Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика»

ОПТИКА, АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

ПРАКТИКУМ
по курсу «Физика»
по выполнению тестовых заданий
для студентов технических специальностей
заочной формы обучения

Гомель 2018

УДК 535+539.18(075.8)
ББК 22.34я73
О-62

Рекомендовано научно-методическим советом энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого (*протокол № 7 от 28.03.2017 г.*)

Составители: *А. И. Кравченко, П. А. Хило, А. А. Бойко*

Рецензент: доц. каф. «Высшая математика» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. физ.-мат. наук, доц. *В. И. Лашкевич*

О-62 **Оптика**, атомная и ядерная физика : практикум по курсу «Физика» по выполнению тестовых заданий для студентов техн. специальностей заоч. формы обучения / сост.: А. И. Кравченко, П. А. Хило, А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 98 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: https://elib.gstu.by. – Загл. с титул. экрана.

Содержит тестовые задания по курсу «Физика» по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика», приложение и список литературы.

Для студентов технических специальностей заочной формы обучения.

УДК 535+539.18(075.8)
ББК 22.34я73

Предисловие

Предлагаемый практикум составлен в соответствии с программой курса общей физики для технических университетов, по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика».

Сборник предполагает интенсификацию самостоятельной работы студентов при подготовке к практическим занятиям.

Практикум по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика» курса «Физика» содержит подборку тестовых задач различной степени сложности как для использования для самостоятельной работы, так и для проверки знаний студентов.

Практикум содержит тестовые задачи по основным темам раздела «Оптика, атомная и ядерная физика»: «Геометрическая оптика», «Интерференция света», «Дифракция света», «Поляризация света», «Тепловое излучение», «Энергия и импульс световых квантов. Внешний и внутренний фотоэффект», «Давление света. Эффект Комптона», «Спектр атома водорода. Постулаты Бора», «Атом водорода в квантовой механике», «Основной закон радиоактивного распада. Активность нуклида», «Ядерные реакции. Законы сохранения» и др.

Приводятся так же основные формулы, примеры решения типовых задач и справочный материал.

Практикум предназначен для студентов заочной формы обучения.

Оптика. Атомная и ядерная физика

1. Основные теоретические сведения.

1.1. Геометрическая оптика.

При падении луча света на границу двух сред наблюдаются явления отражения и преломления света (рис. 1).

Закон отражения света:

$\alpha = \alpha'$,

где α – угол падения луча; α' – угол отражения.

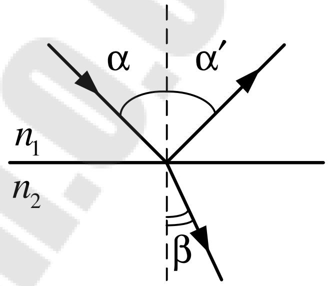


Рис. 1

Закон преломления света при прохождении через границу раздела двух сред:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где α – угол падения луча; β – угол преломления; n_{21} – относительный показатель преломления; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред.

Если $n_2 < n_1$, то угол $\beta > \alpha$; при $\alpha = \alpha_{пр}$ угол $\beta = 90°$.

Явление полного отражения:

$$\sin\alpha_{пр} = \frac{n_2}{n_1},$$

где $\alpha_{пр}$ – предельный угол полного отражения.

Все лучи, падающие на границу двух сред под углом $\alpha > \alpha_{пр}$, полностью отражаются.

Для призмы из материала с показателем преломления n и преломляющим углом A (рис. 2)

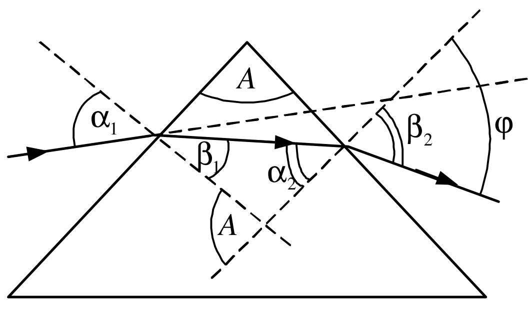


Рис. 2

– для первой преломляющей грани

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = n;$$

– для второй преломляющей грани

$$\frac{\sin\alpha_2}{\sin\beta_2} = \frac{1}{n};$$

– преломляющий угол

$A = \alpha_2 + \beta_1$.

Связь угла φ отклонения лучей и преломляющего угла A призмы:

$\varphi = A(n-1) = \alpha_1 + \beta_2 - A$.

Абсолютный показатель преломления:

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

где c – скорость света в вакууме; υ – скорость света в среде.

Формула сферического зеркала (для параксиальных световых лучей):

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где F – главное фокусное расстояние; R – радиус кривизны сферического зеркала; d – расстояние от зеркала до светящейся точки; f – расстояние от зеркала до изображения.

Оптическая сила сферического зеркала:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R},$$

где F – главное фокусное расстояние; R – радиус кривизны сферического зеркала.

Оптическая сила тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{F} = \left(\frac{n_л}{n_{ср}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где F – главное фокусное расстояние линзы; $n_л$ – абсолютный показатель преломления вещества линзы; $n_{ср}$ – абсолютный показатель преломления окружающей среды (одинаковой с обеих сторон линзы).

В этой формуле радиусы выпуклых поверхностей (R_1 и R_2) берутся со знаком «плюс», вогнутых – со знаком «минус».

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где d – расстояние от оптического центра линзы до предмета; f – расстояние от оптического центра линзы до изображения. Для собирающих линз величина F положительная, для рассеивающих линз величина F отрицательная. Если изображение мнимое, то величина f отрицательная.

Увеличение в линзе:

$$Г = \frac{h}{h_0} = \frac{f}{d},$$

где h и h_0 – соответственно линейные размеры изображения и предмета.

Построение изображения в линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

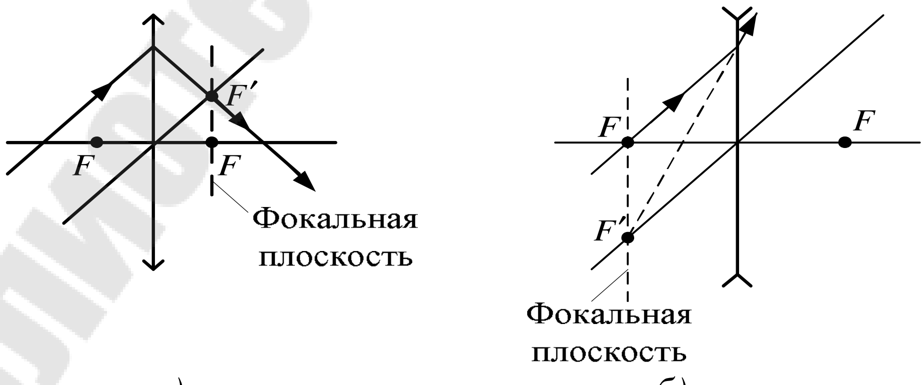
– луч, проходящий через оптический центр линзы, – не изменяет своего направления и является побочной оптической осью;

– луч, идущий параллельно главной оптической оси, – после преломления в линзе этот луч или его продолжение проходит через один из фокусов линзы;

– луч (или его продолжение), проходящий через первый фокус линзы;

– луч после преломления в ней выходит из линзы параллельно ее главной оптической оси.

При построении изображений в тонкой линзе полезно также помнить свойства побочных фокусов. Напомним, что побочной оптической осью называется любая прямая, проходящая через оптический центр линзы под углом к главной оптической оси. Плоскость, проходящая через фокус перпендикулярно к главной оптической оси, называется главной фокальной плоскостью. Точка пересечения побочной оптической оси с фокальной плоскостью называется побочным фокусом F' (рис. 3). Любой луч (или его продолжение), параллельный побочной оптической оси, проходит через соответствующий побочный фокус; F' – побочный фокус.



а) *б)*

Рис. 3

Увеличение лупы:

$N = \frac{L}{F}$, $L = 0{,}25$ м (расстояние наилучшего зрения).

Увеличение микроскопа:

$$N = \frac{\delta L}{F_1 F_2},$$

где δ – расстояние между фокусами объектива и окуляра; F_1 и F_2 – фокусные расстояния объектива и окуляра.

Световой поток Φ, испускаемый изотропным источником в пределах телесного угла ω, в вершине которого находится источник, пропорционален силе света I источника и величине телесного угла ω:

$$\Phi = I\omega.$$

Полный световой поток изотропного точечного источника:

$$\Phi_0 = 4\pi I.$$

Поток излучения:

$$\Phi = \frac{W}{t},$$

где W – энергия излучения; t – время излучения.

Светимость R равномерно светящейся поверхности численно равна световому потоку, испускаемому с единицы площади поверхности:

$$R = \frac{\Phi}{S}.$$

Энергетическая яркость (светимость):

$$B = \frac{\Delta I_e}{\Delta S},$$

где ΔI_e – энергетическая сила света элемента излучающей поверхности;
ΔS – площадь проекции элемента излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную к направлению наблюдения.

Освещенность E поверхности численно равна световому потоку, падающему на единицу площади:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Освещенность, создаваемая изотропным точечным источником на расстоянии r от него:

$$E = \frac{I\cos\alpha}{r^2},$$
где α – угол падения луча.

1.2. Интерференция света.

Когерентность – согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов. Монохроматические волны называются когерентными, если разность их фаз остается постоянной во времени.

Монохроматические волны – неограниченные в пространстве волны одной определенной и строго постоянной частоты. Немонохроматический свет можно представить в виде совокупности сменяющих друг друга независимых гармонических цугов. Средняя продолжительность одного цуга $\tau_{ког}$ называется временем когерентности (время когерентности не может превышать время излучения τ, т.е. $\tau_{ког} < \tau$). Если волна распространяется в однородной среде, то фаза колебаний в определенной точке пространства сохраняется только в течение времени когерентности $\tau_{ког}$. За это время волна распространяется в вакууме на расстояние $l_{ког} = c\tau_{ког}$, называемое длиной когерентности (или длиной цуга).

Скорость света в среде $\upsilon = \frac{c}{n}$, где c – скорость распространения света в вакууме; n – абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая длина пути, проходимого световым лучом в однородной среде с показателем преломления n, равна $L = nl$, где l – геометрическая длина пути луча.

Если один луч проходит путь длиной l_1 в среде с показателем преломления n_1, а другой луч – путь l_2 с показателем преломления n_2, то оптическая разность хода этих лучей:

$$\Delta = n_2 l_2 - n_1 l_1 = L_2 - L_1,$$

где L_1 и L_2 – соответственно оптические длины проходимых волнами путей.

Разность фаз двух когерентных волн:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta,$$

где λ_0 – длина волны (световой) в вакууме, Δ – оптическая разность хода двух световых волн.

Условие максимального усиления света при интерференции (интерференционный максимум):

$$\Delta = \pm m\lambda_0,$$

где λ_0 – длина световой волны в вакууме; $m = 0, 1, 2, \ldots$ – порядок интерференционного максимума.

Условие максимального ослабления света при интерференции (интерференционный минимум):

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2},$$

где m – порядок интерференционного минимума.

Расстояние Δx между интерференционными полосами на экране, полученными от двух когерентных источников света (ширина интерференционной полосы),

$$\Delta x = \frac{l\lambda_0}{d},$$

где l – расстояние от экрана до источника света, d – расстояние между источниками $(d<l)$.

Условия максимумов и минимумов при интерференции света, отраженного от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пленки, находящейся в воздухе $(n_0 = 1)$,

максимум: $2dn\cos\beta \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0;$

минимум: $2dn\cos\beta \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \frac{\lambda_0}{2} = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2},$

где d – толщина пленки; n – показатель ее преломления; α – угол падения; β – угол преломления; $m = 0, 1, 2\ldots$ – порядок интерференции.

В общем случае член $\pm\frac{\lambda_0}{2}$ обусловлен потерей полуволны при отражении света от границы раздела – если $n > n_0$, то необходимо употреблять знак «плюс», если $n < n_0$ – знак «минус».

Радиус колец Ньютона:

– темных в отраженном свете (или светлых в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}};$$

– светлых в отраженном свете (или темных в проходящем свете)

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

где R – радиус кривизны поверхности линзы, соприкасающейся с плоскопараллельной пластинкой; λ – длина световой волны в среде между линзой и пластинкой; m – порядковый номер кольца, $m=0$ соответствует центральному пятну; n – показатель преломления среды между линзой и пластиной.

Оптическая разность хода световых лучей Δ, отраженных от двух поверхностей тонкой пластинки, по обе стороны которых находятся одинаковые среды:

в проходящем свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2\alpha}$;

в отраженном свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2\alpha} - \dfrac{\lambda_0}{2}$,

где d – толщина пластинки; n – показатель преломления вещества пластинки; n_1 – показатель преломления среды; α – угол падения луча; λ_0 – длина световой волны в вакууме.

Добавочная разность хода $\dfrac{\lambda}{2}$ учитывает изменение фазы волны на π при отражении ее от оптически более плотной среды.

В случае «просветления оптики» интерферирующие лучи в отраженном свете гасят друг друга при условии:

$$n_{пл} = \sqrt{n_л \cdot n_{ср}},$$

где $n_{пл}$ – показатель преломления пленки, $n_{ср}$ – показатель преломления окружающей среды; $n_л$ – показатель преломления линзы.

Если окружающая среда – воздух (n_0), то выполняется условие $n_л > n_{пл} > n_0$ и потеря полуволны происходит на обеих поверхностях. Поэтому условие интерференционного максимума (при нормальном падении света):

$$2n_{пл}d = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2},$$

где $n_{пл}d$ – оптическая толщина пленки; λ_0 – длина волны в вакууме.

Обычно принимают $m=0$, тогда $n_{пл}d = \dfrac{\lambda_0}{4}$.

1.3. Дифракция света.

Радиусы зон Френеля (см. рис. 4):

– для плоской волны

$r_m = \sqrt{m r_0 \lambda}$,

где r – радиус зоны; m – номер зоны; r_0 – расстояние от круглого отверстия в непрозрачном экране до точки наблюдения, расположенной на оси отверстия; λ – длина световой волны;

– для сферической волны (радиус внешней границы m-ной зоны Френеля)

$$r_m = \sqrt{\frac{abm\lambda}{(a+b)}},$$

где $SO = a$; $OP = b$; m – номер зоны Френеля; λ – длина волны (т.е. a и b – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором наблюдается дифракционная картина).

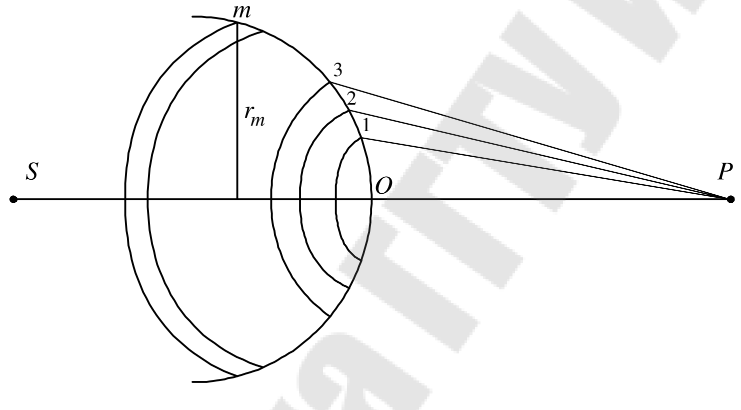


Рис. 4

В случае дифракции в параллельных лучах от одной щели шириной a при нормальном падении света положение минимумов и максимумов освещенности на экране определяется углом φ, отсчитанным от нормали к поверхности щели и удовлетворяющим условию:

– минимум $\quad a\sin\varphi = \pm 2m\dfrac{\lambda}{2}$;

– максимум $\quad a\sin\varphi = \pm(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$,

где φ – угол дифракции; m – порядок спектра $(m = 0, 1, 2, 3, \ldots)$, λ – длина волны.

Постоянная (период) дифракционной решетки:

$$d = a + b; \qquad d = \frac{l}{N},$$

где a – ширина каждой щели решетки; b – ширина непрозрачных участков между щелями; N – число щелей, приходящихся на единицу длины дифракционной решетки; d – период решетки, l – длина решетки.

Условия главных максимумов и дополнительных минимумов дифракционной решетки, на которую свет падает нормально:

$$d \sin\varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots);$$

$$d \sin\varphi = \pm m' \frac{\lambda}{N}, \quad (m' = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots), \quad \text{кроме } m' = 0,\ N,\ 2N,\ \ldots,$$

где d – постоянная (период) дифракционной решетки; φ – угол между нормалью к поверхности дифракционной решетки и направлением дифрагирующих лучей; N – число штрихов решетки; m – порядок дифракционного спектра.

Формула Вульфа – Брэггов (условие дифракционных максимумов от пространственной дифракционной решетки):

$$2d \sin\theta = m\lambda, \quad (m = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots),$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ – угол скольжения; λ – длина волны рентгеновского излучения.

Угловая дисперсия дифракционной решетки:

$$D_\varphi = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi},$$

где φ – угол дифракции; m – порядок спектра; d – период решетки.

Линейная дисперсия дифракционной решетки:

$$D = F\frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где F – фокусное расстояние линзы, проектирующей спектр на экран; $d\varphi$ – разница в углах, соответствующая двум линиям, отличающимся по длине волны на $d\lambda$.

Разрешающая способность спектрального прибора:

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

где $\delta\lambda$ – минимальная разность длин волн двух соседних спектральных линий, при которой эти линии регистрируются раздельно.

Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = mN,$$

где m – порядок спектра; N – общее число штрихов решетки.

Разрешающая способность призмы:

$$R = \frac{\lambda}{(\lambda + \Delta\lambda)} = (a - b)\left(\frac{dn}{d\lambda}\right),$$

где λ, $(\lambda + \Delta\lambda)$ – длины волн двух соседних спектральных линий, разрешаемых решеткой; λ – длина волны в вакууме; a и b – пути, проходимые в призме крайними лучами пучка.

При полном использовании разрешающей способности падающий пучок покрывает всю боковую поверхность призмы. В этом случае $b = 0$ и $R_{\max} = a\left(\frac{dn}{d\lambda}\right)$.

Разрешающая способность объектива:

$$R \approx \frac{1}{\varphi} = \frac{D}{1{,}22\lambda},$$

где D – диаметр объектива; φ – минимальное разрешаемое угловое расстояние.

Разрешающая способность глаза:

$$R \approx \frac{1}{\varphi_{\min}} = \frac{d}{1{,}22\lambda},$$

где d – диаметр зрачка.

1.4. Поляризация и дисперсия света.

Закон Брюстера:

$$\mathrm{tg}\alpha_{Б} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где $\alpha_{Б}$ – угол падения луча на границу раздела двух прозрачных диэлектриков, при котором отраженный луч является плоскополяризованным; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления диэлектриков; n_{21} – показатель преломления второй среды относительно первой (рис. 5).

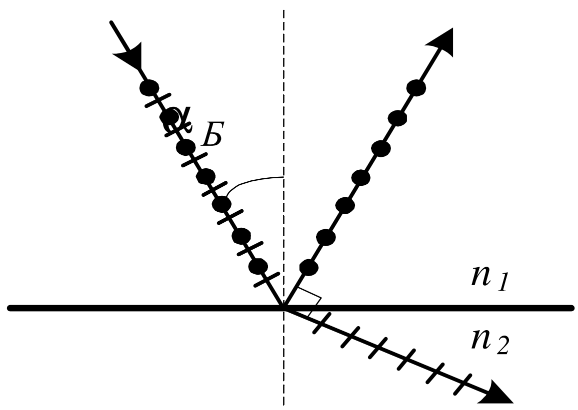


Рис.5

Интенсивность света, прошедшего через первый николь N_1 (рис. 6) (поляризатор *П*), с учетом поглощения,

$$I_1 = \frac{I_0}{2}(1 - k_1),$$

где I_0 – интенсивность естественного света, падающего на первый николь; k_1 – коэффициент поглощения света в поляризаторе.

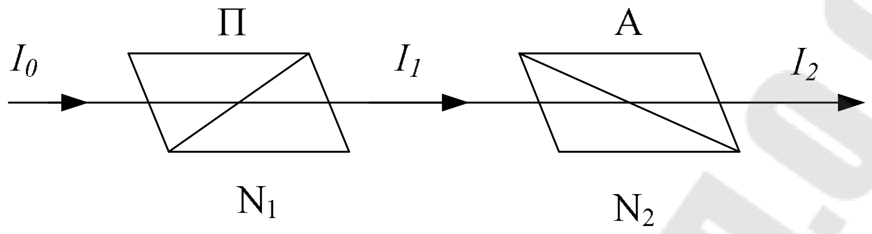


Рис. 6

Уменьшение интенсивности света после второго николя N_2 (анализатора *А*) определяется законом Малюса:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi.$$

С учетом потери интенсивности света в анализаторе:

$$I_2 = \frac{I_0}{2}(1 - k_1)(1 - k_2)\cos^2 \varphi,$$

где k_1 – коэффициент поглощения света в анализаторе; φ – угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

Степень поляризации света:

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

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

Падающий свет – естественный.

Двойное лучепреломление – способность веществ, в частности, кристаллов расщеплять падающий световой луч на два луча – обыкновенный (o) и необыкновенный (e), которые распространяются в различных направлениях с разными фазовыми скоростями. Если показатель преломления необыкновенного луча n_e больше показателя преломления обыкновенного луча n_o, то такие кристаллы называются оптически положительными. Если n_o больше n_e, то такие кристаллы называются оптически отрицательными.

Оптическая разность хода для кристаллической пластинки:

–в четверть длины волны $(n_o - n_e)d = \pm\left(m + \frac{1}{4}\right)\lambda$, $(m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots)$;

– в полдлины волны $(n_o - n_e)d = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$, $(m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots)$;

– в целую длину волны $(n_o - n_e)d = \pm m\lambda$, $(m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots)$,

где знак «+» соответствует отрицательным одноосным кристаллам, знак «–» – положительным; λ – длина волны; d – толщина пластинки; n_o, n_e – соответственно показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в направлении, перпендикулярном к оптической оси.

Угол поворота плоскости поляризации:

для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей – $\varphi = \alpha d$;

для оптически активных растворов – $\varphi = [\alpha]Cd$,

где d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе; $\alpha([\alpha])$ – удельное вращение; C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Фазовая скорость света:

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

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

Дисперсия вещества:

$$D = \frac{dn}{d\lambda}.$$

Групповая скорость света:

$$u = \frac{c}{n}\left(1 + \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda}\right).$$

Направление излучения Вавилова – Черенкова:

$$\cos\theta = \frac{c}{n\upsilon_r},$$

где υ_r – скорость заряженной частицы.

1.5. Тепловое излучение.

Основные характеристики теплового излучения нагретого тела.

Энергетическая светимость $r_э(T)$ – энергия, испускаемая единицей поверхности излучающего тела в единицу времени. Размерность $[r_э]$ = Вт/м^2.

Энергетическая светимость тела:

$$r_э = \frac{\Phi_э}{S} = \frac{1}{S}\frac{dW_э}{dt} = \frac{N}{S},$$

где $\Phi_э$ – поток излучения; S – площадь излучающей поверхности; $dW_э$ – энергия, излучаемая поверхностью S за время dt; N – мощность излучения с поверхности S.

Испускательная способность тела $r_\nu = r(\nu,\ T)$ – количество энергии, испускаемое единицей поверхности тела в единицу времени в единичном интервале частот. Размерность $[r_\nu]$ = Дж/м^2, связь с энергетической светимостью:

$$r_э(T) = \int_0^\infty r(\omega, T)\,d\omega.$$

Испускательная способность тела $r_\lambda = r(\lambda, T)$ – количество энергии, испускаемое единицей поверхности тела в единицу времени в единичном интервале длин волн:

$$r(\lambda, T) = r(\nu, T)\frac{2\pi c}{\lambda^2}d\lambda,$$

размерность $[r_\lambda]$ = Вт/м^3, связь с интегральной характеристикой:

$$r_э(T) = \int_0^\infty r(\lambda, T)\,d\lambda.$$

Поглощательная способность тела a_ν – отношение потока энергии, поглощенной телом в единичном интервале частот, к падающему потоку энергии. Это безразмерная величина, не превышающая единицы. Тело, для которого $a_\nu = 1$, называется абсолютно черным телом.

Энергетическая светимость абсолютно черного тела определяется формулой Стефана – Больцмана:

$$r_э = \sigma T^4,$$

где T – термодинамическая температура, σ = 5,67·10^{-8} Вт/(м^{2}К^4) – постоянная Стефана – Больцмана.

Энергетическая светимость серого тела:

$$r_э = A_T \sigma T^4,$$

где A_T – поглощательная способность серого тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана; T – термодинамическая температура.

Закон смещения Вина: длина волны $\lambda_{\max}$, на которую приходится максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости в спектре абсолютно черного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре:

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

где $\nu_{\max}$ и $\lambda_{\max}$ – частота и длина волны, соответствующие максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела; a = 5,9·10^{11} Гц/К, b = 2,9·10^{-3} мК – постоянные Вина.

Максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости R_ν и R_λ абсолютно черного тела пропорционально третьей и соответственно, пятой степени абсолютной температуры:

$R_\nu = a_1 T^3$; a_1 = 0,6·10^{-14} Вт/(м^{3}К^3);

$R_\lambda = b_1 T^5$; b_1 = 1,3·10^{-5} Вт/(м^{3}К^5).

Формула Рэлея – Джинса для спектральной плотности энергетической светимости черного тела:

$$R_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT,$$

где kT – средняя энергия осциллятора с собственной частотой ν (k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура); c – скорость света в вакууме.

Формула Планка:

$$R_{\nu,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{KT}} - 1}; \ R_{\lambda,T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{KT\lambda}} - 1},$$

где $R_{\nu,T}$, $R_{\lambda,T}$ – спектральные плотности энергетической светимости черного тела соответственно как функция частоты ν и длины волны λ.

Радиационная температура тела:

$$T_p = \sqrt[4]{\frac{R_э}{\sigma}},$$

где $R_э$ – энергетическая светимость тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана.

Радиационная температура серого тела:

$$T_p = T\sqrt[4]{A_T},$$

где T – истинная температура, A_T – поглощательная способность серого тела.

Закон Кирхгофа:

$$\frac{r_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = R_{\nu,T},$$

где $r_{\nu,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости тела; $A_{\nu,T}$ – спектральная поглощательная способность тела; $R_{\nu,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

1.6. Квантово-оптические явления.

Энергия кванта (фотона):

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

где ν – частота света; λ – длина световой волны; $h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} \text{ или } h\nu = h\nu_0 + eU_0,$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла (ν – частота падающего фотона, h – постоянная Планка); A – работа выхода электрона из металла; $\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона; U_0 – задерживающее напряжение (напряжение запирания фотона), ν_0 – красная граница фотоэффекта.

Импульс фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

где $h\nu$ – энергия фотона.

Давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность:

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

где $E_e = Nh\nu$ – облученность поверхности (количество энергии, падающей на единицу поверхности в единицу времени); ρ – коэффициент отражения; c – скорость света в вакууме; ω – объёмная плотность энергии излучения.

Изменение длины волны излучения при комптоновском рассеивании (эффект Комптона):

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\theta) = \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ и λ' – длины волн падающего и рассеянного излучения; m – масса электрона; θ – угол рассеяния; $\lambda_c = \dfrac{h}{mc} = 0{,}242\cdot 10^{-11}$ м – комптоновская длина волны.

1.7. Атом водорода в теории Бора.

Согласно теории Бора, существуют стационарные состояния атома, в которых он не излучает энергию. При этом электрон движется по круговой стационарной орбите.

По второму закону Ньютона для электрона $\vec{F}_{эл} = m\vec{a}_n$,

$$m\frac{\upsilon_n^2}{r_n} = \frac{kZe^2}{r_n^2}.$$

Согласно правилу квантования орбит момент импульса электрона кратен $\hbar$:

$$m\upsilon_n r_n = n\hbar = n\frac{h}{2\pi},$$

где $h = 6{,}62\cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $\hbar = \dfrac{h}{2\pi} = 1{,}05\cdot 10^{-34}$ Дж·с; Z – заряд ядра; m – масса электрона; e – заряд электрона; r_n – радиус n-ной орбиты электрона; υ_n – его скорость на этой орбите, $n = 1, 2, 3 \ldots$ – главное квантовое число.

Обобщенная формула Бальмера, описывающая серии в спектре атома водорода:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = RcZ^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) \text{ или } \nu = R'\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

где ν – частота спектральных линий в спектре атома водорода; $R = \dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 c} = 1{,}097\cdot 10^7$ м$^{-1}$ – постоянная Ридберга; $R' = R\cdot c = 3{,}29\cdot 10^{15}$ с$^{-1}$

– также постоянная Ридберга; c – скорость света в вакууме; Z – заряд ядра; $\dfrac{1}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны излучения; n – определяет серию $(n = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots)$; k – определяет отдельные линии соответствующей серии $(k = n+1,\ n+2\ldots)$; $n = 1$ – серия Лаймана, $n = 2$ – серия Бальмера, $n = 3$ – серия Пашена, $n = 4$ – серия Брэкета, $n = 5$ – серия Пфунда, $n = 6$ – серия Хэмфри.

Спектральные линии характеристического рентгеновского излучения:

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

где a – постоянная экранирования; R – постоянная Ридберга; n, k – целые, $k > n$; λ – длина волны излучения.

Первый постулат Бора: в атоме существуют стационарные орбиты, на которых электрон не излучает и не поглощает энергию.

Второй постулат Бора: излучение или поглощение в виде кванта с энергией $h\nu$ происходит при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое. Величина энергии кванта равна разности энергий тех стационарных состояний, между которыми совершается переход:

$$h\nu = \hbar\omega = E_n - E_k,$$

где h – постоянная Планка; $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$; ν – частота излучения; $\omega = 2\pi\nu$ – круговая частота; E_n, E_k – энергетические уровни с квантовыми числами n и k (т.е. энергии стационарных состояний атома соответственно до и после излучения (поглощения).

Радиус n – ной стационарной орбиты в боровской модели атома водорода

$$r_n = \frac{\hbar^2 4\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} n^2 = r_1 n^2 \quad (n = 1,\ 2,\ 3\ \ldots),$$

где $\hbar$ – постоянная Планка; ε_0 – электрическая постоянная; m_e – масса электрона; e – элементарный заряд; r_1 – первый боровский радиус.

Первый боровский радиус:

$$r_1 = a = \frac{\hbar^2 4\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} = 52{,}8 \text{ пм}.$$

Энергия электрона на n – ной стационарной орбите для водородоподобного атома:

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{Zm_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2} = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ } \left(n = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots\right),$$

где Z – заряд ядра; ε_0 – электрическая постоянная; m_e – масса электрона;
e – заряд электрона; 13,6 эВ – энергия электрона на первой боровской орбите.

1.8. Элементы квантовой механики.

Формула де Бройля связывает длину волны λ, соответствующую микрочастице, с ее импульсом $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$:

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

Для нерелятивистской частицы $(\upsilon << c)$:

$$\lambda = \frac{h}{m\upsilon} \text{ или } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_к}},$$

где m – масса частицы; υ – ее скорость; $E_к$ – кинетическая энергия частицы.

Для релятивистской частицы ($\upsilon \approx c$):

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

$$\lambda = \frac{h}{m_0\upsilon}\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}} \text{ или } \lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_к\left(E_к + 2m_0c^2\right)}},$$

где m_0 – масса покоя частицы; c – скорость света в вакууме; $E_к$ – кинетическая энергия частицы.

Иногда импульс частицы удобно выражать через ее кинетическую энергию $E_к$:

для нерелятивистской частицы $(\upsilon << c)$

$$p = \sqrt{2m_0E_к};$$

для релятивистской частицы ($\upsilon \approx c$)

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_к\left(E_к + 2E_0\right)},$$

где $E_0 = m_0 c^2$ – энергия покоя частицы; c – скорость света в вакууме.

В случае релятивистской частицы, когда $pc \approx E_0 = m_0 c^2$, связь импульса p с полной энергией E частицы и длиной волны

$$E = \sqrt{E_0^2 + p^2 c^2}\ ;\ \lambda = \frac{hc}{\sqrt{E^2 - E_0^2}}.$$

Полная энергия релятивистской частицы:

$$E = E_к + E_0,$$

где $E_к$ – кинетическая энергия частицы; E_0 – энергия покоя частицы.

В случае, когда $E << E_0$,

$$E = pc \text{ или } \lambda = \frac{hc}{E}.$$

Соотношение неопределенностей Гейзенберга, сопряженных величин для координаты x и проекции импульса p_x на ось x:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \mathrm{h},$$

где Δx – неопределенность координаты x частицы, Δp_x – неопределенность проекции импульса частицы на ось x.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга для энергии ΔE и времени жизни состояния Δt:

$$\Delta E \Delta t \geq \mathrm{h},$$

где ΔE – неопределенность энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Энергия свободно движущейся частицы массой m:

$$E = \frac{\mathrm{h}^2 k^2}{2m} = \frac{p_x^2}{2m},$$

где $p_x = \mathrm{h}k$ – импульс частицы; $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны де Бройля.

Собственные значения энергии E_n частицы, находящейся на n – ном энергетическом уровне в одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме:

$$E_n = n^2 \frac{\pi^2 \mathrm{h}^2}{2ml^2},$$

где l – ширина ямы; m – масса частицы; $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число.

Плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства

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

где Ψ – волновая функция частицы.

Волновая функция, описывающая состояние частицы в одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме:

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

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

Вероятность нахождения частицы в объеме dV (для стационарных состояний):

$$dW = \left|\Psi^2\right| dV.$$

Вероятность обнаружения частицы в объеме V:

$$W = \int_V dW = \int_V \left|\Psi^2\right| dV.$$

Условие нормировки вероятностей:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 \, dV = 1.$$

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2:

$$P(x) = \int_{x_1}^{x_2} |\Psi|^2 \, dx.$$

Уравнение Шредингера для стационарных состояний:

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

где Ψ – волновая функция, описывающая состояние частицы; m – масса частицы; Δ – оператор Лапласа; U – потенциальная энергия частицы в данной точке поля; E – энергия частицы.

1.9 Элементы физики атомного ядра.

Радиус ядра атома:

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

где $R_0 = (1,3 - 1,7)$ Фм; A – массовое число.

Массовое число ядра (число нуклонов):

$A = Z + N$,

где Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

Энергия связи ядра атома:

$E_{св} = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m_я \right]c^2 = \left[Zm_H + (A - Z)m_n - m_a \right]c^2,$

где $m_p, m_n, m_я$ – соответственно массы протона, нейтрона и ядра; Z – зарядовое число; A – массовое число; $m_H = m_p + m_e$ – масса атома водорода $\left({}_1^1H\right)$; m_a – масса атома.

Дефект массы ядра:

$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$ или $\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - m_a$.

Энергия связи нуклонов в ядре:

$\Delta E_{св} = \Delta mc^2$, Дж или $\Delta E_{св} = 931{,}5\Delta m$, МэВ,

где Δm – дефект массы ядра, измеренный в атомных единицах массы (а.е.м.); c – скорость света в вакууме.

Энергия, выделяемая или поглощаемая в ядерной реакции:

$\Delta E = c^2\left(\sum m_i - \sum m_k\right)$, Дж;

$\Delta E = 931\left(\sum m_i - \sum m_k\right)$, МэВ,

где $\sum m_i$ – сумма масс исходных частиц; $\sum m_k$ – сумма масс образовавшихся частиц.

Ядерный магнетон:

$$\mu_я = \frac{e\hbar}{2m_p},$$

где e – заряд электрона; $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка; m_p – масса протона.

Закон радиоактивного распада:

$N = N_0 e^{-\lambda t}$,

где N – число нераспавшихся ядер радиоактивного элемента к моменту времени t; N_0 – исходное число ядер; λ – постоянная распада.

Число атомов, распавшихся за время t:

$\Delta N = N_0 - N = N_0\left(1 - e^{-\lambda t}\right)$.

Период полураспада (время, за которое распадается половина исходных ядер элемента):

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693\tau,$$

где $\tau = \frac{1}{\lambda}$ – среднее время жизни радиоактивного элемента; при этом исходное число ядер уменьшается в e раз.

Активность радиоактивного элемента (число ядер, распадающихся в единицу времени):

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N \text{ или } A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Считая $A_0 = \lambda N_0$ – активность радиоактивного вещества в начальный период времени $t = 0$: $A = A_0 e^{-\lambda t}$.

Правила смещения: для α – распада: ${}_Z^AX \to {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$;

для β^- – распада: ${}_Z^AX \to {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e$;

для β^+ – распада: ${}_Z^AX \to {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e$.

Закон поглощения ионизирующего излучения веществом:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где I_0 – интенсивность падающего на вещество излучения; I – интенсивность излучения после прохождения поглощающего слоя вещества толщиной x; μ – линейный коэффициент поглощения.

2. Примеры решения задач по разделу «Оптика. Атомная и ядерная физика»

2.1 Объект высотой 1,0 см помещен на расстоянии 10,0 см перед вогнутым зеркалом с радиусом кривизны 30,0 см. Определить расстояние до изображения объекта и увеличение зеркала.

Решение. Фокусное расстояние f вогнутого зеркала равно половине радиуса кривизны R:

$$f = \frac{R}{2} = \frac{0,3}{2} = 0,15(\text{м}). \qquad (1)$$

Так как объект находится между зеркалом и фокусом, то его изображение находится позади зеркала и является мнимым. Расстояние от зеркала до изображения найдем из уравнения

$$\frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_1} = \frac{2}{R}, \qquad (2)$$

где d_0 - расстояние от объекта до зеркала, d_1 - расстояние от изображения объекта до зеркала. Из формулы (2) получим:

$$\frac{1}{d_1} = \frac{2}{R} - \frac{1}{d_0} = \frac{2-3}{0,3} = -\frac{1}{0,3}(\text{м}^{-1}).$$

Значит расстояние до изображения объекта $d_1 = -0,3$м. Знак минус означает, что изображение находится за зеркалом.

Увеличение зеркала определяется отношением размеров изображения и предмета и равно:

$$Г = -\frac{d_1}{d_0} = -\frac{-0,3}{0,1} = 3,0.$$

Таким образом, изображение в три раза превышает объект, знак плюс означает, что изображение прямое.

Ответ: $Г = 3,0$.

2.2. От двух когерентных источников S_1 и S_2 ($\lambda = 0,8 \cdot \text{мкм}$) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку ($n = 1,33$), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине d_{min} пленки это возможно?

Решение. 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 разницы хода пучков световых волн на нечетное число половин длин волн, т.е.

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{(2k+1)\lambda}{2}, \qquad (1)$$

где Δ_1 – оптическая разность хода пучков световых волн до внесения пленки; Δ_2 – оптическая разность хода тех же пучков после внесения пленки; $k=0, \pm 1, \pm 2, \ldots$.

Наименьшей толщине $d_{\min}$ пленки соответствует $k=0$. При этом формула (1) примет вид

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2}. \qquad (2)$$

Выразим оптические разности хода Δ_2 и Δ_1. Из рисунка 7 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_2 и Δ_1 в формулу (2):

$$(l_1 - l_2) + d_{\min}(n-1) - (l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2}, \text{ или } d_{\min}(n-1) = \frac{\lambda}{2}.$$

Отсюда $d_{\min} = \dfrac{\lambda}{2(n-1)}$.

Произведем вычисления:

$$d_{\min} = \frac{0{,}8}{2(1{,}33-1)} = 1{,}21(\text{мкм}).$$

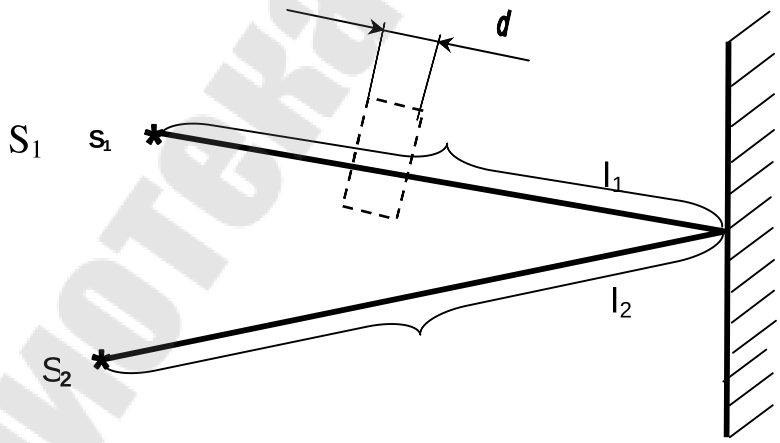


Рис. 7

Ответ: $d_{\min} = 1{,}21$ мкм

2.3. На стеклянный клин с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0{,}6$мкм. Число m возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на отрезок клина длиной l $=1$ см, равно 10. Определить угол α клина.

Решение. Параллельный пучок света, падая нормально к грани клина, отражается как от верхней, так и от нижней грани. Эти отраженные пучки света когерентны. Поэтому на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы. Так как угол клина мал, то отраженные пучки 1 и 2 света (см. рис. 8) будут практически параллельны.

Темные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечетному числу половин длин волн:

$$\Delta = \frac{(2k+1)\lambda}{2}, (k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots). \qquad (1)$$

Разность хода Δ двух волн складывается из разности оптических длин путей этих волн ($2dn$) и половины длины волны ($\frac{\lambda}{2}$). Величина $\frac{\lambda}{2}$ представляет собой добавочную разность хода, возникающую при отражении световой волны 1 от оптически более плотной среды.

Подставляя в формулу (1) разность хода Δ световых волн, получаем

$$2d_k n - \frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\lambda}{2}, \qquad (2)$$

где n – показатель преломления стекла ($n = 1{,}5$); d_k – толщина клина в том месте, где наблюдается темная полоса, соответствующая номеру k.

Раскрыв скобки в правой части равенства (2), после упрощения получим

$$2d_k n = k\lambda. \qquad (3)$$

Пусть произвольной темной полосе k – го номера соответствует толщина d_k клина, а темной полосе $(k+m)$ – го номера – толщина d_{k+m} клина. Тогда (рис.2), учитывая, что m полос укладывается на расстоянии l, найдем:

$$\sin\alpha = \frac{d_{k+m} - d_k}{l}. \qquad (4)$$

Выразим из (3) d_k и d_{k+m} и подставим их в формулу (4). Затем, учитывая, что $\sin\alpha \approx \alpha$ (из-за малости угла α), получим

$$\alpha = \frac{(k+m)\lambda - k\lambda}{2nl} = \frac{m\lambda}{2nl}.$$

Подставляя значения физических величин, найдем

$$\alpha = \frac{10 \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1{,}5 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-4}\,(\text{рад.}).$$

Выразим α в секундах. Для этого можно воспользоваться соотношением между радианом и секундой: 1 рад. = 206265 с ≈ $0{,}6 \cdot 10^{5}$ с. Тогда $\alpha = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}06 \cdot 10^{5}$ (с) = 41,2 (с).

Ответ: α = 41,2 с.

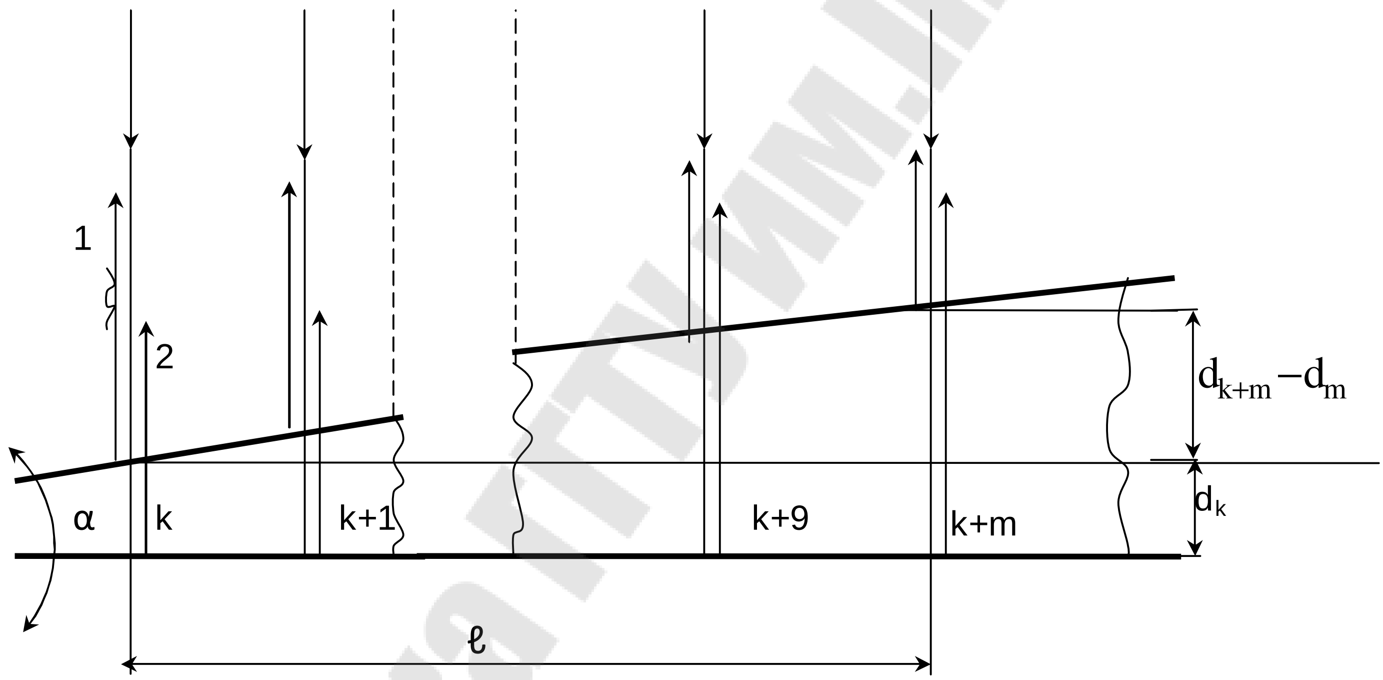


Рис. 8

2.4. Посередине между точечным источником монохроматического света ($\lambda = 550$ нм) и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии 5 м от источника. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным.

Решение. Пусть отверстие диафрагмы открывает *m* зон Френеля. Тогда радиус m – й зоны Френеля есть не что иное, как радиус отверстия, равный

$r_m = \sqrt{\dfrac{ab}{a+b} m\lambda}$, где m – номер зоны Френеля; λ – длина волны; a и b – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором наблюдается дифракционная картина.

Центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным, если в отверстии укладываются две зоны Френеля, т.е. $m = 2$. Следовательно, искомый радиус отверстия

$r = \sqrt{\dfrac{2ab}{a+b}\lambda}$. Вычисляя, получим

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}5}{2{,}5 + 2{,}5} \cdot 0{,}55 \cdot 10^{-6}} = 1{,}17 \cdot 10^{-3} (м) = 1{,}17 (мм).$$

Ответ: $r = 1{,}17$ мм

2.5. На дифракционную решетку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет. Период решетки $d = 2$ мкм. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который дает эта решетка в случае красного ($\lambda_1 = 0{,}7$ мкм) и в случае фиолетового ($\lambda_2 = 0{,}41$ мкм) света.

Решение. Из формулы, определяющей положение главных максимумов дифракционной решетки, найдем порядок m дифракционного максимума:

$$m = \frac{d \sin\varphi}{\lambda}, \qquad (1)$$

где d – период решетки; φ – угол дифракции; λ – длина волны монохроматического света.

Так как $\sin\varphi$ не может быть больше 1, то число m не может быть больше $\dfrac{d}{\lambda}$, т.е. $m \le \dfrac{d}{\lambda}$. (2)

Подставив в формулу (2) значения величин, получим:

$m \le 2/0{,}7 = 2{,}86$ (для красных лучей);

$m \le 2/0{,}41 = 4{,}88$ (для фиолетовых лучей).

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то для красного света $m_{max} = 2$ и для фиолетового $m_{max} = 4$.

Ответ: для красного света $m_{max} = 2$;

для фиолетового света $m_{max} = 4$.

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

Решение. Пучок естественного света падая на грань николя N_1 (см рис. 9) расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два пучка: обыкновенный о и необыкновенный е.

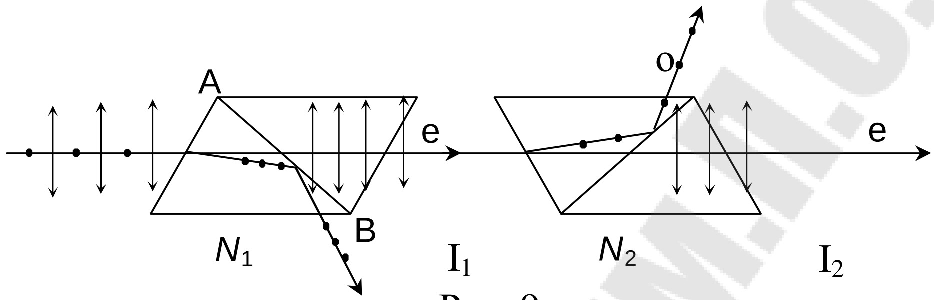


Рис. 9

Оба пучка одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Интенсивность света прошедшего через николь N_1 с учетом потери равна:

$I_1 = \frac{1}{2} I_o (1-k)$,а через николь N_2 с учетом потери равна:

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

$\frac{I_o}{I_2} = \frac{2}{(1-k)^2 \cos^2\alpha}$, а с учётом исходных данных получим

$$\frac{I_o}{I_2} = \frac{2}{(1-0,08)^2\ 0,25} = 9,45.$$

Ответ: интенсивность света, прошедшего через два николя ослабится в 9,45 раза

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

Решение. Закон смещения Вина:

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

где b - постоянная смещения Вина.

Тогда: $T = \dfrac{b}{\lambda_{max}}$

$$T = \frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}}{500 \cdot 10^{-9}} = 5{,}8 \cdot 10^3 \text{К} = 5{,}8 \text{ кК}$$

Энергия излучаемая Солнцем:

$W = R_e S \cdot t$,

где R_e - излучательность абсолютно черного тела,

$S = 4\pi R_c$ - площадь Солнца.

$W = R_e 4\pi R_c \cdot t = \sigma T^4 4\pi R_c \cdot t$,

$W = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 5{,}8 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 3{,}14 \cdot 6{,}95 \cdot 10^8 \cdot 600 = 2{,}34 \cdot 10^{29}$ Дж.

Масса теряемая Солнцем за счет излучения:

$$m = \frac{W}{c^2},$$

где c - скорость света в вакууме.

$$m = \frac{2{,}34 \cdot 10^{29}}{\left(3 \cdot 10^8\right)^2} = 2{,}6 \cdot 10^{12} \text{ кг}.$$

Ответ: $m = 2{,}6 \cdot 10^{12}$ кг

2.8. На идеально отражающую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}55$мкм. Поток излучения Φ_e составляет 0,45 Вт. Определите: 1) Число фотонов N, падающих на поверхность за время $t = 3$с; 2) силу давления, испытываемую этой поверхностью.

Решение. Энергия излучения W получаемая поверхностью

$$W = \varepsilon \cdot N = \frac{hc}{\lambda} N. \qquad (1)$$

Поток Φ_e энергии излучения с учетом формулы (1)

$$\Phi_e = \frac{W}{t} = \frac{hc}{\lambda t} N.$$

Тогда:

$$N = \frac{\Phi_e \lambda \cdot t}{hc},$$

$$N = \frac{0{,}45 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-7} \cdot 3}{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}} = 3{,}73 \cdot 10^{18} \text{фотонов.}$$

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

$F = pS$.

Так как произведение облучаемости E_e на площадь S поверхности равно потоку Φ_e

$$F = \frac{E_e S}{c}(\rho + 1) = \frac{\Phi_e}{c}(\rho + 1),$$

$$F = \frac{0{,}45}{3 \cdot 10^{8}}(1 + 1) = 3 \cdot 10^{-9}\ H = 3\ \text{нН}.$$

Ответ: $F = 3$ нН

2.9. Чему равны максимальная кинетическая энергия и скорость электрона, выбитого с поверхности натрия светом с длиной волны 410 нм. Работа выхода $A = 2{,}28$ эВ.

Решение. Воспользуемся уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = E_к + A, \qquad (1)$$

где $\nu = \frac{c}{\lambda}$ - частота падающего излучения. Таким образом, максимальная кинетическая энергия:

$$E_к = \frac{hc}{\lambda} - A. \qquad (2)$$

Вычисляя с учетом табличных значений, получаем $E_к = 0{,}75$ эВ или $E_к = 1{,}2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Скорость электрона, выбитого с поверхности натрия, получим на основании выражения для кинетической энергии $E_к = \frac{m\upsilon^2}{2}$.

Выразив скорость электрона, получим:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2E_к}{m}}, \qquad (3)$$

где m – масса электрона. Вычисляя с учетом табличных значений, получаем $\upsilon = 5{,}1 \cdot 10^{5}$ м/с.

Ответ: $\upsilon = 5{,}1 \cdot 10^{5}$ м/с

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

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

$$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\Theta}{2}. \qquad (1)$$

Формулу (1) преобразуем следующим образом:

1) выразим длины волн λ' и λ через энергию ε' и ε соответствующих фотонов, воспользовавшись соотношением $\varepsilon = \dfrac{hc}{\lambda}$;

2) умножим числитель и знаменатель правой части формулы на с.

Тогда получим

$$\frac{hc}{\varepsilon'} - \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{hc}{mc^2}2\sin^2\frac{\Theta}{2}.$$

Сократив на hc, выразим из этой формулы искомую энергию:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' mc^2}{mc^2 - \varepsilon' \cdot 2\sin^2\left(\frac{\Theta}{2}\right)} = \frac{\varepsilon' E_0}{E_0 - 2\varepsilon' \sin^2\left(\frac{\Theta}{2}\right)}, \qquad (2)$$

где $m_0c^2 = E_0$ - масса покоя электрона.

Вычисления по формуле (2) удобнее вести во внесистемных единицах. Взяв значение энергии покоя электрона $E_0 = 0.51$МэВ и подставив числовые данные, получим

$$\varepsilon = \frac{0{,}4\cdot 10^6 \cdot 0{,}511\cdot 10^6}{0{,}51\cdot 10^6 - 2\cdot 0{,}4\cdot 10^6 \sin^2 45^{\circ}} = 1{,}85\cdot 10^6 \text{ эВ} = 1{,}85 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $\varepsilon = 1{,}85$ МэВ

2.11. Определить энергию E фотона, соответствующую второй линии в серии Лаймана атома водорода.

Решение. Энергия E фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с одной орбиты на другую:

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

где E_i – энергия ионизации атома водорода, ($E_i = 13{,}6$ эВ),

n = 1, 2, 3,… – номер орбиты, на которую переходит электрон,

$k = n + 1; n + 2; \ldots; n + m$ – номер орбиты, с которой переходит электрон,
m – номер спектральной линии в данной серии.
Для серии Лаймана $n = 1$, для второй линии этой серии $m = 2$, тогда $k = n + m = 1 + 2 = 3$.
Поставив числовые значения, найдем энергию фотона: E=12,09 эВ.
2.12. Определите, какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля для него была равна $\lambda = 1$ нм.
Решение. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов U, приобретает кинетическую энергию $T = \frac{p^2}{2m}$, которая равна eU:

$$T = eU = \frac{p^2}{2m},$$

где e – заряд протона,
U – ускоряющая разность потенциалов,
m – масса протона,
p – импульс протона.
Откуда $P = \sqrt{2meU}$.
Длина волны де Бройля $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$,
где h – постоянная Планка,
и $U = \frac{h^2}{2me\lambda^2}$.
Произведем вычисления:

$$U = \frac{\left(6{,}63 \cdot 10^{-34}\right)^2}{2 \cdot 1{,}675 \cdot 10^{-27} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot \left(1 \cdot 10^{-9}\right)^2} = 8{,}2 \cdot 10^{-4} \text{ В}.$$

Ответ: $U = 8{,}2 \cdot 10^{-4}$ В

2.13. Сколько атомов распадается в 1 г $^3_1$H за среднее время жизни этого изотопа?
Решение. Согласно закону радиоактивного распада,

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

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

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

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \qquad (2)$$

По условию задачи, $t = \tau$, тогда

$$N = \frac{N_0}{e}. \qquad (3)$$

Число атомов, распавшихся за время t,

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

Число атомов, содержащихся в массе m изотопа λ,

$$N_0 = \frac{m}{M} N_\text{A}, \qquad (5)$$

где M – молярная масса изотопа ${}^3_1\text{H}$;

N_A – постоянная Авогадро.

С учетом (5) выражение (4) примет вид

$$N' = \frac{m}{M} N_\text{A}\left(1 - \frac{1}{e}\right);$$

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

Ответ: $N' = 1{,}27 \cdot 10^{23}$

2.14. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра ${}^{16}_8\text{O}$.

Решение. Дефект массы

$$\Delta m = Z m_\text{p} + (A - Z) m_\text{n} - m_\text{я}, \qquad (1)$$

где Z - зарядовое число;

A – массовое число;

m_n – масса нейтрона;

$m_\text{я}$ –масса ядра.

Формулу (1) можно также записать в виде:

$$\Delta m = Z m_{{}^1_1 H} + (A - Z) m_\text{n} - m_\text{a}, \qquad (2)$$

где $m_{{}^1_1\text{H}}$ – масса атома ${}^1_1\text{H}$;

$m_{\text{а}}$ – масса атома, дефект массы ядра которого определяется.
Из справочных таблиц находим $m_{{}^1_1\text{H}} = 1{,}00783$ а.е.м.;
$m_{\text{n}} = 1{,}00867$ а.е.м.; $m_{{}^{16}_{8}\text{O}} = 15{,}99492$ а.е.м. Подставляя в (2) числовые данные (для ${}^{16}_{8}\text{O}$ числа $Z = 8$, $A = 16$), получаем $\Delta m = 0{,}13708$ а.е.е.
Энергия связи ядра

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m, \tag{3}$$

где c – скорость света в вакууме.
Если дефект массы Δm выражать в а.е.м., а энергию связи $E_{\text{св}}$ в МэВ, то формула (3) примет вид:

$$E_{\text{св}} = 931 \Delta m;$$

$$E_{\text{св}} = 931 \text{ МэВ/а.е.м.} \cdot 0{,}13708 \text{ а.е.м.} = 127{,}6 \text{ МэВ}.$$

Удельная энергия связи:

$$\varepsilon_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}; \ \varepsilon_{\text{св}} = \frac{127{,}6 \text{ МэВ}}{16} = 7{,}98 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $\varepsilon_{\text{св}} = 7{,}98$ МэВ.

2.15. Вычислить энергию ядерной реакции $\text{p} + {}^7_3\text{Li} \to {}^7_4\text{Be} + \text{n}$.
Выделяется или поглощается энергия при этой реакции?
Решение. Энергия ядерной реакции

$$Q = c^2 \left[m_1 + m_2 - \sum m_i' \right], \tag{1}$$

где m_1 и m_2 - массы частиц, вступающих в реакцию;
$\sum m_i'$ - сумма масс частиц, образовавшихся в результате реакции.
Если массы частиц выражать в а.е.м., а энергию реакции в МэВ, то формула (1) примет вид:

$$Q = 931 \left[m_1 + m_2 - \sum m_i' \right]. \tag{2}$$

При вычислении энергии ядерной реакции можно использовать массы атомов, а не их ядер. Из справочных данных находим
$m_{{}^1_1\text{H}} = 1{,}00738$ а.е.м.; $m_{\text{n}} = 1{,}00738$ а.е.м.; $m_{{}^7_4\text{Be}} = 7{,}01693$ а.е.м.;
$m_{{}^7_3\text{Li}} = 7{,}01601$ а.е.м.
Дефект массы реакции:

$$\left(m_{{}^1_1\text{H}} + m_{{}^7_3\text{Li}} - m_{{}^7_4\text{Be}} - m_{\text{n}} \right) = -0{,}00176 \text{ а.е.м.}$$

Подставляя числовые значения в (2), получаем

$$Q = 931 \text{ МэВ / а.е.м.} \cdot (-0{,}00176) \text{ а.е.м.} = -1{,}64 \text{ МэВ}.$$

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

Ответ: $Q = -1{,}64$ МэВ.

3.1. Тестовые задачи по геометрической оптике

1.1. Принцип Ферма утверждает, что свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время. Какое из приведенных ниже выражений соответствует указанному принципу?

а) $L=\int\limits_1^2 ndS$; б) $\tau=\frac{1}{c}\int\limits_1^2 ndS$; в) $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$.

1.2. Закону (определению) поставьте в соответствие математическое выражение:

Закон (определение)	Математическое выражение
а) закон полного внутреннего отражения	1) $n=\frac{c}{\mathrm{v}}$;
б) оптическая разность хода	2) $\sin\alpha_0=n_{21}$;
в) абсолютный показатель преломления	3) $F=\frac{R}{2}$;
г) оптическая сила линзы	4) $D=\frac{1}{F}$;
д) фокусное расстояние	5) $L=n_2 I_2-n_1 I_1$.

1.3. Фокусное расстояние для тонкой линзы определяется выражением

а) $\frac{1}{F}=\left(\frac{n_л}{n_{ср}}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$; б) $D=\frac{1}{F}$; в) $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$; г) $F=\frac{R}{2}$.

1.4. Какая из формул для вогнутого сферического зеркала используется в случае, если получается действительное изображение предмета?

а) $-\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$; б) $-\frac{1}{F}=\frac{1}{d}-\frac{1}{f}$; в) $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}-\frac{1}{f}$; г) $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$.

1.5. Для двух сред «масло - воздух» синус угла полного внутреннего отражения света равен 0,66. Свет в масле распространяется со скоростью, равной

а) $2\cdot10^8$ м/с; б) $2{,}2\cdot10^8$ м/с; в) $2{,}4\cdot10^8$ м/с; г) $2{,}6\cdot10^8$ м/с;

д) $2{,}8\cdot10^8$ м/с.

1.6. На экране получено четкое изображение предмета, увеличенное в 2 раза. Зная, что фокусное расстояние линзы равно 8 см, найдите расстояние от предмета до экрана.

а) 12 см; б) 16 см; в) 28 см; г) 36 см.

1.7. Линейные размеры изображения, полученного на экране, в три раза больше линейных размеров предмета. Фокусное расстояние линзы $F =$ 0,24 м. Расстояние от предмета f до линзы равно

а) 6 см; б) 8 см; в) 16 см; г) 24 см; д) 32 см.

1.8. Определить, на какой угол γ повернется луч, отраженный от плоского зеркала, если повернуть зеркало на угол α.

а) $\gamma = \alpha$; б) $\gamma = \frac{1}{2}\alpha$;

1.9. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку, показатель преломления которой 1,6, под углом 45° (см. рис. 10).

Определить толщину пластинки, если вышедший из пластинки луч смещен относительно продолжения падающего луча на расстояние 2 см.

а) $d = 2 \cdot 10^{-2}$ м; б) $d = 5{,}6 \cdot 10^{-2}$ м;
в) $d = 8{,}4 \cdot 10^{-2}$ м; г) $d = 4 \cdot 10^{-2}$ м.

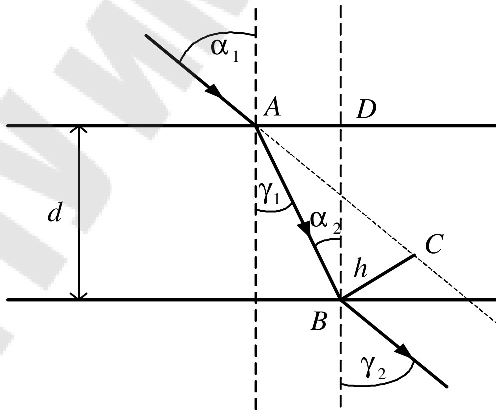


Рис. 10

1.10. На дно сосуда, наполненного скипидаром до высоты 10 см, помещен источник света S. На поверхности скипидара плавает круглая непрозрачная пластина так, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший радиус должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти из скипидара (см. рис. 11). Определить скорость света в скипидаре.

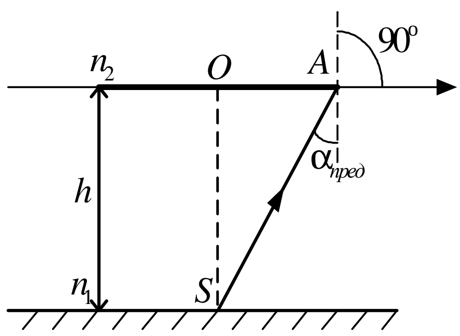


Рис. 11

а) $R = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $\upsilon = 2{,}03 \cdot 10^{8}$ м/с; б) $R = 9 \cdot 10^{-2}$ м, $\upsilon = 4 \cdot 10^{8}$ м/с;

в) $R = 7 \cdot 10^{-2}$м, $\upsilon = 3 \cdot 10^{8}$м/с; г) $R = 9 \cdot 10^{-2}$м, $\upsilon = 2{,}03 \cdot 10^{8}$м/с.

1.11. На стеклянную призму с преломляющим углом $\theta = 50°$ падает под углом $\alpha_1 = 30°$ луч света. Определить угол отклонения σ луча призмой, если показатель преломления n стекла равен 1,56.

а) $\sigma = 30{,}1°$; б) $\sigma = 40{,}1°$; в) $\sigma = 34{,}1°$; г) $\sigma = 37°$.

1.12 Радиус кривизны R вогнутого зеркала 60 см. Определить, на каком расстоянии a от зеркала следует поместить предмет, чтобы его действительное изображение было в два раза больше предмета.

а) $a = 3 \cdot 10^{-1}$м; б) $a = 6 \cdot 10^{-1}$м; в) $a = 4{,}5 \cdot 10^{-1}$м; г) $a = 5{,}5 \cdot 10^{-1}$м.

1.13. Выпуклое сферическое зеркало имеет радиус кривизны R = 40 см. На расстоянии a = 30 см от полюса зеркала поставлен предмет высотой h = 20 см. Определить: 1) расстояние b от полюса зеркала до изображения; 2) высоту H изображения.

а) $b = 0{,}12$м, $H = 0{,}08$м; б) $b = 0{,}16$м; $H = 0{,}08$м;

в) $b = 0{,}12$м, $H = 0{,}20$м; г) $b = 0{,}16$м, $H = 0{,}15$м.

1.14. Радиусы кривизны поверхностей собирающей линзы $R_1 = R_2 = 20$ см. Определить: 1) фокусное расстояние линзы в воздухе; 2) фокусное расстояние этой же линзы, погруженной в жидкость ($n_{ж}$ = 1,7). Показатель преломления материала линзы $n_{л}$ = 1,5.

а) 1) $F_1 = 0{,}4$м, 2) $F_2 = -0{,}65$м; б) 1) $F_1 = 0{,}2$м, 2) $F_2 = -0{,}85$м;

в) 1) $F_1 = 0{,}5$м, 2) $F_2 = -0{,}85$м; г) 1) $F_1 = 0{,}2$м, 2) $F_2 = -0{,}6$м.

1.15. Двояковыпуклая линза, оптическая сила которой D = 8 дптр, дает изображение предмета на экране, удаленном на расстоянии f = 75 см, равное h = 10 см. Определить положение и высоту предмета. Построить его изображение.

а) $d = 1 \cdot 10^{-1}$м, $h_{о} = 4 \cdot 10^{-2}$м; б) $d = 1{,}5 \cdot 10^{-1}$м, $h_{о} = 2 \cdot 10^{-2}$м;

в) $d = 1{,}5 \cdot 10^{-1}$м, $h_{о} = 6 \cdot 10^{-2}$м; г) $d = 2 \cdot 10^{-1}$м, $h_{о} = 2 \cdot 10^{-2}$м.

1.16. На расстоянии a = 15 см от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием F = 30 см перпендикулярно к главной оптической оси находится предмет высотой h = 9 см. Определить: 1) расстояние b изображения от линзы; 2) высоту H изображения. Среда по обе стороны линзы одинаковая.

а) $b = 14$см, $H = 6$см; б) $b = 10$см, $H = 2$см;

в) $b = 10$см, $H = 6$см; г) $b = 12$см, $H = 8$см.

1.17. Свеча находится на расстоянии l = 3,5 м от экрана. Между свечой и экраном помещают собирающую линзу, которая дает на экране четкое изображение свечи при двух положениях линзы. Найти фокусное расстояние линзы F, если расстояние между положениями линзы r = 0,5 м.

а) $F = 0{,}76$м; б) $F = 0{,}86$м; в) $F = 0{,}96$м; г) $F = 0{,}80$м. $F = 0{,}80\ м$.

1.18. Светящаяся точка S находится на главной оптической оси центрированной системы двух тонких линз на расстоянии 40 см от первой линзы. Расстояние между линзами 30 см. Где получится изображение точки, если фокусное расстояние каждой из них 30 см?

а) $b_2 = 0{,}225$м; б) $b_2 = 0{,}245$м; в) $b_2 = 0{,}125$м; г) $b_2 = 0{,}275$м.

1.19. В центре квадратной комнаты площадью S = 16 м^2 висит светильник. Считая светильник точечным источником света, определить высоту h от пола, на которой должен висеть светильник, чтобы освещенность в углах комнаты была максимальной.

а) $h = 3$ м б) $h = 2$ м в) $h = 2.5$ м г) $h = 1.75$ м.

1.20. Определить высоту, на которую следует над чертежной доской повесить лампочку мощностью P = 100 Вт, чтобы освещенность E доски под лампочкой была равна 50 лк. Наклон доски α = 30°, световая отдача L лампочки равна 10 лм/Вт. Лампочку считать точечным источником, принимая полный световой поток $\Phi = 4\pi I$ (I – сила света лампочки).

а) $h = 1{,}05$ м; б) $h = 1{,}11$ м; в) $h = 1{,}21$ м; г) $h = 1{,}17$ м.

1.21. На каком из приведенных ниже рисунков дано правильное изображение хода луча в стеклянной призме с преломляющим углом 45°?

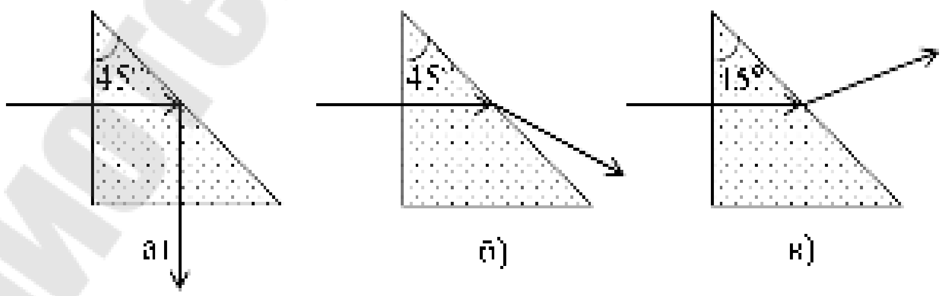


Рис. 12

1.22. В каком из приведенных ниже выражений для закона преломления допущена ошибка?

а) $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \dfrac{n_2}{n_1}$; б) $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \dfrac{v_2}{v_1}$; в) $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$; г) $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \dfrac{v_1}{v_2}$.

1.23. Расстояние от предмета до рассеивающей линзы $F < d < 2F$. Какое получится изображение?

а) мнимое, перевернутое, уменьшенное;

б) мнимое, прямое, уменьшенное;

в) мнимое, прямое, увеличенное;

г) мнимое, перевернутое, увеличенное.

1.24. Свет проходит последовательно через воздух - воду - стекло. Каково соотношение между скоростями распространения света в различных средах?

а) $v_1 > v_2 > v_3$;б) $v_1 > v_2 < v_3$;в) $v_1 < v_2 > v_3$;г) $v_1 < v_2 < v_3$.

Здесь v_1, v_2, и v_2- скорости распространения света в воздухе, воде и стекле. соответственно.

1.25. Какое изображение получается в сферическом зеркале, если предмет установлен от вершины зеркала на расстоянии $(d > 2F)$?

а) уменьшенное, прямое, мнимое;

б) уменьшенное, обратное, мнимое;

в) уменьшенное, прямое, действительное;

г) уменьшенное, обратное, действительное.

1.26. Оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой 20 см, равна:

а) 0,05 дп; б) 0,5 дп; в) 1 дп; г) 5 дп.

1.27. Фокусное расстояние линзы, оптическая сила которой $D =$ 5 дп, равно

а) 50 см; б) 25 см; в) 20 см; г) 5 см.

1.28. Наблюдатель рассматривает светящуюся точку через плоскопараллельную стеклянную пластину с показателем преломления 1,5 толщиной 3 см так, что луч зрения нормален к пластине. Определить расстояние между светящейся точкой и ее изображением (см. рис. 13).

а) $SS' = 16^{-2}$ м б) $SS' = 8^{-2}$ м

в) $SS' = 10^{-2}$ м г) $SS' = 18^{-2}$ м

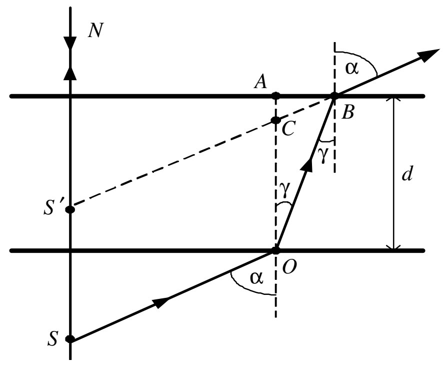


Рис. 13

1.29. Предмет высотой 20 см расположен на расстоянии 30 см перед двояковыпуклой линзой, имеющей оптическую силу 2,5 дптр. Определить: 1) фокусное расстояние линзы; 2) на каком расстоянии от линзы находится изображение предмета; 3) линейное увеличение линзы; 4) высоту изображения. Постройте изображение предмета в линзе. Что это за изображение?

а) 1) $F = 0{,}6$ м; 2) $b = -1{,}5$ м; 3) $\Gamma = -6$; 4) $H = -1{,}0$ м

б) 1) $F = 0{,}4$ *м*; 2) $b = -1{,}2$ *м*; 3) $\Gamma = -4$; 4) $H = -0{,}8$ *м*

в) 1) $F = 0{,}3$ *м*; 2) $b = -1{,}5$ *м*; 3) $\Gamma = -5$; 4) $H = -0{,}8$ *м*

г) 1) $F = 0{,}4$ *м*; 2) $b = -1{,}0$ *м*; 3) $\Gamma = -3$; 4) $H = -0{,}9$ *м*

1.30. Луч света, идущий в воздухе, проходит слой скипидара $(n_c = 1{,}48)$ толщиной $h = 2$ *мм*. Насколько изменится оптическая разность хода преломленного и непреломленного лучей, если световая волна падает под углом $\alpha = 45°$ к поверхности жидкости?

а)увеличится на $\Delta = 0{,}50$ *мм* б)уменьшится на $\Delta = 0{,}54$ *мм*

в)увеличится на $\Delta = 0{,}54$ *мм* г)увеличится на $\Delta = 0{,}64$ *мм*

3.2.Тестовые задачи по интерференции света

2.1. Вставьте вместо точек пропущенный фрагмент.

«Интерференцией света называется явление пространственного перераспределения энергии светового излучения…………….. приводящее к возникновению максимумов и минимумов интенсивности».

а) при наложении двух произвольных сферических световых волн;

б) при наложении двух или более световых волн с непрерывно меняющейся разностью фаз;

в) при наложении двух или более когерентных световых волн;

г) при наложении когерентных световых волн от непрерывного количества источников.

2.2. Установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Определение	Математическое выражение
а) оптическая разность хода	1) $\dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta$
б) разность фаз колебаний	2) $(n_2 - n_1)l$

в) фаза колебания 3) $\dfrac{2\pi}{\lambda}$

г) волновое число 4) $\omega\left(t-\dfrac{I}{v}\right)$

2.3. Радиусы светлых колец Ньютона в проходящем свете определяются формулой:

а) $r_k=\sqrt{kR\lambda}$; б) $r_k=\sqrt{(2k-1)\dfrac{R\lambda}{2}}$; в) $r_k=\sqrt{(k-1)kR}$;

г) $r_k=\sqrt{kR\dfrac{\lambda}{2}}$.

2.4. Для интерференционной картины от двух когерентных световых волн установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Математическое выражение	Определение
а) ширина интерференционной полосы	1) $m\dfrac{xd}{I}$;
б) оптическая разность хода	2) $m\dfrac{I}{d}\lambda$;
в) координаты минимумов	3) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{I}{d}\lambda$;
г) координаты максимумов	4) $\dfrac{I}{d}\lambda$.

2.5. Пучок белого света падает нормально на пластинку, толщина которой h = 1 мкм. Показатель преломления стекла n = 1,5. Какая область видимого спектра будет усиливаться в отраженном пучке?

а) красная; б) желтая; в) зеленая; г) фиолетовая.

2.6 Оптическая разность хода лучей, отраженных от граней плоскопараллельной пластики толщины h при нормальном падении, равна:

а) hn; б) $2hn$; в) $2hn+\dfrac{\lambda}{2}$; г) $2hn+\lambda$.

2.7. Условие максимумов интенсивности в интерференционной картине при отражении световой волны от плоскопараллельной пластики толщины h имеет вид:

а) $2h\sqrt{n^2-\sin^2\theta_1}=(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$; б) $2h\sqrt{n^2-\sin^2\theta_1}=\lambda m$;

в) $2hn\cos\theta_2 = (2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$; г) $2hn\cos\theta_2 = m\lambda$.

2.8. Разность фаз колебаний двух интерферирующих лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$нм равна $\Delta\varphi = \dfrac{3\pi}{2}$. Определить разность хода этих лучей.

а) $\Delta = 500$нм; б) $\Delta = 385$нм; в) $\Delta = 380$нм $\Delta = 380$ *нм*; г) $\Delta = 375$нм.

2.9. В опыте с зеркалами Френеля расстояние d между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние l от них до экрана равно 5 м. В красном свете ширина интерференционных полос равна 5,5 мм. Определить длину волны λ красного света.

а) $\lambda = 550$нм; б) $\lambda = 580$нм; в) $\lambda = 540$нм; г) $\lambda = 570$нм.

2.10. На экране наблюдается интерференционная картина в результате наложения лучей от двух когерентных источников с длиной волны 500 нм. На пути одного из лучей перпендикулярно к нему поместили стеклянную пластинку с показателем преломления 1,6 толщиной 5 мкм. Определить, на сколько полос при этом сместится интерференционная картина.

а) $m = 7$; б) $m = 6$; в) $m = 5$; г) $m = 8$.

2.11. Расстояние между двумя когерентными источниками $d = 0{,}9$ мм. Источники, испускающие монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 640$ нм, расположены на расстоянии $l = 3{,}5$ м от экрана. Определить число светлых полос, располагающихся на 1 см длины экрана.

а) $\dfrac{m}{x} = 420\text{м}^{-1}$; б) $\dfrac{m}{x} = 390\text{м}^{-1}$; в) $\dfrac{m}{x} = 400\text{м}^{-1}$; г) $\dfrac{m}{x} = 400\text{м}$.

2.12. В опыте Юнга щели освещаются монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, расстояние d между щелями равно 1 мм и расстояние l от щелей до экрана – 1,2 м. Определить: 1) положение первой темной полосы; 2) положение третьей светлой полосы.

а) $x_{1\min} = 1{,}1$мм; $x_{3\max} = 2{,}26$мм;

б) $x_{1\min} = 1{,}05$мм; $x_{3\max} = 2{,}12$мм;

в) $x_{1\min} = 1{,}08$мм; $x_{3\max} = 2{,}16$мм;

г) $x_{1\min} = 1{,}03$мм; $x_{3\max} = 2{,}24$мм.

2.13. В опыте Юнга расстояние $\Delta\alpha$ между соседними светлыми полосами составляет 10^{-3} рад. Определить расстояние l от щелей до экрана, если вторая светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на 4 мм.

а) $l = 2{,}2$м; б) $l = 2{,}0$м; в) $l = 1{,}8$м; г) $l = 1{,}5$м.

2.14. Для уменьшения потерь света при отражении от стекла на поверхность объектива с показателем преломления 1,7 нанесена тонкая прозрачная пленка с показателем преломления 1,3. При какой наименьшей толщине ее произойдет максимальное ослабление света, длина волны которого приходится на среднюю часть видимого спектра$(\lambda_o = 0{,}56\text{мкм})$? Считать, что лучи падают нормально к поверхности объектива.

а) $h = 108$нм; б) $h = 110$нм; в) $h = 100$нм; г) $h = 112$нм.

2.15. Какую наименьшую толщину должна иметь пленка из скипидара, разлитого на воде, если на нее под углом $\alpha = 30°$ падает белый свет и она в отраженном свете окажется красной? Длина волны красных лучей $\lambda = 0{,}63$ мкм.

а) $h_{\min} = 150$нм; б) $h_{\min} = 180$нм; в) $h_{\min} = 120$нм; г) $h_{\min} = 200$нм.

2.16. Расстояния от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана соответственно равны $a = 48$ см и $c = 6$ м. Бипризма стеклянная $(n = 1{,}5)$ с преломляющим углом $\theta = 10'$. Определить число полос, наблюдаемых на экране, если длина волны λ монохроматического света равна 600 нм.

а) N =4; б) N =5; в) N =6; г) N =7.

2.17. На стеклянный клин с показателем преломления 1,5 и преломляющим углом $\alpha = 40''$ нормально падает монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Определить в интерференционной картине расстояние между двумя соседними максимумами.

а) $b = 0{,}103$мм; б) $b = 1{,}03$мм; $b = 1{,}06 \cdot 10^{-3}\,м$; в) $b = 0{,}106$мм;

г) $b = 1{,}03$мм.

2.18. Плосковыпуклая линза с показателем преломления $n = 1{,}6$ выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус третьего светлого кольца в отраженном свете $(\lambda = 0{,}6\text{ мкм})$ равен 0,9 мм. Определить фокусное расстояние линзы. Установка для наблюдения колец Ньютона расположена в воздухе.

а) $F = 0{,}8$м; б) $F = 0{,}9$м; в) $F = 1.0$м; г) $F = 1{,}1$м.

2.19. На стеклянный клин $(n = 1{,}5)$ с углом при вершине $\alpha = 1'$ падает под углом $i = 18°$ монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить расстояние между двумя соседними минимумами при наблюдении интерференции в отраженном свете.

а) $b = 0{,}713$мм; б) $b = 0{,}709$мм; в) $b = 0{,}703$мм; г) $b = 0{,}700$мм.

2.20. Сферическая поверхность плосковыпуклой линзы с показателем преломления 1,52 соприкасается со стеклянной пластиной с показателем преломления 1,7. Пространство между линзой, радиус кривизны которой равен 1 м, и пластинкой заполнен жидкостью (см. рис. 14). Наблюдая кольца Ньютона в отраженном свете $(\lambda_0 = 0{,}589$ мкм$)$, измеряем радиус десятого темного кольца.

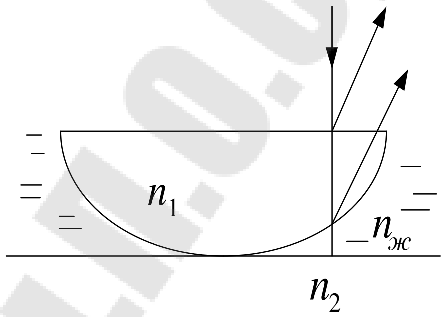


Рис. 14

Определить показатель преломления жидкости в двух случаях:

1) $r_{10} = 2{,}05$ мм; 2) $r_{10} = 1{,}9$ мм.

а) 1) $n_{ж} = 1{,}55$; 2) $n_{ж} = 1{,}40$; б) 1) $n_{ж} = 1{,}40$; 2) $n_{ж} = 1{,}55$;

в) 1) $n_{ж} = 1{,}45$; 2) $n_{ж} = 1{,}50$; г) 1) $n_{ж} = 1{,}40$; 2) $n_{ж} = 1{,}50$.

2.21. Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке 15?

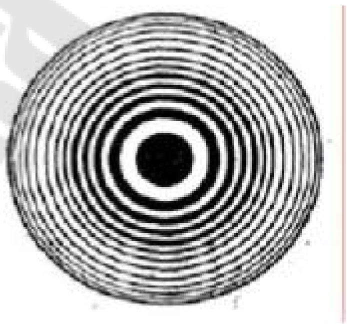


Рис. 15

а) интерференцию в тонких пленках (кольца Ньютона);

б) дифракцию от круглого отверстия, открывающего нечетное число зон Френеля;

в) дифракцию от круглого диска, закрывающего небольшое число зон Френеля;

г) ничего сказать определенного нельзя.

2.22. На рисунке 16 изображена интерференционная схема

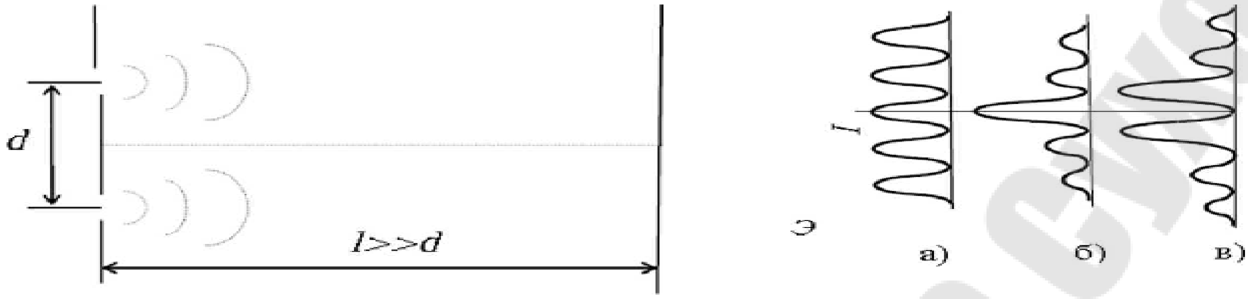


Рис. 16

опыта Юнга с двумя щелями, излучающими волны с длиной λ_0. Какой из приведенных графиков $I = f(x)$ описывает изменение интенсивности в интерференционной картине?

2.23. Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке 17?

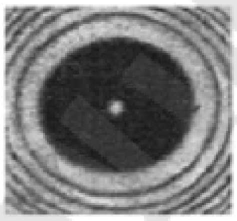


Рис. 17

а) интерференцию в тонких пленках (кольца Ньютона);

б) дифракцию от круглого отверстия, открывающего четное число зон Френеля;

в) дифракцию от круглого диска, закрывающего нечетное число зон Френеля;

г) ничего сказать определенного нельзя.

2.24. В зеркале Ллойда (см. рис. 18) точечный источник S находится на расстоянии $l = 2$ м от экрана. На экране образуется система интерференционных полос (когерентными источниками являются первичный источник S и его мнимое изображение S' в зеркале). Ширина интерференционных полос b на экране равна 1,2 мм. Определить длину волны λ

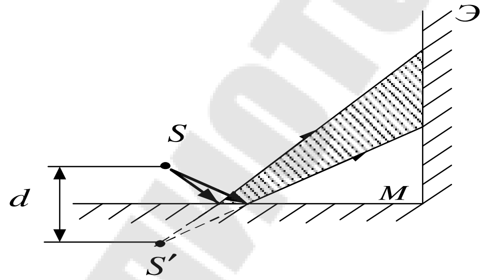


Рис. 18

света, если после того, как источник света S отодвинули от плоскости зеркала на $\Delta d = 0{,}5$ мм, ширина полос уменьшилась в $n = 2$ раза.

а) $\lambda = 615$ *нм* б) $\lambda = 600$ *нм* в) $\lambda = 590$ *нм* г) $\lambda = 585$ *нм*

2.25. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0{,}6$ мкм, падающим нормально на плоскую поверхность линзы. Пространство между линзой ($n_1 = 1{,}55$) и плоской прозрачной пластинкой ($n_2 = 1{,}5$) заполнено жидкостью с показателем преломления $n = 1{,}6$. Найти радиус кривизны линзы *R*, если радиус четвертого ($m = 4$) светлого кольца в проходящем свете $r_4 = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

а) $R = 68$ *см* б) $R = 62$ *см* в) $R = 66$ *см* г) $R = 69$ *см*

2.26. В установке для наблюдения колец Ньютона свет с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм падает нормально на плосковыпуклую линзу с радиусом кривизны $R_1 = 1$ м, положенную выпуклой стороной на вогнутую поверхность плосковогнутой линзы с радиусом кривизны $R_2 = 2$ м. Определить радиус пятого темного кольца Ньютона, наблюдаемого в отраженном свете.

а) $r_5 = 2{,}28$ *мм* б) $r_5 = 2{,}25$ *мм* в) $r_5 = 2{,}24$ *мм.* г) $r_5 = 2{,}20$ *мм*

2.27. Разность хода двух интерферирующих лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$нм равна $\Delta = 3{,}75 \cdot 10^{-7}$ м. Определить разность хода фаз колебаний этих лучей.

а) $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$; б) $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{5}$; в) $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}$; г) $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{8}$.

2.28. В опыте Юнга число светлых полос, располагающихся на 1 см длины экрана $\frac{m}{x} = 400\text{м}^{-1}$. Источники, испускающие монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 640$ нм, расположены на расстоянии $l = 3{,}5$ м от экрана. Определить расстояние между двумя когерентными источниками.

а) d = 0,2мм; б) d = 1,5мм; в) d = 0,5мм;г) $d = 0{,}9$ мм.

2.29. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы 15 м. Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение проводится в отраженном свете.

а) $7{,}1 \cdot 10^{-7}$ м; б) $6{,}5 \cdot 10^{-7}$ м; в) $8{,}4 \cdot 10^{-7}$ м; г) $4{,}2 \cdot 10^{-7}$ м

2.30. На мыльную пленку (показатель преломления 1,33) падает белый свет под углом 45^{o}. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый свет? Длина волны желтого света 600 нм.

а) 550нм ; б) 533нм; в) 625нм; г) 510нм

3.3. Тестовые задачи по дифракции света

3.1. Радиус m зоны Френеля для сферической волны определяется выражением:

а) $\sqrt{\dfrac{b}{2(a+b)}m\lambda}$; б) $\sqrt{\dfrac{ab}{a+b}m\lambda}$; в) $\sqrt{\dfrac{a+b}{ab}m\lambda}$; г) $\sqrt{\dfrac{\pi ab}{a+b}m\lambda}$.

3.2. Амплитуда колебания световой волны, создаваемая в некоторой точке P всей сферической волновой поверхностью, равна:

а) $\dfrac{A_1}{2}$; б) A_1; в) $\dfrac{A_1}{2}+\dfrac{A_m}{2}$; г) $\dfrac{A_1}{2}-\dfrac{A_m}{2}$.

3.3. Радиусы m зоны Френеля в случае плоской волны определяются выражением:

а) $r_m=\sqrt{\dfrac{ab}{a+b}m\lambda}$; б) $r_m=\sqrt{bm\lambda}$; в) $r_m=\sqrt{m(a+b)\dfrac{\lambda}{2}}$.

3.4. Какое из приведенных выражений определяет положения главных максимумов интенсивности в дифракционной картине от дифракционной решетки?

а) $d\sin\varphi=\pm\dfrac{k}{N}\lambda$; б) $d\sin\varphi=\pm\left(m+\dfrac{k}{N}\right)\dfrac{\lambda}{2}$;

в) $d\sin\varphi=\pm m\lambda$; г) $d\sin\varphi=\pm(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$.

3.5. На круглое отверстие диаметром d = 4 мм падает нормально параллельный пучок лучей $(\lambda=0{,}5\text{ мкм})$. Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $r_0=1$ м от него. Сколько зон Френеля укладывается в отверстии? Темное или светлое пятно получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения поместить экран?

а) $m=7$, пятно темное; б) $m=8$, пятно темное;

в) $m=4$, пятно темное; г) $m=5$, пятно темное.

3.6. Сферическая волна, распространяющаяся от точечного монохроматического источника света $(\lambda = 600\text{ нм})$, встречает на своем пути диафрагму с круглым отверстием. Определить, при каком радиусе r отверстия центр дифракционной картины, наблюдаемой на экране, будет максимально освещенным. Считать расстояние от источника света до диафрагмы и от диафрагмы до экрана равным $a = 1$ м.

а) $r = 0{,}45$мм; б) $r = 0{,}55$мм; в) $r = 0{,}65$мм; г) $r = 0{,}85$мм.

3.7. На диафрагму с круглым отверстием диаметром $d = 4$мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 500нм.Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $b = 1$м отнего. Сколько зон укладывается в отверстие?

а) $n = 4$; б) $n = 6$; в) $n = 10$; г) $n = 8$.

3.8. На щель шириной $a = 0.05$мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 600нм. Определить угол между первоначальным направлением пучка и направлением на четвёртую тёмную дифракционную полосу.

а) $\varphi = 2^o45'$; б) $\varphi = 1^o30$; в) $\varphi = 3^o15'$; г) $\varphi = 5^o05'$.

3.9. Монохроматический свет $(\lambda = 0{,}5\text{ мкм})$ падает нормально на круглое отверстие диаметром $d = 1$ см. На каком расстоянии от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы в отверстии помещалась одна зона Френеля?

а) $r_о = 50$м; б) $r_о = 60$м; в) $r_о = 50$м; г) $r_о = 45$м.

3.10. На щель шириной $a = 4\lambda$ падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ. Сколько минимумов будет наблюдаться на экране в дифракционном спектре?

а) N=4; б) $N = 6$; в) N=10; г) N=8.

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

а) l=2 м; б) l=1 м; в) l=4 м; г) l=1,5 м.

3.12. Найти постоянную дифракционной решетки d, если при наблюдении в монохроматическом свете $(\lambda = 600\text{ нм})$ максимум пятого порядка отклонен на угол $\varphi = 18°$. Какое число штрихов N нанесено на единицу длины этой решетки?

а) $d = 1070$нм, $N = 93$мм$^{-1}$; б) $d = 970$нм, $N = 103$мм$^{-1}$;

в) $d = 9{,}7$мм, $N = 10{,}3$мм$^{-1}$; г) $d = 8700$нм, $N = 203$мм$^{-1}$.

3.13. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Определить угол дифракции для линии $\lambda_1 = 550$ нм в четвертом порядке, если этот угол для линии $\lambda_2 = 600$ нм в третьем порядке составляет $30°$.

а) $\varphi_1 = 37°42'$; б) $\varphi_1 = 47°42'$; в) $\varphi_1 = 57°42'$; г) $\varphi_1 = 17°42'$.

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

а) $\lambda_1 = 700$нм; б) $\lambda_1 = 550$нм; в) $\lambda_1 = 500$нм; г) $\lambda_1 = 600$нм.

3.15. На дифракционную решетку длиной l = 15 мм, содержащую $N = 3000$ штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 570$ нм. Определить максимально возможный порядок спектра, наблюдаемый с помощью этой решетки.

а) $m_{max} = 8$; б) $m_{max} = 9$; в) $m_{max} = 7$; г) $m_{max} = 6$.

3.16. Дифракционная решетка длиной 5 мм может разрешить в первом порядке две спектральные линии натрия – $\lambda_1 = 589{,}0$ нм и $\lambda_2 = 589{,}6$ нм. Определить, под каким углом в спектре третьего порядка будет наблюдаться максимум интенсивности света с $\lambda_3 = 600$ нм, падающего на решетку нормально.

а) $\varphi = 20{,}7°$; б) $\varphi = 20{,}3°$; в) $\varphi = 21{,}0°$; г) $\varphi = 20{,}0°$.

3.17. Сравнить наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия $(\lambda = 589$ нм$)$ двух дифракционных решеток одинаковой длины $(l = 4$ мм$)$, но разных периодов $(d_1 = 5$ мкм, $d_2 = 10$ мкм$)$.

а) $R_{1max} = R_{2max} = 6800$; б) $R_{1max} = R_{2max} = 6200$;

в) $R_{1max} = R_{2max} = 6400$; г) $R_{1max} = R_{2max} = 6800$.

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

а) $d = 0{,}30$нм; б) $d = 0{,}28$нм; в) $d = 0{,}25$нм; г) $d = 0{,}31$нм.

3.19. Угловая дисперсия D_φ дифракционной решетки для $\lambda = 600$ нм в спектре второго порядка составляет $4 \cdot 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$. Определить постоянную дифракционной решетки.

а) $d = 5{,}24$мкм; б) $d = 5{,}20$мкм; в) $d = 5{,}18$мкм; г) $d = 5{,}14$мкм.

3.20. При нормальном падении света на дифракционную решётку на экране с помощью линзы (фокусное расстояние $F = 0{,}8$ м) наблюдается дифракционная картина. Красная линия $(\lambda = 630 \text{ нм})$ в спектре второго порядка наблюдается под углом $\varphi = 11°$. Определить: 1) постоянную решетки.

а) $d = 6{,}6$мкм; б) $d = 6{,}8$мкм; в) $d = 6{,}3$мкм; г) $d = 6{,}0$мкм.

3.21. Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке 19?

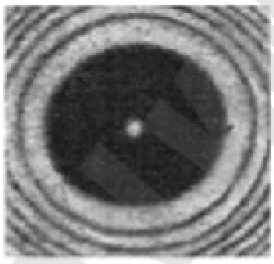


Рис. 19

а) интерференцию в тонких пленках (кольца Ньютона);

б) дифракцию от круглого отверстия, открывающего четное число зон Френеля;

в) дифракцию от круглого диска, закрывающего нечетное число зон Френеля;

г) ничего сказать определенного нельзя.

3.22. На пути точечного источника A поставлен непрозрачный диск C, который закрывает небольшую часть центральной зоны Френеля (см. рис. 20. Что будет наблюдаться на экране B.

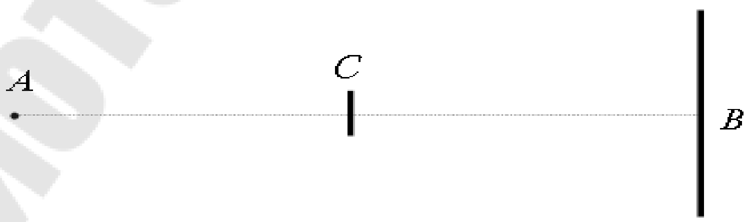


Рис. 20

а) на экране будет наблюдаться дифракционная картина в виде чередования светлых и темных колец;

б) на экране будет наблюдаться дифракционная картина в виде чередования темных и светлых колец;

в) свет не отбрасывает тени - освещенность экрана всюду остается такой же, как и при отсутствии преграды.

3.23. Что будет наблюдаться на экране, если на пути от точечного источника поставить непрозрачный диск, закрывающий большое число зон Френеля?

а) в центральной части экрана будет темное пятно, а на границе геометрической тени будет наблюдаться чередование светлых и темных колец;

б) на экране будет наблюдаться дифракционная картина в виде чередования светлых и темных колец, в центре экрана будет светлое пятнышко;

в) диск отбрасывает на экране тень в соответствие с законами геометрической оптики.

3.24. Угловая дисперсия дифракционной решетки равна:

а) $\dfrac{d}{m}$;   б) $\dfrac{\sqrt{d^2 - m^2\lambda^2}}{m}$;   в) $\dfrac{m}{\sqrt{d^2 - m^2\lambda^2}}$;   г) $\dfrac{m}{d\cos\varphi}$.

3.25. Какое явление отображает картинка изображенная на рисунке 21?

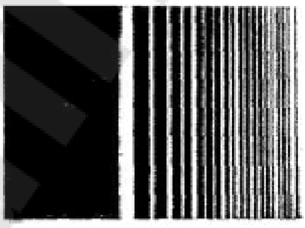


Рис. 21

а) дифракцию от щели;

б) дифракцию от прямолинейного края полуплоскости;

в) интерференцию в тонких пленках (полосы равной толщины);

г) ничего сказать определенного нельзя.

3.26. Характеристике спектрального прибора приведите в соответствие определение.

Характеристика	Определение
а) угловая дисперсия	1) $\dfrac{\lambda}{d\lambda}$
б) линейная дисперсия	2) $\dfrac{\delta\varphi}{d\lambda}$

в) разрешающая способность 3) $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$

г) дисперсионная область 4)

3.27. Между точечным источником света с длиной волны 0,5 мкм и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием радиусом 1 мм. Расстояния от диафрагмы до источника и экрана равны соответственно 1 м и 2 м. Как изменится освещенность в точке, лежащей против центра отверстия, если диафрагму убрать?

а) $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2}$; уменьшится в 2 раза б) $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{4}$; уменьшится в 4 раза

в) $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{5}$; уменьшится в 5 раза г) $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{3}$; уменьшится в 3 раза

3.28. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны 550 нм. На экран, находящийся от решетки на расстоянии 1 м, с помощью линзы, расположенной вблизи решетки, проецируется дифракционная картина, причем первый главный максимум наблюдается на расстоянии 12 см от центрального. Определить: 1) период дифракционной решетки; 2) число штрихов на 1 см ее длины; 3)общее число максимумов, даваемых решеткой; 4) угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.

а) $d = 5,58 \cdot 10^{-6}$ *м;* $n = 3,18 \cdot 10^{3}$ *м*$^{-1}$; $N = 18$; $\varphi_{\max} = 83,9°$

б) $d = 4,68 \cdot 10^{-6}$ *м;* $n = 2,16 \cdot 10^{3}$ *м*$^{-1}$; $N = 16$; $\varphi_{\max} = 70,9°$

в) $d = 4,88 \cdot 10^{-6}$ *м;* $n = 2,38 \cdot 10^{3}$ *м*$^{-1}$; $N = 19$; $\varphi_{\max} = 63,9°$

д) $d = 4,58 \cdot 10^{-6}$ *м;* $n = 2,18 \cdot 10^{3}$ *м*$^{-1}$; $N = 17$; $\varphi_{\max} = 73,9°$

3.29. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Дифракционная картина проецируется на экран с помощью линзы с фокусным расстоянием $F = 0,5$ м. Ширина центральной светлой полосы $b = 5$ см (см. рис. 22). Определить, как надо изменить ширину щели, чтобы центральная полоса занимала весь экран (при любой ширине экрана).

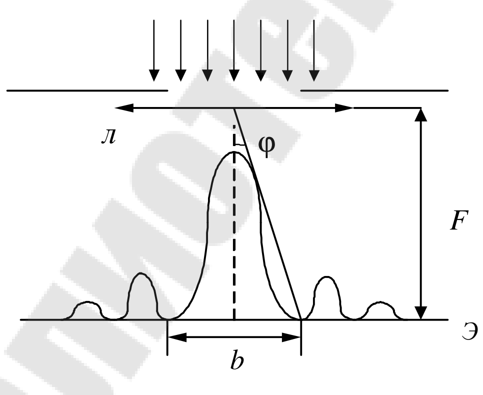


Рис. 22

а) $\dfrac{a_2}{a_1}=\dfrac{1}{25}$, т.е. ширину щели надо уменьшить в 25 раз

б) $\dfrac{a_2}{a_1}=\dfrac{1}{20}$, т.е. ширину щели надо уменьшить в 20 раз

в) $\dfrac{a_2}{a_1}=\dfrac{1}{22}$, т.е. ширину щели надо уменьшить в 22 раз

г) $\dfrac{a_2}{a_1}=\dfrac{1}{18}$, т.е. ширину щели надо уменьшить в 18 раз

3.30. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры третьего и четвертого порядков отчасти перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре третьего порядка накладывается фиолетовая граница ($\lambda_1 = 360$нм)спектра четвёртого порядка?

а) $\lambda_1 = 700$нм; б) $\lambda_1 = 550$нм; в) $\lambda_1 = 480$нм; г) $\lambda_1 = 600$нм.

3.4. Тестовые задачи по поляризации и дисперсии света

4.1. Угол между плоскостями поляризации двух поляроидов 70°. Как изменится интенсивность пошедшего через них света, если этот угол уменьшится в 5 раз?

а) $\dfrac{I_2}{I_1} = 9$; интенсивность возрастет в 9 раз;

б) $\dfrac{I_2}{I_1} = 8{,}5$; интенсивность возрастет в 8,5 раз;

в) $\dfrac{I_2}{I_1} = 8$; интенсивность возрастет в 8 раз;

г) $\dfrac{I_2}{I_1} = 7{,}8$; интенсивность возрастет в 7,8 раз.

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

а) $\varphi = 45°$; б) $\varphi = 46°$; в) $\varphi = 48°$; г) $\varphi = 50°$.

4.3. Естественный свет интенсивностью I_0 проходит чрез два николя, плоскости пропускания которых расположены под углом 60°

друг к другу. После прохождения через второй николь свет падает на зеркало и, отразившись, проходит опять через оба николя. Во сколько раз изменится интенсивность света после обратного прохождения через оба николя?

а) $\dfrac{I_0}{I_3} = 32$; б) $\dfrac{I_0}{I_3} = 30$; в) $\dfrac{I_0}{I_3} = 35$; г) $\dfrac{I_0}{I_3} = 34$.

4.4. Раствор сахара концентрацией $0,25\ \text{г}/\text{см}^3$ толщиной 20 см поворачивает плоскость поляризации монохроматического света на $30^{\text{o}}20$. Второй раствор толщиной 15 см поворачивает плоскость поляризации на 20^0. Определить концентрацию сахара во втором растворе.

а) $c_2 = 0,22$ г/см^3; б) $c_2 = 0,25$ г/см^3; в) $c_2 = 0,20$ г/см^3; г) $c_2 = 0,28$ г/см^3.

4.5. Пластинка кварца толщиной 2 мм (удельное вращение кварца 15 град/мм), вырезанная перпендикулярно к оптической оси, помещена между двумя скрещенными николями (рис. 23). Пренебрегая потерями света в николях, определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего через эту систему.

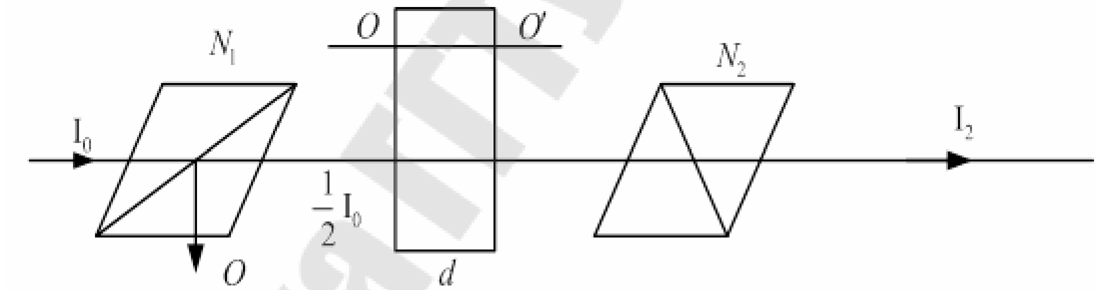


Рис. 23

а) $\dfrac{I_0}{I_2} = 9$; б) $\dfrac{I_0}{I_2} = 7,5$; в) $\dfrac{I_0}{I_2} = 8$; г) $\dfrac{I_0}{I_2} = 7$.

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

а) $\tau = 0,90$; б) $\tau = 0,89$; в) $\tau = 0,87$; г) $\tau = 0,89$.

4.7. Определить степень поляризации P света, являющегося смесью естественного света с плоско поляризованным, если интенсивность поляризованного света и естественного равны.

а) $\text{P} = 0,6$; б) $\text{P} = 0,45$; в) $\text{P} = 0,7$; г) $\text{P} = 0,5$.

4.8. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,8. Во сколько раз отличается амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, прошедшего через поляризатор, от амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности?

а) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 3$; б) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 3{,}5$; в) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 4$; г) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 4{,}5$.

4.9. Определить минимальную толщину пластинки исландского шпата, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий на нее нормально плоско поляризованный свет выходил циркулярно поляризованным. Показатели преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей $n_e = 1{,}489$, $n_0 = 1{,}664$ (длина световой волны 527 нм).

а) $d_{\min} = 0{,}755$ мкм; б) $d_{\min} = 0{,}753$ мкм; в) $d_{\min} = 0{,}758$ мкм;

г) $d_{\min} = 0{,}750$ мкм.

4.10. Определить разность показателей преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей, если наименьшая толщина кварцевой кристаллической пластинки в целую длины волны для голубого света $\lambda = 486$ нм равна 54 мкм.

а) $n_e - n_0 = 0{,}006$; б) $n_e - n_0 = 0{,}007$; в) $n_e - n_0 = 0{,}008$;

г) $n_e - n_0 = 0{,}009$.

4.11. Ячейку Керра поместили между скрещенными поляризатором и анализатором. Вектор $\vec{E}$ напряженности электрического поля составляет угол $\alpha = 45°$ с плоскостями пропускания (главными плоскостями) поляризаторов. Конденсатор имеет длину $l = 15$ см и заполнен нитробензолом, постоянная Керра B для используемой длины волны и данной температуры равна $2{,}2 \cdot 10^{-10}$ м/В. Определить минимальное значение напряженности электрического поля в конденсаторе, при котором интенсивность света за анализатором не будет зависеть от поворота анализатора.

а) $E_{\min} = 8{,}6\frac{кВ}{см}$; б) $E_{\min} = 8{,}7\frac{кВ}{см}$; в) $E_{\min} = 8{,}3\frac{кВ}{см}$; г) $E_{\min} = 8{,}9\frac{кВ}{см}$.

4.12. Изменение дисперсии показателя преломления оптического стекла дало $n_1 = 1{,}528$ для $\lambda_1 = 0{,}434$ мкм и $n_2 = 1{,}523$ для $\lambda_2 = 0{,}486$ мкм. Вычислить отношение групповой скорости к фазовой для света с длиной волны $0{,}434$ мкм.

а) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0{,}970$; б) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0{,}975$; в) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0{,}978$; г) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0{,}973$.

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

а) $u = 1{,}7 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \upsilon = 1{,}83 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $u = 1{,}8 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \upsilon = 1{,}85 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в) $u = 1{,}75 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \upsilon = 1{,}88 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $u = 1{,}6 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \upsilon = 1{,}9 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

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

а) $E_K = 903{,}8$МэВ; б) $E_K = 901{,}2$МэВ; в) $E_K = 904{,}6$МэВ;

г) $E_K = 902{,}9$МэВ.

4.15. Закону поставьте в соответствие математическое выражение.

Закон	Математическое выражение
а) закон полного внутреннего отражения	1) $tg\theta = n_{21}$
б) закон Брюстера	2) $2d \sin\theta = \pm m\lambda$
в) закон Малюса	3) $\sin\theta = n_{21}$
г) формула Брэгга-Вульфа	4) $I = I_0 \cos^2\varphi$

4.16. Естественный свет падает на поверхность стекла под углом Брюстера. Чему равна степень поляризации отраженных лучей?

а) 0; б)0,25; в) 0,5; г) 1.

4.17. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор уменьшается в четыре раза.

а) 30°; б) 45°; в) 50°; г) 60°.

4.18. Степень поляризации P частично поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной.

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

4.19. Естественный свет проходит последовательно через два совершенных поляризатора, плоскости колебания которых образуют

угол $\varphi = \frac{\pi}{3}$. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, по выходе из второго поляризатора?
а) 1,3 раза; б) 2 раза; в) 4 раза; г) 8 раза.

4.20. Установите соответствие между физическим явлением и его математическим выражением.

Явление	Математическое выражение
а) искусственное двойное лучепреломление	1) $\varphi = VIH$
б) эффект Керра	2) $n_0 - n_t = k\sigma$
в) естественное вращение плоскости) поляризации	3) $\delta = 2\pi BIE^2$
г) магнитное вращение плоскости поля (эффект Фарадея)	4) $\varphi = [\alpha]cI$

4.21. При отражении естественного света на границе раздела двух диэлектриков интенсивность отраженных ($I'_{пер}$, $I'_{парал}$) и преломленных лучей ($I''_{пер}$, $I''_{парал}$) рассчитывается по формулам Френеля (I_0 – интенсивность падающего естественного света). Установите соответствие между интенсивностью и расчетной формулой.

Интенсивность	Расчетной формулой
а) $I'_{пер},$	1) $0{,}5I_0 \dfrac{4\sin^2\theta_2\cos^2\theta_1}{\sin^2(\theta_1+\theta_2)}$;
б) $I'_{парал}$	2) $0{,}5I_0 \dfrac{\sin^2(\theta_1-\theta_2)}{\sin^2(\theta_1+\theta_2)}$;
в) $I''_{пер}$,	3) $0{,}5I_0 \dfrac{4\sin^2\theta_2\cos^2\theta_1}{\sin^2(\theta_1+\theta_2)\cos^2(\theta_1-\theta_2)}$;
г) $I''_{парал}$	4) $0{,}5I_0 \dfrac{tg^2(\theta_1-\theta_2)}{tg^2(\theta_1+\theta_2)}$.

4.22. Пусть эллиптически поляризованный свет падает на поляризатор. Как будет изменяться интенсивность вышедшего из поляризатора плоско поляризованного света при вращении поляризатора вокруг направления луча.

а) интенсивность света за период будет изменяться от $I_{\min}$ до $I_{\max}$

б) интенсивность света за период будет дважды изменяться от $I_{\min}$ до $I_{\max}$

в) вращение поляризатора не сопровождается изменением интенсивности света.

4.23. Естественный свет интенсивности I_e проходит последовательно поляризатор P и кювету с левовращающим оптически активным раствором, а затем отражается зеркалом и вновь проходит кювету с оптически активным раствором и поляризатор P (см. рис. 24). При прохождении оптически активного раствора плоскость поляризации поворачивается на угол $\frac{\pi}{4}$. Чему равно отношение $\frac{I_e}{I}$?

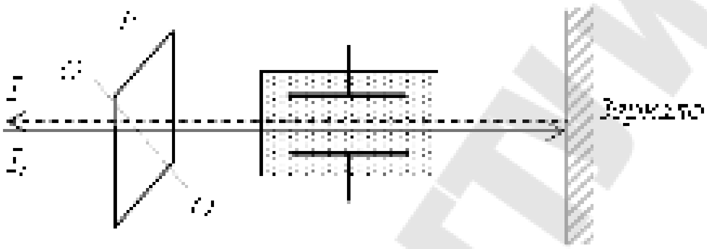


Рис. 24

а) $\frac{I_e}{I} = 2$; б) $\frac{I_e}{I} = 4$; в) $\frac{I_e}{I} \to \infty$; г) $I = 0$ (темнота).

4.24. Для какой ориентации оптической оси кристалла выполнено построение волновых поверхностей и огибающих вторичных волн обыкновенных и необыкновенных лучей при нормальном падении плоской световой волны на поверхность пластинки, вырезанной из положительного одноосного кристалла (рис. 25).

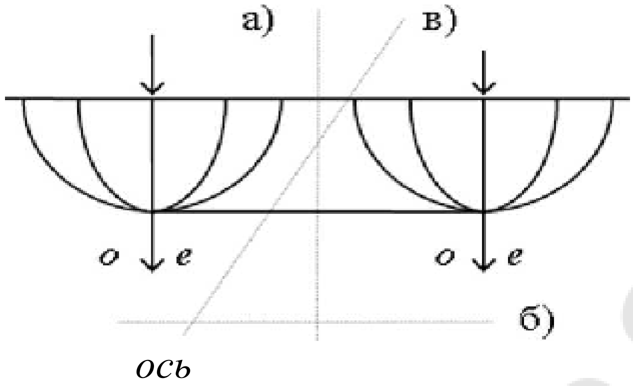


Рис. 25

4.25. Определить коэффициент отражения естественного света от стекла (n =1,5)

а) 5,3%; б) 8,2%; в) 15,6%; г) 2,1%.

4.26. Определить степень поляризации отражённых лучей при падении естественного света на стекло (n =1,5).

а) 12%; б) 60%; в) 84%; г) 25%.

4.27. Определить степень поляризации преломлённых лучей при падении естественного света на стекло (n =1,5).

а) 3,12%; б) 8,21%; в) 4,22%; г) 10,55%.

4.28. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор уменьшается в 2 раза.

а) 60^{o}; б) 30^{o}; в) 0^{o}; г) 90^{o}.

4.29. Степень поляризации P частично поляризованного света равна 0,33. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной.

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

4.30. Естественный свет проходит сквозь плоскопараллельную пластинку (n = 1,54), падая под углом полной поляризации. Определить степень поляризации прошедших сквозь пластинку лучей .

а) 33,2%; б) 18,9%; в) 4,2%; г) 24,5%.

3.5. Тестовые задачи по тепловому излучению

5.1. Какое из приведенных выражений описывает излучение серого тела?

а) $R_T = \int_0^\infty r_{\lambda T}\, d\lambda$; б) $R = a_1 \sigma T^4$; в) $r_\omega = r_\lambda \dfrac{\lambda^2}{2\pi c}$; г) $\left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right) = f(\omega, T)$;

д) $(r^*_{\lambda T})_{\max} = CT^5$.

5.2. Каким из приведенных ниже соотношений нужно воспользоваться, чтобы перейти от функции $f(\omega, T)$ к функции $\varphi(\lambda, T)$?

а) $\varphi(\lambda, T) = \dfrac{\lambda^2}{2\pi c} f(\omega, T)$; б) $\varphi(\lambda, T) = \dfrac{\omega^2}{2\pi c} f(\omega, T)$;

в) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{\omega}{2\pi c}\right)^3 f(\omega, T)$; г) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{\lambda}{2\pi c}\right)^3 f(\omega, T)$.

5.3. Степень черноты определяется выражением

а) $K = \dfrac{dW_{погл}}{dW_{пад}}$; б) $K = \dfrac{\int_0^\infty a_{\lambda,\tau} r_{\lambda,\tau}\, d\lambda}{\int_0^\infty r^*_{\lambda\tau}\, d\lambda}$; в) $K = \dfrac{\int_0^\infty r^*_{\lambda\tau}\, d\lambda}{\int_0^\infty a_{\lambda,\tau} r_{\lambda,\tau}\, d\lambda}$.

5.4. Закону поставьте в соответствие математическое выражение.

Закон	Математическое выражение
а) Кирхгофа	1) $f(\omega, T) = \dfrac{h\omega^3}{4\pi c^2} \dfrac{1}{\exp\left(\dfrac{h\omega}{kT}\right) - 1}$;
б) Рэлея – Джинса	2) $T\lambda_m = b$;
в) Стефана – Больцмана	3) $\left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right)_1 = \left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right)_2 = \left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right)_3 = \ldots$;
г) Вина	4) $f(\omega, T) = \dfrac{h\omega^2}{4\pi^2 c^2} kT$;
д) Планка	5) $R^* = \sigma T^4$.

5.5. Какие из приведенных выражений описывают законы Вина?

а) $\lambda_m = \dfrac{b}{T}$; б) $R_T = \int_0^\infty r_{\lambda T}\, d\lambda$; в) $\left(r_{\lambda T}^*\right)_{\max} = CT^5$; г) $R^* = \dfrac{c}{4} u$;

д) $r_\lambda = r_\omega \dfrac{\omega^2}{2\pi c}$.

5.6. Каким законом описывается график 1, представленный на рисунке 26.

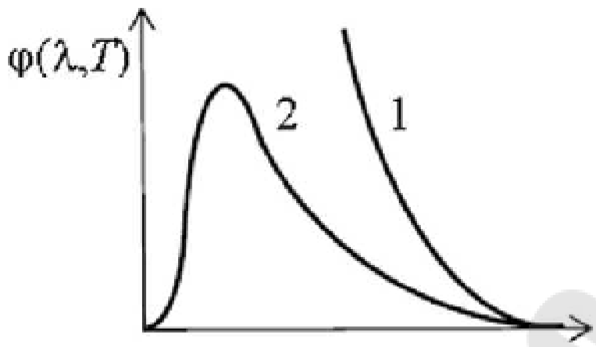


Рис. 26

а) Стефана – Больцмана; б) Вина; в) Рэлея – Джинса; г) Планка.

5.7. Что можно сказать о температуре излучающего тела, изотермы которого изображены на рисунке 27.

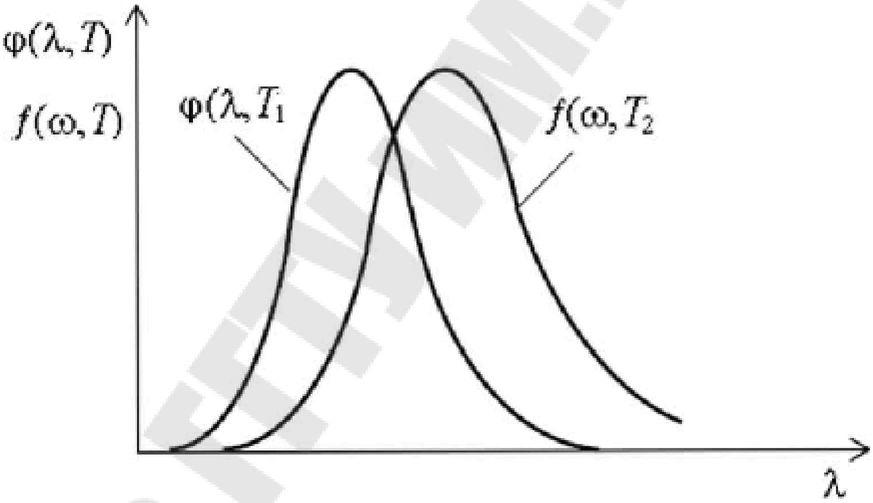


Рис. 27

а) $T_1 = T_2$; б) $T_1 > T_2$; в) $T_1 < T_2$.

5.8. Представим себе три тела, одинаковые по размерам, но отличающиеся друг от друга своей поглощательной способностью. Пусть для определенности это будут: абсолютно черное тело (1), серое тело (2) и белое тело (3). Что можно сказать о температурах этих тел, если на них направить одинаковой по величине поток лучистой энергии?

а) $T_1 < T_2 < T_3$; б) $T_1 > T_2 > T_3$; в) $T_1 > T_2 < T_3$;

г) $T_1 > T_2 = T_3$; д) $T_1 = T_2 = T_3$; е) $T_1 = T_2 < T_3$.

5.9. График 2, представленный на рисунке 28, описывается уравнением

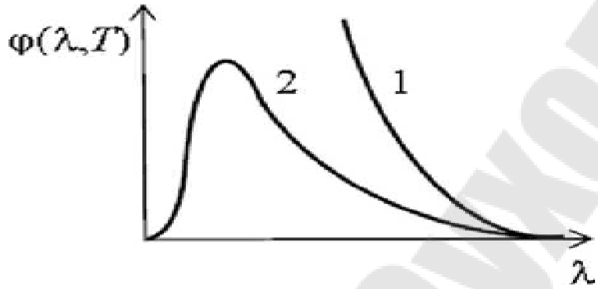


Рис. 28

а) $r_{\lambda T}^{\ *} = \dfrac{4\pi^2 \mathrm{h} c^2}{\lambda^5}\dfrac{1}{\exp\left(\dfrac{2\pi \mathrm{h} c}{kT\lambda}\right)-1}$; б) $\left(r_{\lambda,T}^{\ *}\right)_{\max} = CT^5$;

в) $f(\omega,T) = \dfrac{\mathrm{h}\omega^2}{4\pi^2 c^2}kT$; $\varphi(\lambda,T) = \left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\dfrac{2\pi c}{\lambda T}\right)$.

5.10. Для изотерм абсолютно черного тела, представленных на рисунке 29, установите правильное соотношение температур.

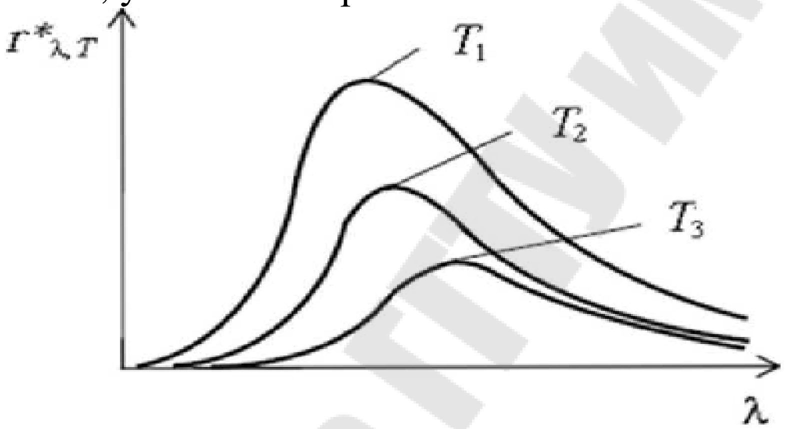


Рис. 29

а) $T_1 > T_2 > T_3$; б) $T_1 < T_2 < T_3$; в) $T_1 = T_2 = T_3$.

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

а) $N = 85{,}6$ Вт; б) $N = 99{,}7$ Вт; в) $N = 121$ Вт; г) $N = 94{,}2$ Вт.

5.12. Мощность излучения расплавленного свинца, площадь поверхности которого $S = 40$ см^2, взятого при температуре плавления, равна $N = 17{,}6$ Вт. Найти отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно черного тела для данной температуры.

а) A_T=0,2; б) A_T=0,6; в) A_T=0,3; г) A_T=0,8.

5.13. Пренебрегая потерями тепла на теплопроводность, подсчитать мощность электрического тока, необходимую для накаливания вольфрамовой нити диаметром 1мм и длиной 20см до температуры 3500K. Коэффициент черноты вольфрама для данной температуры A_T=0,35. Какой ток потечет через лампу, если напряжение в сети 220В?

а) $N = 2560$ Вт ; $I = 12{,}5$A ; б) $N = 1240$ Вт ; $I = 6{,}45$A ;

в) $N = 2125$ Вт ; $I = 11{,}2$A ; г) $N = 1870$ Вт ; $I = 8{,}5$A .

5.14. Температура черного тела T_2=3000K. При остывании тела длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 8$ мкм. Определить температуру T_2, до которой тело охладилось.

а) T=264K; б) T=323K; в) T=679K; г) T=1873K.

5.15. Принимая Солнце за абсолютно черное тело и учитывая, что максимальное значение его плотности энергетической светимости приходится на длину волны λ max=500 нм определить массу, теряемую Солнцем за 10 мин за счет излучения.

а) $\Delta m = 2{,}6 \cdot 10^{12}$ кг ; б) $\Delta m = 3{,}26 \cdot 10^{12}$ кг ;

в) $\Delta m = 4{,}2 \cdot 10^{12}$ кг ; г) $\Delta m = 1{,}6 \cdot 10^{12}$ кг .

5.16. Исследование спектра излучения Солнца показывает, что максимум спектральной плотности энергетической светимости соответствует длине волны 5000 Å. Принимая Солнце за абсолютно черное тело, определить: 1) энергетическую светимость Солнца; 2) поток энергии, излучаемый Солнцем.

а) $R_э = 32 \dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 2{,}6 \cdot 10^{26} \dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

б) $R_э = 64 \dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 3{,}9 \cdot 10^{26} \dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

в) $R_э = 89 \dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 4{,}8 \cdot 10^{26} \dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

г) $R_э = 72 \dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 4{,}1 \cdot 10^{26} \dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

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

а) уменьшится в 9 раз; уменьшится в 143 раза;

б) уменьшится в 81 раз; уменьшится в 243 раза;

в) уменьшится в 181 раз; уменьшится в 343 раза;

г) увеличиться в 81 раз; увеличиться в 243 раза.

5.18. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, равна 0,58 мкм. Определить: 1) энергетическую светимость поверхности тела; 2) спектральную плотность энергетической светимости, рассчитанную на интервал длин волн, равный 1 нм, вблизи λ_{max}.

а) $R_э = 35\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 40{,}6\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$; б) $R_э = 13\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 21\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$;

в) $R_э = 63\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 54{,}3\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$; г) $R_э = 41\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 48{,}3\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$.

5.19. Определить количество теплоты, теряемой 50 см^2 поверхности расплавленной платины за 1 мин, если поглощательная способность платины $A_T = 0{,}8$. Температура t плавления платины равна 1770 °С.

а) $Q = 137$ кДж; б) $Q = 357$ кДж; в) $Q = 284$ кДж; г) $Q = 237$ кДж.

5.20. Определите связь между истинной T и радиационной T_p температурами, если известна поглощательная способность A_T серого тела.

а) $T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{A_T}}$; б) $T = \frac{\sqrt[4]{A_T}}{T_p}$; в) $T = \frac{T_p^2}{\sqrt[4]{A_T}}$; г) $T = \frac{T_p}{\sqrt[2]{A_T}}$.

5.21. Какой из приведенных ниже графиков не соответствует закону Вина (рисунок 30)?

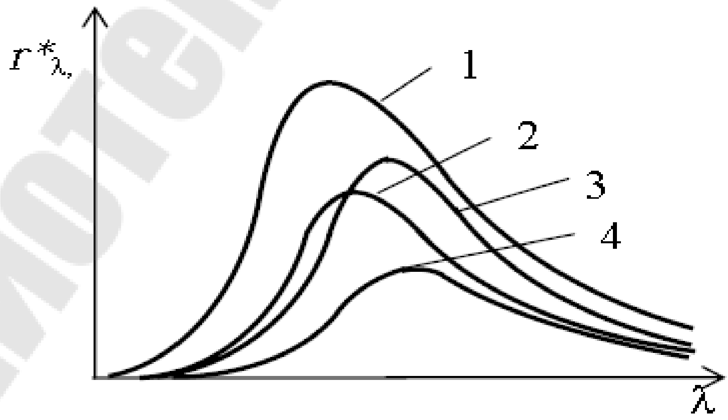


Рис. 30

5.22. Найти солнечную постоянную K, т.е. количество лучистой энергии, посылаемой Солнцем в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную к солнечным лучам и находящуюся на таком же расстоянии от него, как и Земля. Температура поверхности Солнца T=5800К. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

а) $K = 0{,}5\frac{кВт}{м^2}$ б) $K = 1{,}62\frac{кВт}{м^2}$ в) $K = 1{,}38\frac{кВт}{м^2}$ г) $K = 3{,}21\frac{кВт}{м^2}$

5.23. Считается, что атмосфера поглощает 10 % лучистой энергии, посылаемой Солнцем. Найти мощность излучения, получаемую от Солнца горизонтальным участком земли площадью 0,5 га. Высота Солнца над горизонтом $30°$. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела с температурой 5800 К

а) $N = 3{,}1 МВт$ б) $N = 2{,}1 МВт$ в) $N = 5{,}4 МВт$ г) $N = 3{,}62 МВт$

5.24. Найти температуру T печи, если известно, что излучение из отверстия площадью 6,1см^2 имеет мощность N = 34.6Вт. Излучение считать близким к излучению абсолютно чёрного тела.

а) T=300К; б) T=500К; в) T=1000К; г) T=1500К.

5.25. Какую мощность излучения имеет Солнце? Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно чёрного тела. Температура поверхности Солнца T=5800К.

а) $N = 2{,}6 \cdot 10^{26}\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$; б) $N = 3{,}9 \cdot 10^{26}\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$; в) $N = 5{,}6 \cdot 10^{26}\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

г) $N = 6{,}6 \cdot 10^{26}\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

5.26. Какую энергетическую светимость имеет затвердевший свинец? Отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно чёрного тела для данной температуры k = 0.6.

а) $N = 2{,}6 \text{кВт/м}^2$; б) $N = 4{,}4 \text{кВт/м}^2$; в) $N = 6{,}6 \text{кВт/м}^2$;

г) $N = 3{,}2 \text{кВт/м}^2$.

5.27. Мощность излучения абсолютно чёрного тела составляет 34кВт. Найти температуру T этого тела, если известно, что его поверхность S = 0.6м^2.

а) T=1000К; б) T=2000К; в) T=500К; г) T=1500К.

5.28. Температура вольфрамовой спирали в 25 – ваттной электрической лампочке T=2450К. Отношение её энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно чёрного тела для данной температуры k = 0.3. Определить площадь S излучающей поверхности спирали.

а) S=0,4см^2; б) S=0,8см^2; в) S=0,3см^2; г) T_2= S=0,2см^2.

5.29. Найти температуру T тела, при которой излучательность R_e абсолютно чёрного тела равна $R_e = 10{,}0$кВт/м^2.

а) T=532K; б) T=648K; в) T=322K; г) T=940K.

5.30 Определить температуру T печи, если площадь отверстия 6,0см^2. Поток энергии Φ излучаемой из смотрового отверстия равен 34.0Вт.

а) T = 1100K; б) T = 1200K; в) T = 800K; г) T = 1000K.

3.6. Тестовые задачи по квантово-оптическим явлениям

6.1. Работа выхода электрона зависит от:

1) природы металла;
2) состояния поверхности металла;
3) частоты падающего света;
4) интенсивности падающего света.

а) 1; б)2; в) 1, 2; г) 4; д) 3; е) 1,2, 3,4.

6.2. Максимальная кинетическая энергия вырываемых с поверхности металла фотоэлектронов пропорциональна:

1) интенсивности света;
2) плотности светового потока энергии;
3) разности потенциалов между катодом и анодом;
4) частоте света.

а)1; б)2; в)2,3; г)4; д)3,4.

6.3. Какое из приведенных ниже уравнений описывает эффект Комптона?

а) $n\hbar\omega = A + \dfrac{m_e \upsilon^2}{2}$ б) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)$;

в) $\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \dfrac{\theta}{2}$; г) $\dfrac{2\pi\hbar}{m_e c}$.

6.4. Установите соответствие между физическим явлением и его математическим выражением.

Явление	Математическое выражение
а) фотоэффект	1) $\lambda_0 = \dfrac{2\pi\hbar c}{A}$;

б) рентгеновское характеристическое излучение

в) эффект Комптона

г) красная граница фотоэффекта

д) давление света

2) $\lambda' - \lambda = \frac{2\pi h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$;

3) $p = \frac{W}{c}(1 + \rho)$;.

4) $h\omega = A + \frac{mv^2}{2}$;

5) $\omega = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$.

6.5. Красная граница фотоэффекта для металла $\lambda_k = 6{,}2 \cdot 10^{-5}$ см. Найти величину запирающего напряжения $U_з$ для фотоэлектронов при освещении металла светом длиной волны $\lambda = 330$ нм.

а) $U_З = 1{,}761$ В; б) $U_З = 2{,}761$ В; в) $U_З = 1{,}231$ В; г) $U_З = 0{,}621$ В.

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

а) $\lambda = 0{,}394$ мкм; б) $\lambda = 0{,}196$ мкм; в) $\lambda = 0{,}124$ мкм;

г) $\lambda = 0{,}684$ мкм.

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

а) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 100\%$; б) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 82\%$; в) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 41\%$; г) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 20{,}5\%$.

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

а) $\upsilon = 5{,}6 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; б) $\upsilon = 1{,}4 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; в) $\upsilon = 2{,}8 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$;

г) $\upsilon = 0{,}7 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$.

6.9. Определить, с какой скоростью υ должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия $E_к$ была равна энергии ε фотона с длиной волны $\lambda = 1$ пм.

а) $\upsilon = 1{,}47 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; б) $\upsilon = 5{,}67 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; в) $\upsilon = 2{,}87 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$;

г) $\upsilon = 8{,}21\cdot10^{8}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

6.10 Определить длину волны λ фотона, импульс P которого в два раза меньше импульса P_e электрона, движущегося со скоростью 0,1 Мм/с.

а) $\lambda = 29{,}0$ нм; б) $\lambda = 7{,}5$ нм; в) $\lambda = 10{,}0$ нм; г) $\lambda = 14{,}5$ нм.

6.11. На зачерненную поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,65 мкм, производя давление $55\cdot10^{-6}$ Па. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности и число фотонов, падающих на площадь 1м^2 в 1 с.

а) $n_0 = 3{,}2\cdot10^{13}\text{м}^{-3}; n = 9{,}6\cdot10^{21}\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$;

б) $n_0 = 1{,}6\cdot10^{13}\text{м}^{-3}; n = 4{,}8\cdot10^{21}\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$;

в) $n_0 = 0{,}8\cdot10^{13}\text{м}^{-3}; n = 2{,}4\cdot10^{21}\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$;

г) $n_0 = 1\cdot10^{13}\text{м}^{-3}; n = 4\cdot10^{21}\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$.

6.12. На идеально отражающую поверхность площадью S=5см^2 за время t=3мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого W=9Дж. Определить световое давление, оказываемое на поверхность.

а) $P = 467$ нПа; б) $P = 867$ нПа; в) $P = 667$ нПа; г) $P = 589$ нПа.

6.13. Световое давление, испытываемое зеркальной поверхностью площадью 1м^2, равно 10^{-6} Па. Найти длину волны света, если на поверхность ежесекундно падает $5\cdot10^{16}$ фотонов.

а) $\lambda = 6{,}63\cdot10^{-4}$ м; б) $\lambda = 6{,}63\cdot10^{-7}$ м; в) $\lambda = 4{,}63\cdot10^{-7}$ м;

г) $\lambda = 3{,}36\cdot10^{-5}$ м.

6.14. Давление монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм на поверхность с коэффициентом отражения $\rho = 0{,}3$, расположенную перпендикулярно к падающему свету, равно 0,2мкПа. Определить число фотонов, поглощаемых ежесекундно 1м^2 этой поверхности.

а) $N = 8{,}12\cdot10^{12}$; б) $N = 4{,}06\cdot10^{19}$; в) $N = 2{,}26\cdot10^{19}$;

г) $N = 7{,}98\cdot10^{15}$.

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

а) $n = 1{,}24\cdot10^{15}$м; б) $n = 2{,}48\cdot10^{13}$м; в) $n = 1{,}24\cdot10^{9}$м;

г) $n = 0{,}98 \cdot 10^{13}$м.

6.16. Угол рассеяния фотона с энергией 1,2 МэВ на свободном электроне $60°$. Найти длину волны рассеянного фотона.

а) $\lambda' = 2{,}25 \cdot 10^{-9}\,м$; б) $\lambda' = 2{,}25 \cdot 10^{-12}\,м$;

в) $\lambda' = 1{,}25 \cdot 10^{-12}\,м$; г) $\lambda' = 4{,}5 \cdot 10^{-12}\,м$.

6.17. В результате эффекта Комптона фотон рассеялся на покоившемся свободном электроне на угол $\theta = 90^o$. Энергия рассеянного фотона $\varepsilon' = 400$кэВ. Определить: 1) энергию фотона до рассеяния; 2) кинетическую энергию E_K электрона отдачи; 3) угол φ, под которым движется электрон отдачи.

а) $\varepsilon = 374$кэВ, $E_K = 158$кэВ, $\varphi = 45^o$;

б) $\varepsilon = 400$кэВ, $E_K = 178$кэВ, $\varphi = 45^o$;

в) $\varepsilon = 300$кэВ, $E_K = 127$кэВ, $\varphi = 15^o$;

г) $\varepsilon = 158$кэВ, $E_K = 374$кэВ, $\varphi = 30^o$.

6.18. Фотон с энергией $\varepsilon = 0{,}23$МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на 15 %.

а) $E_K = 15$кэВ; б) $E_K = 30$кэВ; в) $E_K = 45$кэВ; г) $E_K = 60$кэВ.

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

а) $E_K = 0{,}433 \cdot 10^{-13}$Дж; $P = 2{,}08 \cdot 10^{-22}\,\frac{кг \cdot м}{с}$;

б) $E_K = 4{,}8 \cdot 10^{-22}$Дж; $P = 0{,}833 \cdot 10^{-13}\,\frac{кг \cdot м}{с}$;

в) $E_K = 0{,}833 \cdot 10^{-13}$Дж; $P = 4{,}08 \cdot 10^{-22}\,\frac{кг \cdot м}{с}$;

г) $E_K = 1{,}833 \cdot 10^{-13}$Дж; $P = 6{,}8 \cdot 10^{-22}\,\frac{кг \cdot м}{с}$.

6.20. В результате комптоновского рассеяния на свободном покоящемся электроне длина волны γ – фотона λ_1 увеличилась вдвое.

Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи, если угол рассеяния равен 60^{o}.

а) $E_K = 1\text{МэВ}; P = 4{,}7 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

б) $E_K = 0{,}5\text{МэВ}; P = 6{,}8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

в) $E_K = 0{,}5\text{МэВ}; P = 4{,}7 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

г) $E_K = 1{,}5\text{МэВ}; P = 6{,}7 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

6.21. Работа выхода электрона зависит от:

1)природы металла;

2)состояния поверхности металла;

3) частоты падающего света;

4)интенсивности падающего света.

а) 1; б)2; в) 1, 2; г) 4; д) 3; е) 1,2, 3,4.

6.22. Максимальная кинетическая энергия вырываемых с поверхности металла фотоэлектронов пропорциональна:

1)интенсивности света;

2)плотности светового потока энергии;

3)разности потенциалов между катодом и анодом;

4)частоте света.

а)1; б)2; в)2,3; г)4; д)3,4.

6.23.Установите правильное соотношение между величинами частот падающего на поверхность металла света для зависимостей силы фототока от напряжения, приведенных на рисунке 31.

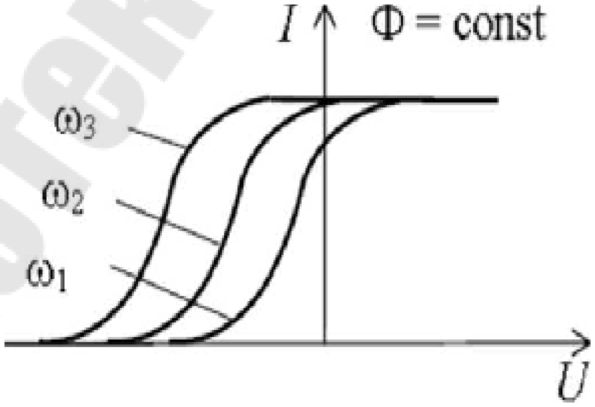


Рис. 31

а) $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$; *б)* $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3$; *в)* $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$.

6.24. Установите правильное соотношение между величинами максимальных скоростей фотоэлектронов, выбиваемых с поверхности металла светом разной частоты, для приведенных на рисунке зависимостей силы фототока от напряжения.

а) $V_{1\max} > V_{2\max}$; б) $V_{1\max} < V_{2\max}$; в) $V_{1\max} = V_{2\max}$.

6.25. При фиксированной частоте излучения величина фототока насыщения пропорциональна

1)интенсивности света;

2)плотности светового потока;

3)разности потенциалов между катодом и анодом;

4)работе выхода электрона.

а) 1; б) 2; в) 2,3; г)3; д)3,4.

6.26. Какое из приведенных ниже уравнений описывает эффект Комптона?

а) $\mathrm{nh}\omega = A + \dfrac{m_e \mathrm{v}^2}{2}$; б) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)$;

в) $\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2\dfrac{\theta}{2}$; г) $\dfrac{2\pi \mathrm{h}}{m_e c}$.

6.27. Установите соответствие между физической величиной и ее определением.

Физическая величина	Определение
а) масса фотона	1) $\dfrac{2\pi \mathrm{h}}{m_e c}$;
б) импульс фотона	2) $\mathrm{h}\omega$
в) энергия фотона	3) $\dfrac{hv}{c^2}$
г) комптоновская длина волны	4) $\dfrac{hv}{c}$

6.28. Определить, во сколько раз максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цинка (работа выхода 4 эВ) монохроматическим светом с длиной волны λ = 220 нм, превосходит среднюю энергию теплового движения электронов при температуре 27 °С.

а) $\dfrac{E_{k\max}}{\langle\varepsilon\rangle} = 21{,}25$ б) $\dfrac{E_{k\max}}{\langle\varepsilon\rangle} = 83$ в) $\dfrac{E_{k\max}}{\langle\varepsilon\rangle} = 42{,}5$ г) $\dfrac{E_{k\max}}{\langle\varepsilon\rangle} = 52{,}5$

6.29. Определить, сколько фотонов испускает электрическая лампочка мощностью $P = 25$ Вт за время $t = 1$ с, если предположить, что она излучает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм, а также, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

а) $n = 7{,}54 \cdot 10^{19}\ м$ б) $n = 7{,}54 \cdot 10^{21}\ м$ в) $n = 5{,}65 \cdot 10^{19}\ м$ г) $n = 3{,}82 \cdot 10^{19}\ м$

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

а) $\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 33\%$ б) $\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 66\%$ в) $\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 99\%$ г) $\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 15{,}15\%$

3.7. Тестовые задачи по атому водорода в теории Бора

7.1. Квантовым числам поставьте в соответствие значения, которые они принимают

Квантовое число	Значение
а) главное квантовое число, n	1) 0, 1, 2,.. . $n-1$
б) орбитальное квантовое число, I	2) $I+s,\ldots,\lvert I-s\rvert$
в) магнитное квантовое число, m_j	3) $-\dfrac{1}{2},+\dfrac{1}{2}$
г) спиновое квантовое число, m_s	4) 1, 2, 3,
д) квантовое число полного момента атома, m_j	5) $-I,..0,..I$

7.2. Максимальное число электронов в состоянии с $n = 4$ равно

а) 8; б) 18; в) 32; г) 50.

7.3 Значение, которое может принимать проекция момента импульса электрона на выбранное направление при заданном значении I определяется выражением

а) $I\mathrm{h}$; б) $-I\mathrm{h}$; в) $(2I+1)\mathrm{h}$.

7.4. Угловым моментам электрона (орбитальному, спиновому и полному) и их проекциям на направление оси z поставьте в соответствие собственные значения

Угловой момент/проекция	Значение
а) орбитальный момент импульса	1) $\hbar\sqrt{j(j+1)}$
б) собственный момент импульса	2) $\hbar m_I$
в) полный момент импульса	3) $\hbar\sqrt{s(s+1)}$
г) проекция орбитального момента импульса	4) $\hbar m_j$
д) проекция собственного момента импульса	5) $\hbar\sqrt{I(I+1)}$
е) проекция полного момента импульса	6) $\hbar m$.

7.5. Спектральной серии водородоподобного атома поставьте в соответствие формулу

а) Бальмера $\quad R\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)\ (n=2.3.4...)$;

б) Брекета $\quad R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)\ (n=2.3.4...)$;

в) Лаймана $\quad R\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right)\ (n=2.3.4...)$;

г) Пфунда $\quad R\left(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right)\ (n=2.3.4...)$;

д) Пашена $\quad R\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}\right)\ (n=2.3.4...)$.

7.6. Электрон находится на третьей боровской орбите атома водорода. Определить: 1) радиус этой орбиты; 2) скорость электрона на этой орбите; 3) частоту вращения электрона на этой орбите; 4) потенциальную энергию электрона; 5) кинетическую энергию электрона; 6) полную энергию электрона на этой орбите.

а) $r_3 = 476{,}1\cdot10^{-12}$ м; $\upsilon_3 = 0{,}731\cdot10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\nu = 2{,}42\cdot10^{14}$ Гц;

$E_к = 1{,}5$ эВ; $E_p = -3{,}0$ эВ; $E = -1{,}5$ эВ;

б) $r_3 = 376{,}1\cdot10^{-12}$ м; $\upsilon_3 = 0{,}531\cdot10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\nu = 2{,}12\cdot10^{14}$ Гц;

$E_к = 1{,}3$ эВ; $E_p = -3{,}0$ эВ; $E = -1{,}7$ эВ;

в) $r_3 = 861{,}2\cdot10^{-12}$ м; $\upsilon_3 = 1{,}12\cdot10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\nu = 4{,}42\cdot10^{14}$ Гц;

$E_к = 2$ эВ; $E_p = -4$ эВ; $E = -2$ эВ ;

г) $r_3 = 781{,}1 \cdot 10^{-12}$ м; $\upsilon_3 = 0{,}931 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\nu = 3{,}42 \cdot 10^{14}$ Гц;

$E_к = 1$эВ; $E_p = -2$эВ; $E = -1$эВ.

7.7. Определить радиус первой орбиты атома водорода (боровский радиус).

а) $r = 3.25 \cdot 10^{-13}$м; б) $r = 3.25 \cdot 10^{-10}$м в) $r = 6.55 \cdot 10^{-12}$м; г) $r = 5.29 \cdot 10^{-11}$м.

7.8. Вычислить скорость электрона на первой орбите атома водорода.

а) $\upsilon = 1{,}47 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon = 2{,}18 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon = 2{,}87 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

г) $\upsilon = 3{,}51 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$

7.9.Определить энергию фотона, соответствующего второй линии в серии Пашена.

а) $\varepsilon = 0{,}55$эВ; б) $\varepsilon = 0{,}33$эВ в) $\varepsilon = 1{,}25$эВ; г) $\varepsilon = 0{,}97$эВ.

7.10 Вычислить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

а) $\varepsilon = 15{,}3$эВ; б) $\varepsilon = 12{,}1$эВ в) $\varepsilon = 14{,}2$эВ; г) $\varepsilon = 13{,}6$эВ.

7.11.Определить частоту света, излучаемого возбужденным атомом водорода при переходе электрона на второй энергетический уровень, если радиус орбиты электрона изменится в 9 раз.

а) $\nu = 7{,}31 \cdot 10^{7}$ Гц; б) $\nu = 4{,}31 \cdot 10^{14}$ Гц; в) $\nu = 9{,}31 \cdot 10^{14}$ Гц;

г) $\nu = 7{,}31 \cdot 10^{14}$ Гц.

7.12. Атом водорода испустил фотон с длиной волны $4{,}86 \cdot 10^{-7}$м. Насколько изменилась энергия электрона в атоме?

а) $\Delta E = 1{,}28$эВ; б) $\Delta E = 2{,}56$эВ; в) $\Delta E = 5{,}12$эВ; г) $\Delta E = 10{,}24$эВ.

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

а) $\lambda = 4{,}1 \cdot 10^{-3}$м; б) $\lambda = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$м; в) $\lambda = 2{,}05 \cdot 10^{-7}$м;

г) $\lambda = 4{,}1 \cdot 10^{7}$м.

7.14. Найти длину волны λ фотона, соответствующую переходу электрона со второй орбиты на первую для двукратного ионизированного атома лития.

а) $\lambda = 13{,}5$нм; б) $\lambda = 27$нм; в) $\lambda = 16$нм; г) $\lambda = 4{,}5$нм.

7.15. Какую разность потенциалов прошел электрон, если, сталкиваясь с атомом ртути, переводит его в первое возбужденное состояние? Частота излучения фотона, соответствующая переходу атома ртути в нормальное состояние, равна $\nu = 5{,}63 \cdot 10^{14}$ Гц.

а) $U = 1{,}15$ В; б) $U = 2{,}3$ В; в) $U = 4{,}6$ В; г) $U = 2$ В.

7.16. Определить первый боровский радиус орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона по этой орбите.

а) $r_1 = 0{,}53 \cdot 10^{-5}$ м; $\upsilon = 2{,}2 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $r_1 = 0{,}53 \cdot 10^{-10}$ м; $\upsilon = 2{,}2 \cdot 10^{6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в) $r_1 = 1 \cdot 10^{-10}$ м; $\upsilon = 3 \cdot 10^{6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $r_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ м; $\upsilon = 1 \cdot 10^{6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

7.17. Определить наибольшие и наименьшие длины волн фотонов, излучаемых при переходе электронов в сериях Лаймана, Бальмера и Пашена.

а) $\lambda_{3\max} = 0{,}128$ мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}091$ мкм;
$\lambda_{2\max} = 0{,}656$ мкм; $\lambda_{2\min} = 0{,}365$ мкм; $\lambda_{3\max} = 1{,}88$ мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}82$ мкм;

б)
$\lambda_{3\max} = 0{,}5$ мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}1$ мкм; $\lambda_{2\max} = 0{,}5$ мкм; $\lambda_{2\min} = 0{,}2$ мкм;
$\lambda_{3\max} = 3$ мкм; $\lambda_{3\min} = 1{,}5$ мкм;

в)
$\lambda_{3\max} = 128$ мкм; $\lambda_{3\min} = 91$ мкм; $\lambda_{2\max} = 656$ мкм; $\lambda_{2\min} = 365$ мкм;
$\lambda_{3\max} = 188$ мкм; $\lambda_{3\min} = 82$ мкм;

г) $\lambda_{3\max} = 1{,}28$ мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}91$ мкм;
$\lambda_{2\max} = 6{,}56$ мкм; $\lambda_{2\min} = 3{,}65$ мкм; $\lambda_{3\max} = 18{,}8$ мкм; $\lambda_{3\min} = 8{,}2$ мкм.

7.18. Сколько линий спектра атома водорода попадает в видимую область ($\lambda = 0{,}4...0{,}76$ мкм)? Вычислить длины волн этих линий. Каким цветам они соответствуют?

а) $\lambda_1 = 5{,}35 \cdot 10^{-7}$ м – зеленая линия; $\lambda_1 = 6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м – красная линия; $\lambda_1 = 5{,}73 \cdot 10^{-7}$ м – желтая линия ; $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м – фиолетовая линия;

б) $\lambda_1 = 6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м -красная линия; $\lambda_1 = 4{,}86 \cdot 10^{-7}$ м – голубая линия; $\lambda_1 = 4{,}34 \cdot 10^{-7}$ м – фиолетовая линия; $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м – фиолетовая линия;

в) $\lambda_1 = 6{,}12 \cdot 10^{-7}$ м – оранжевая линия; $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ $м$ – фиолетовая линия; $\lambda_1 = 4{,}45 \cdot 10^{-7}$ м – синяя линия; $\lambda_1 = 5{,}35 \cdot 10^{-7}$ м –

зеленая линия;.

г) $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м – фиолетовая линия; $\lambda_1 = 5{,}35 \cdot 10^{-7}$ м – зеленая линия ; $\lambda_1 = 6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м – красная линия; $\lambda_1 = 4{,}45 \cdot 10^{-7}$ м – синяя линия .

7.19. На дифракционную решетку с периодом $d = 5$мкм нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. В спектре дифракционный максимум пятого порядка, наблюдаемый под углом $\varphi = 7°$, соответствует одной из линий серии Лаймана. Определить главное квантовое число, соответствующее энергетическому уровню, с которого произошел переход.

а) $k = 1$; б) $k = 2$; в) $k = 3$; г) $k = 4$.

7.20. Найти наибольшую длину волны в ультрафиолетовой области спектра атомарного водорода. Какую наименьшую скорость должен иметь электрон, чтобы при возбуждении атома водорода ударом появилась эта линия?

а) $\lambda_{max} = 121$мкм, $\upsilon_{min} = 1.9 \cdot 10^{12}$ м/с;

б) $\lambda_{max} = 121$нм, $\upsilon_{min} = 1.9 \cdot 10^{6}$ м/с;

в) $\lambda_{max} = 242$нм, $\upsilon_{min} = 3{,}8 \cdot 10^{6}$ м/с;

г) $\lambda_{max} = 51$мкм, $\upsilon_{min} = 1 \cdot 10^{6}$ м/с

7.21. Определить потенциал ионизации φ_i и первый потенциал возбуждения φ_1 атома водорода.

а) $\varphi_i = 27{,}2$ эВ, $\varphi_1 = 10{,}2$ эВ; б) $\varphi_i = 13.6$ эВ, $\varphi_1 = 20{,}4$ эВ;

в) $\varphi_i = 27{,}2$ эВ, $\varphi_1 = 13{,}6$ эВ; г) $\varphi_i = 10{,}2$ эВ, $\varphi_1 = 13{,}6$ эВ.

7.22. Максимально возможная проекция момента импульса орбитального движения электрона, находящегося в атоме в l – состоянии, на направление внешнего магнитного поля равна

а) h ; б) $h\sqrt{6}$; в) $2h$.

7.23. Чему равен момент импульса орбитального движения электрона, находящегося в атоме в основном состоянии?

а) 0; б) h ; в) $h\sqrt{2}$.

7.24. Утверждение: «в любом квантовом состоянии может находиться не более одного электрона» получило название

а) принципа неопределенности;

б) принципа суперпозиции состояний;

в) принципа Паули;

г) комбинационного принципа Ритца;

д) принципа минимума энергии.

7.25. Определению поставьте в соответствие математическое выражение.

Определение — Математическое выражение

а) энергия водородоподобного атома в стационарном состоянии — 1) $na\left(\frac{Ze^2}{m_\alpha v^2}\right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$

б) частота линии в спектре водородоподобного атома — 2) $-\frac{m_e Z^2 e^4}{2h^2}\frac{1}{n^2}$

в) формула Резерфорда — 3) $\frac{h^2}{m_e Z e^2} n^2$

г) радиус стационарной боровской орбиты — 4) $\frac{m_e Z^2 e^4}{2h^3}\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$

7.26. Определению физической величины поставьте в соответствие математическое выражение.

Определение — Математическое выражение

а) момент импульса электрона — 1) $\frac{e}{2m_e c}$

б) магнитный момент атома водорода — 2) $\frac{h}{\tau}$

в) гиромагнитное отношение — 3) $\frac{evr}{2}$

г) магнетон Бора — 4) mvr

д) ширина спектральной линии — 5) $\frac{eh}{2m_e}$

7.27. Физической величине поставьте в соответствие математическое выражение.

Физическая величина — Математическое выражение

а) орбитальный магнитный момент — 1) $-\mu_Б g\sqrt{J(J+1)}$

б) проекция орбитального магнитного момента атома на выбранное направление — 2) $-2\mu_Б m_s$

в) спиновой магнитный момент 3) $-\mu_Б g\sqrt{L(L+1)}$

г) проекция спинового магнитного момента на выбранное направление 4) $1+\frac{S(S+1)+J(J+1)-L(L+1)}{2J(J+1)}$

д) магнетон Бора 5) $-\mu_Б g m_J$

е) полный магнитный момент 6) $-\mu_Б g m_L$

ж) проекция полного магнитного момента на выбранное направление 7) $-2\mu_Б g\sqrt{J(J+1)}$

з) фактор Ланде 8) $\frac{e\hbar}{2m_e c}$

7.28. Энергия взаимодействия магнитного момента атома с внешним магнитным полем определяется выражением

а) $-\mu_Б g m_J$ б) $-\mu_Б g B m_J$ в) $-\mu_{JB} B$ г) $-\mu B$

7.29. Эффект Пашена-Бака проявляется

а) в слабом внешнем магнитном поле;

б) в слабом внешнем электрическом поле;

в) в сильном внешнем магнитном поле;

г) в сильном внешнем электрическом поле.

7.30. Какие из приведенных ниже утверждений справедливы?

Аномальный эффект Зеемана наблюдается

а) в том случае, когда исходные линии не имеют тонкой структуры, т.е. являются синглетными;

б) в слабом внешнем магнитном поле при условии, что зеемановское расщепление уровней меньше мультпплетного расщепления;

в) в случае, когда реализуется рассель – саундерская связь между орбитальным и спиновым моментами импульса;

г) в сильном внешнем магнитном поле, когда разрывается связь между орбитальным и спиновым моментами импульса, и они ведут себя независимо друг от друга.

3.8. Тестовые задачи по квантовой механике

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

а) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-12}$ м; б) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-10}$ м;

в) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-15}$ м; г) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{12}$ м.

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

а) $E_K = 389$ эВ; б) $E_K = 389$ МэВ; в) $E_K = 900$ МэВ;

г) $E_K = 38{,}9$ МэВ.

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

а) $\lambda_1 = 1{,}72 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 1{,}4 \cdot 10^{12}$ м;

б) $\lambda_1 = 1{,}4 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 1{,}72 \cdot 10^{-12}$ м;

в) $\lambda_1 = 3{,}44 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 2{,}8 \cdot 10^{-12}$ м;

г) $\lambda_1 = 1{,}72 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 1{,}4 \cdot 10^{-12}$ м.

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

а) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг; б) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{-17}$ кг;

в) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{27}$ кг; г) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{17}$ кг.

8.5. Электрон в атоме водорода находится р-состоянии. Максимально возможное значение полного момента импульса электрона равно

а) $\frac{h}{2}\sqrt{15}$; б) $\frac{h}{2}\sqrt{3}$; в) $\frac{h}{2}$.

8.6. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии 10 нс. Вычислить естественную ширину спектральной линии ($\lambda = 0{,}7$ мкм), соответствующую переходу между возбужденными уровнями атома.

а) $\Delta\lambda_{min} = 5{,}2 \cdot 10^{-14}$ м; б) $\Delta\lambda_{min} = 5{,}2 \cdot 10^{14}$ м;

в) $\Delta\lambda_{min} = 5{,}2 \cdot 10^{-7}$ м; г) $\Delta\lambda_{min} = 5{,}2 \cdot 10^{7}$ м.

8.7. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию электрона в атоме водорода.

а) $E_{min} = -27{,}2$ эВ; б) $E_{min} = -13{,}6$ эВ; в) $E_{min} = 13{,}6$ эВ;

г) $E_{min} = 27{,}2$ эВ.

8.8. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода – порядка $E_{min} = 10{,}0$ эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома а) $r = 0{,}62 \cdot 10^{-10}$ м; б) $r = 0{,}62 \cdot 10^{5}$ м;

в) $r = 0{,}62 \cdot 10^{-5}$ м; г) $r = 0{,}62 \cdot 10^{10}$ м.

8.9 Терм атома $^2P_{\frac{3}{2}}$. Чему равен максимальный момент атома?

а) $h\sqrt{\frac{3}{2}}$; б) $h\sqrt{\frac{3}{2}}$; в) $h\sqrt{15}$.

8.10. Атомы лития, бериллия, бора и углерода находятся соответственно в состояниях $1s^22s$, $1s^22s2p$, $1s^22s2p^2$, $1s^22s^22p^2$. Какие из перечисленных атомов находятся в возбужденном состоянии?

а) Li;) Be; в) B; г) C; д) Li,C; е) Be, B.

8.11. Символ терма атома в состоянии с электронной конфигурацией $1s^22p3d$ запишется в виде

а) $^1P_1$; б) $^3P_2$; в) $^1D_1$; д) $^3D_2$; е) $^3F_4$.

8.12. Кинетическая энергия протона в 4 раза меньше его энергии покоя. Вычислить дебройлеровскую длину волны протона

а) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-12}$ *м* б) $\lambda = 1 \cdot 10^{-15}$ *м*

в) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-17}$ *м* г) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-15}$ *м*

8.13. Какой из термов: $^1S_0$, $^3P_0, ^3P_1, ^3P_2$, $^1D_2$ соответствует основному состоянию для конфигурации np^2?

а) $^1S_0$; б) $^3P_0$; в) $^3P_1$; г) $^3P_2$; д) $^1D_2$.

8.14. Основному состоянию атома бора B соответствует терм

а) $^{22}S_{1/2}$; б) $^2P_{1/2}$; в) $^2P_{3/2}$; г) $^2D_{5/2}$ д) $^2D_{7/2}$.

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

а) $\Delta x = 10^{10}$ м; б) $\Delta x = 10^{-10}$ м; в) $\Delta x = 10^{-15}$ м; г) $\Delta x = 10^{-15}$ м.

8.16. Определить (в электрон-вольтах) неопределенность кинетической энергии электрона, который находится внутри атома диаметром d=1 нм.

а) $\Delta E_к$=1,51эВ; б) $\Delta E_к$=2,51эВ; в) $\Delta E_к$=3,51эВ;

г) $\Delta E_к$=4,51эВ.

8.17. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, ширина которой $1{,}4 \cdot 10^{-9}$ м.

Определить энергию, излучаемую при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй.

а) $\Delta E = 15{,}2$ МэВ; б) $\Delta E = 2$ эВ; в) $\Delta E = 3$ эВ; г) $\Delta E = 4$ МэВ.

8.18. Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками. Пользуясь уравнением Шредингера, найти собственные значения энергии E_n частицы

а) $E_n = n^2 \dfrac{\pi h}{2ml} (n = 1,2,3,...)$; б) $E_n = n^2 \dfrac{2ml^2}{\pi^2 h^2} (n = 1,2,3,...)$;

в) $E_n = n^2 \dfrac{\pi^2 h^2}{2ml^2} (n = 1,2,3,...)$; г) $E_n = n^2 \dfrac{2\pi^2 m h^2}{l^2} (n = 1,2,3,...)$.

8.19. Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками. Определить нормированную собственную волновую функцию $\psi_n(x)$, описывающую состояние частицы при данных условиях.

а) $\psi_n(x) = \sqrt{\dfrac{l}{2}} \sin \dfrac{l}{n\pi} x (n = 1,2,3,...)$;

б) $\psi_n(x) = \sin \dfrac{n\pi}{l} x (n = 1,2,3,...)$;

в) $\psi_n(x) = \sqrt{\dfrac{2}{l}} \sin x (n = 1,2,3,...)$;

г) $\psi_n(x) = \sqrt{\dfrac{2}{l}} \sin \dfrac{n\pi}{l} x (n = 1,2,3,...)$.

8.20. Определить ширину l одномерной прямоугольной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками, при которой дискретность энергетического спектра электрона, находящегося в возбужденном состоянии (n=3), вдвое больше его средней кинетической энергии при температуре T=300К.

а) l=2,05нм; б) l=4,1нм; в) l=8,2нм; г) l=16,4нм.

8.21. Найти длину волны де Бройля λ: 1) для электрона, находящегося в атоме водорода на третьей боровской орбите; 2) нейтрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при $T = 290$ К; 3) протона, движущегося в однородном магнитном поле с индукцией $B = 15$ мТл по окружности радиусом $R = 1{,}4$ м.

а) $1)\lambda = 10\,нм; 2)\lambda = 14{,}8\,пм; 3)\lambda = 1{,}97\,пм$

б) $1)\lambda = 1\,нм; 2)\lambda = 148\,пм; 3)\lambda = 0{,}197\,пм$

в) $1)\lambda = 0{,}1\,нм; 2)\lambda = 14{,}8\,пм; 3)\lambda = 0{,}0197\,пм$

г) 1)$\lambda = 1{,}5\textit{нм}$; 2)$\lambda = 15\textit{пм}$; 3)$\lambda = 2\textit{пм}$

8.22. Какие из приведенных утверждений называются правилами Хунда?

1) низшей энергией обладает терм с наивысшей мультиплетностью, т.е. с высшим значением спина;
2) атомные орбитали располагаются в последовательности возрастания суммы квантовых чисел $(n+I)$, причем в группе уровней с данным значением $(n+I)$первыми следуют уровни с меньшим значением квантового числа n
3) из термов с одинаковой мультиплетностью низшей энергией обладает терм с высшим значением квантового числа L
4) термы атомов или ионов с четным числом электронов имеют нечетные
5) мультиплетности; термы атомов или ионов с нечетным числом электронов имеют четные мультиплетности;
6) при данном значении L и S низшей энергией обладает терм с минимальным $J(=L-S)$если под оболочка заполнена менее чем наполовину, и с максимальным $J(=L+S)$, если под оболочка заполнена более чем наполовину.

а) 1,2,3; б)2,4; в) 3, 5; г) 1, 3, 5.

8.23. Мультиплетностью называется величина

а) $2L+1$; б) $2J+1$; в) $2S+1$

8.24. Символ терма атома в состоянии с электронной конфигурацией $1s^2 2p3d$ запишется в виде

а)$^1P_1$; б)$^3P_2$; В)$^1D_1$; д)$^3D_2$; е) $^3F_4$.

8.25. Какой терм является основным для конфигурации np^3?

а) $^2S_{1/2}$; б) $^4S_{3/2}$; в) $^2P_{3/2}$; г)$^2D_{5/2}$.

8.26. Сколько эквивалентных электронов находится в незаполненной под оболочке атома, основной терм которого $^3F_2$?

а) 1 б) 2 в) 4 д)5

8.27. Кратность вырождения энергетического уровня с квантовым числом n равна

а) $2n^2$; б) n^2; в) n.

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

а) $\Delta\lambda = 6,4\cdot10^{16}\,м$ б) $\Delta\lambda = 6,4\cdot10^{8}\,м$

в) $\Delta\lambda = 6,4\cdot10^{-8}\,м$ г) $\Delta\lambda = 6,4\cdot10^{-16}\,м$

8.29. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 0,5$ кВ. Принимая, что неопределенность импульса равна $0,1\ \%$ от его числового значения, определить неопределенность координаты электрона.

а) $\Delta x = 4,23\,нм$ б) $\Delta x = 2,46\,нм$ в) $\Delta x = 8,46\,нм$ г) $\Delta x = 1,46\,нм$

8.30. Определить ширину l одномерной прямоугольной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками, при которой дискретность энергетического спектра электрона, находящегося в возбужденном состоянии ($n = 3$), вдвое больше его средней кинетической энергии при температуре T=300К.

а) $l = 2,05\,нм$ б) $l = 4,1\,нм$ в) $l = 8,2\,нм$ г) $l = 16,4\,нм$

3.9. Тестовые задачи по физике атомного ядра

9.1. Определению поставьте в соответствие название ядер.

Определение	Название ядер
а) ядра с одинаковым массовым числом	1) изомеры
б) ядра с одинаковым числом нейтронов	2) изотопы
в) ядра с одинаковым зарядом, но разными массовыми числами	3) изобары
г) ядра с одинаковым зарядом и массовым числом, но с разными периодами полураспада	4) изотопы

9.2. Какое из приведенных утверждений является ошибочным?

а) ядерные силы являются короткодействующими;

б) ядерные силы являются центральными;

в) ядерные силы обладают свойством насыщения;

г) ядерные силы обладают зарядовой независимостью;

д) ядерные силы зависят от взаимной ориентации спинов

9.3. Дефектом массы ядра называется величина:

а) $Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$; б) $c^2\left[Zm_p + (A-Z)m_n - m_я\right]$;

в) $Zm_p + (A - Z)m_n - m_a$; г) $\dfrac{c^2\left[Zm_p + (A-Z)m_n - m_я\right]}{A}$.

9.4. Приведите в соответствие определению его математическое выражение.

Определение	Математическое выражение
а) массовое число	1) $Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$;
б) энергия связи нуклонов в ядре	2) $c^2\left(\sum m_{исх} - \sum m_{прод}\right)$;
в) дефект массы	3) $\dfrac{c^2\left[Zm_p + (A - Z)m_n - m_я\right]}{A}$;
г) удельная энергия связи	4) $\sum m_p - \sum m_n$;
д) энергия ядерной реакции	5) $c^2\left(\sum m_N - \sum m_я\right)$.

9.5. Установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Определение	Математическое выражение
а) период полураспада	1) $\dfrac{1}{\lambda}$;
б) среднее время жизни радиоактивного ядра	2) $N_0[1 - \exp(-\lambda t)]$;
в) число атомов, распавшихся за время t	3) $\dfrac{\lambda N}{m}$;
г) удельная активность радиоактивного препарата	4) $\dfrac{0.693}{\lambda}$.

9.6. Закон радиоактивного распада записывается в виде

а) $\Delta N = N_0[1 - \exp(-\lambda t)]$; б) $N = N_0 \exp(-\lambda t)$;

в) $N = N_0 \exp(-\sigma n \delta)$; г) $\Delta N = N\sigma n\delta$.

9.7. Число атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе, определяется выражением

а) $\Delta N \approx \lambda N \Delta t$; б) $N = N_0 \exp(-\lambda t)$; в) $N = \dfrac{m}{M} N_{A.}$

9.8. Сколько электронов содержится в ядре хлора $_{17}CI^{35}$?

а) 35; б) 18; в) 17; г) 0.

9.9. При бомбардировке α-частицами ядер алюминия $_{13}Al^{27}$ образуется новое ядро неизвестного элемента X и $_0n^1$. Этим элементом является

а) $_{10}B^{20}$; б) $_{11}Na^{23}$; в) $_{15}P^{30}$; г) $_{14}Si^{32}$.

9.10. Ядро радия $_{88}Ra^{226}$ претерпевает α – распад. Какое ядро образуется в результате радиоактивного распада?

а) $_{84}Po^{209}$; б) $_{86}Rn^{222}$; в) $_{90}Th^{232}$; г)$_{92}U^{235}$.

9.11. Сколько протонов содержится в ядре бария $_{56}Ba^{137}$?

а) 56; б)81; в) 137; г) 193.

9.12. Укажите, какая частица образуется в результате реакции $_2He^4 + {}_3Li^7 = {}_5B^{10} + X$.

а) электрон; б) нейтрон; в) протон; г) дейтон.

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

а) $\Delta m = 0{,}26$а.е.м., $E_{св} = 231$МэВ, $\varepsilon_{св} = 12$МэВ;;

б) $\Delta m = 12$ а.е.м., $E_{св} = 5$ МэВ, $\varepsilon_{св} = 19$МэВ;;

в) $\Delta m = 0{,}1370$а.е.м., $E_{св} = 128$МэВ, $\varepsilon_{св} = 8$ МэВ;;

г) $\Delta m = 0{,}17$ а.е.м., $E_{св} = 139$ МэВ, $\varepsilon_{св} = 10$МэВ;.

9.14. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра бора $^{11}_{5}B$ при распаде на свободные нуклоны.

а) $\Delta m = 0{,}818$а.е.м; $\Delta E = 7{,}625$МэВ;

б) $\Delta m = 0{,}008186$а.е.м; $\Delta E = 762{,}5$МэВ;

в) $\Delta m = 12$ а.е.м; $\Delta E = 17$ МэВ;

г) $\Delta m = 0{,}08186$а.е.м; $\Delta E = 76{,}25$МэВ.

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

а) $T_{1/2} = 2$ мин; б) $T_{1/2} = 5$мин; в) $T_{1/2} = 10$ мин; г) $T_{1/2} = 15$ мин.

9.16. В какой элемент превращается $^{238}_{92}U$ после трех α-распадов и двух β - распадов?

а) $X = {}^{222}_{87}Rn$; б) $X = {}^{226}_{88}Ra$; в) $X = {}^{210}_{84}Po$; г) $X = {}^{207}_{82}Pb$.

9.17. Вычислить энергию ядерной реакции $^{2}_{1}H + {}^{7}_{3}Li \to 2 \cdot {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$.

а) $E = 30{,}4$ МэВ; б) $E = 15{,}2$МэВ;

в) $E = 7{,}2$МэВ; г) $E = 10{,}2$ МэВ.

9.18. Какое количество энергии освобождается при соединении одного протона и двух нейтронов в одно ядро?

а) $E = 2$МэВ; б) $E = 4$ МэВ; в) $E = 8$ МэВ; г) $E = 16$МэВ.

9.19. Первоначальная масса радиоактивного изотопа радона $^{222}_{86}Rn$ (период полураспада $T_{1/2} = 3.82$ суток) равна 1,5 г. Определить: 1) начальную активность препарата изотопа; 2) его активность через 5 суток

а) $A_0 = 8{,}5 \cdot 10^{-15}$ Бк; $A = 3{,}5 \cdot 10^{-15}$ Бк;

б) $A_0 = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк; $A = 3{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк;

в) $A_0 = 3{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк; $A = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк;

г) $A_0 = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк; $A = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк.

9.20. Каков к.п.д. атомной электростанции мощностью $P = 5 \cdot 10^8$ Вт, если за t=1год было израсходовано m=965кг урана $^{235}_{92}U$? В каждом акте деления выделяется $\Delta E = 200$ МэВ энергии.

а) $\eta = 10\%$; б) $\eta = 20\%$; в) $\eta = 30\%$; г) $\eta = 40\%$.

9.21. Конечным продуктом распада $_{92}U^{238}$ является:

а) $_{82}Pb^{206}$; б) $_{58}Ce^{140}$; в) $_{48}Cd^{112}$; г) $_{40}Zr^{94}$.

а) электрон; б) нейтрон; в) протон; г) дейтон.

9.22. Среднее время жизни атомов некоторого радиоактивного вещества 1 с. Определить вероятность P того, что ядро атома распадается за промежуток времени, равный 1 с.

а) $P = 0{,}63$ б) $P = 6{,}3$ в) $P = 63$ г) $P = 0{,}063$

9.23. Освобождается или поглощается энергия в каждой из указанных реакций?

$_3Li^6 + {}_1H^2 = {}_2He^4 + {}_2He^4$

$_3Li^7 + {}_1H^1 = {}_4Be^7 + {}_0n^1$

а) освобождается, освобождается;

б) освобождается, поглощается;

в) поглощается, освобождается;

г) поглощается, поглощается;

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

а) $\Delta E_{св1} = 1799 МэВ; \Delta E_{св2} = 1786 МэВ$

б) $\Delta E_{св1} = 178{,}6 МэВ; \Delta E_{св2} = 179{,}9 МэВ$

в) $\Delta E_{св1} = 1786 МэВ; \Delta E_{св2} = 1799 МэВ$

г) $\Delta E_{св1} = 1587 МэВ; \Delta E_{св2} = 1601 МэВ$

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

а) $\Delta E = 0{,}217 МэВ$ б) $\Delta E = 2{,}17 МэВ$ в) $\Delta E = 21{,}7 МэВ$ г) $\Delta E = 217 МэВ$

9.26. При измерении периода полураспада короткоживущего радиоактивного вещества использован счетчик импульсов. В течение 1 мин было насчитано 250 импульсов, а спустя 1 ч после начала первого измерения 92 импульса в минуту. Определить постоянную радиоактивного распада и период полураспада.

а) $\lambda = 1ч^{-1}; T_{1/2} = 41,6 мин$ б) $\lambda = 41,6ч^{-1}; T_{1/2} = 1 мин$

в) $\lambda = 2ч^{-1}; T_{1/2} = 51,6 мин$ г) $\lambda = 0,5ч^{-1}; T_{1/2} = 21,6 мин$

9.27. Ядро полония в покое ${}^{200}_{84}\mathrm{Po}$ испускает α-частицу со скоростью 16 м/с. Зная, что масса ядра отдачи $m_я = 3,62 \cdot 10^{-25}$ кг, определить: 1) кинетическую энергию α-частицы; 2) кинетическую энергию ядра отдачи; 3) полную энергию, выделяющуюся при вылете α-частицы.

а) $E_{K_\alpha} = 8,51 \cdot 10^{17} Дж; E_{K_Л} = 1,56 \cdot 10^{18} Дж; E = 2,41 \cdot 10^{18} Дж$

б) $E_{K_\alpha} = 8,51 \cdot 10^{-7} Дж; E_{K_Л} = 1,56 \cdot 10^{-8} Дж; E = 2,41 \cdot 10^{-8} Дж$

в) $E_{K_\alpha} = 8,51 \cdot 10^{-17} Дж; E_{K_Л} = 1,56 \cdot 10^{-18} Дж; E = 2,41 \cdot 10^{-18} Дж$

г) $E_{K_\alpha} = 8,51 \cdot 10^{7} Дж; E_{K_Л} = 1,56 \cdot 10^{8} Дж; E = 2,41 \cdot 10^{8} Дж$

9.28. Мощность, выделяемая при распаде урана ${}^{238}_{92}U$, равна $P = 1,07 \cdot 10^{-7}$ Вт. Определить число молей, участвующих в распаде, если уран выделяет молярное количество теплоты $Q_\mu = 5,21 \cdot 10^{12} \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ за среднее время жизни атомов урана.

а) $\nu = 2 \cdot 10^{-3} моль$ б) $\nu = 4 \cdot 10^{3} моль$ в) $\nu = 2 \cdot 10^{3} моль$ г) $\nu = 4 \cdot 10^{-3} моль$

9.29. Масса препарата радиоактивного магния ${}^{27}\mathrm{Mg}$ равна 0,2 мкг.

Определить: 1) активность изотопа; 2) удельную активность.

а) $a = 4 \cdot 10^{15} Бк; a_m = 25 \cdot 10^{21} \frac{Бк}{кг}$

б) $a = 4 \cdot 10^{-15} Бк; a_m = 25 \cdot 10^{-21} \frac{Бк}{кг}$

в) $a = 2 \cdot 10^{15} Бк; a_m = 12,25 \cdot 10^{21} \frac{Бк}{кг}$

г) $a = 2 \cdot 10^{-15}\,Бк; a_m = 12,25 \cdot 10^{-21}\,\frac{Бк}{кг}$

9.30. В результате соударения дейтерия с ядром бериллия $^{9}_{4}\mathrm{Be}$ образовались новое ядро и нейтрон. Определить порядковый номер и массовое число образовавшегося ядра, записать ядерную реакцию и определить ее энергетический выход.

а) $Z = 5; A = 10; \Delta E = 4,84\,МэВ$ б) $Z = 10; A = 5; \Delta E = 4,84\,МэВ$

в) $Z = 4,84; A = 5; \Delta E = 10\,МэВ$ г) $Z = 25; A = 15; \Delta E = 5\,МэВ$

Приложение

1. Основные физические постоянные:

скорость света в вакууме – $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ м/с

ускорение свободного падения – $g = 9.81$ м/с^{2}

гравитационная постоянная – $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Нм^{2}/кг^{2}

постоянная Авогадро – $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

молекулярная газовая постоянная – $R = 8.31$ Дж /моль·К

объём моля идеального газа при нормальных условиях –

$V_0 = 22{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^{3}/моль

постоянная Больцмана – $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж /К

элементарный заряд – $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

магнетон Бора – $\mu_Б = 9627 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл;

масса протона – $m_p = 1.6 \cdot 10^{-27}$ кг;

масса электрона – $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг;

удельный заряд электрона – $e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг;

электрическая постоянная – $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

магнитная постоянная – $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

постоянная Ридберга – $R = 1{,}10 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$

скорость света в вакууме – $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ м/с

число Авогадро – $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

заряд электрона – $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл

постоянная Планка – $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с

постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^{2} · К^{4})

постоянная в законе Вина – $b = 2{,}89 \cdot 10^{-3}$ м · К

радиус первой боровской орбиты – $a_o = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ м

атомная единица массы – 1а.е.м. $= 1{,}660 \cdot 10^{-27}$ кг

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

Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

3. Диэлектрическая проницаемость ε

Вода – 81;
Парафин – 2,0;
Слюда – 6,0;
Стекло – 7,0;
Фарфор – 5,0;
Масло трансформаторное – 2,2;
Эбонит – 6,0.

4. Работа выхода электронов

Металл	А, Дж	А, эВ
Калий	$3,5\cdot10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7\cdot10^{-19}$	2,3
Платина	$10\cdot10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4\cdot10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5\cdot10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2\cdot10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4\cdot10^{-19}$	4,0

5. Относительные атомные массы (округленные значения) A_r и порядковые номера Z некоторых элементов.

Элемент	Символ	A_r	Z	Элемент	Символ	A_r	Z
Азот	N	14	7	Марганец	Mn	55	25
Алюминий	Al	27	13	Медь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молибден	Mo	96	42
Барий	Ba	137	56	Натрий	Na	23	11
Ванадий	V	60	23	Неон	Ne	20	10
Водород	H	1	1	Никель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелий	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Железо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сера	S	32	16
Калий	K	39	19	Серебро	Ag	108	47
Кальций	Ca	40	20	Углерод	C	12	6
Кислород	O	16	8	Уран	U	238	92
Магний	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

6. Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	$^{1}_{0}n$	1,00867	Бериллий	$^{7}_{4}Be$	7,01693
Азот	$^{14}_{7}N$	14,00307		$^{9}_{4}Be$	9,01219
Водород	$^{1}_{1}H$	1,00783	Бор	$^{10}_{5}B$	10,01294
	$^{2}_{1}H$	2,01410		$^{11}_{5}B$	11,00930
	$^{3}_{1}H$	3,01605	Углерод	$^{14}_{6}C$	12,00000
Гелий	$^{3}_{2}He$	3,01603		$^{13}_{6}C$	13,00335
	$^{4}_{2}He$	4,00260		$^{14}_{6}C$	14,00324
Литий	$^{6}_{3}Li$	6,01513	Кислород	$^{16}_{8}O$	15,99491
	$^{7}_{3}Li$	7,01601		$^{17}_{8}O$	16,99913

7. Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}^{225}_{89}Ac$	10 суток
Иод	${}^{131}_{53}I$	8 суток
Кобальт	${}^{60}_{27}Co$	5,3 года
Магний	${}^{27}_{12}Mg$	10 минут
Радий	${}^{226}_{86}Ra$	1620 лет
Радон	${}^{222}_{86}Rn$	3,8 суток
Стронций	${}^{90}_{38}Sr$	27 лет
Фосфор	${}^{32}_{15}P$	14,3 суток
Церий	${}^{144}_{58}Ce$	285 суток

13. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_o		E_o	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9{,}11\cdot10^{-31}$	0,00055	$8{,}16\cdot10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}672\cdot10^{-27}$	1,00728	$1{,}50\cdot10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675\cdot10^{-27}$	1,00867	$1{,}51\cdot10^{-10}$	939
Дейтрон	$3{,}35\cdot10^{-27}$	2,01355	$3{,}00\cdot10^{-10}$	939
α-частица	$6{,}64\cdot10^{-27}$	4,00149	$5{,}96\cdot10^{-10}$	3733
Нейтральный π-мезон	$2{,}41\cdot10^{-28}$	0,14498	$2{,}16\cdot10^{-11}$	135

Литература

Основная литература

1. Савельев И.В. Курс физики. Т. 1-3. - М.: Наука, 1989.

2. Детлаф А. А., Яворский М. Б. Курс физики.- М.: Высш. шк., 1989. - 608с.

3. Трофимова Т. И. Курс физики. - М.: Высш. шк., 1990. - 478 с.

4. Трофимова Т. И. Сборник задач по курсу физики для вузов. - М., 2003. - 303 с.

5. Чертов А. Г., Воробьёв А. А. Задачник по физике. - М.: Высш. шк., 1988. - 526 с.

6. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. - Наука, 1988. - 381 с.

7. Чертов А. Г. Физические величины. - М.: Высш. шк., 1990. – 315 с.

Дополнительная литература

8. Ландсбер Г.С. Оптика. - М.: Наука, 1976. - 936 .

9. Калитиевский Н. И. Волновая оптика. - М.: Высш. шк., 1978. - 384 с.

10. Шпольский Э. В. Атомная физика. Т. 1, 2. - М.: Наука, 1974.

11. Епифанов Г. И. Физика твёрдого тела. - М.: Высшая школа, 1977. - 288с.

12. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. - М.: Наука, 1980. - 312с.

13. Иродов И. Е. Задачи по общей физике.- М.: Наука, 1988. – 416 с.

14. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. - М.: Высш. шк. 1977.-351 с.

15. Савельев И.В. Сборник задач и вопросов по общей физике.- М.: Наука, 1988.-288 с.

16. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике.- М.: Наука,1990. - 624 с.

17. Кузглин Х. Справочник по физике. - М.: Мир, 1985. - 520 с.

Методические указания и пособия

18. 58эл. Оптика, атомная и ядерная физика: конспект лекций по курсу «Физика» для студентов дневной и заочной формы обучения / А.А. Панков, П.А. Хило. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2009. – 170 с.

19. 235эл. Оптика, атомная и ядерная физика: практикум по курсу «Физика» для студентов технических специальностей дневной формы обучения: в 3 ч. Ч.3. / П.А. Хило, А.И. Кравченко, П.Д. Петрашенко. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011. – 54 с.

Содержание

ОПТИКА, АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Практикум по курсу «Физика» по выполнению тестовых заданий для студентов технических специальностей заочной формы обучения

Составители: **Кравченко** Александр Ильич
Хило Петр Анатольевич
Бойко Андрей Андреевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 06.03.18.
Рег. № 38E.
http://www.gstu.by