

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Физика»

**А. И. Кравченко, П. А. Хило, С. В. Пискунов**

# **ФИЗИКА. ОПТИКА, АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА**

**ПРАКТИКУМ  
по курсу «Физика»  
для студентов технических специальностей  
дневной формы обучения**

Гомель 2014

УДК 535+539(075.8)  
ББК 22.34+22.38я73  
К78

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 28.05.2013 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
*Ю. А. Рудченко*

**Кравченко, А. И.**  
К78 Физика. Оптика, атомная и ядерная физика : практикум по курсу «Физика» для студентов техн. специальностей днев. формы обучения / А. И. Кравченко, П. А. Хило, С. В. Пискунов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 119 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: [http:// http://library.gstu.by/StartEK/](http://library.gstu.by/StartEK/). – Загл. с титул. экрана.

Содержит тесты к экзамену и основные формулы по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика».

Для студентов технических специальностей дневной формы обучения.

**УДК 535+539(075.8)  
ББК 22.34+22.38я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2014

## Предисловие

Практикум по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика» курса «Физика» ч.3 содержит подборку тестовых задач различной степени сложности как для использования на экзаменах, так и на практических занятиях и для самостоятельной работы студентов.

Тестовые задания составлены в соответствии с требованиями общеобразовательных стандартов и типовых учебных программ.

Практикум содержит тестовые задачи по основным темам раздела «Оптика, атомная и ядерная физика»: «Геометрическая оптика», «Интерференция и дифракция», «Поляризация», «Тепловое излучение», «Фотоэффект», «Атом водорода и эффект Комптона», «Основы ядерной физики » и др.

Тестовые задания содержат задачи с ответами, один или несколько из которых являются правильными. Часть задач предполагает установление правильного соответствия между понятиями и формулами двух множеств физических величин.

Приводятся так же основные формулы и справочный материал.

Практикум предназначен для студентов дневного отделения.

# 1. Геометрическая оптика. Основные понятия и формулы.

При падении луча света на границу двух сред наблюдаются явления отражения и преломления света (рис. 1.1).

Закон отражения света:

$$\alpha = \alpha',$$

где  $\alpha$  – угол падения луча;  $\alpha'$  – угол отражения.

Закон преломления света при прохождении через границу раздела двух сред:

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

где  $\alpha$  – угол падения луча;  $\beta$  – 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  $\alpha = \alpha_{np}$  угол  $\beta = 90^\circ$ .

Явление полного отражения:

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

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

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

Для призмы из материала с показателем преломления  $n$  и преломляющим углом  $A$  (рис. 1.2)

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

$$A = \alpha_2 + \beta_1.$$

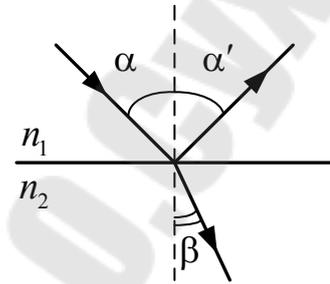


Рис. 1.1

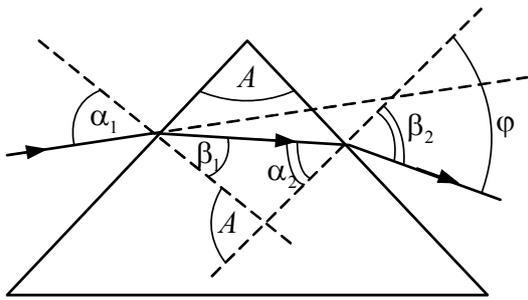


Рис. 1.2

Связь угла  $\varphi$  отклонения лучей и преломляющего угла  $A$  призмы:

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

Абсолютный показатель преломления

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

где  $c$  – скорость света в вакууме;  $v$  – 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

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

где  $F$  – главное фокусное расстояние линзы;  $n_l$  – абсолютный показатель преломления вещества линзы;  $n_{cp}$  – 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:

$$\Gamma = \frac{h}{h_0} = \frac{f}{d},$$

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, – 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. 1.3). Любой луч (или его продолжение), параллельный побочной оптической оси, проходит через соответствующий побочный фокус;  $F'$  – побочный фокус.

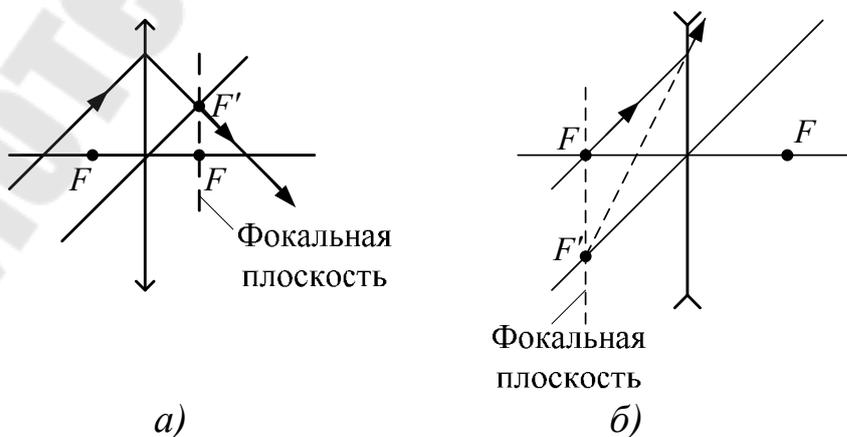


Рис. 1.3

Увеличение лупы

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

Увеличение микроскопа

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

где  $\delta$  – расстояние между фокусами объектива и окуляра;  $F_1$  и  $F_2$  – фокусные расстояния объектива и окуляра.

Световой поток  $\Phi$ , испускаемый изотропным источником в пределах телесного угла  $\omega$ , в вершине которого находится источник, пропорционален силе света  $I$  источника и величине телесного угла  $\omega$ :

$$\Phi = I\omega.$$

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  $\Delta I_e$  – энергетическая сила света элемента излучающей поверхности;  $\Delta S$  – 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:

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

## Тестовые задачи по геометрической оптике.

### Задача 1.1

Закончите предложение, являющееся определением принципа Гюйгенса, «Каждая точка, до которой доходит волновое движение,

а) ... служит центром вторичной сферической волны, амплитуда которой обратно пропорциональна расстоянию от источника света;

б) ... служит центром вторичной сферической волны, амплитуда которой пропорциональна величине элемента поверхности  $dS$  ;

в) ...служит центром вторичных сферических волн, огибающая которых дает положение фронта волны в следующий момент времени.

### Задача 1.2

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)  $L = \int_1^2 ndS$ ;      б)  $\tau = \frac{1}{c} \int_1^2 ndS$ ;      в)  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ .

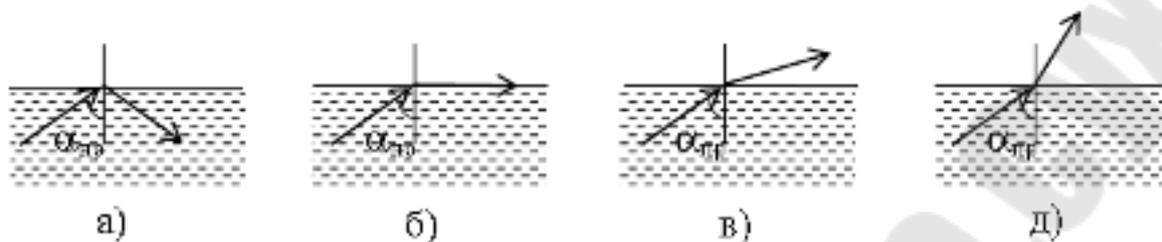
### Задача 1.3

Закону (определению) поставьте в соответствие математическое выражение

Закон (определение)	Математическое выражение
а) закон полного внутреннего отражения	1) $n = \frac{c}{v}$ ;
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) $L = n_2 I_2 - n_1 I_1$ .

### Задача 1.4

Луч света падает на границу раздела «жидкость - газ» под углом больше  $\alpha_{\text{пред}}$ . На каком из приведенных ниже рисунков дано правильное изображение преломленного луча?



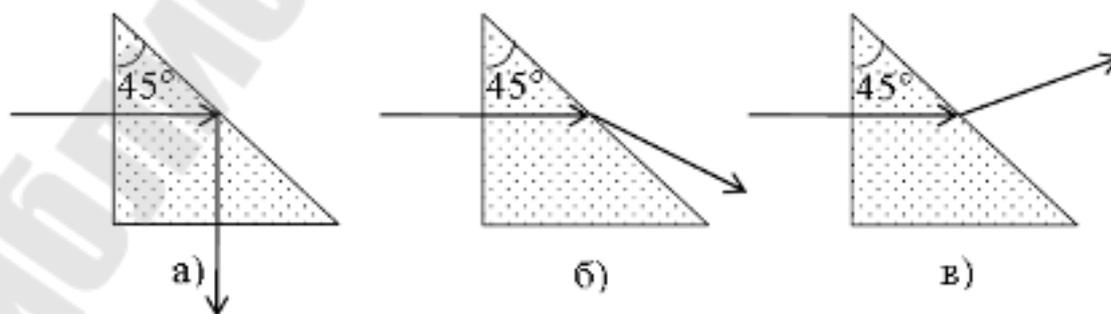
### Задача 1.5

В каком из приведенных ниже случаев угол падения меньше угла преломления? ( $n_{\text{вода}} = 1,33$ ,  $n_{\text{скипидар}} = 1,48$ ,  $n_{\text{стекло}} = 1,6$ ).

- а) при падении световой волны на границу раздела вода - стекло;
- б) при падении световой волны на границу раздела стекло - вода;
- в) при падении световой волны на границу раздела воздух - вода;
- г) при падении световой волны на границу раздела вода - скипидар;
- д) при падении световой волны на границу раздела вакуум - скипидар.

### Задача 1.6

На каком из приведенных ниже рисунков дано правильное изображение хода луча в стеклянной призме с преломляющим углом  $45^\circ$ ?



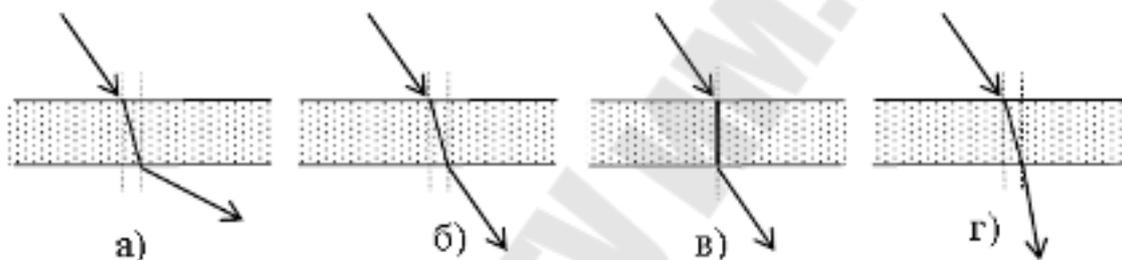
### Задача 1.7

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

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

### Задача 1.8

Какой из рисунков правильно отображает ход световых лучей монохроматического света при прохождении прозрачной плоскопараллельной пластинки?



### Задача 1.9

Фокусное расстояние для тонкой линзы определяется выражением:

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

### Задача 1.10

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  $v_3$  - скорости распространения света в воздухе, воде и стекле соответственно.

### Задача 1.11

Какая из формул для тонкой линзы используется в случае, если линза выпуклая, а предмет расположен ближе фокуса?

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)  $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ .

### Задача 1.12

Какое из приведенных соотношений дает линейное увеличение линзы?

а)  $\frac{d}{f}$ ; б)  $\frac{f}{d}$ ; в)  $\frac{H}{h}$ ; г)  $\frac{h}{H}$ .

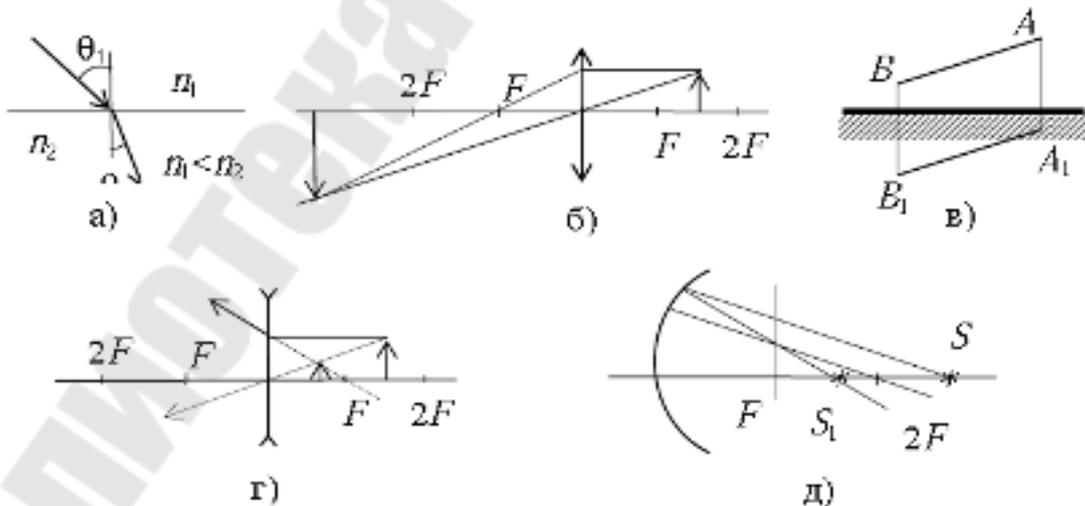
### Задача 1.13

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)  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ .

### Задача 1.14

В каком из приведенных ниже построений допущена ошибка?



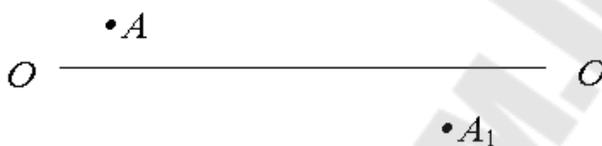
### Задача 1.15

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

- а)  $2 \cdot 10^8$  м/с;                      б)  $2,2 \cdot 10^8$  м/с;                      в)  $2,4 \cdot 10^8$  м/с;  
г)  $2,6 \cdot 10^8$  м/с;                      д)  $2,8 \cdot 10^8$  м/с;

### Задача 1.16

На рисунке показаны положения главной оптической оси линзы  $OO$ , светящейся точки  $A$  и ее оптического изображения  $A_1$ . Какая это линза?



- а) рассеивающая;                      б) собирающая.

### Задача 1.17

Какое изображение получается в сферическом зеркале, если предмет установлен между вершиной зеркала и главным фокусным расстоянием ( $d < F$ )?

- а) увеличенное, прямое, мнимое;  
б) увеличенное, обратное, мнимое;  
в) увеличенное, прямое, действительное;  
г) увеличенное, обратное, действительное.

### Задача 1.18

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.

### Задача 1.19

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

- а) мнимое, перевернутое, увеличенное;
- б) мнимое, прямое, увеличенное;
- в) действительное, перевернутое, увеличенное;
- г) действительное, прямое, увеличенное.

### Задача 1.20

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.

### Задача 1.21

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.

### Задача 1.22

Оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой 20 см, равна

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

### Задача 1.23

Оптическая сила линзы, радиус кривизны которой  $R = 50$  см, равна

- а) 4 дптр;      б) 2 дптр;      в) 1 дптр;      г) 0,5 дптр.

### Задача 1.24

Фокусное расстояние линзы, оптическая сила которой  $D = 5$  дптр, равно

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

### Задача 1.25

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.

### Задача 1.26

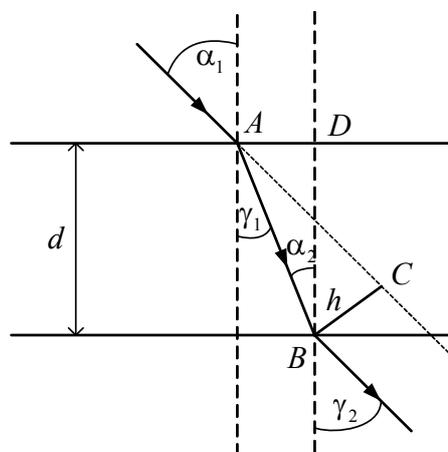
Определить, на какой угол  $\gamma$  повернется луч, отраженный от плоского зеркала, если повернуть зеркало на угол  $\alpha$ .

- а)  $\gamma = \alpha$  б)  $\gamma = \frac{1}{2}\alpha$  в)  $\gamma = 3\alpha$  г)  $\gamma = 2\alpha$

### Задача 1.27

На плоскопараллельную стеклянную ( $n = 1,5$ ) пластинку толщиной  $d = 8$  см падает под углом  $\alpha = 60^\circ$  луч света. Определить боковое смещение луча  $h$ , прошедшего сквозь эту пластинку.

- а)  $h = 0,08$  м б)  $h = 0,04$  м  
в)  $h = 0,16$  м г)  $h = 0,02$  м



### Задача 1.28

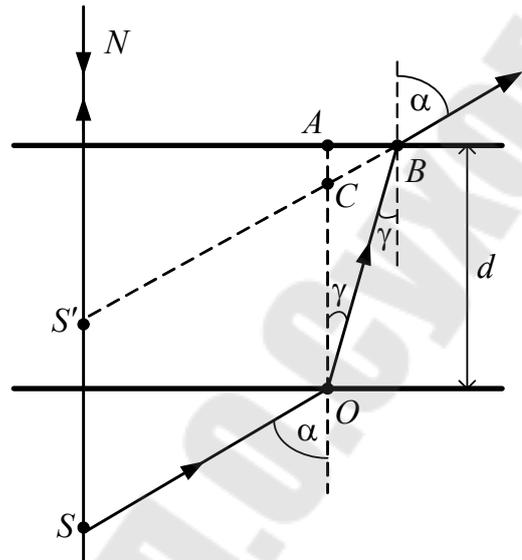
Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку, показатель преломления которой 1,6, под углом  $45^\circ$  (см. рис.). Определить толщину пластинки, если вышедший из пластинки луч смещен относительно продолжения падающего луча на расстояние 2 см.

- 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

### Задача 1.29

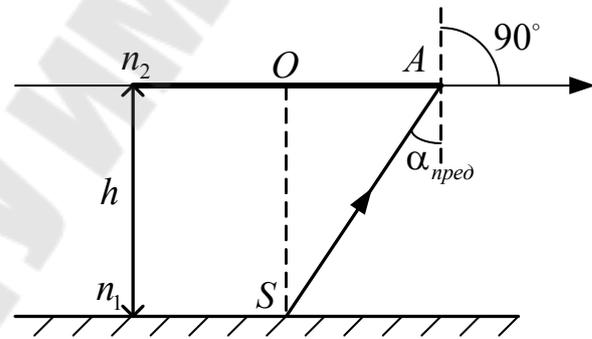
Наблюдатель рассматривает светящуюся точку через плоскопараллельную стеклянную пластину с показателем преломления 1,5 толщиной 3 см так, что луч зрения нормален к пластине. Определить расстояние между светящейся точкой и ее изображением (см. рис.).

- а)  $SS' = 16^{-2} \text{ м}$  б)  $SS' = 8^{-2} \text{ м}$   
 в)  $SS' = 10^{-2} \text{ м}$  г)  $SS' = 18^{-2} \text{ м}$



### Задача 1.30

На дно сосуда, наполненного скипидаром до высоты 10 см, помещен источник света  $S$ . На поверхности скипидара плавает круглая непрозрачная пластинка 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.)? Определить скорость света в скипидаре.



- а)  $R = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $v = 2,03 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  б)  $R = 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $v = 4 \cdot 10^8 \text{ м/с}$   
 в)  $R = 7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $v = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  г)  $R = 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $v = 2,03 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

### Задача 1.31

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

- а)  $\sigma = 30,1^\circ$  б)  $\sigma = 40,1^\circ$  в)  $\sigma = 34,1^\circ$  г)  $\sigma = 37^\circ$

### Задача 1.32

Вывести зависимость угла  $\sigma$  отклонения узкого монохроматического пучка света призмой с показателем преломления  $n$  и малым преломляющим углом  $\theta$ .

а)  $\sigma = \theta(n+1)$  б)  $\sigma = \theta(n-2)$  в)  $\sigma = \theta n$  г)  $\sigma = \theta(n-1)$

### Задача 1.33

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)  $a = 30$  см б)  $a = 60$  см в)  $a = 45$  см г)  $a = 55$  см

### Задача 1.34

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

### Задача 1.35

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 ( $n_{жс} = 1,7$ ). 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

### Задача 1.36

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)  $d = 0,10$  м;  $h_0 = 0,04$  м б)  $d = 0,15$  м;  $h_0 = 0,02$  м

в)  $d = 0,15 \text{ м}$ ;  $h_0 = 0,06 \text{ м}$  з)  $d = 0,20 \text{ м}$ ;  $h_0 = 0,02 \text{ м}$

### Задача 1.37

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

а)  $b = 14 \text{ см}$ ;  $H = 6 \text{ см}$  б)  $b = 10 \text{ см}$ ;  $H = 2 \text{ см}$

в)  $b = 10 \text{ см}$ ;  $H = 6 \text{ см}$  з)  $b = 12 \text{ см}$ ;  $H = 8 \text{ см}$

### Задача 1.38

Свеча находится на расстоянии  $l = 3,5 \text{ м}$  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  $r = 0,5 \text{ м}$ .

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

### Задача 1.39

Предмет высотой  $20 \text{ см}$  расположен на расстоянии  $30 \text{ см}$  перед двояковыпуклой линзой, имеющей оптическую силу  $2,5 \text{ дптр}$ . 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)  $F = 0,6 \text{ м}$ ; 2)  $b = -1,5 \text{ м}$ ; 3)  $\Gamma = -6$ ; 4)  $H = -1,0 \text{ м}$

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

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

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

### Задача 1.40

Светящаяся точка  $S$  находится на главной оптической оси центрированной системы двух тонких линз на расстоянии  $40 \text{ см}$  от пер-

вой 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

### Задача 1.41

Светильник в виде равномерно светящегося шара в 500 кд имеет диаметр 50 см. Определить: 1) полный световой поток  $\Phi$ , излучаемый светильником; 2) его светимость  $R$ ; 4) освещенность  $E_1$ , светимость  $R_1$  и яркость  $B_1$  экрана, на который падает 20 % светового потока, излучаемого светильником. Площадь экрана составляет  $0,5$  м<sup>2</sup>, а коэффициент отражения света его поверхностью  $\rho = 0,7$ .

$$а) \Phi = 6,28 \text{ клм}, \quad R = 10 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad E_1 = 2,51 \text{ клк},$$

$$R_1 = 1,76 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad B_1 = 360 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$$

$$б) \Phi = 6,28 \text{ клм}, \quad R = 8 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad E_1 = 2,51 \text{ клк},$$

$$R_1 = 1,76 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad B_1 = 560 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$$

$$в) \Phi = 6,28 \text{ клм}, \quad R = 8 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad E_1 = 3,51 \text{ клк},$$

$$R_1 = 1,76 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad B_1 = 440 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$$

$$г) \Phi = 3,28 \text{ клм}, \quad R = 8 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad E_1 = 1,51 \text{ клк},$$

$$R_1 = 1,76 \frac{\text{клм}}{\text{м}^2}, \quad B_1 = 760 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$$

### Задача 1.42

В центре квадратной комнаты площадью  $S = 16$  м<sup>2</sup> 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

### Задача 1.43

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  $\alpha = 30^\circ$ , 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

### Задача 1.44

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  $\alpha = 45^\circ$  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

## 2. Интерференция света. Основные понятия и формулы

*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  $\tau_{\text{ког}}$  называется *временем когерентности* (время когерентности не может превышать время излучения  $\tau$ , т.е.  $\tau_{\text{ког}} < \tau$ ). Если волна распространяется в однородной среде, то фаза колебаний в определенной точке пространства сохраняется только в течение времени когерентности  $\tau_{\text{ког}}$ . За это время волна распространяется в вакууме на расстояние  $l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}}$ , называемое *длиной когерентности* (или длиной цуга).

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

Оптическая длина пути<sup>4</sup>, 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  $\lambda_0$  – длина волны (световой) в вакууме,  $\Delta$  – оптическая разность хода двух световых волн.

Условие максимального усиления света при интерференции (интерференционный максимум):

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

где  $\lambda_0$  – длина световой волны в вакууме;  $m = 0, 1, 2, \dots$  – порядки интерференционного максимума.

Условие максимального ослабления света при интерференции (интерференционный минимум):

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

где  $m$  – порядок интерференционного минимума.

Расстояние  $\Delta x$  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.

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

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

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

где  $d$  – толщина пленки;  $n$  – показатель ее преломления;  $\alpha$  – угол падения;  $\beta$  – угол преломления;  $m = 0, 1, 2, \dots$  – 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;  $\lambda$  – 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  $\Delta$ , отраженных от двух поверхностей тонкой пластинки, по обе стороны которых находятся одинаковые среды:

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

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

где  $d$  – толщина пластинки;  $n$  – показатель преломления вещества пластинки;  $n_1$  – показатель преломления среды;  $\alpha$  – угол падения луча;  $\lambda_0$  – длина световой волны в вакууме.

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

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

$$n_{nl} = \sqrt{n_l \cdot n_{cp}},$$

где  $n_{nl}$  – показатель преломления пленки,  $n_{cp}$  – показатель преломления окружающей среды;  $n_l$  – показатель преломления линзы.

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

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

где  $n_{nl}d$  – оптическая толщина пленки;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме.

Обычно принимают  $m = 0$ , тогда

$$n_{nl}d = \frac{\lambda_0}{4}.$$

## Тестовые задачи по интерференции света

### Задача 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.

### Задача 2.2

Установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Определение	Математическое выражение
а) оптическая разность хода	1) $\frac{2\pi}{\lambda} \Delta$
б) разность фаз колебаний	2) $(n_2 - n_1)I$
в) фаза колебания	3) $\frac{2\pi}{\lambda}$
г) волновое число	4) $\omega \left( t - \frac{l}{v} \right)$

### Задача 2.3

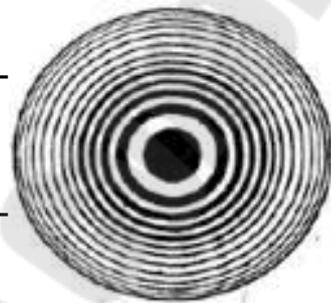
Радиусы светлых колец Ньютона в проходящем свете определяются формулой:

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

в)  $r_k = \sqrt{(k-1)kR}$ ; г)  $r_k = \sqrt{kR\frac{\lambda}{2}}$ .

### Задача 2.3

Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке?



- 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.

### Задача 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) $m \frac{xd}{I}$ ;
б) оптическая разность хода	2) $m \frac{I}{d} \lambda$ ;
в) координаты минимумов	3) $\left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{I}{d} \lambda$ ;
г) координаты максимумов	4) $\frac{I}{d} \lambda$

### Задача 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

### Задача 2.6

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

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

### Задача 2.7

На рисунке изображена интерференционная схема опыта Юнга с двумя щелями, излучающими волны с длиной  $\lambda_0$ . Какой из приведенных графиков  $I = f(x)$  описывает изменение интенсивности в интерференционной картине?



### Задача 2.8

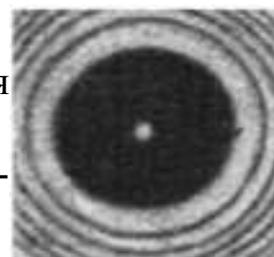
Условие максимумов интенсивности в интерференционной картине при отражении световой волны от плоскопараллельной пластики толщины  $h$  имеет вид:

- а)  $2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$ ;    б)  $2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} = \lambda m$ ;  
 в)  $2hn \cos \theta_2 = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$ ;    г)  $2hn \cos \theta_2 = m\lambda$ .

### Задача 2.9

Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке?

- 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.

### Задача 2.10

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

- а)  $\Delta = 370 \text{ нм}$     б)  $\Delta = 385 \text{ нм}$     в)  $\Delta = 380 \text{ нм}$     г)  $\Delta = 375 \text{ нм}$

### Задача 2.11

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

- а)  $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$     б)  $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$   
в)  $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$     г)  $\lambda = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

### Задача 2.12

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

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

### Задача 2.13

Расстояние между двумя когерентными источниками  $d = 0,9 \text{ мм}$ . Источники, испускающие монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 640 \text{ нм}$ , расположены на расстоянии  $l = 3,5 \text{ м}$  от экра-

на. Определить число светлых полос, располагающихся на 1 см длины экрана.

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

### Задача 2.14

В опыте Юнга щели освещаются монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 600 \text{ нм}$ , 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)  $x_{1\min} = 1,1 \text{ мм}$ ;  $x_{3\max} = 2,26 \text{ мм}$   
б)  $x_{1\min} = 1,05 \text{ мм}$ ;  $x_{3\max} = 2,12 \text{ мм}$   
в)  $x_{1\min} = 1,08 \text{ мм}$ ;  $x_{3\max} = 2,16 \text{ мм}$   
г)  $x_{1\min} = 1,03 \text{ мм}$ ;  $x_{3\max} = 2,24 \text{ мм}$

### Задача 2.15

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)  $l = 2,2 \text{ м}$  б)  $l = 2 \text{ м}$  в)  $l = 1,8 \text{ м}$  г)  $l = 2,5 \text{ м}$

### Задача 2.16

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 ( $\lambda_0 = 0,56 \text{ мкм}$ )? Считать, что лучи падают нормально к поверхности объектива.

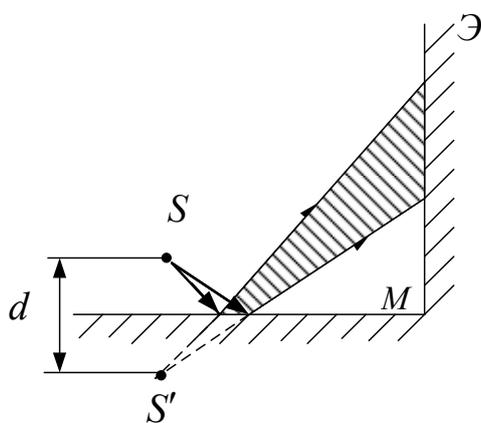
- а)  $h = 1,08 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  б)  $h = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$   
в)  $h = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  г)  $h = 1,12 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

### Задача 2.17

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

- а)  $h_{\min} = 0,15$  мкм      б)  $h_{\min} = 0,18$  мкм  
 в)  $h_{\min} = 0,12$  мкм      г)  $h_{\min} = 0,2$  мкм

### Задача 2.18



В зеркале Ллойда (см. рис.) 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  $\lambda$  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

### Задача 2.19

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  $\lambda$  монохроматического света равна 600 нм.

- а)  $N = 4$       б)  $N = 5$       в)  $N = 6$       г)  $N = 7$

### Задача 2.20

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)  $b = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}$       б)  $b = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}$   
 в)  $b = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ м}$       г)  $b = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

### Задача 2.21

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.

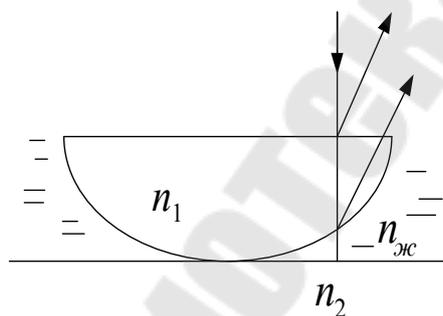
- а)  $F = 0,8 \text{ м}$       б)  $F = 0,9 \text{ м}$       в)  $F = 1,0 \text{ м}$       г)  $F = 1,1 \text{ м}$

### Задача 2.22

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

- а)  $b = 0,713 \text{ мм}$       б)  $b = 0,709 \text{ мм}$       в)  $b = 0,703 \text{ мм}$       г)  $b = 0,700 \text{ мм}$

### Задача 2.23



Сферическая поверхность плоско-выпуклой 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 пластиной заполнен жидкостью (см. рис.). Наблюдая кольца Ньютона в отраженном свете ( $\lambda_0 = 0,589 \text{ мкм}$ ), измеряем радиус десятого темного кольца. Определить показатель преломления жидкости в двух случаях: 1)  $r_{10} = 2,05 \text{ мм}$ ; 2)  $r_{10} = 1,9 \text{ мм}$ .

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

- в) 1)  $n_{жс} = 1,45$ ; 2)  $n_{жс} = 1,50$       г) 1)  $n_{жс} = 1,40$ ; 2)  $n_{жс} = 1,50$

### Задача 2.24

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

### Задача 2.25

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

### 3. Дифракция света. Основные понятия и формулы.

Радиусы зон Френеля (рис. 3.1):

для *плоской* волны

$$r_m = \sqrt{mr_0\lambda},$$

где  $r$  – радиус зоны;  $m$  – номер зоны;  $r_0$  – расстояние от круглого отверстия в непрозрачном экране до точки наблюдения, расположенной на оси отверстия;  $\lambda$  – 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;  $\lambda$  – длина волны (т.е.  $a$  и  $b$  – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором наблюдается дифракционная картина).

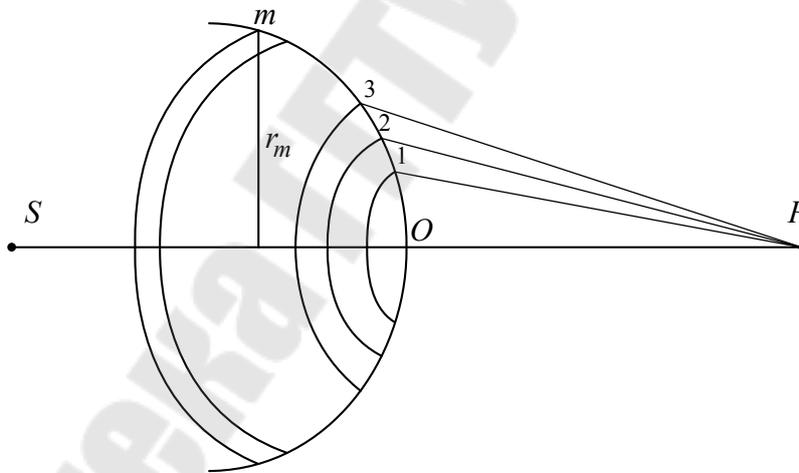


Рис. 3.1

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

$$\text{минимум} \quad a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2};$$

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

где  $\varphi$  – угол дифракции;  $m$  – порядок спектра ( $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ ),  
 $\lambda$  – длина волны.

Постоянная (период) дифракционной решетки

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

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:

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

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

где  $d$  – постоянная (период) дифракционной решетки;  $\varphi$  – 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):

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

где  $d$  – расстояние между атомными плоскостями кристалла;  $\theta$  – угол скольжения;  $\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения.

Угловая дисперсия дифракционной решетки

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

где  $\varphi$  – 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  $\lambda$ ,  $(\lambda + \Delta\lambda)$  – длины волн двух соседних спектральных линий, разрешаемых решеткой;  $\lambda$  – 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;  $\varphi$  – минимальное разрешаемое угловое расстояние.

Разрешающая способность глаза

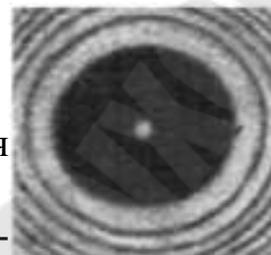
$$R \approx \frac{1}{\varphi_{\min}} = \frac{d}{1,22\lambda},$$

где  $d$  – диаметр зрачка.

## Тестовые задачи по дифракции света

### Задача 3.1

Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке?



- 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.

### Задача 3.2

Радиус  $m$  зоны Френеля для сферической волны определяется выражением:

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

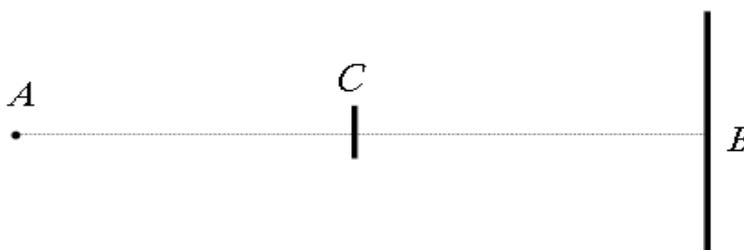
### Задача 3.3

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

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

### Задача 3.4

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



- 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.

### Задача 3.5

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 соответствии с законами геометрической оптики.

### Задача 3.6

Угловая дисперсия дифракционной решетки равна:

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

### Задача 3.7

Радиусы  $m$ -ой зоны Френеля в случае плоской волны определяются выражением:

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

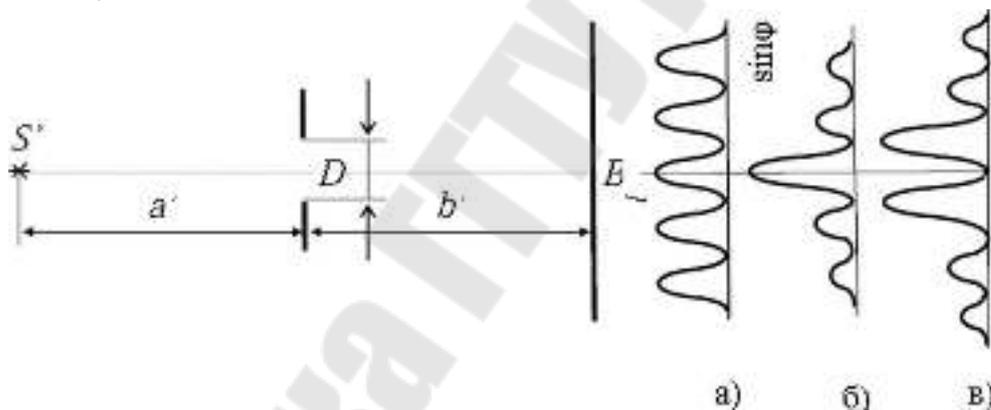
### Задача 3.8

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

- а)  $d \sin \varphi = \pm \frac{k}{N} \lambda$ ;      б)  $d \sin \varphi = \pm \left( m + \frac{k}{N} \right) \frac{\lambda}{2}$ ;  
 в)  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$ ;      г)  $d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$ .

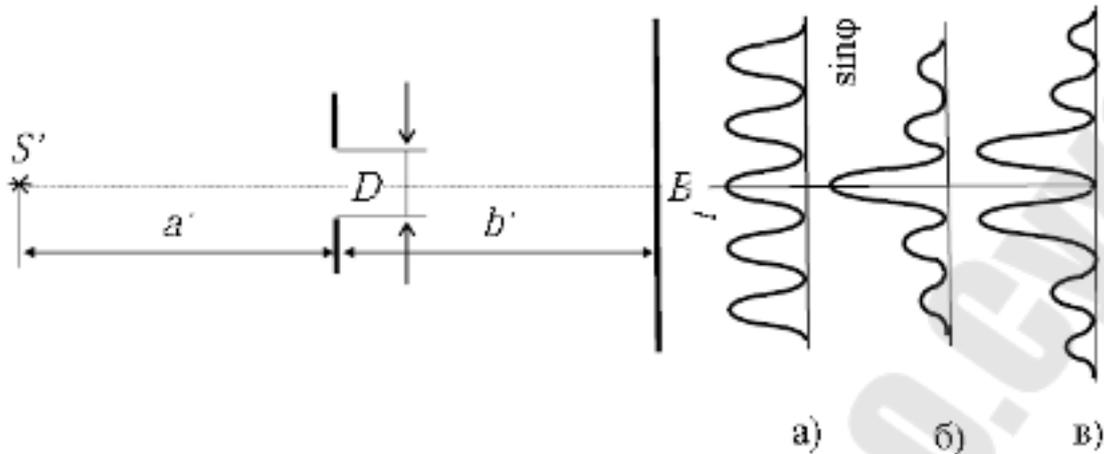
### Задача 3.9

Перед точечным источником монохроматического света  $S$  с длиной волны  $\lambda$  на расстоянии  $a$  установлен непрозрачный диск с отверстием диаметра  $D$  (см. рисунок). Отверстие открывает четыре зоны Френеля. Какой из приведенных графиков описывает зависимость интенсивности света  $I = f(\sin \varphi)$  в дифракционной картине получающейся на экране, помещенном на расстоянии  $b$  от диска ( $D \ll a, b$ ).



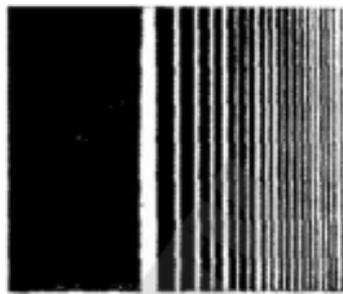
### Задача 3.10

Плоская световая волна (с длиной волны  $\lambda$ ) падает нормально на узкую щель ширины  $b$ . График зависимости  $I = f(\sin \varphi)$  интенсивности света в дифракционной картине, наблюдаемой на экране, имеет вид:



### Задача 3.11

Какое явление отображает картинка, изображенная на рисунке?



- а) дифракцию от щели;
- б) дифракцию от прямолинейного края полуплоскости;
- в) интерференцию в тонких пленках (полосы равной толщины);
- г) ничего сказать определенного нельзя.

### Задача 3.12

Характеристике спектрального прибора приведите в соответствие определение.

Характеристика	Определение
а) угловая дисперсия	1) $\frac{\lambda}{d\lambda}$
б) линейная дисперсия	2) $\frac{\delta\varphi}{d\lambda}$
в) разрешающая способность	3) $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$
г) дисперсионная область	4)

### Задача 3.13

На круглое отверстие диаметром  $d = 4$  мм падает нормально параллельный пучок лучей ( $\lambda = 0,5$  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.

### Задача 3.14

Сферическая волна, распространяющаяся от точечного монохроматического источника света ( $\lambda = 600$  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

### Задача 3.15

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

### Задача 3.16

Монохроматический свет ( $\lambda = 0,5$  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, две зоны Френеля?

- а)  $r_0 = 50$  м; 2)  $r_0 = 25$  м б)  $r_0 = 60$  м; 2)  $r_0 = 30$  м  
в)  $r_0 = 45$  м; 2)  $r_0 = 20$  м г)  $r_0 = 45$  м; 2)  $r_0 = 30$  м

### Задача 3.17

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

- а)  $N=4$  б)  $N=6$  в)  $N=10$  г)  $N=8$

### Задача 3.18

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.

### Задача 3.19

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

- а)  $d = 10,7 \cdot 10^{-6}$  м;  $N = 93$  мм<sup>-1</sup> б)  $d = 9,7 \cdot 10^{-6}$  м;  $N = 103$  мм<sup>-1</sup>  
в)  $d = 9,7 \cdot 10^{-3}$  м;  $N = 10,3$  мм<sup>-1</sup> г)  $d = 8,7 \cdot 10^{-6}$  м;  $N = 203$  мм<sup>-1</sup>

### Задача 3.20

На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Определить угол дифракции для линии  $\lambda_1 = 550$  нм в чет-

вертом порядке, если этот угол для линии  $\lambda_2 = 600$  нм в третьем порядке составляет  $30^\circ$ .

а)  $\varphi_1 = 37^\circ 42'$  б)  $\varphi_1 = 47^\circ 42'$  в)  $\varphi_1 = 57^\circ 42'$  г)  $\varphi_1 = 17^\circ 42'$

### Задача 3.21

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)  $\lambda_1 = 7 \cdot 10^{-7}$  м б)  $\lambda_1 = 5,5 \cdot 10^{-7}$  м в)  $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-7}$  м г)  $\lambda_1 = 6 \cdot 10^{-7}$  м

### Задача 3.22

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)  $m_{\max} = 6$

### Задача 3.23

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<sup>-1</sup>;  $N = 18$ ;  $\varphi_{\max} = 83,9^\circ$

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

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

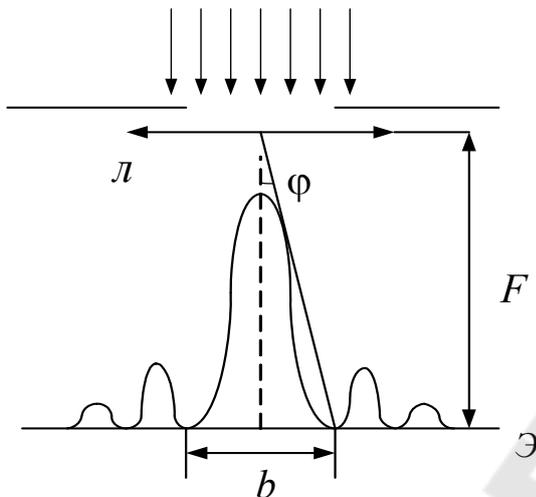
д)  $d = 4,58 \cdot 10^{-6}$  м;  $n = 2,18 \cdot 10^3$  м<sup>-1</sup>;  $N = 17$ ;  $\varphi_{\max} = 73,9^\circ$

### Задача 3.24

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)  $\varphi = 20,7^\circ$  б)  $\varphi = 20,3^\circ$  в)  $\varphi = 21,0^\circ$  г)  $\varphi = 20,0^\circ$

### Задача 3.25



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.). Определить, как надо изменить ширину щели, чтобы центральная полоса занимала весь экран (при любой ширине экрана).

- а)  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{1}{25}$ , т.е. ширину щели надо уменьшить в 25 раз  
б)  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{1}{20}$ , т.е. ширину щели надо уменьшить в 20 раз  
в)  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{1}{22}$ , т.е. ширину щели надо уменьшить в 22 раз  
г)  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{1}{18}$ , т.е. ширину щели надо уменьшить в 18 раз

### Задача 3.25

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).

$$\text{а) } R_{1\max} = R_{2\max} = 6800$$

$$\text{б) } R_{1\max} = R_{2\max} = 6200$$

$$\text{в) } R_{1\max} = R_{2\max} = 6400$$

$$\text{г) } R_{1\max} = R_{2\max} = 6800$$

### Задача 3.26

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  $15^\circ 12'$  к поверхности кристалла.

$$\text{а) } d = 0,30 \text{ нм} \quad \text{б) } d = 0,28 \text{ нм} \quad \text{в) } d = 0,25 \text{ нм} \quad \text{г) } d = 0,31 \text{ нм}$$

### Задача 3.27

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

$$\text{а) } d = 5,24 \text{ мкм} \quad \text{б) } d = 5,20 \text{ мкм} \quad \text{в) } d = 5,18 \text{ мкм} \quad \text{г) } d = 5,14 \text{ мкм}$$

### Задача 3.28

При нормальном падении света на дифракционную решетку на экране с помощью линзы (фокусное расстояние  $F = 0,8$  м) наблюдается дифракционная картина. Красная линия ( $\lambda = 630$  нм) в спектре второго порядка наблюдается под углом  $\varphi = 11^\circ$ . Определить: 1) постоянную решетки; 2) линейную дисперсию решетки  $D$ .

$$\text{а) } d = 6,6 \text{ мкм}; \quad D = 2,47 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{м}} \quad \text{б) } d = 6,8 \text{ мкм}; \quad D = 2,57 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{м}}$$

$$\text{в) } d = 6,3 \text{ мкм}; \quad D = 2,17 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{м}} \quad \text{г) } d = 6,0 \text{ мкм}; \quad D = 2,67 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{м}}$$

#### 4. Поляризация и дисперсия света. Основные понятия и формулы.

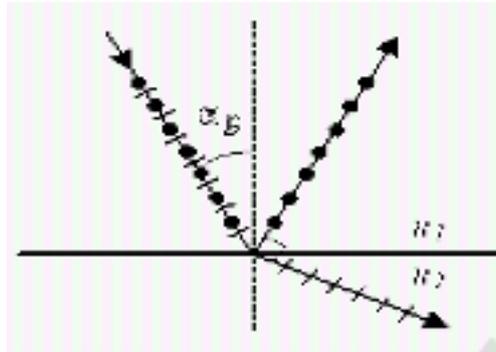


Рис. 4.1

Закон Брюстера:  $\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$ ,

где  $\alpha_B$  – 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. 4.1).

Интенсивность света, прошедшего через первый николю  $N_1$  (рис. 4.2) (поляризатор  $\Pi$ ), с учетом поглощения,

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

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

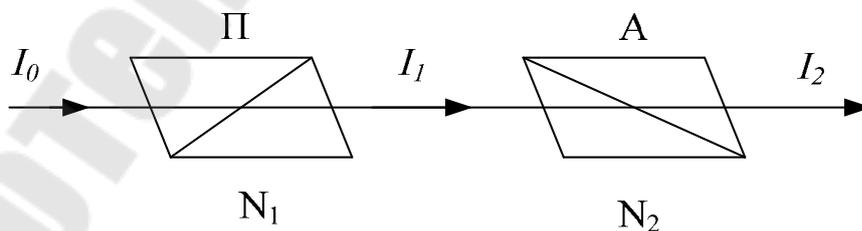


Рис. 4.2

Уменьшение интенсивности света после второго николя  $N_2$  (анализатора  $A$ ) 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;  $\varphi$  – 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  $(n_o - n_e)d = \pm \left(m + \frac{1}{4}\right)\lambda, (m = 0, 1, 2, \dots);$

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

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

где знак «+» соответствует отрицательным одноосным кристаллам, знак «-» – положительным;  $\lambda$  – 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

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

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

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

где  $v_r$  – скорость заряженной частицы.

## Тестовые задачи по поляризации и дисперсии света

### Задача 4.1

Угол между плоскостями поляризации двух поляроидов  $70^\circ$ . Как изменится интенсивность прошедшего через них света, если этот угол уменьшится в 5 раз?

- а)  $\frac{I_2}{I_1} = 9$ ; интенсивность возрастет в 9 раз  
б)  $\frac{I_2}{I_1} = 8,5$ ; интенсивность возрастет в 8,5 раз  
в)  $\frac{I_2}{I_1} = 8$ ; интенсивность возрастет в 8 раз  
г)  $\frac{I_2}{I_1} = 7,8$ ; интенсивность возрастет в 7,8 раз

### Задача 4.2

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

- а)  $\varphi = 45^\circ$  б)  $\varphi = 46^\circ$  в)  $\varphi = 48^\circ$  г)  $\varphi = 50^\circ$

### Задача 4.3

Естественный свет интенсивностью  $I_0$  проходит через два николя, плоскости пропускания которых расположены под углом  $60^\circ$  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)  $\frac{I_0}{I_3} = 32$  б)  $\frac{I_0}{I_3} = 30$  в)  $\frac{I_0}{I_3} = 35$  г)  $\frac{I_0}{I_3} = 34$

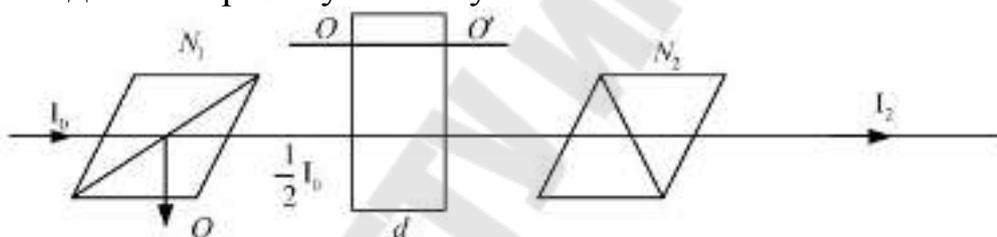
### Задача 4.4

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

- а)  $c_2 = 0,22 \text{ г/см}^3$       б)  $c_2 = 0,25 \text{ г/см}^3$   
 в)  $c_2 = 0,20 \text{ г/см}^3$       г)  $c_2 = 0,28 \text{ г/см}^3$

#### Задача 4.5

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



- а)  $\frac{I_0}{I_2} = 9$       б)  $\frac{I_0}{I_2} = 7,5$       в)  $\frac{I_0}{I_2} = 8$       г)  $\frac{I_0}{I_2} = 7$

#### Задача 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)  $\tau = 0,89$

#### Задача 4.7

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

- а)  $P = 0,6$       б)  $P = 0,45$       в)  $P = 0,7$       г)  $P = 0,5$

### Задача 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)  $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 4,5$

### Задача 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  $n_e = 1,489$ ,  $n_o = 1,664$ , 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

### Задача 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)  $n_e - n_o = 0,006$  б)  $n_e - n_o = 0,007$   
в)  $n_e - n_o = 0,008$  г)  $n_e - n_o = 0,009$

### Задача 4.11

Ячейку Керра поместили между скрещенными поляризатором и анализатором. Вектор  $\vec{E}$  напряженности электрического поля составляет угол  $\alpha = 45^\circ$  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  $2,2 \cdot 10^{-10} \text{ м/В}$ . Определить минимальное значение напряженности электрического поля в конденсаторе, при котором интенсивность света за анализатором не будет зависеть от поворота анализатора.

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

#### Задача 4.12

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

а)  $\frac{u_1}{v_1} = 0,970$  б)  $\frac{u_1}{v_1} = 0,975$  в)  $\frac{u_1}{v_1} = 0,978$  г)  $\frac{u_1}{v_1} = 0,973$

#### Задача 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)  $u = 1,7 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v = 1,83 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  б)  $u = 1,8 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v = 1,85 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 в)  $u = 1,75 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v = 1,88 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  г)  $u = 1,6 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v = 1,9 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

#### Задача 4.14

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

а)  $E_K = 903,8 \text{ МэВ}$  б)  $E_K = 901,2 \text{ МэВ}$   
 в)  $E_K = 904,6 \text{ МэВ}$  г)  $E_K = 902,9 \text{ МэВ}$

#### Задача 4.15

Закону поставьте в соответствие математическое выражение.

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

#### Задача 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.

#### Задача 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)                      б)                      в)                      г)

#### Задача 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.

#### Задача 4.19

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

Интенсивность	Расчетная формула
---------------	-------------------

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

#### Задача 4.20

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.

#### Задача 4.21

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.

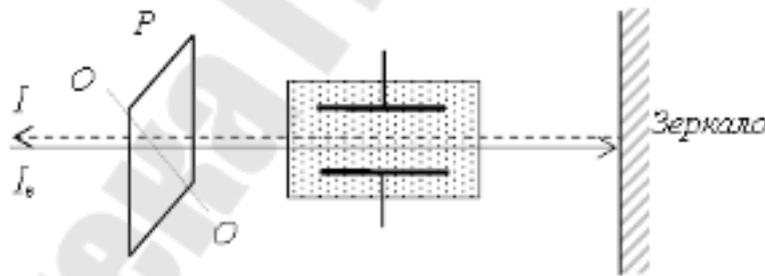
#### Задача 4.22

Установите соответствие между физическим явлением и его математическим выражением.

Явление	Математическое выражение
а) искусственное двойное лучепреломление	1) $\varphi = VtH$
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) $\varphi = [\alpha]cI$

### Задача 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  $P$ . При прохождении оптически активного раствора плоскость поляризации поворачивается на угол  $\frac{\pi}{4}$ . Чему равно отношение  $\frac{I_e}{I}$ ?

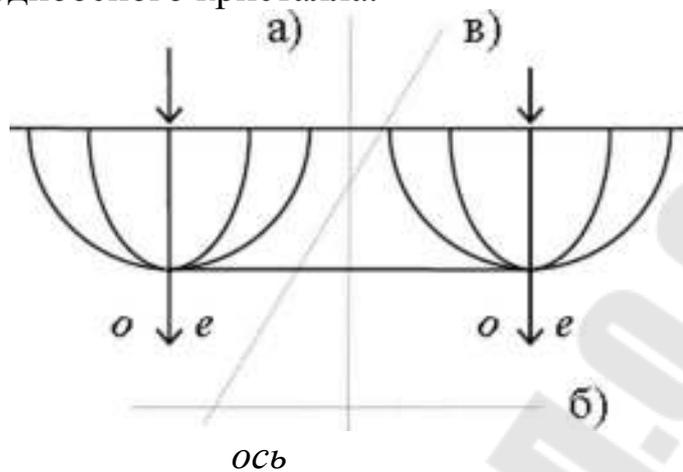


- а)  $\frac{I_e}{I} = 2$ ;    б)  $\frac{I_e}{I} = 4$ ;    в)  $\frac{I_e}{I} \rightarrow \infty$ ;    г)  $I = 0$  (темнота).

### Задача 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.



## 5. Тепловое излучение. Основные понятия и формулы.

Основные характеристики теплового излучения нагретого тела.

Энергетическая светимость  $r_{\nu}(T)$  – энергия, испускаемая единицей поверхности излучающего тела в единицу времени. Размерность  $[r_{\nu}] = \text{Вт/м}^2$ .

Энергетическая светимость тела

$$r_{\nu} = \frac{\Phi_{\nu}}{S} = \frac{1}{S} \frac{dW_{\nu}}{dt} = \frac{N}{S},$$

где  $\Phi_{\nu}$  – поток излучения;  $S$  – площадь излучающей поверхности;  $dW_{\nu}$  – 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  $[r_{\nu}] = \text{Дж/м}^2$ . Связь с энергетической светимостью:

$$r_{\nu}(T) = \int_0^{\infty} r(\omega, T) d\omega.$$

Поглощательная способность тела  $a_{\nu}$  – 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:

$$r_{\nu} = \sigma T^4,$$

где  $T$  – термодинамическая температура,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$  – постоянная Стефана – Больцмана.

Энергетическая светимость серого тела

$$r_{\nu} = A_T \sigma T^4,$$

где  $A_T$  – поглощательная способность серого тела;  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана;  $T$  – термодинамическая температура.

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

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

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

Максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости  $R_\nu$  и  $R_\lambda$  абсолютно черного тела пропорционально третьей и соответственно, пятой степени абсолютной температуры:

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

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

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  $\nu$  ( $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – термодинамическая температура);  $c$  – скорость света в вакууме.

Формула Планка:

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

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

Радиационная температура тела

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

где  $R_\nu$  – энергетическая светимость тела;  $\sigma$  – 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.

## Тестовые задачи по тепловому излучению

### Задача 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)  $r_{\omega} = r_{\lambda} \frac{\lambda^2}{2\pi c}$ ;  
г)  $\left( \frac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}} \right) = f(\omega, T)$ ;      д)  $(r_{\lambda T}^*)_{\max} = CT^5$ .

### Задача 5.2

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

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

### Задача 5.3

Степень черноты определяется выражением

а)  $K = \frac{dW_{\text{погл}}}{dW_{\text{над}}}$ ;      б)  $K = \frac{\int_0^{\infty} a_{\lambda, \tau} r_{\lambda, \tau} d\lambda}{\int_0^{\infty} r_{\lambda, \tau}^* d\lambda}$ ;      в)  $K = \frac{\int_0^{\infty} r_{\lambda, \tau}^* d\lambda}{\int_0^{\infty} a_{\lambda, \tau} r_{\lambda, \tau} d\lambda}$ .

### Задача 5.4

Закону поставьте в соответствие математическое выражение.

Закон

Математическое выражение

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

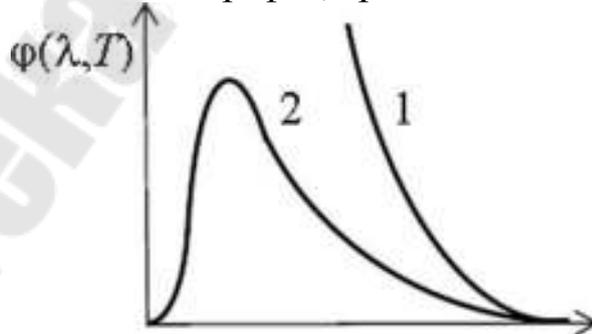
### Задача 5.5

Какие из приведенных выражений описывают законы Вина?

- а)  $\lambda_m = \frac{b}{T}$ ;      б)  $R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda T} d\lambda$ ;      в)  $(r_{\lambda T}^*)_{\max} = CT^5$ ;
- г)  $R^* = \frac{c}{4} u$ ;      д)  $r_{\lambda} = r_{\omega} \frac{\omega^2}{2\pi c}$ .

### Задача 5.6

Каким законом описывается график, представленный на рисунке.



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

### Задача 5.7

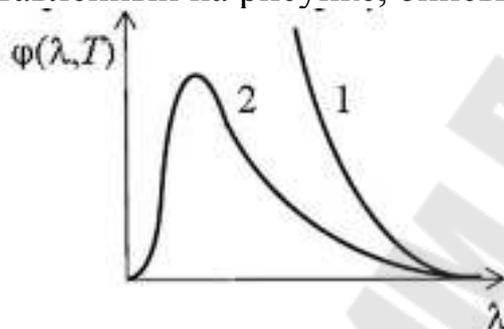
Представим себе три тела, одинаковые по размерам, но отличающиеся друг от друга своей поглощательной способностью. Пусть

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 одинаковый 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)  $T_1 = T_2 < T_3$ .

### Задача 5.8

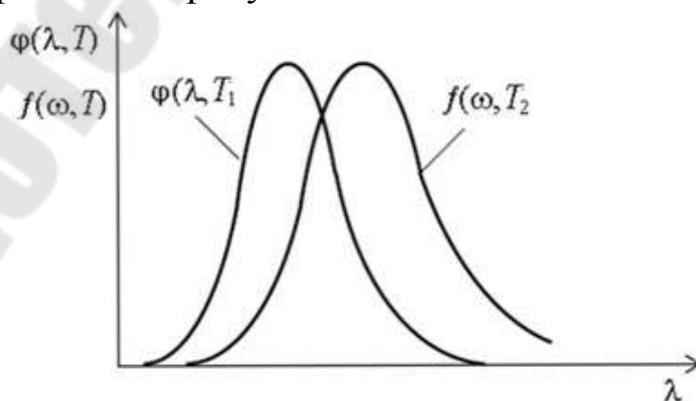
График, представленный на рисунке, описывается уравнением



- а)  $r_{\lambda T}^* = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{2\pi \hbar c}{kT\lambda}\right) - 1}$ ;      б)  $(r_{\lambda, T}^*)_{\max} = CT^5$ ;  
 в)  $f(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^2}{4\pi^2 c^2} kT$ ;      г)  $\phi(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\frac{2\pi c}{\lambda T}\right)$ .

### Задача 5.9

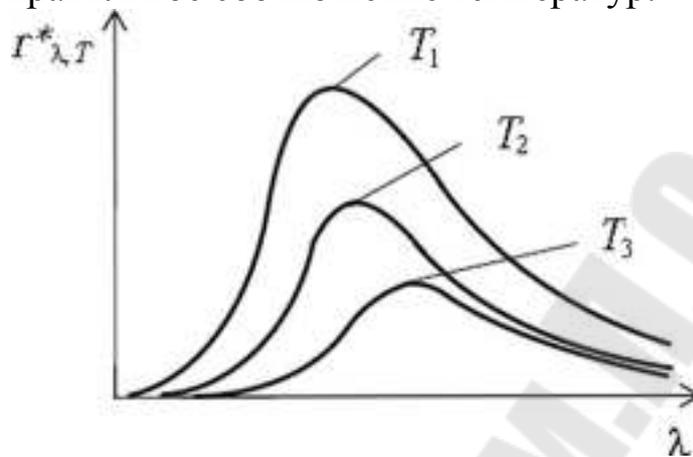
Что можно сказать о температуре излучающего тела, изотермы которого изображены на рисунке.



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

### Задача 5.10

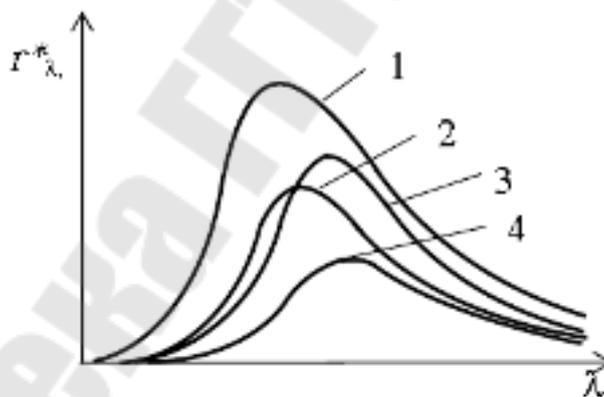
Для изотерм абсолютно черного тела, представленных на рисунке, установите правильное соотношение температур.



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

### Задача 5.11

Какой из приведенных ниже графиков не соответствует закону Вина?



### Задача 5.12

Температура внутренней поверхности электрической печи  $T = 700^\circ\text{C}$ . Определите мощность излучения печи через небольшое отверстие диаметром  $d = 5\text{ см}$ , рассматривая его как излучение абсолютно черного тела.

- а)  $N = 85,6\text{ Вт}$     б)  $N = 99,7\text{ Вт}$     в)  $N = 121\text{ Вт}$     г)  $N = 94,2\text{ Вт}$

### Задача 5.13

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  $T = 5800\text{ К}$ . Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

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

### Задача 5.14

Мощность излучения расплавленного свинца, площадь поверхности которого  $S = 40\text{ см}^2$ , взятого при температуре плавления, равна  $N = 17,6\text{ Вт}$ . 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)  $A_T = 0,8$

### Задача 5.15

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

а)  $N = 2560\text{ Вт}; I = 12,5\text{ А}$  б)  $N = 1240\text{ Вт}; I = 6,45\text{ А}$   
в)  $N = 2125\text{ Вт}; I = 11,2\text{ А}$  г)  $N = 1870\text{ Вт}; I = 8,5\text{ А}$

### Задача 5.16

Температура черного тела  $T_1 = 3000\text{ К}$ . При остывании тела длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на  $\Delta\lambda = 8\text{ мкм}$ . Определить температуру  $T_2$ , до которой тело охладилось.

а)  $T_2 = 264\text{ К}$  б)  $T_2 = 323\text{ К}$  в)  $T_2 = 679\text{ К}$  г)  $T_2 = 1873\text{ К}$

### Задача 5.17

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

- а)  $\Delta m = 2,6 \cdot 10^{12} \text{ кг}$       б)  $\Delta m = 3,26 \cdot 10^{12} \text{ кг}$   
в)  $\Delta m = 4,2 \cdot 10^{12} \text{ кг}$       г)  $\Delta m = 1,6 \cdot 10^{12} \text{ кг}$

### Задача 5.18

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

- а)  $R_{\text{с}} = 32 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ ;  $\Phi_w = 2,6 \cdot 10^{26} \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$   
б)  $R_{\text{с}} = 64 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ ;  $\Phi_w = 3,9 \cdot 10^{26} \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$   
в)  $R_{\text{с}} = 89 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ ;  $\Phi_w = 4,8 \cdot 10^{26} \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$   
г)  $R_{\text{с}} = 72 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ ;  $\Phi_w = 4,1 \cdot 10^{26} \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$

### Задача 5.19

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

- а)  $R_{\text{с}} = 35 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ ;  $r_{\lambda} = 40,6 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$       б)  $R_{\text{с}} = 13 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$ ;  $r_{\lambda} = 21 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$

$$\text{в) } R_{\lambda} = 63 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}; r_{\lambda} = 54,3 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}} \quad \text{г) } R_{\lambda} = 41 \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}; r_{\lambda} = 48,3 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{нм}}$$

### Задача 5.20

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  $30^{\circ}$ . Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела с температурой 5800 К.

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

### Задача 5.21

В результате охлаждения черного тела длина волны, отвечающая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с  $\lambda_{1\text{max}} = 0,8 \text{ мкм}$  до  $\lambda_{2\text{max}} = 2,4 \text{ мкм}$ . 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) увеличится в 81 раз; увеличится в 243 раза

### Задача 5.22

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

а)  $Q = 137 \text{ кДж}$  б)  $Q = 357 \text{ кДж}$  в)  $Q = 284 \text{ кДж}$  г)  $Q = 237 \text{ кДж}$

### Задача 5.23

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)  $T = \frac{T_p}{\sqrt[3]{A_T}}$

## 6. Квантово-оптические явления. Основные понятия и формулы.

Энергия кванта (фотона)

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

где  $\nu$  – частота света;  $\lambda$  – длина световой волны;  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка;  $c$  – скорость света в вакууме.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

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

где  $h\nu$  – энергия фотона, падающего на поверхность металла ( $\nu$  – частота падающего фотона,  $h$  – постоянная Планка);  $A$  – работа выхода электрона из металла;  $\frac{m\nu_{\max}^2}{2}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона;  $U_0$  – задерживающее напряжение (напряжение запирающего фотона),  $\nu_0$  – 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);  $\rho$  – коэффициент отражения;  $c$  – скорость света в вакууме;  $\omega$  – объемная плотность энергии излучения.

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

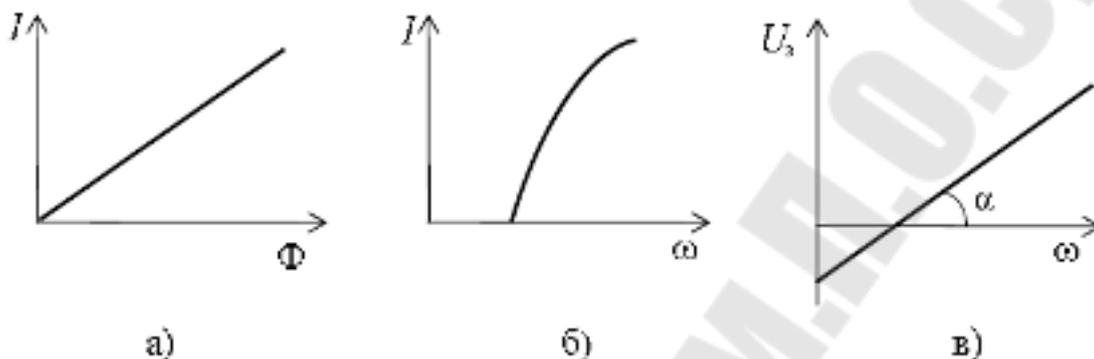
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2\frac{\theta}{2},$$

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

## Тестовые задачи по квантово-оптическим явлениям

### Задача 6.1

Какая из приведенных на рисунке зависимостей позволяет определить постоянную Планка?



### Задача 6.2

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.

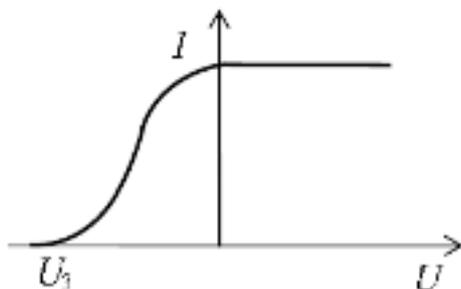
### Задача 6.3

При освещении металлической поверхности светом различного спектрального состава наибольшее действие оказывают:

- а) инфракрасные лучи;
- б) красные лучи видимого участка спектра;
- в) зеленые лучи видимого участка спектра;
- г) синие лучи видимого участка спектра;
- д) ультрафиолетовые лучи.

### Задача 6.4

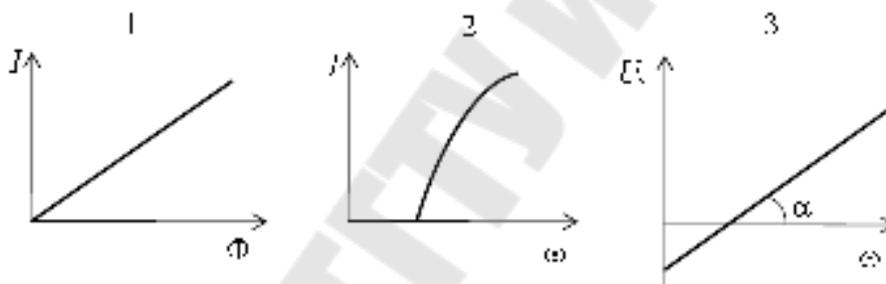
Какой знак имеет контактная разность потенциалов между катодом и анодом для изображенной на рисунке зависимости фототока от напряжения?



- а)  $U = 0$ ;      б)  $U > 0$ ;      в)  $U < 0$ .

### Задача 6.5

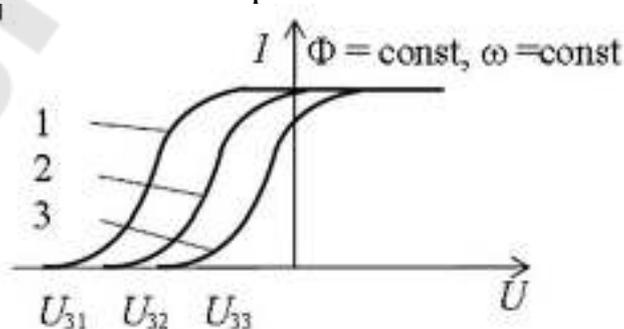
Какие из приведенных на рисунке зависимостей позволяют определить работу выхода электрона с поверхности металла?



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

### Задача 6.6

Установите правильный знак контактных разностей потенциалов  $U_k$  между анодом и катодом для приведенных на рисунке зависимостей силы фототока от напряжения.

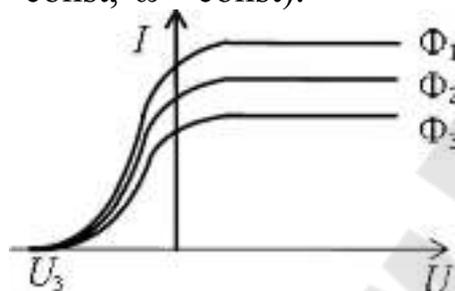


- а)  $U_{k1} < 0, U_{k2} < 0, U_{k3} < 0$ ;      б)  $U_{k1} < 0, U_{k2} = 0, U_{k3} > 0$ ;

- в)  $U_{k1} < 0, U_{k2} < 0, U_{k3} = 0$ ;      з)  $U_{k1} > 0, U_{k2} = 0, U_{k3} < 0$ ;  
 д)  $U_{k1} > 0, U_{k2} > 0, U_{k3} > 0$ ;      е)  $U_{k1} = 0, U_{k2} < 0, U_{k3} < 0$ ;

### Задача 6.7

Установите правильное соотношение между величинами световых потоков для приведенных на рисунке зависимостей силы фототока от напряжения ( $\Phi = \text{const}, \omega = \text{const}$ ).



- а)  $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3$ ;      б)  $\Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3$ ;      в)  $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$ .

### Задача 6.8

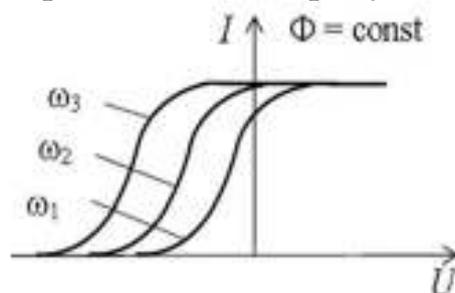
Максимальная кинетическая энергия вырываемых с поверхности металла фотоэлектронов пропорциональна:

- 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.

### Задача 6.9

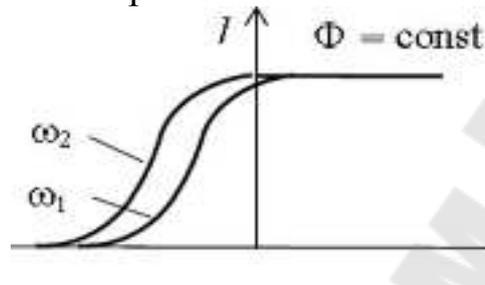
Установите правильное соотношение между величинами частот падающего на поверхность металла света для зависимостей силы фототока от напряжения, приведенных на рисунке.



- а)  $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$ ;      б)  $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3$ ;      в)  $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ .

### Задача 6.10

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)  $V_{1\text{max}} > V_{2\text{max}}$ ;    б)  $V_{1\text{max}} < V_{2\text{max}}$ ;    в)  $V_{1\text{max}} = V_{2\text{max}}$

### Задача 6.11

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.

### Задача 6.12

Установите правильную последовательность в изменении работы выхода металлов К, Cs, Ba, W, Pt.

- а)  $A_W > A_{Pt} > A_{Ba} > A_K > A_{Cs}$ ;
- б)  $A_{Ba} > A_{Pt} > A_K > A_W > A_{Cs}$ ;
- в)  $A_{Pt} > A_W > A_{Ba} > A_K > A_{Cs}$ ;
- г)  $A_{Pt} > A_W > A_K > A_{Ba} > A_{Cs}$ .

### Задача 6.13



- 1) вырывание электронов с поверхности;
  - 2) перераспределение электронов по энергетическим уровням;
  - 3) увеличение электропроводности;
  - 4) возникновение акцепторных и донорных уровней.
- а) 1;      б) 1, 2;      в) 2, 3;      г) 3;      д) 1, 2, 3, 4.

### Задача 6.17

Эффект Комптона наблюдается при рассеянии на образцах:

- а) у квантов;
- б) жесткого рентгеновского облучения;
- в) УФ излучения;
- г) света видимой области спектра.

### Задача 6.18

Какое из приведенных ниже уравнений описывает эффект Комптона?

- а)  $n\hbar\omega = A + \frac{m_e v^2}{2}$ ;      б)  $\varphi(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\frac{2\pi c}{\lambda}\right)$ ;
- в)  $\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$ ;      г)  $\frac{2\pi\hbar}{m_e c}$ .

### Задача 6.19

Установите соответствие между физической величиной и ее определением.

Физическая величина	Определение
а) масса фотона	1) $\frac{2\pi\hbar}{m_e c}$ ;
б) импульс фотона	2) $\hbar\omega$
в) энергия фотона	3) $\frac{h\nu}{c^2}$
г) комптоновская длина волны	4) $\frac{h\nu}{c}$

### Задача 6.20

Установите соответствие между физическим явлением и его математическим выражением.

Явление	Математическое выражение
а) фотоэффект	1) $\lambda_0 = \frac{2\pi\hbar c}{A}$ ;
б) рентгеновское излучение	2) $\lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{m_e c} (1 - \cos \theta)$ ;
в) эффект Комптона	3) $p = \frac{W}{c} (1 + \rho)$ ; $p = \frac{W}{c} (1 + \rho)$
г) красная граница фотоэффекта	4) $\hbar\omega = A + \frac{mv^2}{2}$ ;
д) давление света	5) $\omega = R(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

### Задача 6.21

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

- а)  $U_z = 1,761B$  б)  $U_z = 2,761B$  в)  $U_z = 1,231B$  г)  $U_z = 0,621B$

### Задача 6.22

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)  $\lambda = 0,394\text{мкм}$  б)  $\lambda = 0,196\text{мкм}$   
 в)  $\lambda = 0,124\text{мкм}$  г)  $\lambda = 0,684\text{мкм}$

### Задача 6.23

Какую часть энергии фотона составляет энергия, которая пошла на совершение работы выхода электронов из фотокатода, если крас-

ная граница для материала фотокатода равна 0,54 мкм? Кинетическая энергия фотоэлектронов 0,5 эВ.

а)  $\frac{A_{\epsilon}}{\epsilon} = 100\%$  б)  $\frac{A_{\epsilon}}{\epsilon} = 82\%$  в)  $\frac{A_{\epsilon}}{\epsilon} = 41\%$  г)  $\frac{A_{\epsilon}}{\epsilon} = 20,5\%$

### Задача 6.24

Определить максимальную скорость электрона, вырванного с поверхности материала  $\gamma$ -квантом с энергией 1,53 МэВ.

а)  $v = 5,6 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$  б)  $v = 1,4 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$   
в)  $v = 2,8 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$  г)  $v = 0,7 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$

### Задача 6.25

Определить, с какой скоростью  $v$  должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия  $E_k$  была равна энергии  $\epsilon$  фотона с длиной волны  $\lambda = 1$  пм.

а)  $v = 1,47 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$  б)  $v = 5,67 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$   
в)  $v = 2,87 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$  г)  $v = 8,21 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$

### Задача 6.26

Определить, во сколько раз максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вырывааемых с поверхности цинка (работа выхода 4 эВ) монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 220$  нм, превосходит среднюю энергию теплового движения электронов при температуре 27 °С.

а)  $\frac{E_{k \max}}{\langle \epsilon \rangle} = 21,25$  б)  $\frac{E_{k \max}}{\langle \epsilon \rangle} = 83$  в)  $\frac{E_{k \max}}{\langle \epsilon \rangle} = 42,5$  г)  $\frac{E_{k \max}}{\langle \epsilon \rangle} = 52,5$

### Задача 6.27

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

- а)  $\lambda = 29 \text{ нм}$  б)  $\lambda = 7,5 \text{ нм}$  в)  $\lambda = 10 \text{ нм}$  г)  $\lambda = 14,5 \text{ нм}$

### Задача 6.28

На зачерненную поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,65 мкм, производя давление  $5 \cdot 10^{-6}$  Па. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности и число фотонов, падающих на площадь  $1 \text{ м}^2$  в 1 с.

- а)  $n_0 = 3,2 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}; n = 9,6 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$   
б)  $n_0 = 1,6 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}; n = 4,8 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$   
в)  $n_0 = 0,8 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}; n = 2,4 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$   
г)  $n_0 = 1 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}; n = 4 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$

### Задача 6.29

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

- а)  $P = 467 \text{ нПа}$  б)  $P = 867 \text{ нПа}$  в)  $P = 667 \text{ нПа}$  г)  $P = 589 \text{ нПа}$

### Задача 6.30

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

- а)  $\lambda = 6,63 \cdot 10^{-4} \text{ м}$  б)  $\lambda = 6,63 \cdot 10^{-7} \text{ м}$   
в)  $\lambda = 4,63 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  г)  $\lambda = 3,36 \cdot 10^{-5} \text{ м}$

### Задача 6.31

Давление монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 500 \text{ нм}$  на поверхность с коэффициентом отражения  $\rho = 0,3$ , расположенную

перпендикулярно к падающему свету, равно  $0,2$  мкПа. Определить число фотонов, поглощаемых ежесекундно  $1 \text{ м}^2$  этой поверхности.

- а)  $N = 8,12 \cdot 10^{12}$  б)  $N = 4,06 \cdot 10^{19}$  в)  $N = 2,26 \cdot 10^{19}$  г)  $N = 7,98 \cdot 10^{15}$

### Задача 6.32

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

- а)  $n = 1,24 \cdot 10^{15} \text{ м}$  б)  $n = 2,48 \cdot 10^{13} \text{ м}$   
в)  $n = 1,24 \cdot 10^9 \text{ м}$  г)  $n = 0,98 \cdot 10^{13} \text{ м}$

### Задача 6.33

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)  $n = 7,54 \cdot 10^{19} \text{ м}$  б)  $n = 7,54 \cdot 10^{21} \text{ м}$   
в)  $n = 5,65 \cdot 10^{19} \text{ м}$  г)  $n = 3,82 \cdot 10^{19} \text{ м}$

### Задача 6.34

Угол рассеяния фотона с энергией  $1,2$  МэВ на свободном электро-не  $60^\circ$ . Найти длину волны рассеянного фотона.

- а)  $\lambda' = 2,25 \cdot 10^{-9} \text{ м}$  б)  $\lambda' = 2,25 \cdot 10^{-12} \text{ м}$   
в)  $\lambda' = 1,25 \cdot 10^{-12} \text{ м}$  г)  $\lambda' = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}$

### Задача 6.35

В результате эффекта Комптона фотон рассеялся на покоившемся свободном электро-не на угол  $\theta = 90^\circ$ . Энергия рассеянного фотона  $\varepsilon' = 216$  кэВ. Определить: 1) энергию фотона до рассеяния; 2) кинетическую энергию  $E_k$  электро-на отдачи; 3) угол  $\varphi$ , под которым движется электро-н отдачи.

- а)  $\varepsilon = 374 \text{ кэВ}; E_k = 158 \text{ кэВ}; \varphi = 30^\circ$   
б)  $\varepsilon = 400 \text{ кэВ}; E_k = 178 \text{ кэВ}; \varphi = 45^\circ$

в)  $\varepsilon = 300 \text{кэВ}; E_{\kappa} = 127 \text{кэВ}; \varphi = 15^\circ$

г)  $\varepsilon = 158 \text{кэВ}; E_{\kappa} = 374 \text{кэВ}; \varphi = 30^\circ$

### Задача 6.36

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

а)  $E_{\kappa} = 15 \text{кэВ}$  б)  $E_{\kappa} = 30 \text{кэВ}$ ; в)  $E_{\kappa} = 45 \text{кэВ}$  г)  $E_{\kappa} = 60 \text{кэВ}$

### Задача 6.37

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

а)  $E_{\kappa} = 0,433 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; P = 2,8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

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

в)  $E_{\kappa} = 0,833 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; P = 4,8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

г)  $E_{\kappa} = 1,833 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; P = 6,8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

### Задача 6.38

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

а)  $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 33\%$  б)  $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 66\%$  в)  $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 99\%$  г)  $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 15,15\%$

### Задача 6.39

В результате комптоновского рассеяния на свободном покоящемся электроне длина волны  $\gamma$ -фотона  $\lambda_1$  увеличилась вдвое. Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи, если угол рассеяния равен  $60^\circ$ .

а)  $E_{\kappa} = 1\text{МэВ}; P = 4,7 \cdot 10^{-22} \frac{\text{Кэ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$

б)  $E_{\kappa} = 0,5\text{МэВ}; P = 6,8 \cdot 10^{-22} \frac{\text{Кэ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$

в)  $E_{\kappa} = 0,5\text{МэВ}; P = 4,7 \cdot 10^{-22} \frac{\text{Кэ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$

г)  $E_{\kappa} = 1,5\text{МэВ}; P = 6,7 \cdot 10^{-22} \frac{\text{Кэ} \cdot \text{М}}{\text{с}}$

## 7. Атом водорода в теории Бора. Основные понятия и формулы.

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  $\vec{F}_{эл} = m\vec{a}_n$ ,

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

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

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

где  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка;  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$

Дж·с;  $Z$  – заряд ядра;  $m$  – масса электрона;  $e$  – заряд электрона;  $r_n$  – радиус  $n$ -ной орбиты электрона;  $v_n$  – его скорость на этой орбите,  $n = 1, 2, 3 \dots$  – главное квантовое число.

Обобщенная формула Бальмера, описывающая серии в спектре атома водорода:

$$v = \frac{c}{\lambda} = R_c Z^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad \text{или} \quad v = R' \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где  $v$  – частота спектральных линий в спектре атома водорода;  $R = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  – постоянная Ридберга;  $R' = R \cdot c = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  – также постоянная Ридберга;  $c$  – скорость света в вакууме;  $Z$  – заряд ядра;  $\frac{1}{\lambda}$  – волновое число;  $\lambda$  – длина волны излучения;  $n$  – определяет серию ( $n = 1, 2, 3, \dots$ );  $k$  – определяет отдельные линии соответствующей серии ( $k = n+1, n+2, \dots$ );  $n = 1$  – 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,  $k > n$ ;  $\lambda$  – 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;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ;  $\nu$  – 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

$$r_n = \frac{\hbar^2 4\pi\epsilon_0}{m_e e^2} n^2 = r_1 n^2 \quad (n = 1, 2, 3 \dots),$$

где  $\hbar$  – постоянная Планка;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $m_e$  – масса электрона;  $e$  – элементарный заряд;  $r_1$  – первый боровский радиус.

Первый боровский радиус

$$r_1 = a = \frac{\hbar^2 4\pi\epsilon_0}{m_e e^2} = 52,8 \text{ пм.}$$

Энергия электрона на  $n$ -ной стационарной орбите для водородоподобного атома

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Z m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ} \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $Z$  – заряд ядра;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $m_e$  – масса электрона;  $e$  – заряд электрона; 13,6 эВ – энергия электрона на первой боровской орбите.

## Тестовые задачи по атому водорода в теории Бора

### Задача 7.1

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

$$2) - \frac{m_e Z^2 e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

в) формула Резерфорда

$$3) \frac{\hbar^2}{m_e Ze^2} n^2$$

г) радиус стационарной

боровской орбиты

$$4) \frac{m_e Z^2 e^4}{2\hbar^3} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

### Задача 7.2

Квантовым числам поставьте в соответствие значения, которые они принимают

Квантовое число

Значение

а) главное квантовое число,  $n$

$$1) 0, 1, 2, \dots, n-1$$

б) орбитальное квантовое число,  $l$

$$2) l + s, \dots, |l - s|$$

в) магнитное квантовое число,  $m_j$

$$3) -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$$

г) спиновое квантовое число,  $m_s$

$$4) 1, 2, 3, \dots$$

д) квантовое число полного момента атома,  $m_j$

$$5) -l, \dots, 0, \dots, l$$

### Задача 7.3

Максимальное число электронов в состоянии с  $n = 4$  равно

- а) 8;      б) 18;      в) 32;      г) 50.

### Задача 7.4

Значение, которое может принимать проекция момента импульса электрона на выбранное направление при заданном значении  $I$ , определяется выражением

- а)  $I\hbar$       б)  $-I\hbar$       в)  $(2I + 1)\hbar$

### Задача 7.5

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) $\hbar m_l$
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) $\hbar m$ .

### Задача 7.6

Спектральной серии водородоподобного атома поставьте в соответствие формулу

а) Бальмера	$R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 2.3.4\dots)$
б) Брэкета	$R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 2.3.4\dots)$
в) Лаймана	$R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 2.3.4\dots)$
г) Пфунда	$R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 2.3.4\dots)$

д) Пашина  $R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) (n = 2.3.4...)$

### Задача 7.7

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)  $r_3 = 476,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}; v_3 = 0,731 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 2,42 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$

$E_k = 1,5 \text{ эВ}; E_p = -3,0 \text{ эВ}; E = -1,5 \text{ эВ}$

б)  $r_3 = 376,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}; v_3 = 0,531 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 2,12 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$

$E_k = 1,3 \text{ эВ}; E_p = -3,0 \text{ эВ}; E = -1,7 \text{ эВ}$

в)  $r_3 = 861,2 \cdot 10^{-12} \text{ м}; v_3 = 1,12 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 4,42 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$

$E_k = 2 \text{ эВ}; E_p = -4 \text{ эВ}; E = -2 \text{ эВ}$

г)  $r_3 = 781,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}; v_3 = 0,931 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 3,42 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$

$E_k = 1 \text{ эВ}; E_p = -2 \text{ эВ}; E = -1 \text{ эВ}$

### Задача 7.8

Определить частоту света, излучаемого возбужденным атомом водорода при переходе электрона на второй энергетический уровень, если радиус орбиты электрона изменится в 9 раз.

а)  $\nu = 7,31 \cdot 10^7 \text{ Гц}$       б)  $\nu = 4,31 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$

в)  $\nu = 9,31 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$       г)  $\nu = 7,31 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$

### Задача 7.9

Атом водорода испустил фотон с длиной волны  $4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . На сколько изменилась энергия электрона в атоме?

а)  $\Delta E = 1,28 \text{ эВ}$     б)  $\Delta E = 2,56 \text{ эВ}$     в)  $\Delta E = 5,12 \text{ эВ}$     г)  $\Delta E = 10,24 \text{ эВ}$

### Задача 7.10

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

- а)  $\lambda = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  б)  $\lambda = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$   
в)  $\lambda = 2,05 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  г)  $\lambda = 4,1 \cdot 10^7 \text{ м}$

### Задача 7.11

Найти длину волны  $\lambda$  фотона, соответствующую переходу электрона со второй орбиты на первую для двукратного ионизированного атома лития.

- а)  $\lambda = 13,5 \text{ нм}$  б)  $\lambda = 27 \text{ нм}$  в)  $\lambda = 16 \text{ нм}$  г)  $\lambda = 4,5 \text{ нм}$

### Задача 7.12

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  $\nu = 5,63 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ .

- а)  $U = 1,15 \text{ В}$  б)  $U = 2,3 \text{ В}$  в)  $U = 4,6 \text{ В}$  г)  $U = 2 \text{ В}$

### Задача 7.13

Определить первый боровский радиус орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона по этой орбите.

- а)  $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \nu = 2,2 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  б)  $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ м}; \nu = 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
в)  $r_1 = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}; \nu = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  г)  $r_1 = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}; \nu = 1 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

### Задача 7.14

Определить наибольшие и наименьшие длины волн фотонов, излучаемых при переходе электронов в сериях Лаймана, Бальмера и Пашена.

- а)  $\lambda_{1\text{max}} = 0,128 \text{ мкм}; \lambda_{1\text{min}} = 0,091 \text{ мкм};$

$$\lambda_{2\max} = 0,656 \text{ мкм}; \lambda_{2\min} = 0,365 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{3\max} = 1,88 \text{ мкм}; \lambda_{3\min} = 0,82 \text{ мкм}$$

б)  $\lambda_{1\max} = 0,5 \text{ мкм}; \lambda_{1\min} = 0,1 \text{ мкм};$

$$\lambda_{2\max} = 0,5 \text{ мкм}; \lambda_{2\min} = 0,2 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{3\max} = 3 \text{ мкм}; \lambda_{3\min} = 1,5 \text{ мкм}$$

в)  $\lambda_{1\max} = 128 \text{ мкм}; \lambda_{1\min} = 91 \text{ мкм};$

$$\lambda_{2\max} = 656 \text{ мкм}; \lambda_{2\min} = 365 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{3\max} = 188 \text{ мкм}; \lambda_{3\min} = 82 \text{ мкм}$$

г)  $\lambda_{1\max} = 1,28 \text{ мкм}; \lambda_{1\min} = 0,91 \text{ мкм};$

$$\lambda_{2\max} = 6,56 \text{ мкм}; \lambda_{2\min} = 3,65 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{3\max} = 18,8 \text{ мкм}; \lambda_{3\min} = 8,2 \text{ мкм}$$

### Задача 7.15

Сколько линий спектра атома водорода попадает в видимую область ( $\lambda = 0,4 \dots 0,76 \text{ мкм}$ )? Вычислить длины волн этих линий. Каким цветам они соответствуют?

а)  $\lambda_1 = 5,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - зеленая линия;  $\lambda_2 = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - красная линия;  $\lambda_3 = 5,73 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - желтая линия;  $\lambda_4 = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - фиолетовая линия.

б)  $\lambda_1 = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - красная линия;  $\lambda_2 = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - голубая линия;  $\lambda_3 = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - фиолетовая линия;  $\lambda_4 = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - фиолетовая линия.

в)  $\lambda_1 = 6,12 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - оранжевая линия;  $\lambda_2 = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - фиолетовая линия;  $\lambda_3 = 4,45 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - синяя линия;  $\lambda_4 = 5,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - зеленая линия.

г)  $\lambda_1 = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - фиолетовая линия;  $\lambda_2 = 5,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - зеленая линия;  $\lambda_3 = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - красная линия;  $\lambda_4 = 4,45 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - синяя линия.

### Задача 7.16

На дифракционную решетку с периодом  $d = 5 \text{ мкм}$  нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. В спектре дифракционный максимум пятого порядка, наблюдаемый под углом  $\varphi = 7^\circ$ , 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)  $k = 4$

### Задача 7.17

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)  $\lambda_{\max} = 121 \text{ нм}; v_{\min} = 1,9 \cdot 10^{12} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

б)  $\lambda_{\max} = 121 \text{ нм}; v_{\min} = 1,9 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

в)  $\lambda_{\max} = 242 \text{ нм}; v_{\min} = 3,8 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

г)  $\lambda_{\max} = 51 \text{ нм}; v_{\min} = 1 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

### Задача 7.18

Определить потенциал ионизации  $\phi_i$  и первый потенциал возбуждения  $\phi_1$  атома водорода.

а)  $\phi_i = 27,2 \text{ В}; \phi_1 = 10,2 \text{ В}$  б)  $\phi_i = 13,6 \text{ В}; \phi_1 = 20,4 \text{ В}$

в)  $\phi_i = 13,6 \text{ В}; \phi_1 = 10,2 \text{ В}$  г)  $\phi_i = 10,2 \text{ В}; \phi_1 = 13,6 \text{ В}$

### Задача 7.19

Максимально возможная проекция момента импульса орбитального движения электрона, находящегося в атоме в ( $l$ -состоянии, на направление внешнего магнитного поля равна

а)  $\hbar$ ;

б)  $\hbar\sqrt{6}$ ;

в)  $2\hbar$ .

### Задача 7.20

Чему равен момент импульса орбитального движения электрона, находящегося в атоме в основном состоянии?



ж) проекция полного магнитного момента на выбранное направление

$$7) -2\mu_B g \sqrt{J(J+1)}$$

з) фактор Ланде

$$8) \frac{e\hbar}{2m_e c}$$

### Задача 7.23

Энергия взаимодействия магнитного момента атома с внешним магнитным полем определяется выражением

а)  $-\mu_B g m_J$       б)  $-\mu_B g B m_J$       в)  $-\mu_{JB} B$       г)  $-\mu B$

### Задача 7.24

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.

### Задача 7.25

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.

## 8. Элементы квантовой механики. Основные понятия и формулы.

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

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

Для *нерелятивистской* частицы ( $v \ll c$ )

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}},$$

где  $m$  – масса частицы;  $v$  – ее скорость;  $E_k$  – кинетическая энергия частицы.

Для *релятивистской* частицы ( $v \approx c$ )

$$p = m_0 v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$
$$\lambda = \frac{h}{m_0 v \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k (E_k + 2m_0 c^2)}},$$

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

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

для *нерелятивистской* частицы ( $v \ll c$ )

$$p = \sqrt{2m_0 E_k};$$

для *релятивистской* частицы ( $v \approx c$ )

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

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

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

Полная энергия релятивистской частицы

$$E = E_k + E_0,$$

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

В случае, когда  $E \ll E_0$ ,

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

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

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar,$$

где  $\Delta x$  – неопределенность координаты  $x$  частицы,  $\Delta p_x$  – неопределенность проекции импульса частицы на ось  $x$ .

Соотношение неопределенностей Гейзенберга для энергии  $\Delta E$  и времени жизни состояния  $\Delta t$ :

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где  $\Delta E$  – неопределенность энергии;  $\Delta t$  – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Энергия свободно движущейся частицы массой  $m$

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

где  $p_x = \hbar k$  – импульс частицы;  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число;  $\lambda$  – длина волны де Бройля.

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

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

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

Плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства

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

где  $\Psi$  – 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 ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

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

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

Вероятность обнаружения частицы в объеме  $V$

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

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  $\Psi$  – волновая функция, описывающая состояние частицы;  $m$  – масса частицы;  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $U$  – потенциальная энергия частицы в данной точке поля;  $E$  – энергия частицы.

## Тестовые задачи по квантовой механике

### Задача 8.1

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

- а)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{-12} \text{ м}$       б)  $\lambda = 1 \cdot 10^{-15} \text{ м}$   
в)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{-17} \text{ м}$       г)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{-15} \text{ м}$

### Задача 8.2

Вычислить длину волны де Бройля электрона, движущегося со скоростью  $v = 0,75c$  ( $c$  – скорость света в вакууме).

- а)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{-12} \text{ м}$       б)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{-10} \text{ м}$   
в)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{-15} \text{ м}$       г)  $\lambda = 1,77 \cdot 10^{12} \text{ м}$

### Задача 8.3

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

- а)  $E_k = 389 \text{ эВ}$     б)  $E_k = 389 \text{ МэВ}$     в)  $E_k = 900 \text{ МэВ}$     г)  $E_k = 38,9 \text{ МэВ}$

### Задача 8.4

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

- а)  $\lambda_1 = 1,72 \cdot 10^{10} \text{ м}$ ;  $\lambda_2 = 1,4 \cdot 10^{12} \text{ м}$   
б)  $\lambda_1 = 1,4 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ;  $\lambda_2 = 1,72 \cdot 10^{-12} \text{ м}$   
в)  $\lambda_1 = 3,44 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ;  $\lambda_2 = 2,8 \cdot 10^{-12} \text{ м}$   
г)  $\lambda_1 = 1,72 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ;  $\lambda_2 = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}$

### Задача 8.5

Найти длину волны де Бройля  $\lambda$ : 1) для электрона, находящегося в атоме водорода на третьей боровской орбите; 2) нейтрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при  $T = 290 \text{ К}$ ; 3) про-

тона, движущегося в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 15$  мТл по окружности радиусом  $R = 1,4$  м.

- а) 1)  $\lambda = 10$  нм; 2)  $\lambda = 14,8$  нм; 3)  $\lambda = 1,97$  нм
- б) 1)  $\lambda = 1$  нм; 2)  $\lambda = 148$  нм; 3)  $\lambda = 0,197$  нм
- в) 1)  $\lambda = 0,1$  нм; 2)  $\lambda = 14,8$  нм; 3)  $\lambda = 0,0197$  нм
- г) 1)  $\lambda = 1,5$  нм; 2)  $\lambda = 15$  нм; 3)  $\lambda = 2$  нм

### Задача 8.6

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

### Задача 8.7

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.

### Задача 8.8

Электрон в атоме водорода находится  $p$ -состоянии. Максимально возможное значение полного момента импульса электрона равно

- а)  $\frac{\hbar}{2} \sqrt{15}$ ;
- б)  $\frac{\hbar}{2} \sqrt{3}$ ;
- в)  $\frac{\hbar}{2}$ .

### Задача 8.9

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)  $\Delta\lambda_{\min} = 5,2 \cdot 10^{-14} \text{ м}$       б)  $\Delta\lambda_{\min} = 5,2 \cdot 10^{14} \text{ м}$   
 в)  $\Delta\lambda_{\min} = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$       г)  $\Delta\lambda_{\min} = 5,2 \cdot 10^7 \text{ м}$

### Задача 8.10

Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию электрона в атоме водорода.

- а)  $E_{\min} = -27,2 \text{ эВ}$       б)  $E_{\min} = -13,6 \text{ эВ}$   
 в)  $E_{\min} = 13,6 \text{ эВ}$       г)  $E_{\min} = 27,2 \text{ эВ}$

### Задача 8.11

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

- а)  $r = 0,62 \cdot 10^{-10} \text{ м}$       б)  $r = 0,62 \cdot 10^5 \text{ м}$   
 в)  $r = 0,62 \cdot 10^{-5} \text{ м}$       г)  $r = 0,62 \cdot 10^{10} \text{ м}$

### Задача 8.12

Терм атома  ${}^2P_{\frac{3}{2}}$ . Чему равен максимальный момент атома?

- а)  $\hbar\sqrt{\frac{3}{2}}$ ;      б)  $\hbar\sqrt{\frac{3}{2}}$ ;      в)  $\hbar\sqrt{15}$ .

### Задача 8.13

Атом натрия, имеющий в своем составе одиннадцать электронов, может находиться в различных электронных состояниях:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s$  (I);  $1s^2 2s^2 2p^6 3p$  (II);  $1s^2 2s^2 2p^4 s$  (III);  $1s^2 2s^2 2p^6 4p$  (IV);  $1s^2 2s^2 2p^6 3d$  (V);  $1s^2 2s^2 2p^6 5s$  (VI). Установите правильную последовательность состояний в порядке возрастания энергии.

- а) I < II < III < IV < V < VI; б) I < II < III < V < IV < VI; в) I < II < III < V < VI < IV;  
 г) I < II < III < IV < VI < V; д) I < II < III < VI < IV < V; е) I < II < III < VI < V < IV.

### Задача 8.14

Атомы лития, бериллия, бора и углерода находятся соответственно в состояниях  $1s^2 2s$ ,  $1s^2 2s 2p$ ,  $1s^2 2s 2p^2$ ,  $1s^2 2s^2 2p^2$ . Какие из перечисленных атомов находятся в возбужденном состоянии?

- а) Li;      б) Be;      в) B;      г) C;      д) Li, C;      е) Be, B.

### Задача 8.15

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  $(n + l)$ , причем в группе уровней с данным значением  $(n + l)$  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.

### Задача 8.16

Мультиплетностью называется величина

- а)  $2L + 1$ ;      б)  $2J + 1$ ;      в)  $2S + 1$

### Задача 8.17

Символ терма атома в состоянии с электронной конфигурацией  $1s^2 2p 3d$  запишется в виде

- а)  $^1 P_1$ ;      б)  $^3 P_2$ ;      в)  $^1 D_1$ ;      д)  $^3 D_2$ ;      е)  $^3 F_4$ .

### Задача 8.18

Символ термина атома в состоянии с электронной конфигурацией  $1s^2 2p 3d$  запишется в виде

- а)  $^1 P_1$ ;      б)  $^3 P_2$ ;      в)  $^1 D_1$ ;      д)  $^3 D_2$ ;      е)  $^3 F_4$ .

### Задача 8.19

Какой из термов:  $^1 S_0$ ,  $^3 P_0$ ,  $^3 P_1$ ,  $^3 P_2$ ,  $^1 D_2$  соответствует основному состоянию для конфигурации  $np^2$ ?

- а)  $^1 S_0$ ;      б)  $^3 P_0$ ;      в)  $^3 P_1$       г)  $^3 P_2$       д)  $^1 D_2$ .

### Задача 8.20

Основному состоянию атома бора В соответствует терм

- а)  $^2 S_{1/2}$ ;      б)  $^2 P_{1/2}$ ;      в)  $^2 P_{3/2}$ ;      г)  $^2 D_{5/2}$       д)  $^2 D_{7/2}$

### Задача 8.21

Какой терм является основным для конфигурации  $np^3$ ?

- а)  $^2 S_{1/2}$ ;      б)  $^4 S_{3/2}$ ;      в)  $^2 P_{3/2}$ ;      г)  $^2 D_{5/2}$ .

### Задача 8.22

Сколько эквивалентных электронов находится в незаполненной оболочке атома, основной терм которого  $^3 F_2$ ?

- а) 1      б) 2      в) 4      д) 5

### Задача 8.21

Кратность вырождения энергетического уровня с квантовым числом  $n$  равна

- а)  $2n^2$ ;      б)  $n^2$ ;      в)  $n$ .

### Задача 8.22

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)  $\Delta\lambda = 6,4 \cdot 10^{16}$  м      б)  $\Delta\lambda = 6,4 \cdot 10^8$  м  
в)  $\Delta\lambda = 6,4 \cdot 10^{-8}$  м      г)  $\Delta\lambda = 6,4 \cdot 10^{-16}$  м

### Задача 8.23

Среднее время жизни  $\pi^0$ - мезона равно  $1,9 \cdot 10^{-16}$  с. Какова должна быть энергетическая разрешающая способность прибора, с помощью которого можно зарегистрировать  $\pi^0$ - мезон?

- а)  $\Delta E' = 5,6 \cdot 10^{-19}$  Дж      б)  $\Delta E' = 6,5 \cdot 10^{-19}$  Дж  
в)  $\Delta E' = 3,2 \cdot 10^{-19}$  Дж      г)  $\Delta E' = 5,6 \cdot 10^{19}$  Дж

### Задача 8.24

Средняя кинетическая энергия электрона в невозбужденном атоме водорода  $E_k = 13,6$  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

### Задача 8.25

Определить (в электрон-вольтах) неопределенность кинетической энергии электрона, который находится внутри атома диаметром  $d = 1$  нм.

- а)  $\Delta E_k = 1,51$  эВ    б)  $\Delta E_k = 2,51$  эВ    в)  $\Delta E_k = 3,51$  эВ    г)  $\Delta E_k = 4,51$  эВ

### Задача 8.26

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

### Задача 8.27

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)  $\Delta E = 1 \text{ эВ}$     б)  $\Delta E = 2 \text{ эВ}$     в)  $\Delta E = 3 \text{ эВ}$     г)  $\Delta E = 4 \text{ эВ}$

### Задача 8.28

Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $l$  на втором энергетическом уровне. В каких точках ямы плотность вероятности обнаружения частицы совпадает с классической плотностью вероятности?

а)  $x = \left( \frac{3l}{8}, \frac{7l}{8}, \frac{9l}{8}, \frac{12l}{8} \right)$     б)  $x = \left( \frac{l}{2}, \frac{3l}{2}, \frac{5l}{2}, \frac{7l}{2} \right)$   
в)  $x = \left( \frac{8}{l}, \frac{8}{3l}, \frac{8}{5l}, \frac{8}{7l} \right)$     г)  $x = \left( \frac{l}{8}, \frac{3l}{8}, \frac{5l}{8}, \frac{7l}{8} \right)$

### Задача 8.29

Определить ширину одномерной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками, если при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй излучается энергия 1 эВ.

а)  $l = 1,37 \cdot 10^9 \text{ м}$     б)  $l = 1,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}$   
в)  $l = 1,37 \cdot 10^6 \text{ м}$     г)  $l = 1,37 \cdot 10^{-9} \text{ м}$

### Задача 8.30

Частица в потенциальной яме шириной  $l$  находится в возбужденном состоянии. Определить вероятность нахождения частицы в интервале  $0 < x < \frac{l}{4}$  на втором энергетическом уровне.

а)  $\omega = \frac{1}{2}$     б)  $\omega = \frac{1}{4}$     в)  $\omega = \frac{1}{6}$     г)  $\omega = \frac{1}{8}$

### Задача 8.31

Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной  $l$  с бесконечно высокими стенками. Пользуясь уравнением Шредингера, найти собственные значения энергии  $E_n$  частицы

$$\begin{array}{ll} \text{а) } E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} (n = 1, 2, 3, \dots) & \text{б) } E_n = n^2 \frac{2ml^2}{\pi^2 \hbar^2} (n = 1, 2, 3, \dots) \\ \text{в) } E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} (n = 1, 2, 3, \dots) & \text{г) } E_n = n^2 \frac{2\pi^2 m \hbar^2}{l^2} (n = 1, 2, 3, \dots) \end{array}$$

### Задача 8.32

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.

$$\begin{array}{ll} \text{а) } \psi_n(x) = \sqrt{\frac{l}{2}} \sin \frac{n\pi}{l} x (n = 1, 2, 3, \dots) & \text{б) } \psi_n(x) = \sin \frac{n\pi}{l} x (n = 1, 2, 3, \dots) \\ \text{в) } \psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin x (n = 1, 2, 3, \dots) & \text{г) } \psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x (n = 1, 2, 3, \dots) \end{array}$$

### Задача 8.33

Электрон находится в одномерной потенциальной яме шириной  $l$  с бесконечно высокими стенками. Определить среднее значение координаты  $\langle x \rangle$  электрона.

$$\begin{array}{llll} \text{а) } \langle x \rangle = \frac{l}{2} & \text{б) } \langle x \rangle = \frac{l}{4} & \text{в) } \langle x \rangle = \frac{3l}{4} & \text{г) } \langle x \rangle = l \end{array}$$

### Задача 8.34

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  $T = 300\text{K}$ .

$$\begin{array}{llll} \text{а) } l = 2,05\text{нм} & \text{б) } l = 4,1\text{нм} & \text{в) } l = 8,2\text{нм} & \text{г) } l = 16,4\text{нм} \end{array}$$

## 9. Элементы физики атомного ядра. Основные понятия и формулы.

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

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

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 ( ${}^1_1H$ );  $m_a$  – 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

$$\Delta E_{св} = \Delta mc^2, \text{ Дж}$$

или

$$\Delta E_{св} = 931,5 \Delta m, \text{ МэВ},$$

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

Энергия, выделяемая или поглощаемая в ядерной реакции,

$$\Delta E = c^2 (\sum m_i - \sum m_k), \text{ Дж};$$

$$\Delta E = 931 (\sum m_i - \sum m_k), \text{ МэВ},$$

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;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  – 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;  $\lambda$  – постоянная распада.

Число атомов, распавшихся за время  $t$ ,

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

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)

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

или

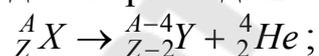
$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Считая  $A_0 = \lambda N_0$  – активность радиоактивного вещества в начальный период времени  $t = 0$ ,

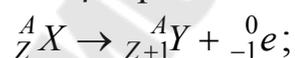
$$A = A_0 e^{-\lambda t}.$$

Правила смещения:

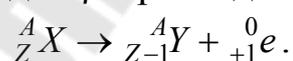
для  $\alpha$ -распада:



для  $\beta^-$ -распада:



для  $\beta^+$ -распада:



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  $x$ ;  $\mu$  – линейный коэффициент поглощения.

## Тестовые задачи по физике атомного ядра

### Задача 9.1

Какие из фундаментальных взаимодействий ответственны за связь нуклонов в ядре?

- а) электромагнитные взаимодействия;
- б) сильные взаимодействия;
- в) гравитационные взаимодействия;
- г) слабые взаимодействия.

### Задача 9.2

В каких единицах принято выражать энергию частиц в ядерной физике?

- а) МэВ;      б) а.е.м.;      в) МДж;      г) эрг.

### Задача 9.3

Ядра атомов имеют размер порядка:

- а)  $10^{-6}$  см;    б)  $10^{-8}$  см;    в)  $10^{-10}$  см;    г)  $10^{-13}$  см;    д)  $10^{-15}$  см.

### Задача 9.4

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

### Задача 9.5

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

### Задача 9.6

Дефектом массы ядра называется величина:

- а)  $Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}$ ;
- б)  $c^2 [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]$ ;
- в)  $Zm_p + (A - Z)m_n - m_a$ ;
- г)  $\frac{c^2 [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]}{A}$ .

### Задача 9.7

Частица с массой 939,57 МэВ является:

- а) электроном;
- б) протоном;
- в) нейтроном;
- г) мезоном.

### Задача 9.8

Приведите в соответствие определению его математическое выражение.

Определение	Математическое выражение
а) массовое число	1) $Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}$ ;
б) энергия связи нуклонов в ядре	2) $c^2 (\sum m_{\text{исх}} - \sum m_{\text{прод}})$ ;
в) дефект массы	3) $\frac{c^2 [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}]}{A}$ ;
г) удельная энергия связи	4) $\sum m_p - \sum m_n$ ;
д) энергия ядерной реакции	5) $c^2 (\sum m_N - \sum m_{\text{я}})$ .

### Задача 9.9

Средняя удельная энергия связи нуклонов для ядер с массовыми числами  $\approx 80 - 120$  а.е.м. приблизительно равна:

- а) 7 МэВ;
- б) 7,5 МэВ;
- в) 8 МэВ;
- г) 8,7 МэВ.

### Задача 9.10

Наиболее устойчивыми оказываются ядра, у которых число протонов, либо нейтронов (либо оба эти числа) равны:

- а) 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126;      б) 2, 8, 18, 32, 46, 78, 110;  
в) 2, 18, 36, 54, 72, 90, 108;      г) 2, 8, 18, 32, 64, 96, 128.

### Задача 9.11

Установите правильную последовательность в изменении энергии связи ядер следующих элементов: Be, Mg, Cr, Zn, Mo, W.

- а)  $Be < Mg < Cr < Zn < Mo < W$ ;      б)  $Be < Mg < Cr < Zn > Mo > W$ ;  
в)  $Be < Mg < Cr \approx Zn \approx Mo < W$ ;      г)  $Be < Mg < Cr \approx Zn < Mo < W$ .

### Задача 9.12

Установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Определение

Математическое выражение

а) период полураспада

1)  $\frac{1}{\lambda}$ ;

б) среднее время жизни радиоактивного ядра

2)  $N_0 [1 - \exp(-\lambda t)]$ ;

в) число атомов, распавшихся за время  $t$

3)  $\frac{\lambda N}{m}$ ;

г) удельная активность радиоактивного препарата

4)  $\frac{0.693}{\lambda}$ .

### Задача 9.13

Конечным продуктом распада  ${}_{92}\text{U}^{238}$  является:

- а)  ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ ;      б)  ${}_{58}\text{Ce}^{140}$ ;      в)  ${}_{48}\text{Cd}^{112}$ ;      г)  ${}_{40}\text{Zr}^{94}$ .

### Задача 9.14

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)  $\Delta N = N \sigma n \delta$ .

### Задача 9.15

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)  $\Delta N = N \sigma n \delta$ .

### Задача 9.16

Число атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе, определяется выражением

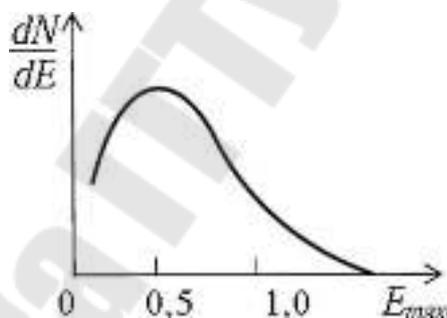
а)  $\Delta N \approx \lambda N \Delta t$ ;

б)  $N = N_0 \exp(-\lambda t)$ ;

в)  $N = \frac{m}{M} N_A$ .

### Задача 9.17

Какому радиоактивному распаду соответствует график, изображенный на рисунке?



а) альфа-распаду;

б) бета-распаду;

в) гамма-распаду

### Задача 9.18

Сколько электронов содержится в ядре хлора  ${}_{17}\text{Cl}^{35}$ ?

а) 35;

б) 18;

в) 17;

г) 0.

### Задача 9.19

При бомбардировке  $\alpha$ -частицами ядер алюминия  ${}_{13}\text{Al}^{27}$  образуется новое ядро неизвестного элемента  $X$  и  ${}_0^1\text{n}$ . Этим элементом является

- а)  $_{10}\text{B}^{20}$ ;      б)  $_{11}\text{Na}^{23}$ ;      в)  $_{15}\text{P}^{30}$ ;      г)  $_{14}\text{Si}^{32}$ .

### Задача 9.20

Ядро радия  $_{88}\text{Ra}^{226}$  претерпевает  $\alpha$ -распад. Какое ядро образуется в результате радиоактивного распада?

- а)  $_{84}\text{Po}^{209}$  ; б)  $_{86}\text{Rn}^{222}$  ;      в)  $_{90}\text{Th}^{232}$  ;      г)  $_{92}\text{U}^{235}$ .

### Задача 9.21

Сколько протонов содержится в ядре бария  $_{56}\text{Ba}^{137}$ ?

- а) 56;      б) 81;      в) 137;      г) 193

### Задача 9.22

Укажите, какая частица образуется в результате реакции  $_{2}\text{He}^4 + _{3}\text{Li}^7 = _{5}\text{B}^{10} + X$ .

- а) электрон;      б) нейтрон;      в) протон;      г) дейтон.

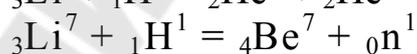
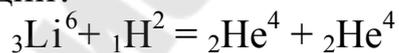
### Задача 9.23

В какой из приведенных ниже ядерных реакций допущена ошибка?

- а)  $_{2}\text{He}^3 + _{2}\text{He}^3 = _{2}\text{He}^4 + _{1}\text{p}^1 + _{1}\text{p}^1$   
 б)  $_{13}\text{Al}^{27} + _{2}\text{He}^4 = _{14}\text{Si}^{30} + _{1}\text{H}^1$   
 в)  $n \rightarrow p + e + \nu_e$   
 г)  $_{1}\text{p}^1 = _{0}\text{n}^1 + _{+1}\text{e}^0 + \nu_\mu$   
 д)  $_{7}\text{N}^{13} = _{6}\text{Ar}^{13} + _{+1}\text{e}^0 + \nu$

### Задача 9.24

Освобождается или поглощается энергия в каждой из указанных реакций?



- а) освобождается, освобождается;  
 б) освобождается, поглощается;  
 в) поглощается, освобождается;  
 г) поглощается, поглощается;

### Задача 9.25

Какие из приведенных ниже элементарных частиц являются стабильными?

а) фотоны; б) нейтроны; в) электроны; г) мезоны.

### Задача 9.26

Установите правильную последовательность в изменении масс частиц: протона нейтрона ( $m_p$ ), электрона ( $m_n$ ), мюона ( $m_e$ )  $\pi$ -мезона ( $m_\pi$ ),  $\Lambda$ -гиперона ( $m_\Lambda$ )

а)  $m_e > m_n < m_p > m_\mu < m_\pi > m_\Lambda$ ;

б)  $m_p > m_n > m_\Lambda > m_\pi > m_e > m_\mu$ ;

в)  $m_e < m_\mu < m_\pi < m_p < m_n < m_\Lambda$ ;

г)  $m_n > m_p > m_\Lambda > m_\mu > m_\pi > m_e$ ;

д)  $m_p < m_n > m_\Lambda < m_\pi < m_\mu > m_e$ ;

е)  $m_\Lambda > m_n > m_p > m_\pi > m_e > m_\mu$ .

### Задача 9.27

Какие из перечисленных ниже частиц в настоящее время считаются истинно элементарными

а) кварки; б) фотоны; в) электроны; г) нейтроны; д) протоны.

### Задача 9.28

Переносчиками взаимодействия между кварками являются а) фотоны; б) W- и Z-бозоны; в) глюоны; г) мезоны

### Задача 9.29

Элементарным частицам поставьте в соответствие спин

Частица	Спин
а) $\eta$ -мезон	1) $\frac{1}{2}$
б) $\phi$ -мезон	2) 1

- в) нейтрон
- г) фотон
- д) нейтрино

3) 0

### Задача 9.30

Перечисленные ниже частицы соотнесите соответствующим группам.

Частица	Группа
1) $\Lambda$ -гиперон	а) лептоны
2) электрон	
3) нейтрон	
4) нейтрино	б) мезоны
5) $\pi$ -мезон	
6) протон	
7) мюон	в) барионы

### Задача 9.31

Согласно современным представлениям адроны состоят из кварков шести типов:  $u, d, s, c, b, t$ . Какой из перечисленных кварков является носителем “странности”.

- а)  $b$ ;      б)  $c$ ;      в)  $d$ ;      г)  $s$ ;      д)  $t$ ;      е)  $u$ .

### Задача 9.32

Согласно современным представлениям адроны состоят из кварков шести типов:  $u, d, s, c, b, t$ . В соответствие с кварковой моделью протон имеет состав

- а)  $cdu$ ;      б)  $uud$ ;      в)  $udd$ ;      г)  $bcd$ ;      д)  $uds$ ;      е)  $sst$ .

### Задача 9.33

Какой из приведенных ниже распадов отвечает закону сохранения лептонного заряда

- а)  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
- б)  $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$
- в)  $n \rightarrow p + e^- + \nu_\mu$

г)  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

### Задача 9.34

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

а)  $\Delta m = 0,26 \text{ а.е.м.}; E_{\text{св}} = 231 \text{ МэВ}; \varepsilon_{\text{св}} = 12 \text{ МэВ}$

б)  $\Delta m = 12 \text{ а.е.м.}; E_{\text{св}} = 5 \text{ МэВ}; \varepsilon_{\text{св}} = 19 \text{ МэВ}$

в)  $\Delta m = 0,13708 \text{ а.е.м.}; E_{\text{св}} = 128 \text{ МэВ}; \varepsilon_{\text{св}} = 8 \text{ МэВ}$

г)  $\Delta m = 0,17 \text{ а.е.м.}; E_{\text{св}} = 139 \text{ МэВ}; \varepsilon_{\text{св}} = 10 \text{ МэВ}$

### Задача 9.35

Вычислить дефект массы и энергию связи ядра бора  $^{11}_5\text{B}$  при распаде на свободные нуклоны.

а)  $\Delta m = 0,8186 \text{ а.е.м.}; \Delta E = 7,625 \text{ МэВ}$

б)  $\Delta m = 0,008186 \text{ а.е.м.}; \Delta E = 762,5 \text{ МэВ}$

в)  $\Delta m = 12 \text{ а.е.м.}; \Delta E = 17 \text{ МэВ}$

г)  $\Delta m = 0,08186 \text{ а.е.м.}; \Delta E = 76,25 \text{ МэВ}$

### Задача 9.36

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

а)  $\Delta E_{\text{св}1} = 1799 \text{ МэВ}; \Delta E_{\text{св}2} = 1786 \text{ МэВ}$

б)  $\Delta E_{\text{св}1} = 178,6 \text{ МэВ}; \Delta E_{\text{св}2} = 179,9 \text{ МэВ}$

в)  $\Delta E_{\text{св}1} = 1786 \text{ МэВ}; \Delta E_{\text{св}2} = 1799 \text{ МэВ}$

г)  $\Delta E_{\text{св}1} = 1587 \text{ МэВ}; \Delta E_{\text{св}2} = 1601 \text{ МэВ}$

### Задача 9.37

Ядро атома бора  $^{10}_5\text{B}$  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)  $\Delta E = 0,217 \text{ МэВ}$       б)  $\Delta E = 2,17 \text{ МэВ}$   
в)  $\Delta E = 21,7 \text{ МэВ}$       г)  $\Delta E = 217 \text{ МэВ}$

### Задача 9.38

При изменении 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)  $\lambda = 1 \text{ ч}^{-1}; T_{1/2} = 41,6 \text{ мин}$       б)  $\lambda = 41,6 \text{ ч}^{-1}; T_{1/2} = 1 \text{ мин}$   
в)  $\lambda = 2 \text{ ч}^{-1}; T_{1/2} = 51,6 \text{ мин}$       г)  $\lambda = 0,5 \text{ ч}^{-1}; T_{1/2} = 21,6 \text{ мин}$

### Задача 9.39

Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если  $\frac{5}{8}$  начального количества ядер этого изотопа распалось за время  $t = 849 \text{ с}$ .

- а)  $T_{1/2} = 2 \text{ мин}$       б)  $T_{1/2} = 5 \text{ мин}$       в)  $T_{1/2} = 10 \text{ мин}$       г)  $T_{1/2} = 15 \text{ мин}$

### Задача 9.40

Ядро полония в покое  ${}_{84}^{200}\text{Po}$  испускает  $\alpha$ -частицу со скоростью 16 м/с. Зная, что масса ядра отдачи  $m_{\text{я}} = 3,62 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$ , определить: 1) кинетическую энергию  $\alpha$ -частицы; 2) кинетическую энергию ядра отдачи; 3) полную энергию, выделяющуюся при вылете  $\alpha$ -частицы.

- а)  $E_{K\alpha} = 8,51 \cdot 10^{17} \text{ Дж}; E_{K\text{Л}} = 1,56 \cdot 10^{18} \text{ Дж}; E = 2,41 \cdot 10^{18} \text{ Дж}$   
б)  $E_{K\alpha} = 8,51 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}; E_{K\text{Л}} = 1,56 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}; E = 2,41 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}$   
в)  $E_{K\alpha} = 8,51 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}; E_{K\text{Л}} = 1,56 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}; E = 2,41 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$   
г)  $E_{K\alpha} = 8,51 \cdot 10^7 \text{ Дж}; E_{K\text{Л}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ Дж}; E = 2,41 \cdot 10^8 \text{ Дж}$

### Задача 9.41

Радиоактивный препарат, имеющий активность  $a = 3,7 \cdot 10^9$  Бк, помещен в калориметр теплоемкостью  $C = 4,19$  Дж/К. Найти повышение температуры в калориметре за 1 час, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает  $\alpha$ -частицы с энергией  $E_\alpha = 5,3$  МэВ.

- а)  $\Delta T = 1,7K$     б)  $\Delta T = 2,7K$     в)  $\Delta T = 3,7K$     г)  $\Delta T = 4,7K$

### Задача 9.42

Мощность, выделяемая при распаде урана  ${}_{92}^{238}U$ , 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

### Задача 9.43

Масса препарата радиоактивного магния  ${}^{27}\text{Mg}$  равна 0,2 мкг. Определить: 1) активность изотопа; 2) удельную активность.

- а)  $a = 4 \cdot 10^{15}$  Бк;  $a_m = 25 \cdot 10^{21} \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$   
б)  $a = 4 \cdot 10^{-15}$  Бк;  $a_m = 25 \cdot 10^{-21} \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$   
в)  $a = 2 \cdot 10^{15}$  Бк;  $a_m = 12,25 \cdot 10^{21} \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$   
г)  $a = 2 \cdot 10^{-15}$  Бк;  $a_m = 12,25 \cdot 10^{-21} \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$

### Задача 9.44

В результате соударения дейтерия с ядром бериллия  ${}^9_4\text{Be}$  образовались новое ядро и нейтрон. Определить порядковый номер и мас-

совое число образовавшегося ядра, записать ядерную реакцию и определить ее энергетический выход.

- а)  $Z = 5; A = 10; \Delta E = 4,84 \text{ МэВ}$     б)  $Z = 10; A = 5; \Delta E = 4,84 \text{ МэВ}$   
в)  $Z = 4,84; A = 5; \Delta E = 10 \text{ МэВ}$     г)  $Z = 25; A = 15; \Delta E = 5 \text{ МэВ}$

### Задача 9.45

В какой элемент превращается  ${}_{92}^{238}\text{U}$  после трех  $\alpha$ -распадов и двух  $\beta$ -распадов?

- а)  $X = {}_{87}^{222}\text{Rn}$     б)  $X = {}_{88}^{226}\text{Ra}$     в)  $X = {}_{84}^{210}\text{Po}$     г)  $X = {}_{82}^{207}\text{Pb}$

### Задача 9.46

Вычислить энергию ядерной реакции  ${}_{1}^2\text{H} + {}_{3}^7\text{Li} \rightarrow 2 \cdot {}_{2}^4\text{He} + {}_{0}^1n$ .

- а)  $E = 30,4 \text{ МэВ}$     б)  $E = 15,2 \text{ МэВ}$   
в)  $E = 7,2 \text{ МэВ}$     г)  $E = 10,2 \text{ МэВ}$

### Задача 9.47

Какое количество энергии освобождается при соединении одного протона и двух нейтронов в одно ядро?

- а)  $E = 2 \text{ МэВ}$     б)  $E = 4 \text{ МэВ}$     в)  $E = 8 \text{ МэВ}$     г)  $E = 16 \text{ МэВ}$

### Задача 9.48

Первоначальная масса радиоактивного изотопа радона  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  (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)  $A_0 = 8,5 \cdot 10^{-15} \text{ Бк}; A = 3,5 \cdot 10^{-15} \text{ Бк}$   
б)  $A_0 = 8,5 \cdot 10^{15} \text{ Бк}; A = 3,5 \cdot 10^{15} \text{ Бк}$   
в)  $A_0 = 3,5 \cdot 10^{15} \text{ Бк}; A = 8,5 \cdot 10^{15} \text{ Бк}$   
г)  $A_0 = 8,5 \cdot 10^{15} \text{ Бк}; A = 8,5 \cdot 10^{15} \text{ Бк}$

### Задача 9.49

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)  $P = 0,063$

### Задача 9.50

Каков КПД атомной электростанции мощностью  $P = 5 \cdot 10^8$  Вт, если за  $t = 1$  год было израсходовано  $m = 965$  кг урана  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ? В каждом акте деления выделяется  $\Delta E = 200$  МэВ энергии.

- а)  $\eta = 10\%$       б)  $\eta = 20\%$       в)  $\eta = 30\%$       г)  $\eta = 40\%$

## 10. Литература

1. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1977 - 1979. – Т.1. – 1977. – 350 с.; Т.2. – 1978. – 480 с.; Т.3. – 1979. – 304 с.
2. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Высшая школа, 1989. – 608 с.
3. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1985. – 630 с.
4. Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1991. – 303 с.
5. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Наука, 1973. – 464 с.
6. Чертов, А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Высшая школа, 1988. – 572 с.
7. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
8. Савельев, И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1983. – 386 с.
9. Воробьев, А.А. Физика: Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-технических специальностей вузов / А.А. Воробьев, В.П. Иванов, В.Г. Кондакова, А.Г. Чертов. – М.: Высшая школа, 1987. – 208 с.
10. Электричество и магнетизм: метод. указания к контрольным работам по курсу «Физика» для студентов технических специальностей заочной формы обучения / В. И. Дробышевский, А. И. Кравченко, П. А. Хило. – Гомель, 2007. – 97 с.

## 11. Приложение

Таблица 1

### Значения некоторых физических постоянных

Постоянные	Значения
Постоянная Ридберга	$R = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Скорость света в вакууме	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Число Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Заряд электрона	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная в законе Вина	$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Радиус первой боровской орбиты	$a_o = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Один Ангстрем	$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$

Таблица 2

### Работа выхода электронов

Металл	A, Дж	A, эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3

Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Таблица 3

**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

Таблица 4

## 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
				${}^9_4 Be$	9,01219
			Бор	${}^{10}_5 B$	10,01294
				${}^{11}_5 B$	11,00930
Водород	${}^1_1 H$	1,00783	Углерод	${}^{12}_6 C$	12,00000
				${}^{13}_6 C$	13,00335
				${}^{14}_6 C$	14,00324
			Азот	${}^{14}_7 N$	14,00307
Гелий	${}^3_2 He$	3,01603	Кислород	${}^{16}_8 O$	15,99949
				${}^4_2 He$	4,00260
Литий	${}^6_3 Li$	6,01513		${}^{17}_8 O$	16,99913
				${}^7_3 Li$	7,01601

Таблица 5

## 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

Таблица 8: Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	$m_0$		$E_0$	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	939

$\alpha$ -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный $\pi$ -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

## Содержание

Предисловие.....	3
1. Геометрическая оптика. Основные понятия и формулы .....	4
2. Тестовые задачи по геометрической оптике .....	8
3. Интерференция света. Основные понятия и формулы	20
4. Тестовые задачи по интерференции света .....	23
5. Дифракция света. Основные понятия и формулы.....	31
6. Тестовые задачи по дифракции света.....	34
7. Поляризация и дисперсия света. Основные понятия и формулы.....	43
8. Тестовые задачи по поляризации и дисперсии света	46
9. Тепловое излучение. Основные понятия и формулы.	54
10. Тестовые задачи по тепловому излучению.....	57
11. Квантово-оптические явления. Основные понятия и формулы.....	64
12. Тестовые задачи по квантово-оптическим явлениям	65
13. Атом водорода в теории Бора. Основные понятия и формулы	77
14. Тестовые задачи по атому водорода в теории Бора	79
15. Элементы квантовой механики. Основные понятия и формулы.....	87
16. Тестовые задачи по элементам квантовой механики	90
17. Элементы физики атомного ядра. Основные понятия и формулы.....	98
18. Тестовые задачи по элементам физики атомного ядра .....	101
19. Литература.....	113
20. Приложение.....	114

**Кравченко Александр Ильич  
Хило Петр Анатольевич  
Пискунов Сергей Васильевич**

**ФИЗИКА. ОПТИКА, АТОМНАЯ  
И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА**

**Практикум  
по курсу «Физика»  
для студентов технических специальностей  
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 25.02.14.

Рег. № 31Е.  
<http://www.gstu.by>