $\eta = 4$ раза. Определить в электронвольтах кинетическую энергию электрона отдачи, а также угол рассеяния фотона.

В3. Какую силу тока I покажет гальванометр, присоединенный к селеновому фотоэлементу, если на расстоянии $r = 75$ см от него поместить лампочку, полный световой поток которой равен $\Phi_0 = 1{,}2$ клм? Площадь рабочей поверхности фотоэлемента равна $S = 10$ см^2, чувствительность $i = 300$ мкА/лм.

В4. Считая, что атмосфера поглощает 10 % лучистой энергии, посылаемой Солнцем, найти мощность излучения, получаемую от Солнца горизонтальным участком Земли площадью $S = 0{,}5$ га. Высота Солнца над горизонтом $\varphi = 30°$. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно чёрного тела. Солнечная постоянная равна $E = 1{,}38$ кВт/м^2.

В5. В результате охлаждения чёрного тела длина волны, отвечающая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_{1max} = 0{,}8$ мкм до $\lambda_{2max} = 2{,}4$ мкм. Определить, во сколько раз изменилась: энергетическая светимость тела; максимальная спектральная плотность энергетической светимости.

С1. Медный шарик диаметром $d = 1{,}2$ см поместили в откачанный сосуд, температура стенок которого поддерживается близкой к абсолютному нулю. Начальная температура шарика равна $t_0 = 27$ °C, удельная теплоёмкость меди составляет $c = 390$ Дж/кг·К, её плотность $\rho = 8{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3. Через какой промежуток времени его температура уменьшится вдвое, если поверхность шарика считать абсолютно чёрной?

С2. Пользуясь формулой Планка $r(\nu, T) = \dfrac{2\pi h\nu^3}{c^2} \dfrac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \dfrac{\lambda^2}{c} r(\lambda, T)$ и используя приближённое вычисление корней трансцендентных уравнений, выразить постоянную в законе смещения Вина через постоянные h, c и k.

Вариант 4

А1. Энергия квантов излучения, падающих на поверхность калия 3,0 эВ. Работа выхода электронов из калия 2,26 эВ. Если энергия, падающих квантов увеличится в два раза, то число вырываемых электронов:

1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в 5 раз;

3) увеличится в 3 раза; 4) не изменится.

А2. Ежесекундно на 1 $м^2$ зачернённой поверхности, расположенной перпендикулярно падающим монохроматическим лучам света, падает $9{,}05\cdot10^{19}$ фотонов. При этом давление, оказываемое светом на поверхность, равно $p = 0{,}12$ мкПа. Определить длину волны света:

1) 4,5 эВ; 2) 2,8 эВ; 3) 3,3 эВ; 4) 4,8 эВ.

А3. Фотон с длиной волны $\lambda = 5$ пм испытал комптоновское рассеяние под углом $\theta = 90°$ на первоначально покоящемся свободном электроне. Определить изменение длины волны при рассеянии:

1) 1,22 пм; 2) 2,43 пм; 3) 2,68 пм; 4) 3,42 пм.

А4. Энергетическая светимость чёрного тела составляет 10 кВт/$м^2$. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела:

1) 3,95 мкм; 2) 4,47 мкм; 3) 5,46 мкм; 4) 5,68 мкм.

А5. На 1 $см^2$ земной поверхности падает в среднем около $E = 1{,}4$ кВт/$м^2$ лучистой энергии в минуту. Расстояние от Земли до Солнца $r = 1{,}5\cdot10^8$ км, диаметр Солнца $D_{\odot} = 1{,}39\cdot10^6$ км, температура Солнца $T = 6000$ К. Считая Солнце абсолютно чёрным телом, найти постоянную σ в законе Стефана – Больцмана:

1) $2{,}5\cdot10^{-8}$ Вт/$м^2\cdot К^4$; 2) $5{,}3\cdot10^{-8}$ Вт/$м^2\cdot К^4$;

3) $5{,}03\cdot10^{-8}$ Вт/$м^2\cdot К^4$; 4) $5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/$м^2\cdot К^4$.

А6. Определить, как и во сколько раз изменилась мощность излучения чёрного тела, если длина волны, соответствующая максимуму его спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с 720 нм до 400 нм:

1) увеличилась в 10,5 раза; 2) уменьшилась в 10 раз;

3) уменьшилась в 5,1 раза; 4) увеличилась в 8 раз.

А7. Точечный изотропный источник испускает свет с длиной волны 589 нм. Его световая мощность 10 Вт. Найти среднюю плотность потока фотонов на расстоянии 2 м от источника:

1) $3{,}78\cdot10^{16}$ $м^{-2}\cdot с^{-1}$; 2) $8{,}34\cdot10^{16}$ $м^{-2}\cdot с^{-1}$;

3) $3{,}78\cdot10^{17}$ $м^{-2}\cdot с^{-1}$; 4) $5{,}89\cdot10^{17}$ $м^{-2}\cdot с^{-1}$.

А8. Найти длину волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если скорость электронов, подлетающих к антикатоду трубки, равна $v = 0{,}85\cdot c$:

1) 1,28 пм; 2) 2,70 пм; 3) 2,43 пм; 4) 0,28 нм.

В1. Фотоэффект наблюдается при облучении металла светом с длиной волны 245 нм. Какое задерживающее напряжение следует приложить к металлу, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов уменьшилась в два раза? Работа выхода электронов из этого металла равна 2,4 эВ.

В2. На идеально отражающую плоскую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,55 мкм. Поток излучения Φ_e составляет 0,45 Вт. Определить: число фотонов, падающих на поверхность за время, равное 3 с, и силу давления, испытываемую этой поверхностью.

В3. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на первоначально покоящемся электроне, при этом длина волны изменилась на $\eta = 20\,\%$. Определить угол рассеяния фотона и скорость электрона отдачи.

В4. Найти среднюю напряжённость электрического поля излучения Солнца на Земле, принимая для солнечной постоянной значение $E = 1{,}4$ кВт/м^2 и пренебрегая поглощением в атмосфере.

В5. Через вольфрамовую спираль электрической лампочки, включённой в сеть напряжением 127 В, течёт ток силой 310 мА. Длина спирали 5 см, диаметр спирали равен 0,3 мм. Коэффициент серости вольфрама для данной температуры $K = 0,31$. Определить температуру лампочки, если всё выделяющееся в нити тепло теряется в результате излучения (*K* – отношение энергетической светимости вольфрама к энергетической светимости чёрного тела).

С1. Пренебрегая потерями тепла на теплопроводность, рассчитать мощность *N* электрического тока, необходимую для накаливания нити диаметром $d = 1$ мм и длиной $l = 20$ см до температуры $T = 3500$ К. Определить длину волны λ_{max}, приходящуюся на максимум энергии в спектре излучения. Считать, что нить излучает как абсолютно чёрное тело.

С2. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длиной волны: 520 нм; 1,6 пм?

Вариант 5

А1. Испускательная способность тела, описываемая законом Рэлея – Джинса, на частоте $\nu_1 = 3{,}6 \cdot 10^{14}$ Гц при температуре $T_1 = 2000$ К оказалась равной испускательной способности этого же тела, соответствующей длине волны $\lambda_2 = 760$ нм. Какой температуре T_2 это соответствует:

1) 2663 К; 2) 3168 К; 3) 1663 К; 4) 1824 К?

А2. На поверхность натрия падают кванты излучения с энергией 4,60 эВ. Работа выхода электронов из натрия 2,34 эВ. Если энергия падающих квантов уменьшится в два раза, то число вырываемых электронов:

1) уменьшится в 2 раза; 2) не изменится;
3) уменьшится в 1,5 раза; 4) электроны не будут вырываться.

А3. На зачернённую поверхность площадью 1 см^2 за время 1,0 с перпендикулярно ей падает $2{,}8 \cdot 10^{17}$ фотонов. Определить длину волны падающего излучения, если оно создаёт на эту поверхность давление $4{,}6 \cdot 10^{-6}$ Па:

1) 400 нм; 2) 450 нм; 3) 525 нм; 4) 600 нм.

А4. В результате комптоновского рассеяния энергия падающего фотона распределилась поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Определить энергию рассеянного фотона, если угол рассеяния равен 90°:

1) 0,13 МэВ; 2) 0,15 МэВ; 3) 0,20 МэВ; 4) 0,25 МэВ.

А5. Средняя освещённость, создаваемая плоской электромагнитной волной, равна $\langle E_э \rangle = 3{,}0\,\text{кВт/м}^2$. Определить плотность энергии электромагнитной волны:

1) $5\,\text{мкДж/м}^3$; 2) $10\,\text{мкДж/м}^3$; 3) $20\,\text{мкДж/м}^3$; 4) $40\,\text{мкДж/м}^3$.

А6. Определить температуру, при которой энергетическая светимость абсолютно чёрного тела равна $10\,\text{кВт/м}^2$:

1) 560 К; 2) 650 К; 3) 780 К; 4) 610 К.

А7. Чёрное тело нагрели от температуры 600 до 2400 К. Определить, как изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости:

1) уменьшилась на 1,61 мкм; 2) увеличилась на 1,61 мкм;
3) уменьшилась на 3,62 мкм; 4) увеличилась на 3,62 мкм.

А8. Точечный изотропный источник испускает свет с длиной волны 589 нм. Его световая мощность 10 Вт. На каком расстоянии от источника средняя концентрация фотонов составляет $n = 100\,\text{см}^{-3}$:

1) 3 м; 2) 9 м; 3) 16 м; 4) 18 м?

В1. Определить установившуюся температуру T находящейся в вакууме чёрной пластины, помещённой перпендикулярно солнечным лучам (поток световой энергии $E = 1{,}4\,\text{кВт/м}^2$).

В2. Определить заряд, который накопится на цинковом шаре радиусом $10\,\text{см}$ при длительном облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны 400 нм. Работа выхода электронов из цинка равна 4 эВ.

В3. Спутник в форме шара движется вокруг Земли на такой высоте, что поглощением солнечного света в атмосфере можно пренебречь. Диаметр спутника $d = 40\,\text{м}$. Зная солнечную постоянную $E = 1{,}4\,\text{кВт/м}^2$ и принимая, что поверхность спутника полностью отражает свет, определить силу давления F солнечного света на спутник.

В4. Фотон с энергией 0,25 МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на 20 %.

В5. Какую массу теряет Солнце в секунду за счёт излучения, если расстояние от Земли до Солнца равно $r = 1{,}5 \cdot 10^{10}\,\text{м}$, а солнечная постоянная равна $E = 1{,}4\,\text{кВт/м}^2$?

С1. Принимая спектр излучения Солнца за спектр излучения абсолютно чёрного тела, определить плотность потока энергии у поверхности Земли. Считать, что расстояние от Земли до Солнца равно $1{,}5 \cdot 10^8\,\text{км}$, радиус Солнца $6{,}5 \cdot 10^5\,\text{км}$. Максимум излучательной способности соответствует длине волны 0,48 мкм.

C2. При увеличении термодинамической температуры чёрного тела в два раза длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, уменьшилась на $\Delta\lambda = 400\,\text{нм}$. Определить начальную и конечную температуры T_1 и T_2.

Вариант 6

А1. Энергия и импульс фотона связаны соотношением:

1) $p = cE$; 2) $E = cp$; 3) $E = \hbar p$; 4) $p = hE$.

А2. Закон Рэлея – Джинса определяется формулой:

1) $\dfrac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = f(\lambda,T)$; 2) $R_\text{e} = \sigma T^4$; 3) $\lambda_{\max} T = b$; 4) $r_{\nu,T} = \dfrac{2\pi\nu^2}{c^2}kT$.

А3. Работа выхода электронов из калия 2,26 эВ. Энергия падающих квантов 3,0 эВ. Максимальная скорость фотоэлектронов равна:

1) 1360 км/с; 2) 890 км/с; 3) 510 км/с; 4) 1027 км/с.

А4. Давление монохроматического света с длиной волны 500 нм на зачернённую поверхность, расположенную перпендикулярно падающему излучению, равно 0,15 мкПа. Число фотонов, падающих на поверхность площадью *S* за одну секунду, составляет $4{,}52 \cdot 10^{17}$. Определить величину площадки *S*:

1) 40 см^2; 2) 55 см^2; 3) 60 см^2; 4) 100 см^2.

А5. Фотон с энергией 0,3 МэВ рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне, причём кинетическая энергия электрона отдачи оказалась равной 50 кэВ. Определить, на сколько процентов уменьшилась длина волны рассеянного фотона:

1) 5 %; 2) 10 %; 3) 15 %; 4) 20 %.

А6. Свет, интенсивность которого равна $I = 800\,\text{Вт/м}^2$, падает на плоскую поверхность под углом 43°. Найти освещённость поверхности:

1) $546\,\text{Вт/м}^2$; 2) $585\,\text{Вт/м}^2$; 3) $746\,\text{Вт/м}^2$; 4) $800\,\text{Вт/м}^2$.

А7. Определить, во сколько раз увеличилась энергетическая светимость чёрного тела при нагревании от температуры 600 до 2400 К:

1) 16; 2) 32; 3) 256; 4) 512.

А8. Длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела при изменении температуры тела смещается с $\lambda_1 = 600\,\text{нм}$ до $\lambda_2 = 300\,\text{нм}$. Определить, во сколько раз увеличится мощность излучения:

1) 8; 2) 16; 3) 32; 4) 48.

В1. Приведенная длина волны фотона $\bar{\lambda} = 0{,}3\,\text{пм}$. Вычислить импульс фотона.

В2. Лазерное излучение ($\lambda = 0{,}33\,\text{мкм}$) используется для нагревания воды, масса которой $m = 1{,}0\,\text{кг}$ и удельная теплоёмкость $c_\text{в} = 4{,}2\,\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Сколько времени потребуется для нагревания воды на $\Delta T = 10\,\text{К}$, если лазер за время $t = 1{,}0$ с испускает $N = 10^{20}$ фотонов и все они поглощаются водой?

В3. Источник монохроматического света мощностью $P = 64$ Вт испускает ежесекундно $N = 10^{20}$ фотонов, вызывающих фотоэффект на пластинке с работой выхода электронов, равной $A = 1{,}6$ эВ. До какого потенциала зарядится пластинка при длительном освещении?

В4. Электромагнитное излучение интенсивностью $I = 0{,}1$ Вт/см^2 падает под углом $\alpha = 30°$ на идеально отражающую (зеркальную) поверхность. Определить нормальное давление, производимое электромагнитным излучением на эту поверхность.

В5. Фотон с длиной волны 5 пм испытал комптоновское рассеяние под углом 90° на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить: 1) изменение длины волны при рассеянии; 2) энергию электрона отдачи; 3) импульс электрона отдачи.

С1. Глаз в темноте обладает большой чувствительностью, воспринимая на длине волны $\lambda = 555$ нм световой сигнал, содержащий не меньше $N_t = 60$ фотонов в секунду. Диаметр зрачка глаза в темноте $D = 8$ мм. Определить интенсивность волны и мощность источника, расположенного от глаза на расстоянии $r = 10$ км.

С2. Плотность потока энергии излучения Солнца у поверхности Земли, называемая солнечной постоянной, равна $E = 1{,}4$ кВт/м^2. Считая, что максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны 500 нм, определить по этим данным отношение расстояния от Земли до Солнца к радиусу Солнца $R/R_С$.

Вариант 7

А1. Длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела при изменении температуры тела смещается с $\lambda_1 = 600$ нм до $\lambda_2 = 300$ нм. Определить, во сколько раз увеличится испускательная способность тела:

1) 8; 2) 16; 3) 32; 4) 48.

А2. Импульс и частота фотона связаны соотношением:

1) $p = \dfrac{h}{c}\nu$; 2) $p = \dfrac{hc}{\nu}$; 3) $p = \dfrac{h}{\lambda c}\nu$; 4) $p = \dfrac{hc}{\lambda}\nu$.

А3. Испускательная способность тела, описываемая законом Рэлея – Джинса, на частоте $\nu_1 = 3{,}6 \cdot 10^{14}$ Гц при температуре $T_1 = 2000$ К оказалась равной испускательной способности этого же тела при температуре $T_2 = 2600$ К. Какой длине волны это соответствует:

1) 630 нм; 2) 760 нм; 3) 820 нм; 4) 950 нм?

А4. Работа выхода электронов из алюминия равна 4,25 эВ. Если задерживающая разность потенциалов увеличилась от 0,75 до 3,75 В, то энергия падающих квантов:

1) не изменится; 2) увеличится на 4,5 эВ;
3) увеличится в 1,6 раза; 4) увеличится в 5 раз.

А5. Монохроматический пучок излучения с длиной волны $\lambda = 550$ нм падает на плоскую зеркальную поверхность. Определить, какую силу давления испытывает поверхность под действием излучения, поток энергии которого $\Phi = 0{,}8$ Вт.

1) 2,7 нН; 2) 5,3 нН; 3) 16,0 нН; 4) 2,7 мкН.

А6. Фотон с энергией 0,3 МэВ рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне. Определить полную энергию отдачи электрона, если длина волны рассеянного фотона составляет 120 % от его первоначальной длины волны.

1) 0,05 МэВ; 2) 0,06 МэВ; 3) 0,46 МэВ; 4) 0,56 МэВ.

А7. Амплитуда светового вектора в плоской монохроматической электромагнитной волне, падающей нормально на плоскую чёрную поверхность площадью $S = 1 \text{см}^2$, равна $\mathring{A}_0 = 1000$ В/м. За время $t = 3$ с площадка поглотит энергию, равную:

1) 0,2 мДж; 2) 0,4 мДж; 3) 0,8 мДж; 4) 1,0 мДж.

А8. Максимум спектральной плотности энергетической светимости нагретого «серого» тела приходится на длину волны $\lambda = 460$ нм. Определить его энергетическую светимость, если коэффициент теплового излучения (степень чёрности) $a = 0{,}72$:

1) 41,4 МВт/м^2; 2) 89,3 МВт/м^2; 3) 64,3 МВт/м^2; 4) 124,0 МВт/м^2.

В1. Плоская «серая» поверхность площадью $S = 100 \text{ см}^2$ (коэффициент серости $a = 0{,}6$) излучает за одну минуту по всем направлениям 360 Дж тепловой энергии. Какова длина волны $\lambda_{\max}$ максимума спектральной плотности энергетической светимости?

В2. Фотон с длиной волны 5 пм испытал комптоновское рассеяние под углом 90° на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить изменение длины волны при рассеянии, энергию электрона отдачи, импульс электрона отдачи.

В3. Рассчитать мощность излучения P горизонтальным участком поверхности Земли площадью $S = 0{,}5 \cdot 10^4 \text{ м}^2$, если высота Солнца над горизонтом составляет $\varphi = 30°$, а излучение близко к излучению абсолютно чёрного тела. Учесть, что атмосфера Земли поглощает 10 % лучистой энергии. Радиус Солнца $R_{\odot} = 6{,}955 \cdot 10^8$ м, среднее расстояние от Солнца до Земли $r = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ м, температура поверхности Солнца $T = 5800$ К.

В4. Какова длина волны $\lambda_{\text{кр}}$, соответствующая красной границе фотоэффекта, если при облучении металлической пластинки светом с длиной волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ м максимальная скорость выбитых электронов составляет 800 км/с?

В5. На идеальную отражающую поверхность зеркальца площадью $S = 1{,}5\,\text{см}^2$ нормально падает поток излучения. Определить импульс, полученный зеркальцем, если поверхностная плотность потока падающего излучения $E = 0{,}1\,\text{МВт/м}^2$, а продолжительность облучения составляет $\Delta t = 1\,\text{с}$.

С1. Фотон рассеялся на неподвижном электроне под углом $\theta = 60°$, после чего электрон приобрёл кинетическую энергию $E_\text{к} = 0{,}12\,\text{МэВ}$. Определить длину волны падающего фотона.

С2. Красная граница фотоэффекта для вольфрама $\lambda_\text{кр} = 275\,\text{нм}$. Найти максимальную кинетическую энергию электрона, вылетающего из вольфрама, при облучении светом с длиной волны $\lambda = 175\,\text{нм}$.

Вариант 8

А1. Во сколько раз следует увеличить энергетическую температуру абсолютно чёрного тела, чтобы его энергетическая светимость возросла в четыре раза:

1) 0,5; 2) 1,41; 3) 2,0; 4) 3,14?

А2. Реликтовое фоновое излучение описывается распределением Планка с температурой 2,7 К. Какая длина волны соответствует максимуму спектра фонового излучения:

1) 1,07 нм; 2) 1,07 мкм; 3) 1,07 мм; 4) 1,07 см?

А3. Вычислить эффективную массу фотона с длиной волны 550 нм:

1) $4{,}0\cdot10^{-36}$ кг; 2) $9{,}1\cdot10^{-31}$ кг; 3) $4{,}0\cdot10^{-34}$ кг; 4) $6{,}37\cdot10^{-37}$ кг.

А4. Определить номер графика на рис. 2.1, который описывает расхождение между расчётами спектральной плотности излучательной способности чёрного тела Δr в зависимости от частоты по формуле Планка и формуле Рэлея – Джинса:

1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

А5. Энергия фотонов, которыми облучают металл, в три раза больше работы выхода электрона из металла. Какую долю энергии фотона составляет максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих из металла:

1) 1/2; 2) 1/3; 3) 2/3; 4) 3/4?

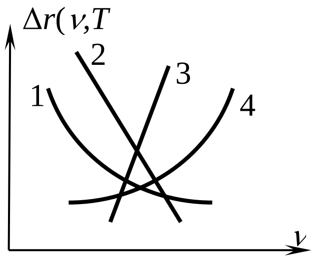


Рис. 2.1

А6. Пучок излучения падает на плоскую поверхность чёрной пластинки площадью 1 см^2. Определить, какое давление испытывает поверхность под действием излучения, поток энергии которого $\Phi = 0{,}75\,\text{Вт}$:

1) 15 мПа; 2) 25 мПа; 3) 50 нПа; 4) 50 мПа.

А7. Фотон с энергией 0,4 МэВ рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне. Определить импульс отдачи электрона, если длина волны рассеянного фотона составляет 115 % от его первоначальной длины волны:

1) 0,0788 МэВ/*с*; 2) 0,2307 МэВ/*с*; 3) 0,2365 МэВ/*с*; 4) 0,3262 МэВ/*с*.

А8. Амплитуда напряжённости магнитного поля в плоской монохроматической электромагнитной волне составляет $H_0 = 0,3\,\text{мкА/м}$. Определить интенсивность излучения:
1) $1,7\cdot10^{-11}\ \text{Вт/м}^2$; 2) $3,4\cdot10^{-11}\ \text{Вт/м}^2$; 3) $8,5\cdot10^{-12}\ \text{Вт/м}^2$; 4) $8,5\cdot10^{-10}\ \text{Вт/м}^2$.

В1. Рассчитать абсолютную температуру излучающего шара радиусом $R = 8\,\text{см}$, если мощность излучения $P = 1,2\,\text{кВт}$, а шар считать серым телом с коэффициентом теплового излучения $a = 0,25$.

В2. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости $r(\lambda,T)$ чёрного 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 чёрного тела.

В3. При увеличении напряжения на рентгеновской трубке в $\eta = 1,5$ раза длина волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра изменилась на $\Delta\lambda = 26\cdot10^{-12}\,\text{м}$. Найти первоначальное напряжение на трубке.

В4. Рассчитать расхождение в значениях спектральной плотности энергетической светимости, полученных по формуле Рэлея – Джинса и формуле Планка для частоты $\nu = 2,5\cdot10^{14}$ Гц и температуры $T = 2300\,\text{К}$.

В5. Работа выхода электрона из металла равна $6,6\cdot10^{-19}\,\text{Дж}$. Найти красную границу для фотоэффекта.

В5. Фотокатод облучают светом с длиной волны $\lambda = 300\,\text{нм}$. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_{кр} = 450\,\text{нм}$. Какое напряжение U нужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?

С1. Параллельный пучок монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 660\,\text{нм}$ падает на зачернённую поверхность и производит на неё давление $p = 0,5\,\text{мкПа}$. Определить концентрацию фотонов в световом пучке.

С2. Угол рассеяния фотона в эффекте Комптона $\theta = 90°$, угол отдачи электрона $\varphi = 30°$. Определить энергию ε_γ фотона до рассеяния.

Вариант 9

А1. Амплитуда напряжённости электрического поля в плоской монохроматической электромагнитной волне, распространяющейся в вакууме, составляет $E_0 = 1,0\,\text{кВ/м}$. Определить плотность энергии излучения:
1) 4,42 мкДж/м^3; 2) 8,85 мкДж/м^3; 3) 5,64 мкДж/м^3; 4) 17,71 мкДж/м^3.

А2. Какую энергетическую светимость имеет поверхность затвердевающего свинца ($T = 600\,\text{К}$), если отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно чёрного тела при данной температуре равно $a = 0,6$.
1) 1,22 кВт/м^2; 2) 2,65 кВт/м^2; 3) 4,41 кВт/м^2; 4) 7,35 кВт/м^2.

А3. При нагревании абсолютно чёрного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, уменьшилась на 20 %. Максимум спектральной плотности энергетической светимости тела при этом:

1) уменьшился в 1,56 раза; 2) уменьшился в 2,44 раза;
3) увеличился в 2,44 раза; 4) увеличился в 3,05 раза.

А4. Чему равна длина волны фотона, эффективная масса которого равна массе протона:

1) $2{,}43\cdot10^{-12}$ м; 2) $1{,}32\cdot10^{-15}$ м; 3) $2{,}10\cdot10^{-16}$ м; 4) $3{,}12\cdot10^{-15}$ м.

А5. Энергетическая светимость поверхности Солнца $R = 6{,}1\cdot10^7$ Вт/м^2. Определить температуру поверхности Солнца:

1) 5727 К; 2) 5800 К; 3) 5922 К; 4) 6200 К.

А6. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны 600 нм. Какова длина волны света, выбивающего из него фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в три раза меньше энергии падающих фотонов:

1) 133 нм; 2) 300 нм; 3) 400 нм; 4) 1200 нм?

А7. Найти световое давление солнечного излучения на квадратный метр земной поверхности, перпендикулярной направлению излучения. Солнечная постоянная равна $E = 1{,}4$ кВт/м^2. Поверхность Земли считать абсолютно зеркальной.

1) 4,7 мкПа; 2) 9,3 мкПа; 3) 7,0 мкПа; 4) 14,0 мкПа.

А8. Графитовая пластинка рассеивает падающее на неё рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda_0 = 60$ пм. Определить длину волны гамма-квантов, рассеянных под углом $\theta = 120°$ по отношению к их первоначальному направлению движения:

1) 56,35 пм; 2) 61,22 пм; 3) 62,43 пм; 4) 63,65 пм.

В1. Рассчитать амплитуду электрического и магнитного полей на поверхности Земли, обусловленных солнечным облучением. Солнечная постоянная равна $E = 1{,}4$ кВт/м^2.

В2. Рассчитать температуру теплового источника, выполненного в виде плоской металлической пластинки площадью $S = 0{,}5$ м^2 если с его поверхности излучается 560 Дж тепловой энергии в секунду. Коэффициент теплового излучения (степень чёрности) $a = 0{,}8$.

В3. Зачернённый шарик остывает от температуры 27 до 20 °С. Насколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости?

В4. Фотон, которому соответствует длина волны 0,1 нм, испытывает центральное упругое столкновение с первоначально покоившимся электроном. Определить скорость электрона, если после столкновения фотон движется в обратном направлении.

B5. В малом интервале длин волн $550\,\text{нм} < \lambda < 560\,\text{нм}$ источник при температуре $T = 2000\,\text{К}$ излучает как абсолютно чёрное тело. Используя формулу Планка, определить его энергетическую светимость.

C1. Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из металлической пластины светом с длиной волны $\lambda = 3\cdot 10^{-7}\,\text{м}$, если красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} = 540\,\text{нм}$?

C2. На плоскую зеркальную площадку размером $S = 1\,\text{см}^2$ нормально падает пучок света, содержащий две монохроматические составляющие одинаковой интенсивности с длинами волн $\lambda_1 = 589\,\text{нм}$ и $\lambda_2 = 663\,\text{нм}$. Определить, сколько фотонов в секунду попадает на площадку, если давление пучка на неё равно $p = 10\,\text{мкПа}$.

Вариант 10

A1. Фотон с энергией 0,2 МэВ рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне. Определить кинетическую энергию отдачи электрона, если длина волны рассеянного фотона составляет 110 % от его первоначальной длины волны:

1) 5,5 кэВ; 2) 18 кэВ; 3) 20 кэВ; 4) 55 кэВ.

A2. Плотность энергии излучения составляет 10 мкДж/м^3. Определить амплитуду напряжённости магнитного поля в излучении:

1) 1,41 А/м; 2) 1,99 А/м; 3) 2,82 А/м; 4) 5,64 А/м.

A3. Излучатель в виде сферы радиусом $R = 56\,\text{см}$ имеет температуру $T = 400\,\text{К}$ и излучает как тело с коэффициентом серости $a = 0{,}8$. Какое количество энергии он испускает за 1 мин:

1) 137 кДж; 2) 220 кДж; 3) 275 кДж; 4) 343 кДж?

A4. Определить номер графика на рис. 2.2, который описывает закон смещения Вина:

1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

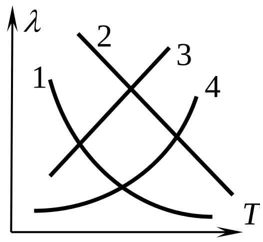


Рис. 2.2

A5. Определить температуру, при которой средняя энергия молекул трёхатомного газа равна энергии фотонов, соответствующих излучению с длиной волны $\lambda = 600\,\text{нм}$:

1) 4000 К; 2) 6669 К; 3) 8000 К; 4) 9336 К.

A6. Найти, насколько уменьшится масса Солнца за год вследствие излучения. Температура поверхности $T = 5800\,\text{К}$. Радиус Солнца $R_{\odot} = 6{,}97\cdot 10^8\,\text{м}$:

1) $5{,}72\cdot 10^{16}\,\text{кг}$; 2) $3{,}43\cdot 10^{16}\,\text{кг}$; 3) $1{,}37\cdot 10^{17}\,\text{кг}$; 4) $1{,}73\cdot 10^{12}\,\text{кг}$.

A7. Цинковый катод освещается светом с длиной волны 300 нм. Красная граница фотоэффекта для цинка 332 нм. Максимальное задерживающее напряжение равно:

1) 0,1 В; 2) 0,2 В; 3) 0,3 В; 4) 0,4 В.

A8. Электромагнитное излучение интенсивностью $I = 0{,}1\,\text{Вт}/\text{см}^2$ падает под углом $\alpha = 30°$ на идеально отражающую (зеркальную) поверхность. Определить нормальное давление, производимое электромагнитным излучением на эту поверхность:

1) 2,89 мкПа; 2) 5,00 мкПа; 3) 5,77 мкПа; 4) 3,33 мкПа.

В1. Фотон с энергией $\varepsilon = 1,025$ МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить угол рассеяния фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны $\lambda_e = 2,43$ пм.

В2. Плотность потока энергии видимого излучения свечи на расстоянии $r = 1$ м от неё равна $E_э = 6$ мВт/м^2. Предполагая, что при горении масса свечи уменьшается на 8,5 г в час и что удельная теплота сгорания спермацета $q = 24,28$ МДж/кг, найти КПД свечи как источника света.

В3. Некоторое тело имеет термодинамическую температуру $T = 522$ К и при этом излучает энергию в $n = 10$ раз больше, чем поглощает. Определить в градусах Цельсия температуру окружающей среды.

В4. Реликтовое фоновое излучение описывается распределением Планка с температурой 2,7 К. Какая длина волны соответствует максимуму спектра фонового излучения?

В5. Капля воды массой 0,2 г освещается монохроматическим светом с длиной волны 550 нм. Определить число фотонов, ежесекундно поглощаемых каплей, если за 3 с её температура повысилась на 15 К. Удельная теплоёмкость воды $c_в = 4,18$ кДж/кг·К.

С1. Используя формулу Планка, определить энергетическую светимость ΔR чёрного тела, приходящуюся на узкий интервал длин волн $\Delta\lambda = 1$нм, соответствующий максимуму спектральной плотности энергетической светимости, если температура чёрного тела $T = 3,2$ кК.

С2. Фотоны, имеющие энергию 5 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой максимальный импульс может приобрести электрон при вылете из металла?

3. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ФИЗИКА АТОМА. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

3.1. Основные формулы

Атом Бора

Энергия, излучаемая или поглощаемая водородоподобным атомом:

$$E_{nm} = h\nu_{nm} = \hbar\omega_{nm} = E_n - E_m, \tag{3.1}$$

где n и m – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

Момент импульса электрона в атоме водорода

$$L = m_e \upsilon_n r_n = n\hbar, \tag{3.2}$$

где m_e – масса электрона;

$\upsilon_n = \dfrac{\alpha c}{n}$ – скорость электрона на n-й орбите;

$n = 1, 2, 3, \ldots$ – главное квантовое число;

$r_n = a_\infty n^2$ – радиус n-й стационарной орбиты;

$a_\infty = r_1 = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} = \dfrac{\alpha^{-1}\hbar}{m_e c} = r_e\alpha^{-2}$ – первый боровский радиус;

$\alpha = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar c}$ – постоянная тонкой структуры.

Энергия электрона в атоме водорода

$$E_n = -\frac{E_{\text{Н}}}{n^2}, \tag{3.3}$$

где $E_{\text{Н}} = hcR_\infty = m_e c^2\alpha^2/2$ – энергия ионизации атома водорода;

$R_\infty = m_e c\alpha^2/2h = 1{,}097373\cdot 10^7$ м$^{-1}$ – постоянная Ридберга.

Формула Бальмера для водородоподобных атомов:

$$\nu_{mn} = cR_\infty Z^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right), \tag{3.4}$$

или

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = R_\infty Z^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right), \tag{3.5}$$

или

$$\omega_{mn} = R'_\infty Z^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right), \tag{3.6}$$

где $m = n+1, n+2, \ldots$ – квантовое число, характеризующее уровни серии, лежащие выше уровня с квантовым числом n;

$R'_\infty = 2\pi cR_\infty = 2{,}0670687\cdot 10^{16}$ Гц;

Z – заряд ядра (для атома водорода $Z = 1$).

Волны де Бройля

Частота волны де Бройля, связанной с микрочастицей:

$$\nu = \frac{E}{h}, \tag{3.7}$$

где $E = E_0 + T = c\sqrt{\vec{\mathbf{p}}^2 + m_0^2 c^2}$ – энергия частицы (в нерелятивистском случае, когда $E_0 \gg T$, $E = T = \vec{\mathbf{p}}^2 / 2m$);

$E_0 = m_0 c^2$ – энергия покоя частицы;

T – кинетическая энергия частицы;

$\vec{\mathbf{p}}$ – импульс частицы;

m_0 – масса покоя частицы;

c – скорость света в вакууме;

h – постоянная Планка.

Волновой вектор волны де Бройля, связанной с микрочастицей:

$$\vec{\mathbf{k}} = \vec{\mathbf{p}} / \hbar, \tag{3.8}$$

где $\hbar$ – постоянная Планка, делённая на 2π.

Длина волны де Бройля

$$\lambda_{\text{В}} = \frac{h}{p} = \frac{2\pi}{k}, \tag{3.9}$$

где $k = |\vec{\mathbf{k}}|$ – волновое число;

$p = |\vec{\mathbf{p}}| = \frac{1}{c}\sqrt{(2E_0 + T)T}$ – модуль импульса частицы (в нерелятивистском случае $p = \sqrt{2m_0 T}$).

Соотношения неопределённостей

Соотношения неопределённостей для импульса и координат:

$$\Delta p_i \Delta x_i \ge \hbar / 2, \tag{3.10}$$

где Δp_i – неопределённость проекции импульса на *i*-ю ось, $i = 1, 2, 3$;

Δx_i – неопределённость *i*-й координаты.

Соотношение неопределённостей для энергии и времени:

$$\Delta E \Delta t \ge \hbar / 2, \tag{3.11}$$

где ΔE – неопределённость энергии;

Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Уравнение Шрёдингера

Нестационарное уравнение Шрёдингера (уравнение эволюции квантовой системы):

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\vec{\mathbf{x}}, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\vec{\mathbf{x}}, t), \tag{3.12}$$

где $\Psi(\vec{\mathbf{x}}, t)$ – волновая функция системы;

$\hat{H}$ – оператор энергии Гамильтона.

Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний системы:

$$\hat{H} \psi(\vec{\mathbf{x}}) = E \psi(\vec{\mathbf{x}}), \tag{3.13}$$

где $\psi(\vec{\mathbf{x}})$ – волновая функция стационарного состояния системы;

E – собственное значение оператора Гамильтона – возможное значение энергии системы.

Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний частицы в потенциальном поле:

$$\hat{H}\psi(\vec{\mathbf{x}})=\left[\frac{\hat{\vec{\mathbf{p}}}^2}{2m}+U(\vec{\mathbf{x}})\right]\psi(\vec{\mathbf{x}})=\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta+U(\vec{\mathbf{x}})\right]\psi(\vec{\mathbf{x}})=E\psi(\vec{\mathbf{x}}), \qquad (3.14)$$

где $\hat{\vec{\mathbf{p}}}=-i\hbar\vec{\nabla}$ – оператор импульса;

$\vec{\nabla}=\left(\frac{\partial}{\partial x},\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}\right)$ – векторный оператор «набла»;

m – масса частицы;

$U(\vec{\mathbf{x}})$ – потенциальная энергия частицы;

$\Delta=\vec{\nabla}^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа.

Одномерное уравнение Шрёдингера для стационарных состояний:

$$\frac{d^2\psi(\vec{\mathbf{x}})}{dt^2}+\frac{2m}{\hbar^2}(E-U)\psi(\vec{\mathbf{x}})=0. \qquad (3.15)$$

Плотность вероятности

$$w(\vec{\mathbf{x}})=\frac{dW(\vec{\mathbf{x}})}{dV}=|\psi(\vec{\mathbf{x}})|^2, \qquad (3.16)$$

где $dW(\vec{\mathbf{x}})$ – вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой $\vec{\mathbf{x}}$ в области dV;

Вероятность обнаружения частицы в области ΔV

$$W=\int_{\Delta V}|\psi(\vec{\mathbf{x}})|^2\,dV. \qquad (3.17)$$

Вероятность обнаружения частицы, движущейся вдоль оси OX, в интервале (x_1,x_2):

$$W=\int_{x_1}^{x_2}|\psi(x)|^2\,dx. \qquad (3.18)$$

Условие нормировки волновой функции:

$$\int_V|\psi(\vec{\mathbf{x}})|^2\,dV=1. \qquad (3.19)$$

Среднее значение физической величины, представляемой оператором $\hat{X}$:

$$\bar{X}=\int_V\psi^*(\vec{\mathbf{x}})\hat{X}\psi(\vec{\mathbf{x}})dV. \qquad (3.20)$$

Решение уравнения Шрёдингера для одномерного, бесконечно глубокого прямоугольного потенциального ящика $U(x)=\infty$ при $x<0$, $x>l$ и $U(x)=0$ при $0\le x\le l$:

$\psi_n(x)=\sqrt{\frac{2}{l}}\sin\left[\frac{\pi nx}{l}\right]$ – собственные нормированные волновые функции;

$$E_n = \frac{\pi^2\hbar^2 n^2}{2ml^2} = \frac{h^2 n^2}{8ml^2}$$ – собственные значения энергии,

где $n = 1, 2, 3, \ldots$ – квантовое число;

l – ширина ящика.

Собственные значения энергии одномерного гармонического осциллятора:

$$\varepsilon_n = \hbar\omega n + \varepsilon_0 = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right),\ n = 0, 1, 2, \ldots, \qquad (3.21)$$

где $\varepsilon_0 = \frac{\hbar\omega}{2}$ – энергия нулевых колебаний осциллятора.

Коэффициент прозрачности потенциального барьера ($U(x) = 0$ при $x < x_1$ и $x > x_2$, $E < U(x)$):

$$D = D_0 W(x_1, x_2) = D_0 \exp\left(-\frac{2}{\hbar}\int_{x_1}^{x_2}\sqrt{2m(U(x)-E)}dx\right), \qquad (3.22)$$

где

$$D_0 = \frac{16E(U-E)}{U^2}, \qquad (3.23)$$

а $W(x_1, x_2)$ – вероятность прохождения частицы сквозь барьер.

Волновые функции трёхмерной задачи с центральным потенциалом (например для атома водорода):

$$\psi_{nlm}(\vec{\mathbf{x}}) = R_{nl}(r)Y_l^m(\vartheta, \varphi), \qquad (3.24)$$

где $n = 1, 2, 3, \ldots$ – главное квантовое число;

$l = 0, 1, 2, \ldots, n-1$ – орбитальное квантовое число;

$m = -l, -l+1, \ldots, l-1, l$ – магнитное квантовое число;

$R_{nl}(r)$ – радиальные волновые функции;

$Y_l^m(\vartheta, \varphi)$ – сферические гармоники.

Кратность вырождения энергетических уровней (каждому уровню энергии соответствует n^2 волновых функций):

$$n^2 = \sum_{l=0}^{n-1}(2l+1). \qquad (3.25)$$

Орбитальный момент электрона в атоме

$$L = \hbar\sqrt{l(l+1)}. \qquad (3.26)$$

Спиновый момент электрона

$$M_s = \hbar\sqrt{s(s+1)} = \frac{\hbar\sqrt{3}}{2}. \qquad (3.27)$$

Обозначение состояния электрона в атоме – *nl*,

где *n* – главное квантовое число;

l – орбитальное квантовое число:

s для $l = 0$ (от англ. *sharp*);

p для $l = 1$ (от англ. *principal*);

d для $l = 2$ (от англ. *diffuse*);

f для $l = 3$ (от англ. *fundamental*).

Орбитальный момент многоэлектронного атома

$$M_L = \hbar\sqrt{L(L+1)}\,. \tag{3.28}$$

Спиновый момент многоэлектронного атома

$$M_S = \hbar\sqrt{S(S+1)}\,. \tag{3.29}$$

Полный момент многоэлектронного атома

$$M_J = \hbar\sqrt{J(J+1)}\,. \tag{3.30}$$

Магнетон Бора (собственный магнитный момент электрона)

$$\mu_{\text{В}} = -\frac{e\hbar}{2m_e} = -\frac{e}{m_e}s\,, \tag{3.31}$$

где $s = \hbar/2$ – величина проекции спина (собственного механического момента) электрона.

Закон Мозли:

$$\nu_{mn} = a_{mn}cR_\infty(Z-\sigma)^2\,, \tag{3.32}$$

где a_{mn} – постоянная, зависящая от квантовых чисел уровней, между которыми осуществляется переход: в одноэлектронном приближении $a_{mn} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}$;

R_∞ – постоянная Ридберга;

Z – атомный номер химического элемента (заряд ядра);

σ – постоянная экранирования ($\sigma = 1$ для *K*-серии, $\sigma = 7{,}5$ для *L*-серии).

Структура ядра

Средний радиус атомных ядер

$$R = r_0A^{1/3}, \tag{3.33}$$

где $r_0 \approx 0{,}8\,\text{фм} = 8\cdot10^{-16}$ м – средний радиус нуклона;

A – массовое число (число нуклонов в ядре), или атомный номер элемента.

Энергия связи ядра

$$\Delta E_{\text{св}} = c^2\Delta m = c^2[Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}]\,, \tag{3.34}$$

где Δm – дефект массы ядра;

c – скорость света в вакууме;

Z – заряд ядра (число протонов в ядре);

$N = A - Z$ – число нейтронов в ядре;

m_p – масса протона;

m_n – масса нейтрона;

$M_{\text{я}}$ – масса ядра.

Во внесистемных единицах (мегаэлектронвольтах) энергия связи ядра равна

$$\Delta E_{\text{св}} = 931{,}5\cdot\Delta m\,, \tag{3.35}$$

где Δm – дефект массы ядра, выраженный в атомных единицах массы ($1\,\text{а. е. м.} \approx 931{,}5\ \text{МэВ}/c^2$).

Ядерные реакции

Ядерные реакции записываются в виде

$$^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X}_1 + {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X}_2 = {}^{A_3}_{Z_3}\mathrm{X}_3 + {}^{A_4}_{Z_4}\mathrm{X}_4, \tag{3.36}$$

где $^{A_i}_{Z_i}\mathrm{X}_i$ обозначает ядро элемента с атомным номером A_i и зарядом ядра Z_i.

Закон сохранения заряда в ядерных реакциях:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4. \tag{3.37}$$

Закон сохранения числа нуклонов в ядерных реакциях:

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4. \tag{3.38}$$

Энергетический выход ядерной реакции:

$$E = c^2[(m_{\mathrm{X}_1} + m_{\mathrm{X}_2}) - (m_{\mathrm{X}_3} + m_{\mathrm{X}_4})], \tag{3.39}$$

где m_{X_i} – масса ядра элемента X_i. В силу закона сохранения заряда массы ядер в этой формуле можно заменить на массы атомов.

Закон радиоактивного распада

Закон радиоактивного распада:

$$dN = -\lambda N dt\text{, или } N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-t/T}, \tag{3.40}$$

где N_0 – число радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$;

N – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t;

$\lambda = 1/\tau$ – постоянная распада, или радиоактивная постоянная;

τ – ядерная постоянная времени радиоактивного ядра, т. е. интервал времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшится в e раз;

$T = T_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda} = \dfrac{0{,}693}{\lambda}$ – период полураспада.

Число ядер, распавшихся за время Δt:

$$\Delta N = (N_0 - N) = N_0(1 - e^{-\lambda t}), \tag{3.41}$$

или

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t, \tag{3.42}$$

если интервал времени Δt, за который определяется число распавшихся ядер, значительно меньше периода полураспада $T_{1/2}$.

Активность радиоактивного изотопа

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}, \tag{3.43}$$

где dN – число радиоактивных ядер, распавшихся за время dt;

A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

Удельная активность изотопа

$$a = \frac{A}{m}, \tag{3.44}$$

где m – масса изотопа.

Закон ослабления интенсивности пучка γ-лучей:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}, \tag{3.45}$$

где I_0 – интенсивность излучения, падающего на вещество;

$I(x)$ – интенсивность излучения, прошедшего слой вещества толщиной x;

μ – коэффициент линейного поглощения.

Единицы активности радиоактивного вещества:

– *беккерель*: в системе СИ $[A] = 1\,\text{Бк} = 1\,\text{с}^{-1}$ – 1 распад в секунду;

– *кюри*: $[A] = 1\,\text{Ки} = 3{,}7\cdot 10^{10}\,\text{Бк}$.

3.2. Задачи для самостоятельного решения

Вариант 1

А1. Если радиус орбиты электрона увеличится в два раза, то частота вращения электрона в ядре атома водорода:

1) уменьшится в 4 раза; 2) уменьшится в 2 раза;
3) увеличится в 4 раза; 4) уменьшится в 8 раз.

А2. При увеличении и массы, и скорости частицы в два раза длина волны де Бройля:

1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в 4 раза;
3) уменьшится в 4 раза; 4) уменьшится в 2 раза.

А3. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме» шириной l с бесконечно высокими «стенками» находится в основном состоянии. Вероятность обнаружения частицы в левой трети «ямы» равна:

1) 0,195; 2) 0,333; 3) 0,471; 4) 0,533.

А4. Электрон с энергией $E = 4\,\text{эВ}$ движется в положительном направлении оси X, встречая на своем пути прямоугольный потенциальный барьер высотой $U = 10\,\text{эВ}$ и шириной $l = 0{,}1\,\text{нм}$. Определить коэффициент D прозрачности потенциального барьера:

1) 0,05; 2) 0,1; 3) 0,15; 4) 0,24.

А5. Определить, какую долю кинетической энергии теряет нейтрон при упругом столкновении с покоящимся ядром углерода ${}^{12}_{6}\text{C}$, если после столкновения частицы движутся вдоль одной прямой. Массу нейтрального атома углерода принять равной $19{,}9268\cdot 10^{-27}\,\text{кг}$.

1) 0,178; 2) 0,234; 3) 0,286; 4) 0,465.

А6. Координаты электрона и пылинки массой $m = 10^{-12}\,\text{кг}$ установлены с одинаковой точностью до $10^{-5}\,\text{м}$. Найти отношение неопределённости скорости электрона к неопределённости скорости пылинки:

1) $0{,}9\cdot 10^{-18}$; 2) $1{,}1\cdot 10^{18}$; 3) $0{,}9\cdot 10^{18}$; 4) $0{,}1\cdot 10^{-19}$.

А7. В мезоатоме один из электронов оболочки замещён μ^--мезоном, имеющим заряд, равный заряду электрона, и массу $m_\mu = 207 m_e$. Радиус r_μ мезоатома, состоящего из протона и μ^--мезона, связан с радиусом атома водорода приближённым соотношением:

1) $r_\mu = m_{\text{H}} / 207$; 2) $r_\mu = 207 m_{\text{H}}$; 3) $r_\mu = 207^2 m_{\text{H}}$; 4) $r_\mu = m_{\text{H}} / 207^2$.

А8. После каких радиоактивных превращений из ядра изотопа ${}^{238}_{92}\text{U}$ может получится ядро изотопа ${}^{234}_{92}\text{U}$:

1) два альфа-распада и один бета-распад;
2) один альфа-распад и один бета-распад;
3) один альфа-распад и два бета-распада;
4) два альфа-распада и два бета-распада?

А9. Определить, во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за три года, если за один год оно уменьшилось в четыре раза:

1) 12; 2) 64; 3) 8; 4) 16.

А10. Неподвижный атом водорода находится в первом возбуждённом состоянии с квантовым числом $n = 2$. Поглотив фотон с энергией, равной 0,24 энергии ионизации, атом водорода перешёл в состояние с квантовым числом:

1) 8; 2) 5; 3) 10; 4) 6.

В1. Параллельный пучок моноэнергетических электронов направлен нормально на узкую щель шириной $a = 1$ мкм. Определить скорость этих электронов, если на экране, отстоящем на расстоянии $l = 20$ см от щели, ширина центрального дифракционного максимума составляет $\Delta x = 48$ мкм.

В2. Определить, при какой ширине одномерной прямоугольной «потенциальной ямы» с бесконечно высокими «стенками» дискретность энергетического спектра электрона сравнима с его средней кинетической энергией при температуре *T*.

В3. Электрон с длиной волны де Бройля $\lambda_1 = 100$ пм, двигаясь в положительном направлении оси *X*, встречает на своем пути бесконечно широкий прямоугольный барьер высотой $U = 100$ эВ. Определить длину волны де Бройля после прохождения барьера.

В4. Математический маятник можно рассматривать в качестве гармонического осциллятора. Определить в электронвольтах энергию нулевых колебаний для маятника длиной $l = 1$ м, находящегося в поле тяготения Земли.

В5. Ширина следа электрона (обладающего кинетической энергией $T = 1{,}5$ кэВ) на фотопластинке, полученного с помощью камеры Вильсона, составляет $\Delta x = 1$ мкм. Определить, можно ли по данному следу обнаружить отклонение в движении электрона от законов классической механики.

В6. Вычислить дефект массы ядра изотопа неона ${}^{20}_{10}\text{Ne}$. Ответ выразить в мегаэлектронвольтах ($\text{МэВ}/c^2$) и округлить до целых.

С1. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжёлый ион нового элемента. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек тяжёлого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом *R*. Масса α-частицы равна m_α, её заряд равен 2*e*, масса тяжёлого иона равна *M*. Найти индукцию *B* магнитного поля.

С2. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если 5/8 начального количества ядер этого изотопа распалось за время $t = 849\,\text{с}$.

Вариант 2

А1. Определить, что (и во сколько раз) продолжительнее – три периода полураспада или два средних времени жизни радиоактивного ядра:

1) $\dfrac{3T_{1/2}}{2\tau} = 0,69$; 2) $\dfrac{3T_{1/2}}{2\tau} = 0,96$; 3) $\dfrac{3T_{1/2}}{2\tau} = 1,04$; 4) $\dfrac{3T_{1/2}}{2\tau} = 2,08$.

А2. По теории Бора электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите. Найти напряжённость поля, создаваемого зарядом ядра на расстоянии, равном радиусу первой орбиты электрона, т. е. 53 пм:

1) $8,2 \cdot 10^{-10}$ В/м; 2) $5,1 \cdot 10^{10}$ В/м; 3) $4,0 \cdot 10^{-10}$ В/м; 4) $5,1 \cdot 10^{15}$ В/м.

А3. Определить длину волны де Бройля электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов 700 кВ:

1) 1,77 пм; 2) 1,81 пм; 3) 1,94 пм; 4) 2,35 пм.

А4. Электрон находится в одномерной прямоугольной «потенциальной яме» шириной *l* с бесконечно высокими «стенками». Определить вероятность *W* обнаружения электрона в средней трети «ямы», если электрон находится в возбуждённом состоянии ($n = 3$):

1) 0,195; 2) 0,333; 3) 0,471; 4) 0,533.

А5. Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину $l = 0,1\,\text{нм}$ $l = 0,1\,\text{нм}$. Определить в электронвольтах разность энергий $(U - E)$, при которой вероятность прохождения электрона сквозь барьер составит 0,5:

1) 0,181 эВ; 2) 0,362 эВ; 3) 0,459 эВ; 4) 2,88 эВ.

А6. На поверхность воды падает монохроматический пучок гамма-лучей, коэффициент ослабления которых в воде $\mu = 0,06\,\text{см}^{-1}$. Определить, во сколько раз уменьшается интенсивность пучка на глубине 0,75 м:

1) 74; 2) 90; 3) 100; 4) 206.

А7. В некоторый момент область локализации свободного электрона $\Delta x_0 = 0,10\,\text{нм}$. Оценить ширину области локализации этого электрона спустя промежуток времени $t = 1,0\,\text{с}$:

1) 5,4 см; 2) 13,5 см; 3) 1350 м; 4) 580 км.

А8. Возбуждённые тяжёлые ядра с массовыми числами в интервале $230 < A < 240$ делятся примерно по 30 различным каналам на два осколка с массовыми числами $A_\text{m} = 72 \div 161$. Средняя удельная энергия связи (энергия связи на один нуклон) для тяжёлых ядер приблизительно равна 7,6 МэВ, а для средних ядер – 8,4 МэВ. Вычислить полную энергию распада ядра ${}_{Z}^{A}\mathrm{X}$ на два одинаковых осколка:

1) 9,2A МэВ; 2) 0,8A МэВ; 3) 16A МэВ; 4) 6,8A МэВ.

А9. В 1932 г. английский физик Дж. Чедвик обнаружил, что при захвате альфа-частицы ядром бериллия ${}_{4}^{9}\mathrm{Be}$ образуется изотоп углерода ${}_{6}^{12}\mathrm{C}$ и вылетают частицы:

1) протон и нейтрон; 2) альфа-частица и два электрона;
3) нейтрон; 4) протон и два электрона.

А10. Период полураспада радиоактивного изотопа актиния ${}_{89}^{225}\mathrm{Ac}$ составляет 10 сут. Определить время, за которое распадётся 1/3 начального количества ядер актиния:

1) 2,92 сут; 2) 5,85 сут; 3) 11,7 сут; 4) 15,85 сут.

В1. Электрон в атоме переходит со стационарной орбиты с энергией $-4{,}2$ эВ на орбиту с энергией $-7{,}6$ эВ. Определить энергию и длину волны излучаемого при этом фотона.

В2. Параллельный пучок электронов, ускоренный разностью потенциалов $U = 50$ В, направлен нормально на две параллельные, лежащие в одной плоскости, щели, расстояние между которыми равно $b = 10$ мкм. Определить расстояние между центральным и первым максимумами дифракционной картины на экране, который расположен от щелей на расстоянии $L = 0{,}6$ мкм.

В3. Волновая функция, описывающая основное состояние электрона в атоме водорода, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-\frac{r}{a}}$, где a – постоянная, r – расстояние электрона от ядра. Используя условие нормировки волновой функции, определить нормировочный коэффициент A.

В4. Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину $l = 0{,}15$ нм. Определить в электронвольтах разность энергий $U_0 - E$, при которой вероятность прохождения электрона сквозь барьер составит 0,4.

В5. Рассматривая математический маятник массой $m = 100$ г и длиной $l = 0{,}5$ м в виде гармонического осциллятора, определить амплитуду A маятника, соответствующую энергии нулевых колебаний этого маятника.

В6. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 1$ кВ. Известно, что неопределённость скорости составляет 0,1 % от её числового значения. Определить неопределённость координаты электрона. Являются ли электроны в данных условиях квантовыми или классическими частицами?

С1. Естественное химически чистое вещество состоит из смеси двух изотопов с атомными массами $A_1 = 14{,}0031$ а. е. м. и $A_2 = 15{,}0001$ а. е. м.. Процентное содержание второго изотопа составляет 0,365 %. Найти атомную массу смеси.

С2. Реактор РБКМ (реактор большой мощности канальный) чернобыльского типа имеет мощность $P = 3200\,\text{МВт}$, КПД $\eta = 0{,}31$. Энергия продуктов реакции деления урана-235 равна $W_\text{р} = 202\,\text{МэВ}$. Какую массу урана-235 реактор потребляет за сутки?

Вариант 3

А1. В 1919 г. английский физик Э. Резерфорд обнаружил, что при захвате альфа-частицы ядром азота ${}^{14}_{7}\text{N}$ образуется стабильный изотоп кислорода ${}^{17}_{8}\text{O}$ и вылетают частицы:

1) альфа-частица и электрон; 2) нейтрон;
3) альфа-частица и протон; 4) протон.

А2. Период полураспада радиоактивного изотопа актиния ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ составляет 10 сут. Определить время, за которое распадётся вторая треть начального количества ядер актиния:

1) 4,15 сут; 2) 5,85 сут; 3) 10,0 сут; 4) 15,85 сут.

А3. Атом водорода испустил фотон с длиной волны $4{,}86 \cdot 10^{-7}\,\text{м}$. На сколько изменилась энергия электрона в атоме:

1) $2{,}56 \cdot 10^{-19}$ Дж; 2) 2,56 эВ; 3) 4,09 эВ; 4) $6{,}54 \cdot 10^{-19}$ Дж?

А4. Определить длину волны де Бройля протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов 700 кВ:

1) 0,055 пм; 2) 0,059 пм; 3) 0,063 пм; 4) 0,077 пм.

А5. Протон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,1 нм. Расстояние между вторым и третьим энергетическими уровнями равно:

1) 0,062 эВ; 2) 0,143 эВ; 3) 0,102 эВ; 4) 0,164 эВ.

А6. Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину $l = 0{,}1\,\text{нм}$. Разность между высотой потенциального барьера и энергией движущегося в положительном направлении оси X электрона $U - E = 5\,\text{эВ}$. Определить, во сколько раз изменится коэффициент D прозрачности потенциального барьера для электрона, если разность $U - E$ возрастёт в четыре раза:

1) увеличится в 7,4 раза; 2) уменьшится в 7,4 раза;
3) уменьшится в 10 раз; 4) увеличится в 10 раз.

А7. При какой активности препарата счётчик Гейгера ежесекундно будет регистрировать 1000 импульсов, если фоновое излучение составляет 600 импульсов за 10 мин:

1) 999 Бк; 2) 999 Ки; 3) 1001 Бк; 4) 1001 Ки?

А8. Электрон с кинетической энергией $K = 4\,\text{эВ}$ локализован в области размером $l = 1\,\text{мкм}$. Оценить с помощью соотношения неопределённостей относительную неопределённость его скорости:

1) $4{,}88 \cdot 10^{-5}$; 2) $1 \cdot 10^{-4}$; 3) $1{,}53 \cdot 10^{-4}$; 4) $3{,}07 \cdot 10^{-4}$.

A9. Определить, какая необходима энергия, чтобы разделить ядро $^{12}_{6}C$ на три альфа-частицы. Масса изотопа гелия $^{4}_{2}He$ равна $m(^{4}_{2}He) = 4,0026$ а. е. м.:

1) 4,16 МэВ; 2) 5,12 МэВ; 3) 7,27 МэВ; 4) 8,34 МэВ.

A10. При распаде ядра изотопа лития $^{8}_{3}Li$ образовались два одинаковых ядра и β-частица. Два одинаковых ядра – это ядра:

1) водорода; 2) гелия; 3) бора; 4) дейтерия.

B1. Определить удельную активность a (число распадов в 1 с на 1 кг вещества) изотопа $^{238}_{92}U$, если период его полураспада $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет.

B2. На рис. 3.1 изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Какова длина волны для фотонов, излучаемых при переходе с уровня E_4 на уровень E_1, если $\lambda_{13} = 400$ нм, $\lambda_{24} = 500$ нм, $\lambda_{32} = 600$ нм?

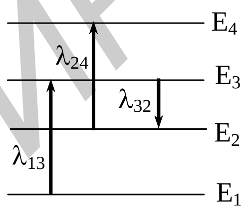


Рис. 3.1

B3. Определить длину волны фотона, импульс которого в два раза меньше импульса электрона, движущегося со скоростью $v = 0,1$ Мм/с.

B4. Определить длину волны фотона, испускаемого при переходе электрона в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной $l = 0,2$ нм из состояния с $n = 2$ в состояние с наименьшей энергией.

B5. На поверхность воды падает монохроматический пучок γ-лучей. На глубине $h = 65,2$ см излучение ослабляется в 50 раз. Воспользовавшись графиком зависимости коэффициента линейного ослабления μ от энергии (рис. 3.2), определить толщину слоя бетона, который ослабит это излучение во столько же раз.

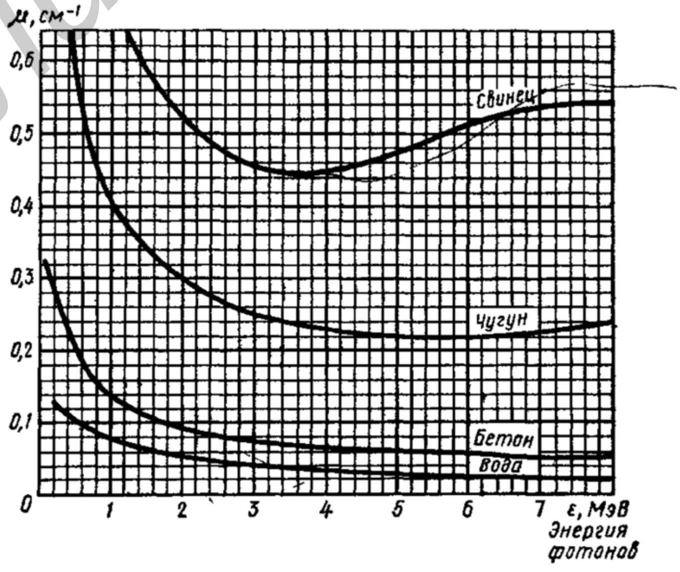


Рис. 3.2

B6. Вычислить длину волны излучения для первой линии в серии Бальмера.

C1. Принимая, что электрон находится внутри атома диаметром 0,3 нм, определить (в электронвольтах) неопределённость энергии этого электрона.

C2. Какую минимальную длину волны должен иметь фотон для того, чтобы ионизировать ион гелия, содержащий один электрон в основном состоянии?

Вариант 4

A1. Электронная конфигурация атома неона имеет вид:

1) $1s^2 2s^2 2p^6$; 2) $1s^2 2s^4 2p^4$; 3) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$; 4) $1s^4 2s^4 2p^2$.

A2. Определить зарядовое число Z и массовое число A частицы, обозначенной буквой X, в символической записи реакции ${}^{6}_{3}\mathrm{Li} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{3}_{1}\mathrm{H} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$:

1) $Z=1,\ A=0$; 2) $Z=0,\ A=1$; 3) $Z=0,\ A=0$; 4) $Z=1,\ A=1$.

A3. Какой процент ядер стронция-90 с периодом полураспада 28 лет останется, спустя 42 года:

1) 12,25 %; 2) 23,50 %; 3) 32,25 %; 4) 47,05 %?

A4. Радиус круговой орбиты электрона в атоме водорода равен 52,9пм. Определить потенциальную энергию электрона на этой орбите:

1) –17,3 эВ; 2) –16,5 эВ; 3) –27,2 эВ; 4) –22,7 эВ.

A5. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов 0,5 кВ, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 1,282\,\text{пм}$. Принимая заряд этой частицы равным заряду электрона, определить её массу:

1) $1,672 \cdot 10^{-27}$ кг; 2) $2,612 \cdot 10^{-25}$ кг; 3) $1,431 \cdot 10^{-27}$ кг; 4) $1,325 \cdot 10^{-26}$ кг.

A6. Волновая функция электрона, находящегося в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, имеет вид:

1) $\psi = \sqrt{\dfrac{l}{2}} \sin \dfrac{\pi x}{l}$; 2) $\psi = \sqrt{\dfrac{2}{l}} \sin \dfrac{\pi x}{l}$; 3) $\psi = \sqrt{\dfrac{2}{l}} \sin \dfrac{n\pi x}{l}$; 4) $\psi = \sqrt{\dfrac{2}{3l}} \sin \dfrac{\pi x}{nl}$.

A7. Длина волны фотона равна $\lambda_\gamma = 620\,\text{нм}$, а длина волны де Бройля движущегося электрона составляет $\lambda_{\text{B}} = 870\,\text{пм}$. Определить отношение кинетической энергии электрона к энергии фотона:

1) 1; 2) 5; 3) 10; 4) 100.

A8. На поверхность воды падает монохроматический пучок гамма-лучей. Определить на какой глубине интенсивность пучка уменьшится в 100 раз. Считать, что коэффициент ослабления гамма-лучей в воде $\mu = 0,06\,\text{см}^{-1}$.

1) 55,38 см; 2) 76,75 см; 3) 92,44 см; 4) 110,15 см.

A9. Определить отношение неопределённостей координат электрона и пылинки массой 10^{-12} кг, если скорости электрона и пылинки установлены с одинаковой точностью до 10^{-1} м/с:

1) $2{,}0\cdot10^{10}$; 2) $2{,}1\cdot10^{12}$; 3) $1{,}1\cdot10^{15}$; 4) $1{,}1\cdot10^{18}$.

А10. Найти энергию связи ядра изотопа лития ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$. Масса ядра $m_{\mathrm{Li}} = 11{,}6478\cdot10^{-27}$ кг , масса протона $m_p = 1{,}6726\cdot10^{-27}$ кг , масса нейтрона $m_n = 1{,}6749\cdot10^{-27}$ кг .

1) 25 МэВ; 2) 32 МэВ; 3) 39 МэВ; 4) 43 МэВ.

В1. Найти отношение скорости α-частицы, вылетающей при α-распаде из покоящегося ядра урана с массовым числом 232, к скорости дочернего ядра.

В2. Определить, какая часть начального количества ядер радиоактивного изотопа останется нераспавшейся по истечении времени, равного двум средним временам жизни радиоактивного ядра.

В3. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом $n = 2$, если радиус орбиты электрона изменился в девять раз.

В4. Моноэнергетический пучок нейтронов, получаемый в результате ядерной реакции, падает нормально на кристалл с периодом $d = 0{,}2$ нм. Определить скорость нейтронов, если максимальное отражение нейтронов, соответствующее дифракционному максимуму первого порядка, наблюдается, когда угол скольжения $\theta = 30°$.

В5. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной 2 мм. Определить плотность энергетических уровней *dn/dE* в окрестности уровня с $n = 10^{10}$.

В6. По графику зависимости коэффициента линейного ослабления μ от энергии (рис. 3.2) определить, какова энергия γ-излучения, если при прохождении через слой чугуна толщиной 5 см интенсивность излучения ослабляется в три раза?

С1. Волновая функция основного состояния частицы в одномерном потенциальном поле $U(x) = \frac{1}{2}m\omega_0^2x^2$ имеет вид $\psi(x) = Ae^{-ax^2}$ (*A* – нормировочный коэффициент, *a* – положительная постоянная). Используя уравнение Шрёдингера, определить постоянную *a* и энергию частицы в этом состоянии.

С2. Используя соотношение неопределённостей, оценить минимально возможную полную энергию электрона в атоме водорода. Принять неопределённость координаты равной радиусу атома.

Вариант 5

А1. При переходе электрона в атоме меди ($Z = 29$) с *M*-слоя на *L*-слой испускаются лучи с длиной волны $\lambda = 12\cdot10^{-10}$ м . Вычислить постоянную экранирования σ в формуле Мозли:

1) 8,5; 2) 7,6; 3) 6,5; 4) 5,6.

А2. Определить массу изотопа ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$, если изменение массы при образовании ядра ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$ составляет $0,20589\cdot 10^{-27}$ кг . Массу нейтрона принять $m_n = 1,67493\cdot 10^{-27}$ кг, массу протона – $m_p = 1,67262\cdot 10^{-27}$ кг.

1) $2,49019\cdot 10^{-26}$ кг; 2) $1,4909\cdot 10^{-25}$ кг;
3) $2,6009\cdot 10^{-26}$ кг; 4) $3,4905\cdot 10^{-26}$ кг.

А3. Определить зарядовое число Z и массовое число $\grave{A}$ частицы, обозначенной буквой X, в символической записи реакции: ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$:

1) $Z = 1,\ A = 0$; 2) $Z = 0,\ A = 1$; 3) $Z = 0,\ A = 0$; 4) $Z = 1,\ A = 1$.

А4. Радиоактивный изотоп иода ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ имеет период полураспада 8 сут. Определить начальную активность 1 мг изотопа:

1) $6,61\cdot 10^{10}$ Бк; 2) $4,61\cdot 10^{12}$ Бк; 3) $5,60\cdot 10^{11}$ Бк; 4) $1,35\cdot 10^{13}$ Бк.

А5. Атом водорода, находящийся в основном состоянии, поглотил фотон с длиной волны 97,3 нм. Определить главное квантовое число возбуждённого состояния атома:

1) 3; 2) 4; 3) 5; 4) 6.

А6. Определить, как изменится длина волны де Бройля электрона в атоме водорода при переходе его с четвёртой боровской орбиты на вторую:

1) увеличится в два раза; 2) уменьшится в два раза;
3) увеличится в четыре раза; 4) уменьшится в четыре раза.

А7. Определить наименьшую длину волны рентгеновского излучения, если рентгеновская трубка работает при напряжении 150 кВ:

1) 2,97 пм; 2) 3,18 пм; 3) 8,28 пм; 4) 11,46 пм.

А8. Найти вероятность просачивания электрона через потенциальный барьер шириной $l = 0,5$ нм и высотой $U_0 = 0,4$ эВ, если он разгоняется электрическим полем с ускоряющим напряжением $U = 0,3$ В:

1) 10 %; 2) 15 %; 3) 20 %; 4) 50 %.

А9. При изучении β-распада ${}^{23}\mathrm{Mg}$ в момент $t = 0$ был включён счётчик. К моменту $t_1 = 2$ с он зарегистрировал N_1 β-частиц, а к моменту $t_2 = 3t_1$ в 2,66 раза больше. Найти среднее время жизни данных ядер:

1) 5,2 с; 2) 10,5 с; 3) 15,3 с; 4) 100,1 с.

А10. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов 1 кВ. Известно, что неопределённость скорости составляет 0,1 % от её числового значения. Определить неопределённость координаты электрона:

1) 23,5 пм; 2) 30,9 пм; 3) 61,7 пм; 4) 194 нм.

В1. Масса стабильного изотопа азота ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ равна 14,003074 а. е. м. Определить массу ядра этого изотопа.

В2. Определить неизвестную частицу и энергетический выход ядерной реакции ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{1}\mathrm{p} \to {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

В3. Какой процент ядер ${}^{25}_{13}\mathrm{Al}$ с кинетической энергией $E_к = 2{,}158$ мкэВ и периодом полураспада $T = 7{,}183$ с распадётся на длине пучка $l = 13{,}4$ м?

В4. Определить во сколько раз орбитальный момент импульса электрона, находящегося в *f*-состоянии, больше орбитального момента импульса электрона в *p*-состоянии.

В5. Протон с дебройлевской длиной волны $\lambda = 0{,}001$ нм упруго рассеялся под углом $\theta = \pi/2$ на первоначально покоившейся α-частице. Определить дебройлевскую длину волны λ' рассеянного протона.

В6. Переход электронов в атомах водорода из возбуждённых состояний на вторые боровские орбиты сопровождается испусканием монохроматического пучка света. При нормальном падении этого пучка на дифракционную решётку с периодом 2,6 мкм угол дифракции, соответствующий максимуму второго порядка, равен 30°. Определить номер орбиты, на которой находился электрон атома в возбуждённом состоянии.

С1. В опыте Резерфорда по исследованию структуры атома тонкая золотая фольга облучалась потоком α-частиц. Определить минимальное расстояние, на которое α-частица, движущаяся со скоростью $v = 3 \cdot 10^7$ м/с, может приблизиться к неподвижному ядру золота при центральном «столкновении» с ним.

С2. Считая, что в одном акте деления ядра ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ освобождается $E_1 = 200$ МэВ, определить энергию, выделяющуюся при сгорании 1 кг ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ и массу каменного угля с удельной теплотой сгорания $q = 30$ кДж/г, эквивалентную в тепловом отношении 1 кг ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$.

Вариант 6

А1. Длина волны де Бройля нерелятивистского протона в два раза больше длины волны де Бройля нерелятивистского электрона. Вычислить отношение кинетической энергии электрона к кинетической энергии протона:

1) 459; 2) 1836; 3) 3672; 4) 7344.

А2. Определить изменение орбитального механического момента электрона в атоме водорода при переходе его из возбуждённого состояния в основное с испусканием фотона с длиной волны $\lambda = 1{,}02 \cdot 10^{-7}$ м:

1) $1{,}1 \cdot 10^{-30}$ Дж·с; 2) $2{,}1 \cdot 10^{-32}$ Дж·с; 3) $4{,}5 \cdot 10^{-32}$ Дж·с; 4) $2{,}1 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

А3. Каково соотношение между массой m ядра ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$ и суммой масс свободных нуклонов, из которых состоит это ядро:

1) $m < 3m_p + 4m_n$; 2) $m = 3m_p + 4m_n$;

3) $m > 3m_p + 4m_n$; 4) ответ неоднозначен?

А4. Если ядро радиоактивного изотопа урана ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ испытывает один альфа-распад и один бета-распад, то в результате образуется ядро изотопа:

1) ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$; 2) ${}^{234}_{91}\mathrm{Pa}$; 3) ${}^{230}_{90}\mathrm{Th}$; 4) ${}^{234}_{92}\mathrm{U}$.

А5. Период полураспада некоторого радиоактивного изотопа составляет 48 ч. Определить время, в течение которого распадётся 75 % начального количества ядер:

1) 13,8 ч; 1) 19,9 ч; 2) 66,5 ч; 3) 96,0 ч.

А6. Написать электронную конфигурацию атомов Li и P, занимающих в таблице Менделеева 3 и 15 места, соответственно:

1) $1s^2 2s^1$; $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$; 2) $1s^1 2s^1 2p^1$; $1s^2 2s^2 2p^5 3s^2 3p^3$;
3) $1s^1 2s^2$; $1s^1 2s^1 2p^6 3s^2 3p^4$; 4) $1s^2 2s^1$; $1s^1 2s^2 2p^5 3s^2 3p^4$.

А7. Длина волны де Бройля заряженной частицы, обладающей кинетической энергией 1 кэВ, равна 38,8 пм. Определить массу частицы:

1) $9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг; 2) $2{,}6\cdot 10^{-25}$ кг; 3) $1{,}4\cdot 10^{-31}$ кг; 4) $6{,}3\cdot 10^{-26}$ кг.

А8. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найти ширину ямы, если разность энергий между уровнями с $n_1 = 2$ и $n_2 = 3$ составляет $\Delta E = 30$ эВ:

1) 1,5 нм; 2) 2,5 нм; 3) 5,5 нм; 4) 10,5 нм.

А9. Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину 0,1 нм. Определить разность энергий $U - E$, при которой вероятность прохождения электрона сквозь барьер составит 0,5:

1) 0,245 эВ; 2) 0,352 эВ; 3) 0,458 эВ; 4) 0,550 эВ.

А10. Определить граничную длину волны K_α-серии характеристического рентгеновского излучения для платины ($Z = 78$). Константа экранирования $\sigma = 1$.

1) 20,5 пм; 2) 25,2 пм; 3) 30,5 пм; 4) 35,0 пм.

В1. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 1$ кВ. Известно, что неопределённость скорости составляет 0,1 % от её числового значения. Определить неопределённость координаты электрона.

В2. Какую кинетическую энергию необходимо сообщить протону, чтобы он смог расщепить покоящийся дейтрон (ядро дейтерия ${}^2_1\mathrm{H}$), энергия связи которого $E_{\text{св}} = 2{,}2$ МэВ?

В3. На первоначально покоившемся ядре изотопа ${}^6_3\mathrm{Li}$ упруго рассеялась α-частица с кинетической энергией $E = 7{,}0$ МэВ. Определить кинетическую энергию ядра отдачи, если угол между направлениями разлёта обеих частиц $\theta = 60°$.

В4. Начальная активность 1 г радия ($A = 226$, $Z = 88$) равна 1 Ки. Определить период полураспада этого изотопа.

В5. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом $n = 2$, если радиус орбиты электрона изменился в девять раз.

В6. Определить, как изменится длина волны де Бройля электрона в атоме водорода при переходе его с четвёртой боровской орбиты на вторую.

С1. Волновая функция, описывающая состояние некоторой частицы, имеет вид $\psi(r) = Ae^{-\frac{r^2}{2a^2}}$, где r – расстояние частицы от силового центра; a – постоянная. Используя условие нормировки волновой функции, определить нормировочный коэффициент A.

С2. В результате взаимодействия ядра дейтерия ${}_1^2\mathrm{H}$ с покоящимся ядром трития ${}_1^3\mathrm{H}$ образуется ядро гелия и нейтрон ${}_0^1\mathrm{n}$, вылетающий под углом $\alpha = 90°$ к направлению движения ядра дейтерия. Кинетическая энергия нейтрона $E_n = 14$ МэВ, энергия выхода этой реакции $E_{\text{вых}} = 15$ МэВ. Определить кинетическую энергию ядра дейтерия.

Вариант 7

А1. Вычислить граничную длину волны излучения в серии Бальмера для атома водорода:

1) 91,1 нм; 2) 121,5 нм; 3) 364,5 нм; 4) 656,1 нм.

А2. Электрон находится в основном состоянии в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной l. Определить вероятность обнаружения электрона в области $0 \le x \le l/3$:

1) 0,183; 2) 0,195; 3) 0,235; 4) 0,333.

А3. Электрон с кинетической энергией $E_{\text{к}} = 4$ эВ локализован в области размером $l = 1$ мк. Оценить с помощью соотношения неопределённостей относительную неопределённость его скорости:

1) $0{,}5 \cdot 10^{-4}$; 2) $1{,}0 \cdot 10^{-4}$; 3) $3{,}1 \cdot 10^{-4}$; 4) $6{,}3 \cdot 10^{-4}$.

А4. Найти отношение удельной энергии связи изотопа лития ${}_3^7\mathrm{Li}$ к удельной энергии связи трития ${}_1^3\mathrm{H}$:

1) 0,22; 2) 0,51; 3) 1,97; 4) 4,60.

А5. В цепочке радиоактивных превращений ${}_{92}^{235}\mathrm{U}$ в ${}_{82}^{207}\mathrm{Pb}$ содержится несколько альфа- и бета-распадов. Сколько распадов в этой цепочке:

1) 13; 2) 11; 3) 9; 4) 7?

А6. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если 5/8 начального количества ядер этого изотопа распалось за время $t = 849$ с:

1) 12 мин; 2) 18 мин; 3) 24 мин; 4) 36 мин.

А7. Определить угловой момент электрона на орбите атома водорода, если его скорость равна $1{,}092 \cdot 10^6$ м/с:

1) $1{,}0546 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; 2) $2{,}109 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

3) $4{,}2183 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; 4) $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

А8. Длина волны де Бройля для протона равна 1нм. Определить, какую ускоряющую разность потенциалов прошел протон:

1) 0,822 мВ; 2) 10,815 мВ; 3) 15,2 мВ; 4) 2,821 мВ.

А9. Как изменится значение энергии частицы в основном состоянии, находящейся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме, если её ширина уменьшится в два раза:

1) уменьшится в два раза; 2) уменьшится в четыре раза;
3) увеличится в два раза; 4) увеличится в четыре раза?

A10. Протон и электрон имеют одинаковую длину волны де Бройля. Вычислить отношение кинетической энергии электрона к кинетической энергии протона, если скорости частиц гораздо меньше скорости света:

1) 2,5; 2) 122; 3) 612; 4) 1836.

B1. Моноэнергетический пучок нейтронов, получаемый в результате ядерной реакции, падает на кристалл с периодом $d = 0{,}15\,\text{нм}$. Определить скорость нейтронов, если брэгговское отражение первого порядка наблюдается, когда угол скольжения $\vartheta = 30°$.

B2. Ширина следа электрона (обладающего кинетической энергией $E_\text{к} = 1{,}5\,\text{кэВ}$) на фотопластинке, полученного с помощью камеры Вильсона, составляет $\Delta x = 1\,\text{мкм}$. Определить с помощью соотношения неопределённостей $\Delta p_i \Delta x_i \geq \hbar / 2$, можно ли по данному следу обнаружить отклонение в движении электрона от законов классической механики.

B3. Нормальная концентрация радиоактивных веществ в воздухе составляет $n = 10^{-10}$ Ки/м^3. Какое количество радиоактивного стронция ${}^{89}_{38}\text{Sr}$ (период полураспада $T = 50{,}57\,\text{сут}$) достаточно добавить в $V = 1\,\text{м}^3$ воздуха, чтобы концентрация достигла предельно допустимой для живой ткани величины $n_\text{д} = 10^{-9}$ Ки/м^3?

B4. Какое количество α- и β-распадов претерпевает ${}^{237}_{93}\text{Np}$ при превращении в ${}^{229}_{90}\text{Th}$? Записать уравнение реакции.

B5. Период полураспада радиофосфора ${}^{32}_{15}\text{P}$ равен $T_{1/2} = 15\,\text{дней}$. Найти активность препарата ${}^{32}_{15}\text{P}$ через 10, 30, 90 дней после его изготовления, если начальная активность равна $A_0 = 100\,\text{мКи}$.

B6. Вычислить энергию фотона, соответствующего третьей линии в серии Бальмера.

C1. Определить длину волны фотона, импульс которого в два раза меньше импульса электрона, движущегося со скоростью 100 Мм/с.

C2. Решение стационарного уравнения Шрёдингера для частицы, находящейся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной l записано виде $\psi(x) = C_1 e^{ikx} + C_2 e^{-ikx}$, где $k^2 = 2mE/\hbar^2$. Используя граничные условия $\psi(0) = \psi(l) = 0$, получить выражение для волновой функции частицы (без определения нормировочной константы).

Вариант 8

A1. Какое из приведенных уравнений является одномерным стационарным уравнением Шрёдингера для частицы в потенциальном поле:

$$1)\ \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta+U(\vec{\mathbf{r}},t)\right]\Psi(\vec{\mathbf{r}},t)=i\hbar\frac{\partial\Psi(\vec{\mathbf{r}},t)}{\partial t};\quad 2)\ \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta+U(\vec{\mathbf{r}})\right]\Psi(\vec{\mathbf{r}})=E\Psi(\vec{\mathbf{r}});$$

$$3)\ \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}+U(x)\right]\psi(x)=E\psi(x);\quad 4)\ \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}+U(x,t)\right]\Psi(x,t)=i\hbar\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t}?$$

А2. Броуновская частица массой $m=10^{-13}$ г находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы $l=1\,\text{мм}$. Определить энергию частицы:

1) $2,6\cdot10^{-20}$ эВ; 2) $8,6\cdot10^{-20}$ эВ; 3) $5,6\cdot10^{-25}$ эВ; 4) $3,0\cdot10^{-27}$ эВ.

А3. Чтобы дебройлевская длина волны электрона уменьшилась от 0,10 нм до 0,05 нм, ему необходимо дополнительно сообщить энергию, равную:

1) 0,15 кэВ; 2) 0,37 кэВ; 3) 0,45 кэВ; 4) 0,60 кэВ.

А4. Воспользовавшись соотношением неопределённостей (3.11), оценить размытость ΔE энергетического уровня в атоме водорода для возбуждённого состояния, время жизни которого равно 10^{-8} с:

1) 33 нэВ; 2) 66 нэВ; 3) 207 нэВ; 4) 414 нэВ.

А5. Фотон с энергией 3,2 МэВ превратился в пару «электрон – позитрон». Если импульсы образовавшихся частиц одинаковы, то кинетическая энергия каждой частицы равна:

1) 0,97 МэВ; 2) 1,09 МэВ; 3) 1,45 МэВ; 4) 1,60 МэВ.

А6. Мощность атомной станции 200 МВт. Расход ядерного горючего $^{235}_{92}\text{U}$ в течение суток составляет 540 г. При делении одного ядра урана выделяется 200 МэВ энергии. Найти КПД этой станции:

1) 24 %; 2) 28 %; 3) 35 %; 4) 39 %.

А7. Имеется 4 г радиоактивного изотопа кобальта. Сколько граммов кобальта распадется за 213 сут, если его период полураспада 71 сут:

1) 0,875; 2) 2,5; 3) 3,5; 4) 3,875?

А8. Момент импульса электрона на орбите атома водорода равен $4,2183\cdot10^{-34}$ Дж$\cdot$с. Определить радиус орбиты:

1) 52,9 пм; 2) 212 пм; 3) 476 пм; 4) 0,846 нм.

А9. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны 520 нм:

1) 223 м/с; 2) 1400 м/с; 3) 4640 м/с; 4) 7000 м/с?

А10. Частица массой *m* находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной *l*. Если считать, что в пределах данной ямы укладывается целое число *n* дебройлевских полудлин волн, то возможные значения энергии этой частицы определяются выражением:

1) $\dfrac{h^2}{2ml^2}n^2$; 2) $\dfrac{h^2}{8ml^2}n$; 3) $\dfrac{h^2}{8ml^2}n^2$; 4) $\dfrac{\hbar^2}{8ml^2}n^2$

B1. Исходя из общей формулы для фазовой скорости ($v_ф = \omega / k$), определить фазовую скорость волны де Бройля свободно движущейся с постоянной скоростью v частицы в нерелятивистском и релятивистском случаях.

B2. Определить частоту вращения электрона, находящегося на первой боровской орбите, и эквивалентный ток.

B3. След пучка электронов на экране электронно-лучевой трубки имеет диаметр $d = 0{,}5$ мм. Расстояние от электронной пушки до экрана $l = 20$ см, ускоряющее напряжение $U = 10$ кВ. Оценить с помощью соотношения (3.10) неопределённость координаты электрона на экране.

B4. Используя табличные значения масс элементарных частиц с точностью до двух знаков после запятой, рассчитать энергию связи альфа-частицы.

B5. Какое количество α- и β-распадов претерпевает ${}^{233}_{92}\mathrm{U}$ при превращении в ${}^{221}_{87}\mathrm{Fr}$? Записать уравнение реакции.

B6. Первоначальная масса изотопа радия ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ равна 1 г. Вычислить начальную скорость распада, если период полураспада составляет 1600 лет.

C1. Определить главное квантовое число и радиус орбиты атома водорода, если скорость электрона на ней равна $v = 2{,}1877 \cdot 10^6$ м/с.

C2. Определить длину волны де Бройля электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов 700 кВ.

Вариант 9

A1. Электрон движется по окружности радиусом 1 см в однородном магнитном поле с индукцией 13 мТл. Определить его дебройлевскую длину волны:

1) 5,1 пм; 2) 29,1 пм; 3) 31,9 пм; 4) 5,1 нм.

A2. Какое из приведенных уравнений является одномерным стационарным уравнением Шрёдингера для свободной частицы:

1) $\left[-\dfrac{\hbar^2}{2m}\Delta + U(\vec{\mathbf{r}},t)\right]\Psi(\vec{\mathbf{r}},t) = i\hbar\dfrac{\partial\Psi(\vec{\mathbf{r}},t)}{\partial t}$; 2) $-\dfrac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi(\vec{\mathbf{r}}) = E\Psi(\vec{\mathbf{r}})$;

3) $-\dfrac{\hbar^2}{2m}\dfrac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E\psi(x)$; 4) $\left[-\dfrac{\hbar^2}{2m}\dfrac{d^2}{dx^2} + U(x,t)\right]\Psi(x,t) = i\hbar\dfrac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t}$?

A3. Частица с кинетической энергией $T = 20$ эВ движется слева направо и встречает потенциальный барьер высотой $U = 15$ эВ (рис. 3.3). Как изменится дебройлевская длина волны частицы при переходе через барьер:

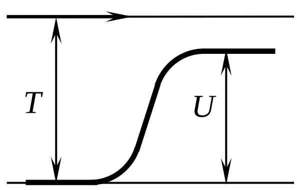


Рис. 3.3

1) увеличится в 1,33 раза; 2) уменьшится в 1,15 раза;
3) увеличится в 4,0 раза; 4) уменьшится в 2,0 раза.

A4. Сколько протонов содержит ядро урана-235:

1) 235; 2) 92; 3) 143; 4) 327?

A5. Какова должна быть кинетическая энергия электронного ускорителя для исследования структур с линейными размерами $l \sim 1\,\text{фм} = 10^{-15}$ м:

1) 100 МэВ; 2) 200 МэВ; 3) 600 МэВ; 4) 720 МэВ?

А6. Найти отношение энергии связи изотопа лития $^{7}_{3}\text{Li}$ к энергии связи трития $^{3}_{1}\text{H}$:

1) 0,22; 2) 0,51; 3) 1,97; 4) 4,60.

А7. Минимальная энергия налетающей α-частицы, необходимая для осуществления ядерной реакции $^{7}_{3}\text{Li} + ^{4}_{2}\text{He} \to ^{10}_{5}\text{B} + ^{1}_{0}\text{n}$, равна

1) 2,79 МэВ; 2) 4,38 МэВ; 3) 1,01 МэВ; 4) 5,56 МэВ.

А8. Какая доля начального количества радиоактивного вещества останется нераспавшейся через 1,5 периода полураспада:

1) 22,3 %; 2) 35,4 %; 3) 64,6 %; 4) 77,7 %?

А9. Момент импульса электрона на орбите атома водорода равен $3{,}162 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Определить скорость электрона:

1) $2{,}188 \cdot 10^{6}$ м/с; 2) $5{,}469 \cdot 10^{5}$ м/с; 3) $7{,}294 \cdot 10^{5}$ м/с; 4) $1{,}094 \cdot 10^{6}$ м/с.

А10. Определить кинетическую энергию электрона, у которого комптоновская и дебройлевская длины волн равны.

1) 212 кэВ; 2) 255 кэВ; 3) 361 кэВ; 4) 723 кэВ.

В1. Рассчитать постоянную распада λ изотопа полония $^{210}_{84}\text{Po}$ и число атомов полония, распавшихся в течение 10 сут после начала наблюдения, если исходная масса вещества 10 г, период полураспада 138,4 сут.

В2. Пучок электронов, ускоренный разностью потенциалов $V = 5$ В, встречает тонкую плёнку толщиной $d = 1$ нм, после прохождения которой он ослабевает в $N = 1000$ раз. Определить эффективную высоту эквивалентного потенциального барьера, создаваемого плёнкой.

В3. Длина волны фотона в 713 раз больше длины волны де Бройля электрона, обладающего кинетической энергией 2 эВ. Определить частоту ν фотона.

В4. Фотон с энергией 15,5 эВ выбивает электрон из невозбуждённого атома водорода. Определить скорость электрона после того, как он удалится от ядра атома на большое расстояние.

В5. Используя табличные значения масс элементарных частиц и изотопов, рассчитать энергию связи ядра изотопа бериллия $^{9}_{4}\text{Be}$.

В6. На свинцовый экран падает узкий монохроматический пучок γ-лучей с длиной волны 0,62 пм. Воспользовавшись графиком зависимости коэффициента линейного ослабления μ от энергии (рис. 3.2), найти толщину слоя половинного поглощения свинца.

С1. Вычислить число атомов радона $^{222}_{86}\text{Rn}$, распавшихся в течение первых суток, если первоначальная масса радона 1 г, период полураспада 3,82 сут. Вычислить постоянную распада радона λ.

С2. Определить главное квантовое число и скорость электрона на орбите, если радиус орбиты атома водорода равен $r_n = 8{,}4668 \cdot 10^{-10}$ м.

Вариант 10

А1. Как изменяется кинетическая энергия электрона при его переходе с первой орбиты на вторую:

1) увеличивается в 4 раза; 2) уменьшается в 4 раза;
3) увеличивается в 2 раза; 4) уменьшается в 2 раза?

А2. В эксперименте Дэвиссона и Джермера по дифракции электронов от монокристалла никеля оказалось, что в направлении, составляющем угол $\alpha = 55°$ с направлением падающих электронов, наблюдается максимум отражения четвёртого порядка при кинетической энергии электронов $T = 180$ эВ. Определить расстояние между кристаллографическими плоскостями никеля:

1) 0,167 нм; 2) 0,206 нм; 3) 0,263 нм; 4) 0,302 нм.

А3. Электрон находится в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 20 пм. Найти значение энергии электрона в основном состоянии:

1) 24 эВ; 2) 381 эВ; 3) 942 эВ; 4) 9,42 кэВ.

А4. Электрон с энергией $E = 4{,}66$ эВ движется слева на прямоугольный потенциальный барьер (рис 3.4) высотой $U_0 = 5{,}0$ эВ. Если вероятность прохождения электрона сквозь этот барьер (коэффициент прозрачности) составляет 0,2, то его ширина равна:

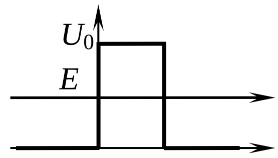


Рис. 3.4

1) 0,17 нм; 2) 0,20 нм; 3) 0,22 нм; 4) 0,27 нм.

А5. Источник излучает монохроматические световые импульсы. Сколько фотонов с длиной волны 450 нм содержит импульс с энергией $6{,}63 \cdot 10^{-18}$ Дж:

1) 1; 2) 10; 3) 15; 4) 100?

А6. На рис. 3.5 представлена диаграмма энергетических уровней некоторого атома. Какой стрелкой обозначен переход с излучением фотона наибольшей частоты:

1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4?

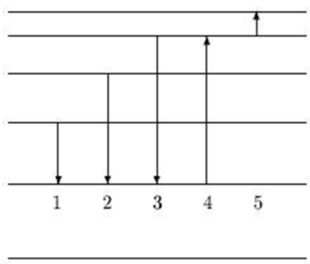


Рис. 3.5

А7. Сколько электронов находится в электронной оболочке однозарядного положительного иона изотопа углерода $^{14}_{6}C$:

1) 7; 2) 5; 3) 13; 4) 6?

А8. Какой частицей бомбардирован дейтерий в ядерной реакции $^{2}_{1}H + ? \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{1}_{0}n$:

1) нейтроном; 2) электроном; 3) гамма-квантом; 4) протоном?

А9. Какая доля начального количества радиоактивного вещества распадётся через два периода полураспада:

1) 13,5 %; 2) 25,0 %; 3) 86,5 %; 4) 75,0 %?

A10. Вычислить энергию, которую необходимо затратить для ионизации атома водорода, у которого электрон находится в первом возбуждённом состоянии:

1) 1,51 эВ; 2) 1,89 эВ; 3) 3,41 эВ; 4) 13,6 эВ.

B1. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны 5,20 пм?

B2. Частица массой m находится в одномерной потенциальной яме (рис. 3.6) в основном состоянии. Найти энергию основного состояния, если на краях ямы ψ-функция вдвое меньше, чем в середине ямы.

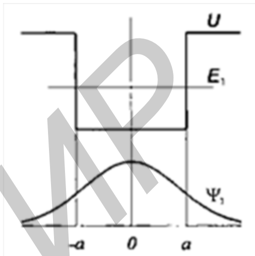


Рис. 3.6

B3. Электрон с энергией $E = 8 \cdot 10^{-19}$ Дж движется в положительном направлении оси X и встречает на своём пути прямоугольный потенциальный барьер высотой $U = 10$ эВ и шириной $a = 100$ пм. Определить вероятность просачивания электрона сквозь потенциальный барьер.

B4. Используя теорию Бора, определить орбитальный магнитный момент электрона, движущегося по третьей орбите атома водорода.

B5. Воспользовавшись графиком зависимости коэффициента линейного ослабления γ-излучения от энергии (рис. 3.2), рассчитать толщину защитного водяного слоя, который ослабляет интенсивность γ-лучей с энергией 1,6 МэВ в пять раз.

B6. С какой минимальной кинетической энергией должен двигаться атом водорода, чтобы при неупругом лобовом соударении с другим, покоящимся, атомом водорода один из них оказался способным испустить фотон? Предполагается, что до соударения оба атома находятся в основном состоянии.

C1. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле с индукцией B, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжёлый ион нового элемента. Трек тяжёлого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом R. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Масса α-частицы равна m_α, её заряд равен $2e$. Найти отношение заряда к массе тяжёлого иона.

C2. Вычислить число нераспавшихся в течение года атомов изотопа стронция ${}^{90}_{38}\mathrm{Sr}$, первоначальная масса которого равна 1 г, а период полураспада составляет 28,9 лет. Вычислить постоянную распада стронция λ.

4. ОБЪЕДИНЁННЫЙ ТЕСТ

А1. Луч лазера ($\lambda = 650\,\text{нм}$) испытывает дифракцию Фраунгофера на узкой щели. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии $d = 1\,\text{м}$ от щели, при этом второй дифракционный минимум оказался на расстоянии $\Delta l = 5\,\text{мм}$ от центрального максимума. Определить ширину щели:

1) 0,50 мм; 2) 0,42 мм; 3) 0,34 мм; 4) 0,26 мм.

А2. Граничная длина волны K_α-серии характеристического рентгеновского излучения для некоторого элемента равна $\lambda_{K_\alpha} = 0{,}0205\,\text{нм}$. Определить порядковый номер Z этого элемента и, воспользовавшись таблицей Менделеева, определить этот элемент:

1) $Z = 78$, Pt; 2) $Z = 28$, Fe; 3) $Z = 22$, Ti; 4) $Z = 42$, Mo.

А3. На мыльную плёнку ($n = 1{,}33$), находящуюся в воздухе, падает параллельный пучок монохроматических лучей ($\lambda = 0{,}52\,\text{мкм}$). Угол падения равен $\varphi = 61°10'$. При какой наименьшей толщине плёнки станут видны интерференционные полосы, если наблюдение ведётся в отражённом свете:

1) 10 мкм; 2) 13мкм; 3) 15 мкм; 4) 20 мкм?

А4. Определить общее число M максимумов, которое можно наблюдать для дифракционной решётки, имеющей 500 штрихов на 1 мм. Длина волны падающего света равна $\lambda = 0{,}598\,\text{мкм}$. Определить угол $\varphi_{\max}$, соответствующий максимуму наибольшего порядка:

1) $M = 3$, $\varphi_{\max} = 45°$; 2) $M = 6$, $\varphi_{\max} = 60°$;
3) $M = 6$, $\varphi_{\max} = 30°$; 4) $M = 7$, $\varphi_{\max} = 62°$.

А5. Определить начальную активность A_0 радиоактивного препарата магния ${}^{27}_{13}\text{Mg}$ массой $m = 0{,}2\,\text{мг}$, а также его активность A через время $t = 6\,\text{ч}$. Период полураспада магния $T_{1/2} = 9{,}5\,\text{мин}$:

1) $A_0 = 2{,}15\cdot10^{10}$ Бк, $A(t) = 75\,\text{кБк}$; 2) $A_0 = 4{,}15\cdot10^{3}$ Бк, $A(t) = 75\,\text{кБк}$;
3) $A_0 = 5{,}15\cdot10^{15}$ Бк, $A(t) = 75\,\text{кБк}$; 4) $A_0 = 1{,}25\cdot10^{20}$ Бк, $A(t) = 75\cdot10^{4}$ Бк.

А6. Вычислить дефект массы для ядра ${}^{7}_{3}\text{Li}$ (в атомных единицах массы), если известно, что $m({}^{7}_{3}\text{Li}) = 7{,}0160046\,\text{а. е. м.}$, $m_{\text{H}} = 1{,}00782503\,\text{а. е. м.}$, $m_n = 1{,}008664916\,\text{а. е. м.}$ Используя энергетический эквивалент атомной единицы массы, преобразуйте полученное значение.

1) $\Delta m = 0{,}0056\,\text{а. е. м.} = 52{,}14\,\text{МэВ}/c^2$; 2) $\Delta m = 0{,}0028\,\text{а. е. м.} = 26{,}08\,\text{МэВ}/c^2$;
3) $\Delta m = 0{,}0042\,\text{а. е. м.} = 39{,}12\,\text{МэВ}/c^2$; 4) $\Delta m = 0{,}0063\,\text{а. е. м.} = 58{,}68\,\text{МэВ}/c^2$.

А7. От двух когерентных источников S_1 и S_2 ($\lambda = 0{,}8\,\text{мкм}$) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную плёнку с показателем преломления $n = 1{,}33$, интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине плёнки это возможно:

1) 0,5 мк; 2) 0,8 мк; 3) 1,2 мк; 4)2,5 мк?

А8. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\vartheta = 90°$. Энергия рассеянного фотона $\varepsilon_2 = 0,4$ МэВ. Определить энергию фотона ε_1 до рассеяния:

1) 1,84 МэВ; 2) 1,20 МэВ; 3) 1,00 МэВ; 4) 0,85 МэВ.

А9. Пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 663$ нм падает нормально на плоскую зеркальную поверхность. Поток излучения $P = 0,6$ Вт. Определить силу давления *F*, испытываемую этой поверхностью, и число фотонов *n*, ежесекундно падающих на поверхность:

1) 2 мкН, $2 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$; 2) 12 мкН, $4 \cdot 10^{12}$ с$^{-1}$;

3) 12 нН, $2 \cdot 10^{16}$ с$^{-1}$; 4) 4 нН, $2 \cdot 10^{18}$ с$^{-1}$.

А10. Вычислить для основного состояния атома водорода радиус круговой орбиты электрона и его скорость:

1) $r_1 = 5,29 \cdot 10^{-11}$ м, $\upsilon_1 = 2,19 \cdot 10^6$ м/с; 2) $r_1 = 4,29 \cdot 10^{-10}$ м, $\upsilon_1 = 4,19 \cdot 10^5$ м/с;

3) $r_1 = 0,442 \cdot 10^{-12}$ м, $\upsilon_1 = 5,21 \cdot 10^8$ м/с; 4) $r_1 = 0,654 \cdot 10^{-8}$ м, $\upsilon_1 = 4,19 \cdot 10^5$ м/с.

В1. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: а) ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda_1 = 0,155$ мкм; б) γ-излучением с длиной волны $\lambda_2 = 1$ пм.

В2. Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол между их плоскостями пропускания составляет $\alpha = 60°$. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность I_0 естественного света: а) при прохождении через один николь N_1; б) при прохождении через оба николя. Коэффициент поглощения света в николе $k = 0,05$. Потери на отражение света не учитывать.

В3. На плосковыпуклую линзу нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 445,9$ нм, и в отражённом свете наблюдаются кольца Ньютона. Одно из колец имеет радиус $r = 5,3$ мм. Определить светлое или тёмное кольцо имеет такой радиус и вычислить его порядковый номер *m*. Радиус кривизны линзы $R = 18$ м.

В4. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошёл ускоряющую разность потенциалов *U*. Найти длину волны де Бройля электрона для двух случаев: $U_1 = 51$ В; $U_2 = 510$ кВ.

В5. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка $E_к = 10$ эВ. Используя соотношение неопределённостей, оценить минимальные линейные размеры атома.

В6. Волновая функция $\psi(x) = (2/l)^{1/2} \sin(\pi x / l)$ описывает основное состояние частицы в бесконечно глубоком прямоугольном ящике шириной *l*. Вычислить вероятность нахождения частицы в малом интервале $\Delta l = 0,01 \cdot l$ в двух случаях: вблизи стенки ($0 \le x \le \Delta l$); в средней части ящика ($\frac{l - \Delta l}{2} \le x \le \frac{l + \Delta l}{2}$).

С1. Оценить наибольшую энергию связи $E_{\text{св}}$ электрона, локализованного в области пространства, радиус которого $r_{\text{а}} \sim 10^{-10}$ м (атом) и $r_{\text{я}} \sim 10^{-15}$ м (атомное ядро). Какие выводы можно сделать из этой оценки, если учесть, что энергия связи ядерной частицы в ядре не превосходит энергии $E = 10\,\text{МэВ}$?

С2. Температура вольфрамового шарика уменьшилась в два раза, при этом длина волны $\lambda_{\max}$, на которую приходится максимум испускательной способности, изменилась на $\Delta\lambda = 805\,\text{нм}$. Принимая излучение вольфрама близким к излучению чёрного тела, определить начальную T_1 и конечную T_2 температуры шарика, время Δt, за которое произошло это понижение температуры. Масса шарика $m = 10\,\text{г}$, площадь его поверхности $S = 314\,\text{мм}^2$, удельная теплоёмкость вольфрама $c = 130\,\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$.

4.1. Решения объединённого теста

А1. Положение минимумов при дифракции Фраунгофера от одной щели описывается формулой (1.25):

$$b\sin\varphi = m\lambda,$$

где b –ширина щели;

φ – угол дифракции;

m – порядок минимума;

λ – длина волны падающего света.

Учитывая, что для малых углов $\sin\varphi \approx tg\varphi \approx \varphi$, формулу можно преобразовать к виду

$$b\,\mathrm{tg}\varphi = m\lambda,$$

где $\mathrm{tg}\varphi = \Delta l / d$.

Тогда

$$b = \frac{m\lambda}{\mathrm{tg}\varphi} = \frac{m\lambda d}{\Delta l}.$$

Проведя расчёт, найдём: $b = 26\cdot 10^{-5}\text{ м} = 0{,}26\text{ мм}$.

Ответ: 4) 0,26 мм.

А2. Порядковый номер элемента Z можно определить из формулы Мозли (3.32):

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty (Z-\sigma)^2 \left[\frac{1}{i^2} - \frac{1}{n^2}\right], \tag{4.1}$$

где λ – длина волны характеристического рентгеновского излучения;

R_∞ – постоянная Ридберга;

Z – порядковый номер элемента, из которого изготовлен электрод;

σ – постоянная экранирования;

i – номер энергетического уровня, на который переходит электрон;

n – номер энергетического уровня, с которого переходит электрон (для K_α-серии $i = 1$, $n = 2$, $\sigma = 1$).

Следовательно, из формулы (4.1) находим

$$Z = \sqrt{\frac{4}{3\lambda R_\infty}} + 1.$$

Произведём вычисления:

$$Z = \sqrt{\frac{4}{3 \cdot 0,205 \cdot 10^{-10} \cdot 1,097 \cdot 10^{7}}} + 1 = 78.$$

По таблице Менделеева определяем, что это значение Z соответствует платине (Pt).

Ответ: 1) $Z = 78$, Pt.

А3. Как известно, оптическая разность хода лучей, отразившихся от верхней и нижней поверхностей плёнки, определяется формулой (1.19):

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} + \frac{\lambda}{2}, \qquad (4.2)$$

где d – толщина плёнки в точке наблюдения;

n – показатель преломления пленки;

φ – угол падения лучей света;

λ – длина волны падающего света в вакууме.

Слагаемое $\lambda/2$ в формуле (4.2) учитывает потерю полуволны при отражении света от мыльной плёнки (т.е. от границы раздела воздух – плёнка).

Условие максимума при интерференции света означает, что если оптическая разность хода двух лучей равна чётному числу полуволн, то эти лучи (в соответствующей точке наблюдения) будут усиливать друг друга, т. е. дадут максимум света. Математически это записывается так:

$$\Delta = 2k\frac{\lambda}{2}, \; k = 1, 2, 3, \ldots, \qquad (4.3)$$

где Δ – оптическая разность хода когерентных лучей.

Когерентными лучами называются лучи, обладающие постоянством разности фаз. Когерентные лучи дают нам устойчивую картину интерференции.

В нашем случае в формуле (4.3) необходимо положить $k = 1$, так как толщина плёнки наименьшая. Тогда формула (4.3) примет вид

$$\Delta = \lambda, \qquad (4.4)$$

В формулах (4.2) и (4.4) левые части равны, следовательно, равны и правые:

$$2d_{\min}\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi} + \frac{\lambda}{2} = \lambda. \qquad (4.5)$$

Из уравнения (4.5) находим толщину пленки:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi}}. \qquad (4.6)$$

С учётом $\sin 61°10' = 0,876$ вычисления дают $d_{\min} = 13\,\text{мкм}$.

Ответ: 2) 13мкм.

А4. Период дифракционной решётки будет равен

$$d = \frac{1}{n} = \frac{1\,\text{мм}}{500} = 2\,\text{мкм}.$$

Для волновых максимумов, полученных с помощью дифракционной решётки, на которую свет падает нормально $\varphi_0 = 0$, справедливо соотношение (1.26):

$$d\sin\varphi = m\lambda, \tag{4.7}$$

где φ – угол отклонения лучей дифракционного максимума (угол дифракции);

λ – длина волны;

m – порядок максимума.

Из соотношения (4.7) определяем наибольший номер m или порядок высшего дифракционного максимума, который может дать данная решётка. Для этого предельный угол дифракции должен быть не больше 90°. Поэтому

$$m = \frac{d\sin\varphi_{\max}}{\lambda} \le \frac{d}{\lambda} = \frac{2{,}000}{0{,}598} = 3{,}4.$$

Так как m должно быть целым числом, то, следовательно, $m_{\max} = 3$. Ему соответствует угол дифракции $\varphi_{\max}$, который определяется формулой

$$\sin\varphi_{\max} = \frac{m_{\max}\lambda}{d} = 0{,}883, \text{ откуда } \varphi_{\max} = 62°.$$

Так как максимумы наблюдаются по обе стороны от центрального максимума, то общее число максимумов, которое даёт данная дифракционная решётка для лучей с $\lambda = 0{,}598$ мкм равно $M = 2m_{\max} + 1$.

Ответ: 4) $M = 7$, $\varphi_{\max} = 62°$.

А5. Активность *A* изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и определяется отношением числа *dN* ядер, распавшихся за время *dt*, к этому интервалу по формуле (3.43):

$$A = -\frac{dN}{dt}. \tag{4.8}$$

Знак «–» показывает, что число радиоактивных ядер с течением времени убывает.

Для того чтобы найти *dN*/*dt*, воспользуемся законом радиоактивного распада (3.40):

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \tag{4.9}$$

где N_0 – число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, в момент времени, принятый за начальный ($t = 0$);

N – число радиоактивных ядер в момент времени *t*;

λ – постоянная радиоактивного распада.

Продифференцируем выражение (4.9) по времени:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}. \tag{4.10}$$

Исключив *dN*/*dt* из формул (4.8) и (4.10), находим активность препарата в момент времени *t*:

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}. \qquad (4.11)$$

Начальную активность препарата получим при $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0. \qquad (4.12)$$

Постоянная радиоактивного распада λ связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ соотношением

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \qquad (4.13)$$

Число N_0 радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, равно произведению постоянной Авогадро $N_{\text{А}}$ на количество вещества данного изотопа:

$$N_0 = \frac{m}{M} N_{\text{А}}, \qquad (4.14)$$

где m – масса изотопа;

M – молярная масса.

С учётом выражений (4.13) и (4.14) формулы (4.12) и (4.11) принимают вид

$$A_0 = \frac{m \ln 2}{M T_{1/2}} N_{\text{А}}, \qquad (4.15)$$

$$A = \frac{m \ln 2}{M T_{1/2}} N_{\text{А}} e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}. \qquad (4.16)$$

Проведём вычисления, учитывая, что $t = 6\ \text{ч} = 360\ \text{мин}$, $\ln 2 = 0{,}693$. В результате получаем $A_0 = 5{,}15 \cdot 10^{15}$ Бк, $A(t) = 75$ кБк.

Ответ: 3) $A_0 = 5{,}15 \cdot 10^{15}$ Бк, $A(t) = 75$ кБк.

А6. Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных (находящихся вне ядра) протонов и нейтронов, из которых ядро образовалось. Дефект массы Δm и есть разность между суммой масс свободных нуклонов (протонов и нейтронов) и массой ядра, т. е.

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - M_{\text{я}}, \qquad (4.17)$$

где Z – атомный номер (число протонов в ядре);

A – массовое число (число нуклонов, составляющих ядро);

m_p, m_n и $M_{\text{я}}$ – массы протона, нейтрона и ядра, соответственно.

Так как в справочных таблицах приводятся массы нейтральных атомов, а не ядер, то преобразуем формулу (4.17), чтобы выразить дефект массы Δm через массу атома $M_{\text{а}}$. Масса атома $M_{\text{а}}$ очевидно равна сумме масс ядра $M_{\text{я}}$ и массы $Z m_e$ вращающихся вокруг него электронов, откуда следует

$$M_{\text{я}} = M_{\text{а}} - Z m_e. \qquad (4.18)$$

Подставляя (4.18) в (4.17), получим

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + (A - Z) m_n - M_{\text{а}} = Z M_{\text{H}} + (A - Z) m_n - M_{\text{а}}. \qquad (4.19)$$

Из таблиц элементарных частиц и изотопов находим:

$m_{\text{H}} = m_p + m_e = 1{,}00782503$ а. е. м. – масса атома водорода;

$m_n = 1,008664916$ а. е. м. – масса нейтрона;

$m({}^{7}_{3}\mathrm{Li}) = 7,01600455$ а. е. м. – масса изотопа лития ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$ ($Z = 3$, $A = 7$).

Подставляя все массы в (4.19) и учитывая энергетический эквивалент атомной массы (1 а. е. м. $\approx 931,5$ МэВ/c^2), получаем

$$\Delta m = Zm_{\mathrm{H}} + (A - Z)m_n + M({}^{7}_{3}\mathrm{Li}) =$$
$$= 3 \cdot 1,00782503 + 4 \cdot 1,008664916 - 7,01600455 =$$
$$= 0,042 \text{ а. е. м.} \approx 39,12 \text{ МэВ}/c^2 .$$

Ответ: 3) $\Delta m = 0,042$ а. е. м. $= 39,12$ МэВ/c^2.

А7. Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода пучков световых волн на нечётное число половин длин волн, т.е.

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{2k+1}{2}\lambda, \; k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots, \qquad (4.20)$$

где Δ_1 – оптическая разность хода пучков световых волн до внесения плёнки;

Δ_2 – оптическая разность хода тех же пучков после внесения плёнки;

Наименьшей толщине $d_{\min}$ плёнки соответствует $k = 0$. При этом формула (4.20) примет вид

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \lambda / 2 . \qquad (4.21)$$

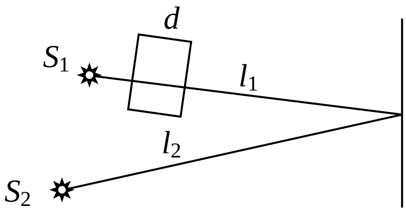


Рис. 4.1

Выразим оптические разности хода Δ_1 и Δ_2. Из рис. 4.1 следует

$\Delta_1 = l_1 - l_2$, $\Delta_2 = [(l_1 - d_{\min}) + nd_{\min}] - l_2 = (l_1 - l_2) + d_{\min}(n-1)$.

Подставим выражения Δ_1 и Δ_2 в формулу (4.21):

$$(l_1 - l_2) + d_{\min}(n-1) - (l_1 - l_2) = d_{\min}(n-1) = \lambda / 2 .$$

Отсюда $d_{\min} = \dfrac{\lambda}{2(n-1)} = 1,2$ мкм.

Ответ: 3) 1,2 мк.

А8. Для определения энергии первичного фотона воспользуемся формулой Комптона (2.36):

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta), \qquad (4.22)$$

где $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ – изменение длины волны фотона в результате рассеяния на свободном электроне;

h – постоянная Планка;

m_e – масса покоя электрона;

c – скорость света в вакууме;

θ – угол рассеяния фотона.

Преобразуем формулу (4.22), выразив в ней длины волн λ_1 и λ_2 через энергии ε_1 и ε_2 соответствующих фотонов, воспользовавшись формулой (2.27) $\varepsilon = hc/\lambda$ и умножив числитель и знаменатель правой части формулы на *c*. Тогда

$$\Delta\lambda = \frac{hc}{\varepsilon_2} - \frac{hc}{\varepsilon_1} = \frac{hc}{m_e c^2}(1-\cos\theta)\,. \tag{4.23}$$

Сокращая на *hc* и выражая из этой формулы искомую энергию, находим

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2 m_e c^2}{m_e c^2 - \varepsilon_2(1-\cos\theta)} = \frac{\varepsilon_2 E_0}{E_0 - \varepsilon_2(1-\cos\theta)} = \frac{\varepsilon_2 E_0}{E_0 - \varepsilon_2}\,, \tag{4.24}$$

где E_0 – энергия покоя электрона и учтено, что $\cos\theta = \cos 90^\circ = 0$.

Вычисления по формуле (4.24) удобнее вести во внесистемных единицах. Так как для электрона $E_0 = 0{,}51$ МэВ, то $\varepsilon_1 = 1{,}84$ МэВ.

Ответ: 1) 1,84 МэВ.

А9. Сила светового давления на поверхность равна произведению светового давления *p* на площадь *S* поверхности:

$$F = pS\,. \tag{4.25}$$

Световое давление может быть найдено по формуле (2.32):

$$p = \frac{E_э}{c}(1+\rho)\,, \tag{4.26}$$

где $E_э$ – энергетическая освещённость поверхности;

c – скорость света в вакууме;

ρ – коэффициент отражения.

Подставляя правую часть выражения (4.26) в формулу (4.25), получаем

$$F = \frac{E_э S}{c}(1+\rho)\,.$$

Поскольку $E_э S$ представляет собой поток излучения *P*, то

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

Проведём вычисления, учитывая, что для зеркальной поверхности $\rho = 1$: $F = 4$ нН.

Произведение энергии ε одного фотона на число фотонов *n*, ежесекундно падающих на поверхность, равно мощности излучения, т. е. потоку излучения: $P = \varepsilon n$, а так как энергия фотона $\varepsilon = hc/\lambda$, то

$$P = \frac{hcn}{\lambda}\,,$$

откуда

$$n = \frac{P\lambda}{hc} = 2\cdot 10^{18}\ \text{с}^{-1}\,.$$

Ответ: 4) 4 нН, $2\cdot 10^{18}$ с$^{-1}$.

А10. При движении электрона по орбите кулоновская сила взаимодействия электрона и ядра является центростремительной силой

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}, \qquad (4.27)$$

где $e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл – абсолютное значение заряда электрона или ядра атома водорода;

$\varepsilon_0 \approx 8{,}85\cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

$m_e \approx 9{,}1\cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона;

r_n – радиус орбиты электрона;

v_n – скорость движения электрона по орбите;

n – порядковый номер орбиты.

Формулу (4.26) можно переписать в виде

$$\frac{m_e e^2}{4\pi\varepsilon_0} r_n = m_e^2 v_n^2 r_n^2 = L_n^2, \qquad (4.28)$$

где $L_n = m_e v_n r_n$ – момент импульса электрона на орбите.

Из первого постулата Бора следует, что момент импульса принимает дискретный ряд значений (3.2):

$$L_n = m_e v_n r_n = n\hbar,\ n = 1, 2, 3, \ldots, \qquad (4.29)$$

где $\hbar = h/2\pi \approx 1{,}05\cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, делённая на 2π.

Подставляя (4.29) в (4.28), находим радиус орбиты

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n^2. \qquad (4.30)$$

Из формулы (4.29) следует

$$v_n = \frac{L_n}{m_e r_n} = \frac{n\hbar}{m_e r_n}. \qquad (4.31)$$

Подставляя радиус орбиты (4.30) в формулу (4.31), находим выражение для скорости электрона на орбите

$$v_n = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar n}. \qquad (4.32)$$

Формулы (4.30) и (4.32) можно записать в другом виде. Заметим, что величина $\alpha = e^2/4\pi\varepsilon_0\hbar c$ является безразмерной, и её современное значение определено с точностью

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar c} = 7{,}2973525698\cdot 10^{-3} \approx \frac{1}{137{,}035999074}. \qquad (4.33)$$

Эта величина была введена А. Зоммерфельдом и называется постоянной тонкой структуры. Для расчётов принимается значение $\alpha \approx 1/137$.

Тогда формулы (4.30) и (4.32) с учётом (4.33) перепишем в виде

$$r_n = \frac{\alpha^{-1}\hbar}{m_e c} n^2 = (2\pi\alpha)^{-1}\frac{h}{m_e c} n^2 = (2\pi\alpha)^{-1}\lambda_e n^2 = \alpha^{-1}\bar{\lambda}_e n^2, \qquad (4.34)$$

$$v_n = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar n} = \frac{\alpha c}{n}, \qquad (4.35)$$

где $\lambda_e = h / m_e c \approx 2{,}43\,\text{пм}$ – комптоновская длина волны электрона;

$\bar{\lambda}_e = \hbar / m_e c \approx 0{,}386\,\text{пм}$.

Таким образом, радиус орбиты выражается в единицах комптоновской длины волны, а скорость – в единицах скорости света.

Подставляем числовые значения и вычисляем для $n = 1$: $r_1 = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ м, $\upsilon_1 = 2{,}19 \cdot 10^6$ м/с.

Ответ: 1) $r_1 = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ м, $\upsilon_1 = 2{,}19 \cdot 10^6$ м/с.

В1. Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта (2.29):

$$\varepsilon = A_{\text{вых}} + T_{\max}, \tag{4.36}$$

где ε – энергия фотонов, падающих на поверхность металла;

$A_{\text{вых}}$ – работа выхода;

$T_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Энергия фотонов вычисляется по формуле (2.27):

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}, \tag{4.37}$$

где h – постоянная Планка;

c – скорость света в вакууме;

λ – длина волны фотона.

Кинетическая энергия электрона может быть выражена или по классической формуле

$$T_{\max} = \frac{m_e \upsilon_{\max}^2}{2}, \tag{4.38}$$

или по релятивистской формуле

$$T_{\max} = m_e c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \upsilon_{\max}^2 / c^2}} - 1 \right] \tag{4.39}$$

в зависимости от того, какая скорость сообщается фотоэлектрону. Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект: если энергия фотона много меньше энергии покоя $E_0 = m_e c^2 = 0{,}51\,\text{МэВ}$ электрона, то может быть применена формула (4.38), если же энергия сравнима или больше по величине E_0, то вычисление по формуле (4.38) приводит к ошибке, поэтому нужно пользоваться формулой (4.39).

Вычисление энергии фотона ультрафиолетового излучения по формуле (4.37) даёт $\varepsilon_1 = 1{,}28 \cdot 10^{-18}\,\text{Дж} = 8\,\text{эВ}$. Это значение энергии фотона значительно меньше энергии покоя электрона (0,51 МэВ). Следовательно, для данного случая кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (4.36) может быть выражена по классической формуле (4.38):

$$\varepsilon_1 = A_{\text{вых}} + \frac{m_e \upsilon_{\max}^2}{2},$$

откуда

$$\upsilon_{\max} = c\sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A_{\text{вых}})}{m_e c^2}}\,, \tag{4.40}$$

Подставляя значения величин в формулу (4.40) и учитывая, что работа выхода для серебра равна 4,28 эВ, найдём $\upsilon_{\max} = 1{,}16 \cdot 10^6$ м/с.

Вычисление энергии фотона γ-излучения по формуле (4.37) даёт $\varepsilon_2 = 1{,}99 \cdot 10^{-13}$ Дж $= 1{,}24$ МэВ.

Работа выхода электрона (4,28 эВ) пренебрежимо мала по сравнению с энергией фотона (1,24 МэВ), поэтому можно принять, что максимальная кинетическая энергия электрона равна энергии фотона: $T_{\max} = \varepsilon_2 = 1{,}24$ МэВ. Так как в данном случае кинетическая энергия электрона больше его энергии покоя, то для вычисления скорости электрона следует взять релятивистскую формулу для кинетической энергии (4.39). Из этой формулы найдём выражение

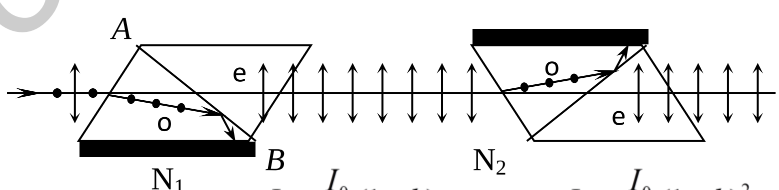
$$\upsilon_{\max} = c\frac{\sqrt{\varepsilon_2(2E_0 + \varepsilon_2)}}{E_0 + \varepsilon_2}\,,$$

из которого получаем значение $\upsilon_{\max} = 2{,}87 \cdot 10^8$ м/с.

Ответ: а) $\upsilon_{\max} = c\sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A_{\text{вых}})}{m_e c^2}} = 1{,}16 \cdot 10^6$ м/с;

б) $\upsilon_{\max} = c\frac{\sqrt{\varepsilon_2(2E_0 + \varepsilon_2)}}{E_0 + \varepsilon_2} = 2{,}87 \cdot 10^8$ м/с.

В2. А. Естественный свет, падая на грань призмы Николя N_1 (рис. 4.2), расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два пучка: обыкновенный (о) и необыкновенный (е). Оба пучка одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Плоскость колебаний необыкновенного пучка лежит в плоскости чертежа (плоскость главного сечения). Плоскость колебаний обыкновенного пучка перпендикулярна плоскости чертежа. Обыкновенный пучок света (о) вследствие полного отражения от границы *АВ* отбрасывается на зачернённую поверхность призмы и поглощается ею. Необыкновенный пучок (е) проходит через призму, уменьшая свою интенсивность вследствие поглощения.



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

Рис. 4.2

Таким образом, интенсивность света, прошедшего через первую призму, будет равна

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

Относительное уменьшение интенсивности света получим, разделив интенсивность I_0 естественного света, падающего на первый николь, на интенсивность I_1 поляризованного света:

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{I_0}{(1/2)I_0(1-k)} = \frac{2}{1-k}. \qquad (4.41)$$

Вычисление этого отношения даёт $I_0 / I_1 = 2{,}1$. Таким образом, интенсивность уменьшается в 2,1 раза.

Б. Плоскополяризованный пучок света падает на второй николь N_2 и также расщепляется на два пучка различной интенсивности: обыкновенный и необыкновенный. Обыкновенный пучок полностью поглощается призмой, поэтому его интенсивность нас не интересует. Интенсивность I_2 необыкновенного пучка, вышедшего из призмы N_2, определяется законом Малюса (1.34) с учётом поглощения света во втором николе:

$$I = (1-k)I_0 \cos^2\alpha,$$

где α – угол между плоскостью колебаний в поляризованном пучке и плоскостью пропускания николя N_2.

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба николя найдём, разделив интенсивность I_0 естественного света на интенсивность I_2 света, прошедшего систему из двух николей:

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

Заменяя отношение I_0 / I_1 его выражением по формуле (4.41), получаем

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-k)^2\cos^2\alpha} = 8{,}86.$$

Таким образом, после прохождения света через два николя интенсивность его уменьшается в 8,86 раза.

Ответ: а) $\dfrac{I_0}{I_1} = \dfrac{2}{1-k} = 2{,}1$; б) $\dfrac{I_0}{I_2} = \dfrac{2}{(1-k)^2\cos^2\alpha} = 8{,}86$.

В3. Радиус светлых колец Ньютона в отражённом свете определяется формулой (1.20), или

$$r^2 = \frac{2m-1}{2}\lambda R, \; m = 1, 2, 3, \ldots.$$

Радиус тёмных колец находится по формуле (1.21), или

$$r^2 = m\lambda R, \; m = 1, 2, 3, \ldots.$$

Для ответа на вопрос нужно определить целое или полуцелое число стоит перед λR. Обозначим это число через *x* и проведём вычисления

$$x = \frac{r^2}{\lambda R} = \frac{5{,}3^2 \cdot 10^{-6}}{445{,}9 \cdot 10^{-9} \cdot 18} = 3{,}5,$$

откуда $m = 4$.

Ответ: кольцо является светлым кольцом порядка $m = 4$.

В4. Длина волны де Бройля для частицы зависит от её импульса и определяется формулой (3.9):

$$\lambda_{\text{B}} = \frac{h}{p}, \tag{4.42}$$

где h – постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна её кинетическая энергия $E_{\text{к}}$. Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия много меньше её энергии покоя) и для релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0 E_{\text{к}}}, \tag{4.43}$$

где m_0 – масса покоя частицы.

В релятивистском случае

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_{\text{к}}(2E_0 + E_{\text{к}})}, \tag{4.44}$$

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

Формулу (4.42) с учётом соотношений (4.43) и (4.44) в нерелятивистском случае запишем

$$\lambda_{\text{B}} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_{\text{к}}}}, \tag{4.45}$$

а в релятивистском случае

$$\lambda_{\text{B}} = \frac{hc}{\sqrt{E_{\text{к}}(2E_0 + E_{\text{к}})}}. \tag{4.46}$$

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов $U_1 = 51\,\text{В}$ и $U_2 = 510\,\text{кВ}$, с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим, какую из формул (4.45) или (4.46) следует применить для вычисления волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U, равна $E_{\text{к}} = eU$. В первом случае $E_{\text{к}1} = eU_1 = 51\,\text{эВ}$, что много меньше энергии покоя электрона $E_0 = m_e c^2 = 0{,}51\,\text{МэВ}$. Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4.45). Для упрощения расчётов заметим, что $E_{\text{к}1} = 10^{-4} m_e c^2$. Подставив это выражение в формулу (4.45), перепишем её в виде

$$\lambda_{\text{B}1} = \frac{h}{\sqrt{2m_e \cdot 10^{-4} m_e c^2}} = \frac{10^2}{\sqrt{2}}\frac{h}{m_e c} = \frac{10^2 \lambda_e}{\sqrt{2}},$$

где $\lambda_e = \dfrac{h}{m_e c} \approx 2{,}43\,\text{пм}$ – комптоновская длина волны электрона (2.33).

Таким образом, $\lambda_{\text{B}1} = 172\,\text{пм}$.

Во втором случае $E_{к2} = eU_2 = 0{,}51\,\text{МэВ}$, т. е. кинетическая энергия равна энергии покоя электрона: $E_{к2} = m_e c^2$. Здесь необходимо применить релятивистскую формулу (4.46). В результате находим

$$\lambda_{В2} = \frac{hc}{\sqrt{m_e c^2(2m_e c^2 + m_e c^2)}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{h}{m_e c} = \frac{\lambda_e}{\sqrt{3}}.$$

Подстановка значения λ_e и последующее вычисление даёт $\lambda_{В2} = 1{,}40\,\text{пм}$.

Ответ: а) $\lambda_{В1} = \frac{10^2 \lambda_e}{\sqrt{2}} = 172\,\text{пм}$; б) $\lambda_{В2} = \frac{\lambda_e}{\sqrt{3}} = 1{,}40\,\text{пм}$.

В5. Соотношение неопределённостей для координаты и импульса имеет вид (3.10):

$$\Delta x \Delta p \ge \hbar / 2,$$

где Δx – неопределённость координаты электрона;
Δp – неопределённость импульса электрона;
$\hbar$ – постоянная Планка h, делённая на 2π.

Из соотношения неопределённостей следует: чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределённым становится импульс, а следовательно, и энергия частицы.

Пусть атом имеет линейные размеры d, тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределённостью

$$\Delta x = \frac{d}{2}. \tag{4.47}$$

Соотношение неопределённостей можно записать в этом случае в виде $d\Delta p \ge \hbar$, откуда

$$d \ge \frac{\hbar}{\Delta p}. \tag{4.48}$$

Физически разумная неопределённость импульса Δp во всяком случае не должна превышать значения самого импульса, т. е. $\Delta p \le p$. Импульс p связан с кинетической энергией $E_к$ соотношением $p = \sqrt{2m_e E_к}$. Заменим Δp значением $\sqrt{2m_e E_к}$ (такая замена не увеличит d). Переходя от неравенства к равенству, получим

$$d_{\min} = \frac{\hbar}{\sqrt{2m_e E_к}}.$$

Вычисления приводят к значению $d_{\min} = 60\,\text{пм}$.

Ответ: $d_{\min} = \frac{\hbar}{\sqrt{2m_e E_к}} = 60\,\text{пм}$.

В6. Вероятность того, что частица будет обнаружена в интервале dx (от x до $x + dx$) пропорциональна этому интервалу и квадрату модуля волновой функции, описывающей данное состояние:

$$dW = w(x)dx = |\psi(x)|^2\, dx.$$

Графики зависимости волновой функции $\psi(x)$ и плотности вероятности

$w(x)$ изображены на рис. 4.3. В первом случае искомая вероятность найдётся интегрированием в пределах от 0 до $\Delta l = 0{,}01 \cdot l$:

$$W = W(\Delta l) = \frac{2}{l} \int_0^{0{,}01 \cdot l} \sin^2(\pi x / l) dx .$$

Знак модуля опущен, так как в данном случае функция $\psi(x)$ является вещественной.

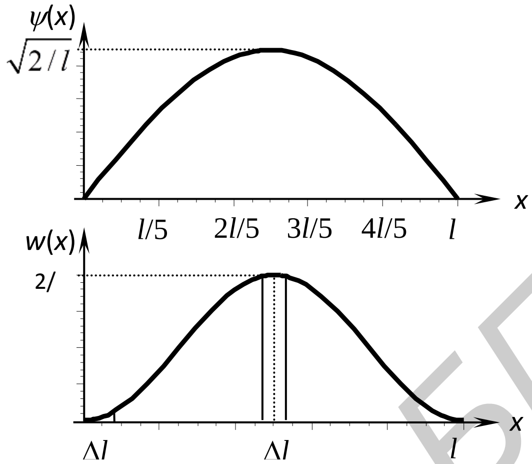


Рис. 4.3

Так как x изменяется в интервале $0 \le x \le 0{,}01 \cdot l$ и, следовательно, $\pi x / l \ll 1$, справедливо приближённое равенство

$$\sin^2(\pi x / l) \approx (\pi x / l)^2 .$$

С учётом этого выражение (4.48) примет вид

$$W = \frac{2}{l} \int_0^{0{,}01 \cdot l} \frac{\pi^2 x^2}{l^2} dx = \frac{2\pi^2}{l^3} \int_0^{0{,}01 \cdot l} x^2 dx = \frac{2\pi^2}{l^3} \frac{(0{,}01 \cdot l)^3}{3} = 6{,}6 \cdot 10^{-6} .$$

Во втором случае можно обойтись без интегрирования, так как квадрат модуля волновой функции вблизи её максимума в заданном малом интервале $\Delta l = 0{,}01 \cdot l$ практически не изменяется. Искомая вероятность во втором случае определяется выражением

$$W = |\psi(l/2)|^2 \, \Delta l ,$$

или

$$W = \frac{2}{l} \Delta l \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{l} \cdot \frac{l}{2}\right) = \frac{2}{l} \cdot 0{,}01 \cdot l = 0{,}02 .$$

Ответ: а) $W(\Delta l) = 6{,}6 \cdot 10^{-6}$; б) $W(\Delta l) = 0{,}02$.

С1. Воспользуемся соотношением неопределённостей Гайзенберга в форме точного неравенства

$$\overline{\Delta x^2} \cdot \overline{\Delta p^2} \ge \hbar^2 / 4 , \qquad (4.49)$$

где $\overline{\Delta x^2}$, $\overline{\Delta p^2}$ – среднеквадратичные отклонения (квадратичные флуктуации) измеренных значений координаты и импульса электрона от их истинных значений;

$\hbar$ – постоянная Планка h, делённая на 2π.

Пусть истинные значения координаты и импульса электрона равны x и p, а средние значения всех измерений координаты $\bar{x}$ и импульса $\bar{p}$. Тогда $\Delta x = x - \bar{x}$, $\Delta p = p - \bar{p}$. Если линейные размеры области пространства $2r$, то электрон будет находиться где-то в пределах области с неопределённостью

$$\Delta x = r\text{, откуда } \overline{\Delta x^2} = r^2. \qquad (4.50)$$

В данной области электрон может иметь любой импульс, не превышающий максимальный импульс, определяющий его энергию связи, равную $E_{\text{св}} = p_{\max}^2 / 2m_e$. Следовательно, электрон будет иметь неопределённость в импульсе, равную

$$\Delta p = p_{\max} = \sqrt{2m_e E_{\text{св}}}\text{, откуда } \overline{\Delta p^2} = \overline{p_{\max}^2} = 2m_e E_{\text{св}}. \qquad (4.51)$$

Подставляя формулы (4.50) и (4.51) в соотношение неопределённостей (4.49), получим

$$\overline{\Delta x^2} \cdot \overline{\Delta p^2} = 2m_e r^2 E_{\text{св}} \geq \hbar^2 / 4, \qquad (4.52)$$

откуда находим окончательно

$$E_{\text{св}} \geq \hbar^2 / 8m_e r^2. \qquad (4.53)$$

Произведём вычисления для $r_{\text{а}} \sim 10^{-10}$ м и $r_{\text{я}} \sim 10^{-15}$ м в электронвольтах:

$$E_{\text{а,св}} \geq \frac{\hbar^2}{8m_e r_{\text{а}}^2} = \frac{(1{,}05 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^{-10})^2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}\ \text{эВ} \approx 0{,}95\ \text{эВ},$$

$$E_{\text{я,св}} \geq \frac{\hbar^2}{8m_e r_{\text{я}}^2} = \frac{(1{,}05 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^{-15})^2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}\ \text{эВ} \approx 10^{10}\ \text{эВ} = 10^4\ \text{МэВ}.$$

Последнее значение говорит о том, что электроны не могут находиться в ядре, так как энергия связи ядерной частицы в ядре не может быть выше $E = 10\ \text{МэВ}$.

Ответ: $E_{\text{а,св}} \gtrsim \hbar^2 / 8m_e r^2 = 0{,}95\ \text{эВ}$ для электрона в атоме,

$E_{\text{св}} \gtrsim 10^4\ \text{МэВ}$ для электрона в ядре.

С2. Для определения температур T_1 и T_2 используем закон смещения Вина – Голицына (2.19):

$$\lambda_{\max 1} = \frac{b}{T_1},\ \lambda_{\max 2} = \frac{b}{T_2}.$$

Учитывая, согласно условию задачи, что $\Delta\lambda = \lambda_{\max 1} - \lambda_{\max 2}$ и $T_2 = T_1 / 2$, получим

$$T_1 = \frac{b}{\Delta\lambda},\ T_2 = \frac{b}{2\Delta\lambda}.$$

Произведя вычисления, найдём $T_1 = 3600\ \text{К}$, $T_2 = 1800\ \text{К}$.

Понижение температуры нелинейно во времени. Чтобы ответить на второй вопрос, поставленный в условии, воспользуемся определением энергетической светимости в виде (2.8):

$$R_э = \frac{dW}{Sdt},$$

где dW – энергия, излучаемая поверхностью S шарика за время dt.

С другой стороны, эта энергия по закону сохранения энергии равна количеству тепловой энергии, выделившейся при изменении температуры шарика на величину dT:

$$dW = -cmdT,$$

где c – удельная теплоёмкость вольфрама;

m – масса шарика.

Тогда

$$R_э Sdt = -cmdT.$$

Учитывая закон Стефана – Больцмана (2.16)

$$R_э = \sigma T^4,$$

получим уравнение

$$\sigma T^4 Sdt = -cmdT.$$

После разделения переменных получим выражение

$$\sigma Sdt = -cm\frac{dT}{T^4},$$

проинтегрировав которое, получим

$$\int_0^t \sigma Sdt = \sigma St = -mc\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^4} = \frac{mc}{3}\left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3}\right),$$

откуда

$$t = \frac{mc}{3\sigma S}\left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3}\right) \approx 3{,}65\ \text{с}.$$

Ответ: а) $T_1 = 3600$ К, $T_2 = 1800$ К; б) $t = \frac{mc}{3\sigma S}\left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3}\right) \approx 3{,}65\ \text{с}$.

Ответы к первым вариантам по темам

Задание	Оптика	Квантовая природа излучения	Квантовая механика и физика атома. Ядерная физика
A1	4	1	4
A2	3	3	3
A3	2	4	1
A4	3	2	2
A5	1	1	3
A6	2	3	2
A7	4	1	1
A8	2	2	3
A9	4	–	2
A10	2	–	3
B1	548 мкм	300	6068 км/с
B2	1,88 м	2500 К	$l \sim \dfrac{h}{2}\sqrt{\dfrac{2n+1}{3m_e kT}}$
B3	$I = 2I_0$	6040 К; $4{,}58\cdot10^{26}$ Вт	172 пм
B4	0,113 мкм	$6{,}16\cdot10^{18}$ с$^{-1}$; $1{,}16\cdot10^{19}$ с$^{-1}$; $1{,}1\cdot10^{19}$ с$^{-1}$; $5{,}9\cdot10^{18}$ с$^{-1}$; $4{,}6\cdot10^{18}$ с$^{-1}$; $5{,}1\cdot10^{18}$ с$^{-1}$	$1{,}03\cdot10^{-15}$ эВ
B5	1,33	$F(\nu/T) = \dfrac{2\pi kT}{c^2\nu}$	$\Delta p_x / p_x = 2{,}5\cdot10^{-6}$, нельзя
B6	32′54″	–	156 МэВ/$\tilde{n}^2$
C1	$d = \dfrac{2l(\lambda_2-\lambda_1)}{\lambda_1+\lambda_2} = 35$ мкм	$q = 4\pi\varepsilon_0 R\left(\dfrac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}\right) = 1{,}8\cdot10^{-11}$ Кл	$B = \dfrac{\Delta E}{eR(1+m_\alpha/M)}$
C2	$\lambda = \dfrac{2}{m}\sqrt[3]{\dfrac{M}{2N_\text{A}\rho}}\sin\theta = 244$ пм	$p = \dfrac{4\Delta E(1+\rho)}{\pi d^2 c\Delta t} = 4{,}9$ МПа	$T_{1/2} = -\dfrac{t\ln 2}{\ln(1-\eta)} = 10$ мин

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Фундаментальные физические константы

Таблица П.1

Константа	Численное значение
1	2
Ньютоновская гравитационная постоянная	$G_\mathrm{N} = 6,67384(80)\cdot 10^{-11}$ Н · м^2/кг^2
Стандартное ускорение свободного падения	$g_\mathrm{N} = 9,80665$ м/с^2
Тропический год	$31556925,2$ с $\approx \pi \cdot 10^7$ с
Масса Земли	$M_\oplus = 5,9726(7)\cdot 10^{24}$ кг
Радиус Земли	$R_\oplus = 6,378137\cdot 10^{6}$ м
Масса Солнца	$M_\odot = 1,9885(2)\cdot 10^{30}$ кг
Радиус Солнца	$R_\odot = 6,9551(6)\cdot 10^{8}$ м
Скорость света в вакууме	$c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0} = 299792458$ м/с точно
Электрическая постоянная (проницаемость свободного пространства)	$\varepsilon_0 = 8,854187817\cdot 10^{-12}$ Ф/м $1/4\pi\varepsilon_0 = c^2\cdot 10^{-7} \approx 3\cdot 10^{9}$ м/Ф
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ Гн / м
Элементарный заряд	$e = 1,602176565(35)\cdot 10^{-19}$ Кл
Отношение заряда электрона к его массе	$e/m_e = 1,7588047\cdot 10^{11}$ Кл / кг
Постоянная Планка	$h = 2\pi\hbar = 6,62606957(29)\cdot 10^{-34}$ Дж · с $\hbar = 1,054571726(47)\cdot 10^{-34}$ Дж · с
Нормальные условия для идеального газа: – объём 1 моля газа – нормальное давление – нормальная температура – концентрация молекул	$V_0 = 22,413968(20)\cdot 10^{-3}$ м^3/моль $P_0 = 101325$ Па ; $T_0 = 273,15$ K $n_0 = \dfrac{P_0}{kT_0} = 2,688\cdot 10^{25}$ м$^{-3}$
Постоянная Авогадро	$N_\mathrm{A} = 6,02214129(27)\cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,3806488(13)\cdot 10^{-23}$ Дж/К $=$ $= 8,6173324(78)\cdot 10^{-5}$ эВ/К
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31441$ Дж / (моль · К)
Постоянная Фарадея	$F = eN_\mathrm{A} = 96484,56$ Кл / моль

1	2
Постоянная Стефана – Больцмана	$\sigma = \pi^2 k^4 / 60\hbar^3 c^2 =$ $= 5,670373(21) \cdot 10^{-8}$ Вт/м^{2}К^4
Постоянные Вина	$b = 2,8977721(26) \cdot 10^{-3}$ м·К $C_2 = 1,29 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м^{3}К^5)
Постоянная тонкой структуры	$\alpha = e^2 / 4\pi\varepsilon_0 \hbar c = 7,2973525698(24) \cdot 10^{-3}$ $\alpha^{-1} = 137,035999074(44)$
Классический радиус электрона	$r_e = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_e c^2} = \dfrac{\hbar\alpha}{m_e c} = \alpha \bar{\lambda}_e =$ $= 2,8179403267(27) \cdot 10^{-15}$ м
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda_e = h / m_e c = 2,426312389 \cdot 10^{-13}$ м $\bar{\lambda}_e = \hbar / m_e c = 3,8615926800(25) \cdot 10^{-13}$ м
Первый боровский радиус	$a_\infty = \dfrac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = \dfrac{\hbar}{\alpha m_e c} = r_e \alpha^{-2} =$ $= 5,2917721092(17) \cdot 10^{-11}$ м
Магнетон Бора	$\mu_{\text{B}} = e\hbar / 2m_e = 9,27334 \cdot 10^{-24}$ А·м^2 = $= 5,7883818066(38) \cdot 10^{-11}$ МэВ/Тл
Постоянная Ридберга	$R_\infty = m_e c \alpha^2 / 2h = 1,097373 \cdot 10^7$ м$^{-1}$; $R = cR_\infty = 3,289842 \cdot 10^{15}$ Гц; $R' = 2\pi c R_\infty = 2,0670687 \cdot 10^{16}$ Гц
Энергия ионизации атома водорода (энергия Ридберга)	$E_{\text{H}} = hcR_\infty = m_e c^2 \alpha^2 / 2 =$ $= 13,60569253(30)$ эВ = $= 2,17987 \cdot 10^{-18}$ Дж
Атомная единица массы	1 а. е. м. $= \dfrac{1}{12} M_{{}^{12}_{6}\text{C}} =$ $= 1,660538921(73) \cdot 10^{-27}$ кг = $= 931,494061(21)$ МэВ/c^2

2. Абсолютный показатель преломления некоторых веществ

Таблица П.2

Вещество	*n*	Вещество	*n*
Азот	1,00030	Кварц	1,46
Алмаз	2,42	Кислород	1,0027
Бензол	1,50	Сероуглерод	1,46
Вода	1,33	Скипидар	1,48
Воздух	1,00029	Стекло	1,50
Глицерин	1,47	Этиловый спирт	1,36

3. Массы некоторых элементарных частиц

Таблица П.3

Микрочастица	Масса
1	2
Электрон (e^-) Позитрон (e^+)	$m_e = 5,485799095 \cdot 10^{-4}$ а. е. м. $=$ $= 9,10938291 \cdot 10^{-31}$ кг $=$ $m_e c^2 = 0,510998928$ МэВ $=$ $= 8,187105072 \cdot 10^{-16}$ Дж
Мю-мезон ($\mu^{\pm}$)	$m_\mu = 206,769 m_e =$ $= 0,1134289267$ а. е. м. $=$ $= 1,88357 \cdot 10^{-28}$ кг $m_\mu c^2 = 105,6583715$ МэВ
Протон (p, ${}^1_1\mathrm{H}$) (ядро атома водорода)	$m_p = 1836,15267245 m_e =$ $= 1,00727646681$ а. е. м. $=$ $= 1,672621777 \cdot 10^{-27}$ кг $m_p c^2 = 938,272046$ МэВ
Нейтрон (n)	$m_n = 1838,68366 m_e =$ $= 1,008664916$ а. е. м. $=$ $= 1,674927 \cdot 10^{-27}$ кг $m_n c^2 = 939,565379$ МэВ
Дейтрон (d, ${}^2_1\mathrm{H}$) (ядро атома дейтерия)	$m_d = 2,01355$ а. е. м. $=$ $= 1875,612859$ МэВ/c^2
Тритон (t, ${}^3_1\mathrm{H}$) (ядро атома трития)	$m_t = 3,01545634786$ а. е. м. $=$ $= 2808,879679$ МэВ/c^2
α-частица (α) (ядро атома гелия)	$m_\alpha = 4,001506179125(62)$ а. е. м. $=$ $= 6,644656 \cdot 10^{-27}$ кг $=$ $= 3727,379240(82)$ МэВ/c^2

4. Массы и периоды полураспада некоторых изотопов

Таблица П.4

Изотоп	Масса изотопа (а. е. м.)	Период полураспада
1	2	3
Водород (H)	1,00782503207	стабилен
Дейтерий (D)	2,01410177803	стабилен
Тритий (T)	3,0160492777	12,32 лет

Продолжение табл. П.4

1	2	3
Гелий $^{3}_{2}He$	3,0160293191	стабилен
Гелий $^{4}_{2}He$	4,00260325415	стабилен
Литий $^{6}_{3}Li$	6,015122795	стабилен
Литий $^{7}_{3}Li$	7,01600455	стабилен
Литий $^{8}_{3}Li$	8,02248736	840,3 мкс
Бериллий $^{7}_{4}Be$	7,01692983	53,22 сут
Бериллий $^{9}_{4}Be$	9,0121822	стабилен
Бор $^{10}_{5}B$	10,0129370	стабилен
Бор $^{11}_{5}B$	11,0093054	стабилен
Углерод $^{11}_{6}C$	11,0114336	20,334 мин
Углерод $^{12}_{6}C$	12,0	стабилен
Углерод $^{13}_{6}C$	13,0033548378	стабилен
Углерод $^{14}_{6}C$	14,003241989	$5.70 \cdot 10^{3}$ лет
Азот $^{13}_{7}N$	13,00573861	9,965 мин
Азот $^{14}_{7}N$	14,0030740048	стабилен
Азот $^{15}_{7}N$	15,0001088982	стабилен
Кислород $^{15}_{8}O$	15,0030656(5)	122,24 с
Кислород $^{16}_{8}O$	15,99491461956	стабилен
Кислород $^{17}_{8}O$	16,99913170	стабилен
Кислород $^{18}_{8}O$	17,9991610	стабилен
Фтор $^{19}_{9}F$	18,99840322	стабилен
Неон $^{20}_{10}Ne$	19,9924401754	стабилен
Магний $^{23}_{12}Mg$	22,9941237	11,317 с
Магний $^{24}_{12}Mg$	23,985041700	стабилен
Магний $^{25}_{12}Mg$	24,98583692	стабилен
Магний $^{27}_{12}Mg$	26,98434059	9,458 мин
Алюминий $^{25}_{13}Al$	24,9904281	7,183 с
Алюминий $^{27}_{13}Al$	26,98153863	стабилен
Алюминий $^{28}_{13}Al$	27,98191031	2,2414 мин
Фосфор $^{31}_{15}P$	30,97376163	стабилен
Фосфор $^{32}_{15}P$	31,97390727	14,263 сут
Кобальт $^{59}_{27}Co$	58,9331950	стабилен

Окончание табл. П.4

1	2	3
Медь $^{63}_{29}Cu$	62,9295975	стабилен
Медь $^{64}_{29}Cu$	63,9297642	12,700 ч
Медь $^{65}_{29}Cu$	64,9277895	стабилен
Стронций $^{88}_{38}Sr$	87,9056121	стабилен
Стронций $^{89}_{38}Sr$	88,9074507	50,57 сут
Стронций $^{90}_{38}Sr$	89,907738	28,90 лет
Йод $^{127}_{53}I$	126,904473	стабилен
Йод $^{131}_{53}I$	130,9061246	8,02070 сут
Золото $^{197}_{79}Au$	196,9665687	стабилен
Золото $^{198}_{79}Au$	197,9682423	2,6952 сут
Свинец $^{207}_{82}Pb$	206,9758969	стабилен
Свинец $^{210}_{82}Pb$ (RaD)	209,9841885	22,20 лет
Висмут $^{210}_{83}Bi$ (RaE)	209,9841204	5,012 сут
Висмут $^{212}_{83}Bi$	211,9912857	60,55 мин
Полоний $^{210}_{84}Po$	209,9828737	138,376 сут
Радон $^{222}_{86}Rn$	222,0175777	3,8235 сут
Франций $^{221}_{87}Fr$	221,014255	4,9 мин
Радий $^{226}_{88}Ra$	226,0254098	$1,6 \cdot 10^3$ лет
Актиний $^{225}_{89}Ac$	225,023230	10,0 сут
Торий $^{230}_{90}Th$	230,0331338	$7,538 \cdot 10^4$ лет
Торий $^{234}_{90}Th$ (уран X1)	234,043601	24,10 сут
Протактиний $^{234}_{91}Pa$	234,043308	6,70 ч
Уран $^{233}_{92}U$	233,0396352	$1,592 \cdot 10^5$ лет
Уран $^{234}_{92}U$	234,0409521	$2.455 \cdot 10^5$ лет
Уран $^{235}_{92}U$	235,0439299	$7,04 \cdot 10^8$ лет
Уран $^{238}_{92}U$ (U I)	238,0507882	$4,468 \cdot 10^9$ лет
Нептуний $^{237}_{93}Np$	237,0481734	$2,144 \cdot 10^6$ лет

Литература

Основная

1. Савельев, И. В. Курс физики. В 3 т. Т. 2 : Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика / И. В. Савельев. – М. : Наука, ФМ, 1989.

2. Савельев, И. В. Курс физики. В 3 т. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твёрдого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. – М. : Наука, ФМ, 1989.

3. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 3 т. Т. 2 : Электричество и магнетизм. Волны. Оптика / И. В. Савельев. – М. : КноРус, 2012.

4. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 3 т. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твёрдого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. – М. : КноРус, 2012.

5. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. : Высш. шк., 2002.

6. Наркевич, И. И. Физика / И. И. Наркевич, Э. И. Волмянский, С. И. Лобко. – Минск : ООО «Новое знание», 2004.

7. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Наука, 1988.

8. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов. – М.-СПб. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001.

9. Чертов, А. Г. Задачник по физике / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – М. : Высш. шк., 1988.

10. Тараканов, А. Н. Физика. Практикум : формулы и задачи : учеб. пособие / А. Н. Тараканов, Ю. М. Хачатрян. – Минск : Бел. Энцыкл. імя Петруся Броўкі, 2008.

Дополнительная

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 4 : Оптика / Д. В. Сивухин. – М. : Физматлит, 2005.

2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. – М. : Физматлит, 2006.

4. Иродов, И. Е. Волновые процессы. Основные законы / И. Е. Иродов. – М.-СПб. : Физматлит, Лаборатория Базовых Знаний, 1999.

5. Иродов, И. Е. Электромагнетизм. Основные законы / И. Е. Иродов. – М.-СПб. : Физматлит, Лаборатория Базовых Знаний, 2000.

6. Иродов, И. Е. Физика макросистем. Основные законы / И. Е. Иродов. – М.-СПб. : Физматлит, Лаборатория Базовых Знаний, 2000.

7. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. : Изд. Центр «Академия», 2003.

Учебное издание

Синяков Геннадий Николаевич
Тараканов Александр Николаевич
Махнач Виктор Викторович

ТЕСТЫ ПО ФИЗИКЕ

В двух частях

Часть 1

ОПТИКА. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ФИЗИКА АТОМА. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

ПОСОБИЕ

Корректор *Е. И. Герман*
Ответственный за выпуск *А. Н. Тараканов*

Подписано в печать __.__.2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 100 экз. Заказ 295.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
ЛИ № 02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП № 02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6