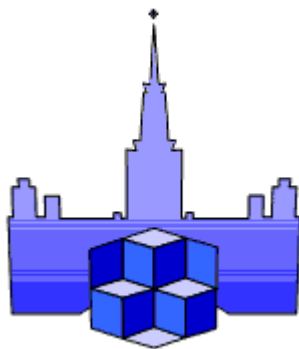


# ФИЗИКА

## СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Часть VII  
**Оптика.**  
**Атомная физика**

Составитель **Т.П. Корнеева**



**Школа имени А.Н. Колмогорова**  
**2013**



# **СБОРНИК ЗАДАЧ по ФИЗИКЕ**

**Часть VII**

## **ОПТИКА АТОМНАЯ ФИЗИКА**

**Составитель Т.П.Корнеева**

**Школа им. А.Н. Колмогорова  
2013 г.**

**Корнеева Т.П.**

**Сборник задач по физике.**

Часть VII. Оптика. Атомная физика

Издание третье, исправленное и дополненное.

Школа им. А.Н. Колмогорова, 2013. – 52 с.

Настоящий сборник составлен на основе задач, известных как «классические», и используемых в течение многих лет при проведении семинарских занятий в физико-математической школе при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (ныне СУНЦ МГУ, школа имени А.Н. Колмогорова). Наряду с ними в сборник входят задачи, предлагавшиеся в разные годы на вступительных экзаменах в ВУЗы, в вариантах ЕГЭ и олимпиадах различного уровня.

Задачи снабжены ответами, за исключением тех, где решение носит качественный характер. Задачи, отмеченные знаком \*, требуют, как правило, более глубокого понимания физической сущности описываемых явлений, привлечения сведений из других разделов физики, а также предполагают владение более сложным математическим аппаратом.

## ОПТИКА

### ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

#### *Прямолинейное распространение света. Законы отражения света. Плоское зеркало.*

**30.1.** Окно имеет форму прямоугольника шириной 1,2 м и высотой 2 м. Какие геометрические фигуры может представлять собой часть пола, освещенная солнечными лучами? При каких условиях освещенная часть пола будет квадратной?

**30.2.** Какова наибольшая и наименьшая длина тени, которую отбрасывает в Москве вертикальный столб длиной 3 м в полдень по местному времени?

Географическая широта Москвы  $56^\circ$ , угол наклона плоскости эклиптики к плоскости экватора  $23^\circ$ .

**30.3.** На горизонтальном плоском зеркале стоит шахматная фигура. Если сбоку фигура освещена солнечными лучами, то на вертикальном экране получается четкая тень. Какова форма тени?

**30.4.** Диаметр источника света 20 см, расстояние от него до экрана равно 2 м. На каком расстоянии от экрана может быть помещен мячик диаметром 8 см, если он не отбрасывает тени на экран, а дает только полутень? Центр мячика и центр источника находятся на прямой, перпендикулярной к экрану.

**30.5.** Свет от источника проходит сквозь отверстие в ширме и образует на стене светлое пятно. При каких условиях форма пятна не зависит от формы отверстия?

При каких условиях форма солнечного зайчика от небольшого зеркала не зависит от формы зеркала?

**30.6.** Человек, стоящий на берегу озера, видит в гладкой воде отражение луны. Как будет перемещаться это отражение при удалении человека от берега?

На сколько должен стоящий человек наклониться, чтобы изображение луны переместилось на 80 см? Высота луны над горизонтом  $30^\circ$

**30.7.** Пассажир автобуса, едущего вдоль прямого канала, наблюдает за световым бликом, который отбрасывается спокойной поверхностью воды от фонаря, стоящего на противоположном берегу канала. Найдите скорость движения блика по поверхности воды относительно берегов канала. Высота фонаря над поверхностью воды  $H = 6$  м, высота глаз пассажира  $h = 4$  м, скорость автобуса  $V = 72$  км/ч.

**30.8.** Какова должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек мог видеть в нем свое изображение во весь рост?

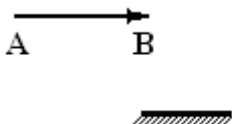
**30.9.** На какой угол повернется луч, отраженный от плоского зеркала, при повороте зеркала на угол  $\alpha$ ?

**30.10.** Между двумя взаимно перпендикулярными зеркалами помещен предмет. Сколько получается изображений?

Найти решение для общего случая, когда угол между зеркалами равен  $\alpha$ , причем  $n = 360^\circ/\alpha$  есть целое число.

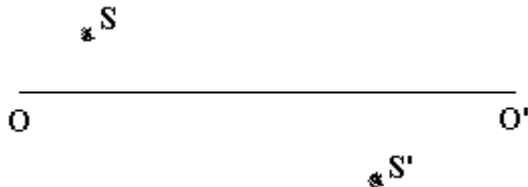
**30.11.** Два плоских зеркала составляют двугранный угол. Точечный источник света находится на биссектрисе угла между зеркалами. Найти расстояние от источника света до вершины угла, если расстояние между первичными изображениями источника в зеркалах равно  $L = 35$  см, а угол между зеркалами равен  $\alpha = 120^\circ$ .

**30.12.** Найти графически, при каких положениях глаза можно увидеть в зеркале конечных размеров изображение отрезка прямой АВ, расположенного относительно зеркала так, как указано на рисунке.



### *Сферическое зеркало.*

**30.13.** На рисунке указаны положения главной оптической оси  $OO'$  сферического зеркала, светящейся точки  $S$  и ее изображения  $S'$ . Найти графическим построением оптический центр и полюс зеркала.



Решить задачу для четырех возможных вариантов взаимного расположения источника света и его изображения относительно оптической оси.

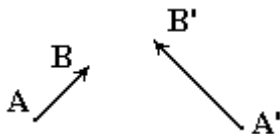
**30.14.** Точечный источник света перемещается равномерно от оптического центра зеркала до его вершины.

1) Как перемещается при этом изображение источника и как изменяется его скорость?

2) Во сколько раз средняя скорость перемещения изображения больше скорости перемещения источника, когда источник находится на участке от  $d_1 = 1,5 F$  до  $d_2 = 1,1 F$ ?

3) Вблизи какой точки находится источник, когда скорость перемещения изображения достигает наибольшего значения?

**30.15.\*** С помощью сферического зеркала получено изображение  $A'B'$  предмета  $AB$ . Построением определить оптический центр, местоположение зеркала и его главную оптическую ось.



**30.16.** Радиус кривизны вогнутого зеркала  $R = 40$  см. Найти такое положение предмета, при котором его изображение будет действительным и увеличенным в два раза. Найти также такое положение, при котором изображение будет мнимым и увеличенным в два раза. Построить изображение предмета в обоих случаях.

**30.17.** Вогнутое сферическое зеркало дает действительное изображение, которое в  $k = 4$  раза больше предмета. Определить фокусное расстояние зеркала, если расстояние между предметом и его изображением  $a = 1,5$  м.

**30.18.** Малый участок внутренней поверхности сферы посеребрен. На диаметрально противоположной стороне сферы получилось изображение некоторого предмета, помещенного внутри нее. С каким увеличением изображается предмет?

**30.19.** На каком расстоянии  $d$  от вогнутого зеркала с радиусом кривизны  $R = 120$  см нужно поместить предмет, чтобы получить прямое изображение, увеличенное в  $k = 4$  раза?

**30.20.** Светящаяся точка расположена на главной оптической оси выпуклого зеркала на расстоянии  $d = 1$  м от зеркала, а ее изображение делит точно пополам отрезок оптической оси между полюсом зеркала и его фокусом. Найти радиус кривизны зеркала.



**30.21.** Пучок параллельных лучей, пройдя через круглое отверстие в листе бумаги, образует на экране, параллельном листу и расположенному от него на расстоянии  $a = 45$  см, светлый круг диаметром  $d = 6$  см. Когда экран заменили выпуклым зеркалом, то на листе бумаги появилось освещенное пятно диаметром  $D = 33$  см. Определить радиус кривизны зеркала  $R$ .

**30.22.** Сходящиеся лучи падают на выпуклое зеркало так, что их продолжения пересекаются в точке, находящейся на расстоянии  $d = 0,4$  м за зеркалом. После отражения от зеркала лучи расходятся таким образом, что их продолжения пересекаются на главной оптической оси зеркала на расстоянии  $f = 1,6$  м от зеркала. Определить фокусное расстояние  $F$  зеркала.

**30.23.** Сходящиеся лучи падают на вогнутое зеркало с фокусным расстоянием  $F = 0,5$  м и после отражения собираются в точке, отстоящей на  $f = 0,2$  м от зеркала и на  $L = 0,15$  м от его главной оптической оси. На каком расстоянии от этой оси соберутся лучи, если убрать зеркало? Построить ход лучей.

***Преломление света на плоской поверхности.  
Полное отражение. Ход лучей в треугольной призме***

**31.1.** На дне стоящей на столе неглубокой чайной чашки лежит монета. Если отойти от стола, то на некотором расстоянии край чашки закрывает монету от наблюдателя. Если же в чашку теперь налить воду, то монета становится видна. Объяснить явление.

**31.2.** Столб вбит в дно реки и возвышается над водой на высоту  $h_1 = 1$  м. Найти длину тени столба на поверхности и на дне реки, если высота солнца над горизонтом  $\alpha = 30^\circ$ , а глубина реки  $h_2 = 2$  м.

**31.3.** Рыбаку, стоящему на прозрачном льду озера, кажется, что дно находится под ним на глубине  $L = 2,5$  м от поверхности льда. Найти действительную глубину озера (от верхней поверхности льда до дна), если толщина льда  $h = 65$  см.

Показатель преломления льда  $n_1 = 1,31$ , воды –  $n_2 = 1,33$ .

**31.4.** На какой глубине под водой находится водолаз, если он видит отраженными от поверхности воды те части горизонтального дна, которые расположены от него на расстоянии  $S = 15$  м и больше? Рост водолаза  $h = 1,7$  м. Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .

**31.5.** На дне сосуда, наполненного водой до высоты  $h$ , находится точечный источник света. На поверхности воды плавает круглый диск так, что центр диска находится над источником света. При каком минимальном радиусе диска ни один луч не выйдет через поверхность воды? Коэффициент преломления воды равен  $n$ .

**31.6.** В стекле с показателем преломления  $n_1 = 1,52$  имеется сферическая полость радиусом  $R = 3$  см, заполненная водой (показатель преломления воды  $n_2 = 1,33$ ). На полость падают параллельные лучи света. Определить радиус светового пучка, который проникает в полость.

**31.7.** Луч, падающий на плоскую границу двух сред, относительный показатель преломления которых  $n$ , частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения отраженный луч перпендикулярен преломленному лучу? (Такой угол падения носит название *угол Брюстера*).

**31.8.** Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом  $\alpha = 60^\circ$ . Какова толщина пластинки, если при выходе из нее луч сместился на 20 мм параллельно самому себе? Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

**31.9.** У плоскопараллельной пластинки толщины  $d = 1,2$  см задняя поверхность посеребрена. Точечный источник света расположен на расстоянии  $s = 1,5$  см от передней поверхности пластинки. На каком расстоянии  $L$  от источника наблюдатель увидит изображение, получающееся в результате отражения лучей от задней поверхности пластинки? Показатель преломления материала пластинки равен  $n = 1,6$ . Луч зрения перпендикулярен к поверхности пластинки.

**31.10.** Прямоугольный стеклянный сосуд наполнен жидкостью и освещается снизу лампочкой, расположенной под сосудом вблизи его дна. Каково минимальное значение показателя преломления жидкости, при котором лампочку нельзя увидеть сквозь боковые стенки сосуда?

**31.11.** Стеклянный куб лежит на листе бумаги, закрывая собой нарисованные на ней звездочки. При этом оказывается, что звездочки невидимы через боковые стороны куба. При введении под основание куба капли воды звездочки становятся видимыми через боковые стенки. Объясните это явление.

**31.12.** Найти угол отклонения луча стеклянной призмой с малым преломляющим углом  $\varphi = 5^\circ$ , если луч падает на грань призмы под малым углом.

Показатель преломления стекла  $n = 1,8$ .

**31.13.** На стеклянный клин перпендикулярно его грани падает тонкий луч света. Показатель преломления стекла равен  $n = 1,41$ , угол при вершине клина  $\alpha = 10^\circ$ . Сколько светлых пятен будет видно на экране, поставленном за клином?

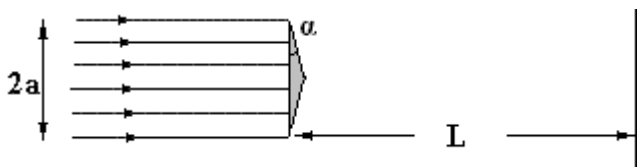
**31.14.** Луч света выходит из призмы под тем же углом, под каким входит в призму, причем отклоняется от первоначального направления на угол  $\vartheta = 15^\circ$ . Найти показатель преломления материала призмы. Преломляющий угол призмы  $\varphi = 45^\circ$

**31.15.** У призмы с преломляющим углом  $\varphi = 30^\circ$  одна грань посеребрена. Луч света падает на прозрачную грань под углом  $\alpha = 45^\circ$  и после отражения выходит из призмы через эту же грань. Найти угол  $\vartheta$  между падающим и выходящим лучами, если показатель преломления  $n = \sqrt{2}$ .

**31.16.** Луч света падает нормально на переднюю грань стеклянной призмы и попадает на другую грань, от которой частично отражается, а частично проходит через нее. При этом угол между отраженным и прошедшим лучами равен  $90^\circ$ . Найти угол между гранями призмы.

Показатель преломления стекла  $n = 1,6$ .

**31.17.** Равнобедренная стеклянная призма с малыми преломляющими углами  $\alpha$  помещена в падающий нормально на ее основание параллельный пучок лучей. Размер основания призмы  $2a = 5$  см, показатель преломления стекла  $n = 1,57$ . Найти величину преломляющего угла, если в середине экрана, расположенного на расстоянии  $L = 100$  см от призмы, образуется темная полоса шириной  $2d = 1$  см.



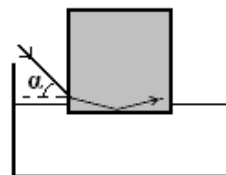
**31.18.\*** Диск радиусом  $R$  изо льда с показателем преломления  $n = 1,3$  разрезали перпендикулярно его плоскости по диаметру. Перпендикулярно плоскости разреза на одну из половин диска направили узкий параллельный пучок света, который вышел параллельно падающему пучку на некотором расстоянии  $L$  от него. Найти расстояние  $L$ , если интенсивности падающего и выходящего пучков почти одинаковы.

**31.19.** Волоконный световод представляет собой сплошной цилиндр (сердцевина) из стекла с показателем преломления  $n_1 = 1,51$ ,



окруженный стеклянной оболочкой с показателем преломления  $n_2 = 1,50$ . Луч света падает на центр входного торца световода под некоторым углом  $\alpha$ . Вычислите максимальное значение угла  $\alpha$ , при котором преломленный луч будет распространяться по световоду за счет полного отражения на границе раздела сердцевина-оболочка.

**31.20.** Нижняя грань куба, изготовленного из стекла с показателем преломления  $n_1 = \sqrt{3}$ , немного погружена в жидкость, показатель преломления которой  $n_2 = 1,5$ . На боковую грань вблизи



основания (в воздухе) под некоторым углом  $\alpha$  падает световой луч. Определите максимальное значение угла  $\alpha$ , при котором преломленный луч испытывает полное отражение на границе раздела стекло - жидкость.

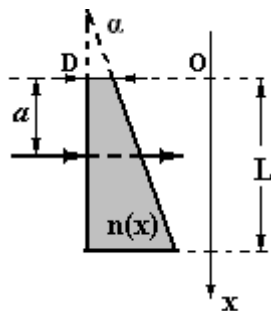
**31.21.\*** На прозрачную усеченную призму, ширина верхнего основания которой  $D = 0,4$  см, падает узкий пучок монохроматического света параллельно плоскости основания.

Угол при вершине призмы  $\alpha = 0,2$  рад.

Высота призмы  $L = 10$  см. Показатель преломления материала призмы меняется

по закону  $n(x) = 1,4(1 - \frac{x}{7L})$ . Найдите, на

каком расстоянии  $a$  от верхнего основания свет падает на призму, если, пройдя сквозь нее, он не изменяет своего направления?



**31.22.** Принимая на Земле радиосигнал со спутника, можно определить его угловое положение. Преломление радиоволн в атмосфере приводит при этом к небольшой ошибке. Так, для спутника, видимого под углом  $45^\circ$ , ошибка составляет  $2'$ .

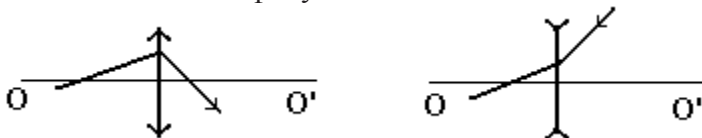
Определите показатель преломления радиоволн в приземном слое атмосферы.

**31.23.\*** В спектре излучения аргонового лазера наиболее интенсивными являются линии с длинами волн  $\lambda_1 = 488$  нм и  $\lambda_2 = 515$  нм. Тонкий световой пучок лазерного излучения падает нормально на грань призмы с показателем преломления  $n$ , но из призмы выходит только излучение с длиной волны  $\lambda_2$ . Найдите преломляющий угол призмы, если зависимость показателя преломления от длины волны имеет вид

$$n = 1 + \frac{a}{\lambda^2}, \text{ где } a = 2,38 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2.$$

### *Преломление света на сферической поверхности. Линзы*

**32.1.** Даны положения главной оптической оси  $OO'$ , оптического центра линзы и ход произвольного луча. Найти построением положения фокусов линзы.



**33.2.** Найти построением положение изображения светящейся точки, находящейся на оптической оси линзы.

Рассмотреть случаи собирающей и рассеивающей линзы.

**32.3.** На рисунке указаны положения главной оптической оси  $OO'$  линзы, светящейся точки  $S$  и ее изображения  $S'$ . Найти графическим построением оптический центр и фокусы линзы.



Решить задачу для четырех возможных вариантов взаимного расположения источника света и его изображения относительно оптической оси.

**32.4.** Найти построением положение изображения предмета, расположенного на расстоянии фокуса от двояковогнутой линзы. Результат проверить расчетом.

**32.5.** Построить график зависимости  $f(d)$  расстояния изображения  $f$  до линзы от расстояния  $d$  предмета от линзы. Рассмотреть также случай, когда предмет мнимый, т.е. на линзу падают сходящиеся пучки лучей.

Рассмотреть случаи собирающей и рассеивающей линзы.

**32.6.** Выразить линейное увеличение собирающей линзы в зависимости от ее фокусного расстояния  $F$  и расстояния  $d$  от предмета до линзы для случаев: а)  $d > F$ ; б)  $d < F$ . Построить график зависимости  $\Gamma(d)$ .

Рассмотреть случай рассеивающей линзы.

**32.7.** Каково фокусное расстояние линзы, если для получения изображения предмета в натуральную величину предмет этот должен быть помещен на расстояние  $d = 20$  см от линзы? Выразить в диоптриях оптическую силу линзы.

**32.8.** На каком расстоянии надо поместить предмет от собирающей линзы, чтобы расстояние от предмета до его действительного изображения было наименьшим?

**32.9.** На каком расстоянии от выпуклой линзы с фокусным расстоянием  $F = 60$  см следует поместить предмет, чтобы получить действительное, увеличенное в  $k = 2$  раза изображение? Решить построением и проверить расчетом.

**32.10.** Найти длину изображения стрелки, расположенной вдоль оптической оси вплотную к рассеивающей линзе, если длина самой стрелки равна фокусному расстоянию линзы  $F$ . Решение обосновать построением.

**32.11.** Свеча находится на расстоянии  $a = 10$  см от переднего фокуса собирающей линзы, а экран, на котором получается четкое изображение пламени свечи, расположен на расстоянии  $b = 40$  см от заднего фокуса линзы. Найти фокусное расстояние линзы. Решить задачу также с помощью построения. (Полученное выражение носит название *формулы Ньютона*). Проверить применимость формулы Ньютона для рассеивающей линзы.

**32.12.** Освещенный предмет находится на расстоянии  $L$  от экрана. Линза, помещенная между ними, дает на экране четкое изображение предмета при двух положениях линзы, расстояние между которыми  $s = 20$  см. Найти фокусное расстояние линзы, если  $L = 100$  см

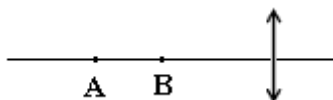
**32.13.** Вдоль оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 12$  см расположен предмет, один конец которого находится на расстоянии  $a = 17,9$  см от линзы, а другой - на расстоянии  $b = 18,1$  см. Определить увеличение изображения.



**32.14.** Высота пламени свечи 5 см. Линза дает на экране изображение этого пламени высотой 15 см. Не трогая линзы, свечу отодвинули на  $L = 1,5$  см дальше от линзы и, передвинув экран, вновь получили резкое изображение пламени высотой 10 см. Определить фокусное расстояние линзы.

**32.15.** На экране с помощью тонкой линзы получено изображение предмета с пятикратным увеличением ( $\Gamma_1 = 5$ ). Экран передвинули на  $\Delta f = 30$  см вдоль оптической оси линзы, а затем, не трогая линзы, передвинули предмет, чтобы изображение вновь стало резким. В этом случае изображение получилось с трехкратным увеличением ( $\Gamma_2 = 3$ ). На каком расстоянии от линзы находился экран в первом случае?

**32.16.** Изображение предмета, помещенного в точку А на главной оптической оси, линза дает с увеличением  $\Gamma_1 = 6$ . Если предмет поместить в точку В, то увеличение равно  $\Gamma_2 = 12$ . С каким увеличением получится изображение предмета, если предмет поместить в середине отрезка АВ?



**32.17.** Сходящийся пучок лучей падает на рассеивающую линзу так, что продолжения всех лучей пересекаются в точке, лежащей на оптической оси линзы на расстоянии  $b = 15$  см от нее. Найти фокусное расстояние линзы в двух случаях:

1) после преломления в линзе лучи собираются в точке, находящейся на расстоянии  $a_1 = 60$  см от линзы;

2) продолжения преломленных лучей пересекаются в точке, находящейся перед линзой на расстоянии  $a_2 = 60$  см от нее.

**32.18.** Через имеющееся в доске круглое отверстие диаметром  $D = 10$  см проходит сходящийся пучок света, который дает на экране, расположенном за доской параллельно ей, круглое пятно диаметром  $d = 5$  см. Если в отверстие вставить рассеивающую линзу ( $F = 30$  см), то пятно превратится в точку. Найти расстояние  $L$  между доской и экраном.

**32.19.** Точечный источник света помещен в фокусе собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 6$  см. За линзой на расстоянии  $a = 12$  см от нее расположен плоский экран, на котором видно круглое пятно. В какую сторону и на какое расстояние относительно фокуса линзы надо переместить вдоль оптической оси источник света, чтобы радиус светлого пятна на экране увеличился в 2 раза?

**32.20.** В фокальной плоскости тонкой собирающей линзы расположен экран. На главной оптической оси линзы находится точечный источник света. На экране при этом наблюдается кольцевая неосвещенная область. На каком расстоянии от линзы находится точечный источник, если площадь неосвещенной области в  $n$  раз больше площади линзы, а фокусное расстояние линзы равно  $F$ ?

**32.21.** Из собирающей линзы с фокусным расстоянием 5 см вырезана центральная часть шириной 1 см. Затем обе половины линзы сдвигаются до соприкосновения. На прямой, проходящей через середину получившейся линзы, на расстоянии 15 см от линзы помещен точечный источник света. Найти расстояние между изображениями источника, которые получаются с помощью обеих частей линзы.

**32.22.** Тонкая собирающая линза разрезана на две половины, которые раздвинуты на расстояние 2 мм. На прямой, проходящей через середину получившейся системы линз, помещен точечный источник света. Найти расстояние от точечного источника до линзы, если расстояние между действительными изображениями источника 6 мм. Фокусное расстояние линзы 40 см.

**32.23.** Светящаяся точка находится на главной оптической оси линзы на расстоянии  $d = 45$  см от нее. Если она совершает колебания в направлении, перпендикулярном оптической оси, то колебания ее действительного изображения происходят с амплитудой  $A_1 = 12$  мм. Колебания линзы в том же направлении с той же амплитудой приводят к колебаниям изображения с амплитудой  $A_2 = 18$  мм. Найти фокусное расстояние линзы.

**32.24.** Предмет находится в 20 см от линзы с фокусным расстоянием 10 см. Вторая линза с фокусное расстояние которой 12,5 см, расположена в 30 см позади первой. Найти положение изображения и увеличение, даваемое системой линз, если обе линзы собирающие.

**32.25.** На оптической скамье расположены две собирающие линзы с фокусным расстоянием  $F_1 = 12$  см и  $F_2 = 15$  см. Расстояние между линзами  $L = 36$  см. Предмет находится на расстоянии  $d = 48$  см от первой линзы. На каком расстоянии от второй линзы получится изображение предмета?

**32.26.** Изображение отдаленного источника света с помощью линзы, фокусное расстояние которой  $F_1 = 20$  см, проецируется на экран. Между линзой и источником света помещается вторая линзы с фокусным расстоянием  $F_2 = 30$  см, причем расстояние между линзами равно  $L = 10$  см. На сколько нужно придвинуть экран, чтобы восстановить резкость изображения?

**32.27.** Источник света помещен на расстоянии 20 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 12 см. На каком расстоянии за собирающей линзой может быть помещена рассеивающая линза с фокусным расстоянием 16 см, чтобы изображение источника света оставалось действительным?

**32.28.** Оптическая система состоит из двух одинаковых линз с фокусным расстоянием  $F$ , расположенных на расстоянии  $F/2$  друг от друга. При каких положениях предмета, находящегося на оптической оси системы, его изображение будет мнимым?

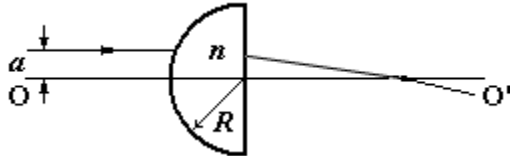
**32.29.** Оптическая система состоит из двух тонких линз, имеющих фокусное расстояние  $F_1 = + 5$  см и  $F_2 = - 5$  см, раздвинутых на расстояние  $L = 5$  см. При каких положениях предмета относительно первой линзы эта система будет давать мнимое изображение?

**32.30.** Сферическое зеркало расположено за рассеивающей линзой с фокусным расстоянием  $F = 11$  см. Эта система отражает лучи, параллельные главной оптической оси линзы, в обратном направлении. Определить радиус кривизны зеркала, если расстояние между линзой и зеркалом равно  $d = 6$  см.

**32.31.** Выпуклое сферическое зеркало расположено за положительной линзой с фокусным расстоянием  $F = 24$  см на расстоянии  $d = 4$  см. Эта система отражает лучи, параллельные оптической оси линзы, точно в обратном направлении. Определить радиус кривизны зеркала.

**32.32.** На расстоянии  $a = 30$  см перед собирающей линзой с фокусным расстоянием  $F = 10$  см помещен предмет. За линзой на расстоянии  $F/2$  расположено плоское зеркало, установленное перпендикулярно главной оптической оси линзы. На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета?

**32.33.** На сферическую поверхность половинки стеклянного шара радиуса  $R$  параллельно оси  $OO'$  на расстоянии  $a \ll R$  от оси падает луч света. На каком расстоянии от плоской поверхности полушара пересечет ось  $OO'$  луч, вышедший из полушара? Показатель преломления стекла  $n$ .

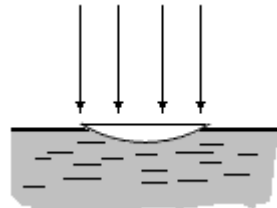


**32.34.** Как изменится фокусное расстояние стеклянной линзы, если опустить ее в воду?

**32.35.** Тонкая плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием  $F = 10$  см плоской стороной касается поверхности воды. На линзу сверху отвесно падает узкий параллельный пучок лучей. На каком расстоянии от нижней поверхности линзы фокусируется пучок?

Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .

**32.36.** Тонкая плосковыпуклая линза, изготовленная из стекла с показателем преломления  $n = 1,66$ , выпуклой стороной с радиусом кривизны  $R = 12$  см слегка погружена в воду. На линзу сверху отвесно падает узкий параллельный пучок лучей. На каком расстоянии от поверхности воды фокусируется пучок? Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .



**32.37.** На выпуклую поверхность тонкой плосковыпуклой линзы падает узкий пучок лучей, параллельный ее главной оптической оси. Вблизи плоской поверхности линзы параллельно ей помещают плоскопараллельную пластинку толщиной  $d = 9,8$  мм с показателем преломления  $n = 1,4$ . На какое расстояние сместится вдоль главной оптической оси линзы точка, в которой фокусируется пучок?

**32.38.** Показать, что оптическая сила двух соприкасающихся тонких линз равна сумме их оптических сил.

**32.39.** В вогнутое зеркало радиусом  $R = 16$  см налит тонкий слой воды (показатель преломления воды  $n = 4/3$ ). Определить фокусное расстояние  $F$  этой системы.

**32.40.** Плоская поверхность плосковыпуклой линзы, фокусное расстояние которой  $F$ , посеребрена. Найти фокусное расстояние получившегося зеркала.

**32.41.** Одна из поверхностей тонкой линзы посеребрена. На расстоянии  $a = 34$  см от линзы на ее оси расположен точечный источник света. Оказалось, что линза дает параллельный пучок лучей независимо от того, какой стороной она обращена к источнику. Найти, при какой форме поверхностей линзы это возможно и определить фокусное расстояние линзы до серебрения.

**32.42.** Вогнутое зеркало имеет форму полусферы радиусом  $R = 55$  см. В это зеркало налит тонкий слой неизвестной прозрачной жидкости. При этом оказалось, что данная оптическая система при некотором положении источника дает два действительных изображения, одно из которых совпадает с самим источником, а другое находится на  $s = 30$  см ближе к зеркалу. Найти показатель преломления жидкости.

## Фотометрия

**33.1.** Две лампы силой света  $I_1 = 75$  кд и  $I_2 = 48$  кд находятся друг от друга на расстоянии  $L = 1,8$  м. Где надо поместить между ними фотометрический экран, чтобы его освещенность была одинакова с той и другой стороны?

**33.2.** Над центром квадратного стола со стороной  $a = 1,5$  м на высоте  $h = 1$  м висит лампа. Во сколько раз изменится освещенность в центре стола, если эту же лампу повесить на той же высоте над одним из углов стола?

**33.3.** Какова сила света источника, помещенного на мачте высотой  $h = 12$  м, если на расстоянии  $L = 16$  м от основания мачты он создает освещенность  $E = 3$  лк?

**33.4.** На какой высоте над чертежной доской следует повесить лампу мощностью  $P = 200$  Вт, чтобы получить освещенность доски под лампой, равную  $E = 50$  лк? Светоотдача лампы равна  $12$  лм/Вт. Наклон доски  $\alpha = 30^\circ$ .

**33.5.** На некотором расстоянии от источника света помещен экран. Какова освещенность в середине экрана, если параллельно ему по другую сторону от источника на том же расстоянии находится плоское зеркало? Расстояние от источника до экрана  $L = 1,5$  м, сила света источника  $I = 50$  кд.

**33.6.** Поверхность стола освещается висящим над ним точечным источником света в  $25$  кд. Какова будет освещенность поверхности стола под источником, если на пути лучей расположить линзу с оптической силой в  $2$  дптр так, чтобы источник находился в ее фокусе?

**33.7.** Свет падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку по нормали к ее поверхности. Пренебрегая поглощением световой энергии и считая, что коэффициент отражения света на каждой поверхности равен  $\epsilon$ , определить долю световой энергии  $\Phi_1/\Phi_0$ , прошедшей сквозь пластинку. Учесть многократное отражение от границ.

**33.8.** Какой будет кажущаяся сила света источника, если, закрыв сам источник, рассматривать его отражение в зеркале:

а) выпуклом; б) вогнутом?

Радиус кривизны как выпуклого, так и вогнутого зеркала одинаков и равен  $R$ , сила света самого источника равна  $I_0$ , и он находится на расстоянии  $d$  от зеркала.

**33.9.** Какой будет кажущаяся сила света источника, если его рассматривают через линзы с фокусным расстоянием  $F$ :

а) собирающую; б) рассеивающую?

Сила света самого источника равна  $I_0$ . Источник находится на расстоянии  $d$  от линзы.

**33.10.** Оцените, во сколько раз освещенность земной поверхности в лунную ночь в полнолуние меньше, чем в солнечный день. Высота Луны и Солнца над горизонтом одинакова. Считать, что Луна рассеивает весь отраженный свет равномерно по всей полусфере.

Принять расстояние от Луны до Земли равным  $4 \cdot 10^5$  км, радиус Луны  $2 \cdot 10^3$  км, альбедо Луны около 0,1.

**33.11.** Лучи Солнца освещают бумагу. Как изменится освещенность бумаги, если на ней при помощи тонкой линзы с оптической силой в 4 дптр и с диаметром отверстия 6 см получить изображение Солнца?

Угловой диаметр Солнца  $\alpha = 30'$ .



## *Зрение. Оптические приборы*

**34.1.** Почему даже в чистой воде человек видит плохо? Почему в маске с плоскими стеклами человек под водой видит хорошо?

**34.2.** Почему дальнозоркие люди, потеряв очки, могут читать, глядя в маленькое (3-5 мм) отверстие, сделанное в бумаге?

Проверьте на себе свойство малого отверстия, расположив глаза очень близко к печатному тексту.

**34.3.** Близорукий человек читает книгу, держа ее на расстоянии 16 см от глаз. Какой оптической силы у него очки для дальнего зрения?

**34.4.** Дальнозоркий глаз имеет ближний предел аккомодации  $d_1 = 50$  см. Какова должна быть оптическая сила его очков для чтения?

**34.5.** Пределы аккомодации близорукого человека составляют  $d_1 = 10$  см и  $d_2 = 25$  см. Как изменятся эти пределы, если человек наденет очки с оптической силой  $D = -4$  дптр?

**34.6.** Чтобы лучше рассмотреть детали рисунка, человек берет в руки лупу и замечает, что, когда расстояние между лупой и рисунком равно  $b = 5$  см, на рисунке возникает четкое изображение нити накаливания лампочки, висящей под потолком,

Затем, поднеся лупу к глазу, человек рассматривает рисунок. С каким увеличением он увидит изображение рисунка, если оно находится на расстоянии наилучшего зрения  $d_0 = 25$  см?

**34.7.** В фокальной плоскости положительной линзы установлено матовое стекло. Оказалось, что размытость деталей изображения предметов, находящихся на расстоянии  $a = 5$  м от линзы, составила  $\delta = 0,2$  мм. Определить светосилу линзы, если ее фокусное расстояние  $F = 10$  см.

*Примечание.* Светосилой линзы называют квадрат отношения диаметра линзы к ее фокусному расстоянию.

**34.8.** Требуется сфотографировать конькобежца, пробегающего перед аппаратом со скоростью  $V = 10$  м/с. Определить максимально допустимую экспозицию при условии, что размытость изображения не должна превышать  $\Delta = 0,2$  мм.

Главное фокусное расстояние объектива  $F = 10$  см, а расстояние от конькобежца до фотоаппарата  $d = 5$  м. В момент фотографирования оптическая ось объектива аппарата перпендикулярна к траектории движения конькобежца.

**34.9.** Фотоаппарат, объектив которого имеет фокусное расстояние  $F = 20$  см, наведен на предмет, находящийся на расстоянии  $a_1 = 4$  м. До какого диаметра нужно задиафрагмировать объектив, чтобы размытость изображения предметов, находящихся на расстоянии  $a_2 = 5$  м от фотоаппарата, не превышала  $\delta = 0,2$  мм?

**34.10.** Киноаппаратом со скоростью  $v = 24$  кадра в секунду снимают колебания математического маятника. Одно полное колебание занимает  $N = 48$  кадров.

Длина маятника на пленке  $h = 10$  мм, фокусное расстояние объектива  $F = 70$  мм. С какого расстояния снимали маятник?

**34.11.** На каком расстоянии нужно расположить проекционный аппарат с объективом  $F = 30$  см, чтобы изображение диапозитива точно уложилось на экране, если диапозитив и экран по форме - подобные прямоугольники, высоты которых относятся как 1:20?

**34.12.** Сложный объектив состоит из двух тонких линз: собирающей с фокусным расстоянием  $F_1 = 20$  см и рассеивающей с фокусным расстоянием  $F_2 = -10$  см. Линзы расположены на расстоянии  $L = 15$  см друг от друга. С помощью объектива получают на экране изображение Солнца. Какое фокусное расстояние  $F$  должна иметь тонкая линза, чтобы изображение Солнца, полученное с ее помощью, имело такой же размер?

**34.13.** Зрительная труба настроена для наблюдения Луны. На какое расстояние и в какую сторону нужно передвинуть окуляр, чтобы можно было рассматривать предметы, удаленные от трубы на  $d = 100$  м? Фокусное расстояние объектива  $F = 60$  см.

**34.14.** Зрительная труба перемещением окуляра может фокусироваться на предметы, находящиеся от нее на расстояниях от  $a_1 = 2$  м до  $a_2 = 10$  м. Какую линзу нужно приложить к объективу, чтобы труба могла настраиваться на бесконечность?

Где при этом будет находиться ближняя точка фокусировки?

**34.15.** Объектив и окуляр зрительной трубы Галилея имеют фокусное расстояние, равное  $F_1 = 57$  см и  $F_2 = -4$  см соответственно. Труба наведена на Солнце.

На расстоянии  $b = 12$  см от окуляра расположен белый экран. При каком расстоянии  $L$  между объективом и окуляром на экране получится четкое изображение Солнца? Каков будет диаметр  $D$  этого изображения?

Решить ту же задачу, когда использована труба Кеплера. Фокусные расстояния объектива  $F_1 = 40$  см и окуляра  $F_2 = 3$  см, а экран расположен на расстоянии  $b = 15$  см от окуляра.

Угловой размер Солнца  $\alpha = 30'$ .

**34.16.** Объектив зрительной трубы имеет фокусное расстояние  $F_1 = 25$  см и диаметр 5 см, а окуляр имеет фокусное расстояние  $F_2 = 5$  см. Труба установлена на бесконечность. Если за окуляром поместить матовое стекло, то при некотором его положении освещенный кружок на матовом стекле имеет наименьшие размеры и резко очерченные края. Чему равно при этом расстояние от матового стекла до окуляра и чему равен диаметр кружка?

**34.17.** Телескоп, объектив которого имеет диаметр  $D = 8$  см, наведен на отдаленную светящуюся точку. Из окуляра телескопа выходит параллельный пучок лучей в виде круглого светового пятна, который можно обнаружить, поместив перед окуляром матовое стекло или лист бумаги. Диаметр этого пятна  $d = 4$  мм. Путь лучей в телескопе не ограничен никакими диафрагмами (не считая входного отверстия объектива). Каково увеличение телескопа?

**34.18\*.** С помощью зрительной трубы, имеющей объектив с фокусным расстоянием  $F_1 = 50$  см и диаметром  $d_1 = 10$  см и окуляр, фокус которого  $F_2 = 2,5$  см и диаметр  $d_2 = 0,5$  см, получено изображение Солнца на экране, расположенном на расстоянии  $b = 20$  см за окуляром. Определить, во сколько раз освещенность изображения больше освещенности экрана прямыми солнечными лучами.

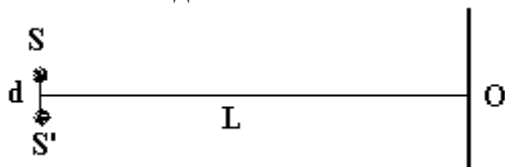
Угловой диаметр Солнца  $\alpha \approx 0,01$  рад. Потерями света в оптической системе пренебречь.

**34.19.** Увеличение микроскопа равно  $K = 600$ . Определить оптическую силу объектива  $F_1$ , если фокусное расстояние окуляра  $F_2 = 4$  см, а длина тубуса  $L = 24$  см.

## ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

### *Интерференция и дифракция света*

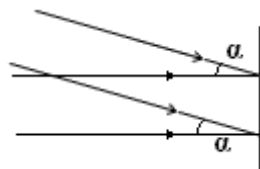
**35.1.** Два когерентных монохроматических источника света  $S$  и  $S'$  находятся на расстоянии  $d$  друг от друга. На расстоянии  $L \gg d$  от источников помещается экран. Найти ширину интерференционных полос вблизи середины экрана, если источники посылают свет длины волны  $\lambda$ .



**35.2.** *Опыт Ллойда* состоял в получении на экране интерференционной картины от источника  $S$  и его мнимого изображения  $S'$  в зеркале, расположенном перпендикулярно экрану. Чем будет отличаться интерференционная картина в этом опыте от рассмотренной в задаче 35.1?

**35.3.** *Опыт Юнга.* Для наблюдения явления интерференции света используется точечный источник света и небольшой экран с двумя малыми отверстиями у глаза наблюдателя. Оцените максимальное расстояние между малыми отверстиями в экране, при котором может наблюдаться явление интерференции. Разрешающая способность глаза  $1'$ , длина волны света 580 нм.

**35.4.** Две плоские монохроматические световые волны с длиной волны  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$  падают на экран: одна волна – по нормали, другая – под углом  $\alpha = 0,01$  рад. Найдите



период интерференционной картины, т.е. расстояние между соседними светлыми полосами на экране.

**35.5.** Перед собирающей линзой с фокусным расстоянием  $F$  в ее фокальной плоскости находится тонкий непрозрачный лист с двумя точечными отверстиями, находящимися на небольшом расстоянии  $d$  друг от друга и расположенными симметрично относительно главной оптической оси линзы. На лист с отверстиями падает плоская монохроматическая световая волна, и на экране, расположенном за линзой параллельно ее фокальной плоскости, наблюдается интерференционная картина. Найдите расстояние между соседними полосами в этой картине, если длина волны света равна  $\lambda$

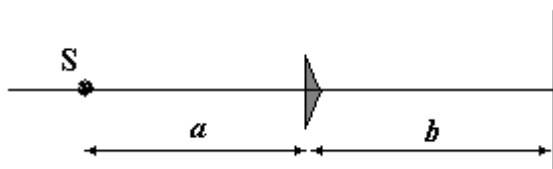
**35.6.\*** На плоский экран, в котором сделаны две узкие концентрические кольцевые прорезы, нормально падает параллельный монохроматический пучок видимого света.

Радиусы прорезей равны  $R_1 = 0,7$  мм,  $R_2 = 2R_1$ . На прямой, проходящей через центр прорезей перпендикулярно экрану, на расстоянии  $L = 1$  м по другую сторону от него наблюдается интерференционный минимум. Найти длину волны света.

**35.7.** На *бипризму Френеля* падает свет от точечного источника  $S$ . Световые пучки, преломленные различными гранями призмы, частично перекрываются и дают на экране интерференционную картину.

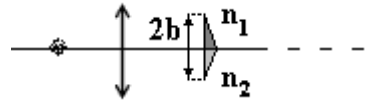
Найти расстояние между соседними интерференционными полосами, если расстояние от источника до призмы  $a = 1$  м, от призмы до экрана  $b = 4$  м, преломляющий угол призмы равен  $\alpha = 2 \cdot 10^{-3}$  рад и размер основания призмы  $l \ll a, b$ .

Стекло, из которого изготовлена призма, имеет показатель преломления  $n = 1,5$ . Длина световой волны  $\lambda = 6000$  А.



**35.8.** Сколько интерференционных полос наблюдается на экране в установке с бипризмой, описанной в предыдущей задаче?

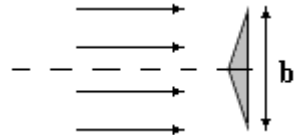
**35.9\*.** Точечный источник света, дающий свет с длиной волны  $\lambda$ , помещен в фокусе собирающей линзы. За линзой находится бипризма, склеенная из двух половин с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ), как показано на рисунке. Размер основания призмы равен  $2b$  и меньше диаметра линзы.



Преломляющие углы призмы  $\alpha \ll 1$

Найти максимальное число интерференционных полос, которые можно наблюдать на экране, расположенном за призмой параллельно ее основанию.

**35.10.\*** На равнобедренную стеклянную призму с длиной основания  $b$  и малыми углами  $\alpha$  при основании падает параллельный пучок света,



перпендикулярный основанию. На матовом основании призмы наблюдается интерференционная картина.

Найти максимальное число интерференционных полос, если длина волны падающего света равна  $\lambda$ , а показатель преломления стекла равен  $n$ .

**35.11.** Из собирающей линзы вырезана центральная часть ширины  $d = 0,5$  мм. Обе половины линзы сдвинуты вплотную. На них падает монохроматический свет ( $\lambda = 5000$  А) от точечного источника, расположенного на расстоянии  $a = 5$  см от плоскости линзы симметрично по отношению к обеим половинам линзы. На каком расстоянии с противоположной стороны линзы нужно поместить экран, чтобы на нем можно было наблюдать 3 интерференционные полосы?

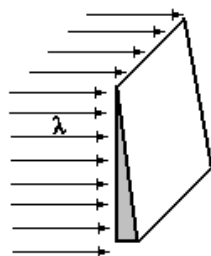
Фокусное расстояние линзы  $F = 10$  см.

**35.12.** Чему равно максимально возможное число интерференционных полос, которое можно наблюдать с помощью описанной выше установки, называемой *билинзой Бийе*?

**35.13.\*** На линзу радиусом  $r = 1$  см падает плоская монохроматическая волна ( $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$  м). Фокусное расстояние линзы  $F = 3$  м. На расстоянии  $L = 3F$  от линзы находится экран. Сколько интерференционных колец образуется на экране?

**35.14.** Два когерентных световых пучка проходят в воздухе одинаковые расстояния от источников до некоторой точки А. На пути первого пучка перпендикулярно ему помещают прозрачную пленку толщиной  $d = 2,5$  мкм с показателем преломления  $n = 1,3$ . На сколько в результате этого изменится сдвиг фаз между световыми волнами в точке А, если длина волны света в вакууме  $\lambda = 0,5$  мкм?

**35.15.** Мыльная пленка представляет собой тонкий слой воды, на поверхности которой находятся молекулы мыла, обеспечивающие механическую прочность и не влияющие на оптические свойства пленки. Мыльная пленка натянута на квадратную рамку со стороной  $d = 2,5$  см. Под действием силы тяжести пленка приняла



форму клина с углом при вершине  $\alpha = 2 \cdot 10^{-4}$  рад. При освещении рамки параллельным пучком света лазера с длиной волны  $\lambda = 660$  нм, падающим перпендикулярно пленке, на ее поверхности образуется интерференционная картина из горизонтальных полос. Сколько полос образуется на пленке? Показатель преломления воды равен  $n = 1,33$ .



**35.16.** На поверхность стеклянной призмы нанесена тонкая пленка толщиной  $d = 112,5$  нм, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла. На пленку по нормали падает свет с длиной волны  $\lambda = 630$  нм. При каком значении показателя преломления пленки она будет «просветляющей»?

**35.17.** На поверхность стеклянной призмы с показателем преломления  $n_1 = 1,55$  нанесена пленка толщиной  $d = 160$  нм, показатель преломления которой  $n_2 = 1,45$ . Для какой длины волны видимого света коэффициент отражения будет максимальным?

**35.18.** На поверхность стеклянной пластинки нанесена тонкая пленка, показатель преломления которой  $n = 1,41$  меньше показателя преломления стекла. На пластинку под углом  $\alpha = 30^\circ$  падает пучок белого света. Какова минимальная толщина пленки, при которой в отраженном свете она кажется зеленой? Длина волны зеленого света  $\lambda = 530$  нм.

**35.19.** Интерференционная картина «кольца Ньютона» наблюдается в отраженном монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda = 0,63$  мкм. Зазор между выпуклой поверхностью линзы и стеклянной пластинкой заполнен бензолом. Найдите радиус первого темного кольца, если радиус кривизны поверхности линзы  $R = 10$  м, а показатели преломления линзы и пластинки одинаковы и превышают показатель преломления бензола, равный  $n = 1,5$ . Свет падает по нормали к пластинке.

**35.20.** Определить угол отклонения лучей зеленого света ( $\lambda = 0,55$  мкм) в спектре первого порядка, полученном с помощью дифракционной решетки с периодом  $0,02$  мм.

**35.21.** На дифракционную решетку с периодом  $d = 4 \text{ мкм}$  падает нормально монохроматическая волна. За решеткой расположена линза, имеющая фокусное расстояние  $F = 40 \text{ см}$ , которая дает на экране дифракционную картину. Определить длину волны  $\lambda$ , если первый максимум получается на расстоянии  $L = 5 \text{ см}$  от центрального.

**35.22.** На дифракционную решетку с периодом  $d = 20 \text{ мкм}$  падает нормально пучок белого света. Спектр наблюдается на экране на расстоянии  $L = 2 \text{ м}$  от решетки. Какова ширина первой цветной полосы (расстояние между красным и фиолетовым концами спектра первого порядка)?

Длины волн красного и фиолетового света равны соответственно  $\lambda_{\text{кр}} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  и  $\lambda_{\text{ф}} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ .

**35.23.** На дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на миллиметр, падает плоская монохроматическая волна с длиной волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ . Определить наибольший порядок спектра, который можно наблюдать при нормальном падении лучей на решетку.

**35.24.** На дифракционную решетку с периодом  $d = 2 \text{ мкм}$ , падает нормально свет, пропущенный сквозь светофильтр. Фильтр пропускает длины волн от  $\lambda_1 = 5000 \text{ \AA}$  до  $\lambda_2 = 6000 \text{ \AA}$ . Будут ли спектры различных порядков налагаться друг на друга?

**35.25.\*** В спектральной трубке с водородом имеется некоторое количество дейтерия.

Какое число штрихов должна иметь дифракционная решетка, чтобы разрешить в спектре третьего порядка линии водорода ( $\lambda_1 = 656,45 \text{ нм}$ ) и дейтерия ( $\lambda_2 = 656,72 \text{ нм}$ )?

## *Световые кванты. Фотозффект.*

При решении задач используйте следующие значения фундаментальных физических постоянных:

<i>Заряд электрона</i>	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
<i>Масса электрона</i>	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
<i>Отношение заряда электрона к его массе</i>	$e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
<i>Скорость света</i>	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
<i>Постоянная Планка</i>	$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

**36.1.** Какой энергией обладают фотоны, соответствующие наиболее длинным и наиболее коротким волнам видимой части спектра? ( $0,4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 0,75 \text{ мкм}$ )

**36.2.** Чему равен импульс фотона, если его энергия составляет  $\varepsilon = 6 \cdot 10^{-19}$  Дж?

**36.3.** Определить длину волны излучения, фотоны которого имеют такую же энергию, что и электрон, ускоренный напряжением 4 В?

**36.4.** Тренированный глаз, длительно находящийся в темноте, воспринимает свет с длиной волны 0,5 мкм при мощности  $2,1 \cdot 10^{-17}$  Вт. Верхний предел мощности, воспринимаемый глазом безболезненно, равен  $2 \cdot 10^{-5}$  Вт. Сколько фотонов попадает на сетчатку глаза за 1 с в каждом случае?

**36.5.**  $\pi^0$ -мезон массой  $2,4 \cdot 10^{-28}$  кг распадается на два  $\gamma$ -кванта. Найдите импульсы  $\gamma$ -квантов в системе отсчета, где первичный  $\pi^0$ -мезон покоится.

**36.6.** Рентгеновская трубка, работающая под напряжением  $U = 50$  кВ и потребляющая ток  $I = 2$  мА, излучает каждую секунду  $N = 5 \cdot 10^{13}$  фотонов. Считая среднюю длину волны излучения равной  $\lambda = 0,1$  нм, найти КПД трубки, т.е. определить, какую часть мощности рентгеновского излучения составляет от мощности потребляемого тока.

**36.7.** Какова минимальная длина волны рентгеновского излучения, если анодное напряжение трубки 20 кВ?

**36.8.** При какой температуре средняя кинетическая энергия частиц равна энергии фотонов рентгеновского излучения с длиной волны 5 нм?

**36.9.** Длинноволновая (красная) граница фотоэффекта для серебра равна 0,29 мкм. Определить работу выхода электронов и выразить ее в электрон-вольтах.

**36.10.** Работа выхода электрона для цезия  $A_0 = 1,89$  эВ. С какой максимальной скоростью вылетают электроны с поверхности цезия, если металл освещен желтым светом с длиной волны  $\lambda = 0,589$  мкм?

**36.11.** При исследовании вакуумного фотоэлемента оказалось, что при освещении катода светом частоты  $10^{15}$  Гц фототок с поверхности катода прекращается при задерживающей разности потенциалов 2 В между катодом и анодом. Определить работу выхода материала катода.

**36.12.** При освещении цезиевого фотоэлемента светом с длиной волны  $\lambda_1 = 0,4$  мкм фототок с поверхности катода прекращается при задерживающей разности потенциалов между катодом и анодом  $U_1 = 1,19$  В а при  $\lambda_2 = 0,5$  мкм задерживающая разность потенциалов  $U_2 = 0,57$  В. Определить по этим данным красную границу для цезия.

**36.13.** Вакуумный фотоэлемент заряжается до разности потенциалов  $U_1 = 1,2$  В при освещении его желтым светом с длиной волны  $\lambda_1 = 600$  нм. Найдите, до какой разности потенциалов зарядится фотоэлемент при освещении его фиолетовым светом ( $\lambda_2 = 400$  нм)?

**36.14.** Катод фотоэлемента облучается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,4$  мкм. Энергия светового потока, падающего на катод за время  $\Delta t = 10$  с, равна  $W = 0,15$  Дж. Определить силу тока насыщения фотоэлемента при таком освещении.

**36.15.** В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор. При длительном освещении катода светом с частотой  $10^{15}$  Гц на конденсаторе появляется постоянный заряд  $q = 11 \cdot 10^{-9}$  Кл. Найдите, чему равна емкость конденсатора, если работа выхода электронов из кальция  $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж.

**36.16.** Узкий пучок света с длиной волны  $\lambda = 330$  нм падает на металлическую сферу радиусом  $R = 14,4$  см.

Какой максимальный заряд может приобрести сфера в результате фотоэффекта, если работа выхода электрона из металла  $A_0 = 2,5$  эВ.

**36.17.** Монохроматический пучок параллельных лучей создается источником, который в течение времени  $\tau = 8 \cdot 10^{-4}$  с излучает  $N = 5 \cdot 10^{14}$  фотонов. Фотоны падают по нормали на площадку  $S = 0,7$  см<sup>2</sup> и создают давление  $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$  Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

**36.18.** Для разгона и коррекции орбит космических аппаратов предложено использовать солнечный парус – скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, зеркально отражающей солнечный свет.

На какую величину изменится за 24 часа после разворачивания паруса скорость космического аппарата массой 500 кг (включая парус), находящегося на орбите Марса, если парус имеет размеры  $100\text{ м} \times 100\text{ м}$ . Интенсивность солнечного излучения, падающего нормально на поверхность вблизи Земли, равна  $1370\text{ Вт/м}^2$ . Марс находится примерно в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля.

**36.19.** Параллельный пучок света, падающий на плоское зеркало, оказывает на него давление  $P_1 = 4 \cdot 10^{-6}\text{ Па}$  при падении под углом  $\alpha_1 = 60^\circ$ . Какое давление будет оказывать на зеркало этот пучок, если угол падения станет равным  $\alpha_2 = 45^\circ$ ?

**36.20.** На закрепленный зеркальный шар радиусом  $R$  падает узкий параллельный пучок света мощностью  $N$ . Ось падающего пучка проходит на расстоянии  $a$  от центра шара. Найдите силу давления света на шар.

**36.21.** Найдите длины волн де Бройля для  $\alpha$ -частицы, движущейся со скоростью  $5000\text{ км/с}$  и для молекулы кислорода, находящейся в сосуде при температуре  $27^\circ\text{C}$ .

**36.22.** При исследовании структуры кристаллической решетки пучок электронов, имеющих одинаковую скорость, направляется перпендикулярно поверхности кристалла. После взаимодействия с кристаллом отраженные от верхнего слоя электроны распределяются в пространстве, образуя в плоскости падения дифракционные максимумы. Первый дифракционный максимум наблюдается под углом  $\alpha = 50^\circ$  к направлению падающего пучка. Какую энергию имеют электроны в пучке, если период молекулярной решетки составляет  $0,215\text{ нм}$ ?

## ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

### Массы элементарных частиц и некоторых ядер

Частица	Обозначение	Масса (кг)	Атомные единицы массы (а.е.м.)	Энергетические единицы массы (МэВ)
Электрон	e	$9,109 \cdot 10^{-31}$	$5,486 \cdot 10^{-4}$	0,511
Протон	p	$1,673 \cdot 10^{-27}$	1,00728	938,26
Нейтрон	n	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00866	939,55
Дейтерий	${}_1\text{H}^2$		2,01355	
Тритий	${}_1\text{H}^3$		3,0155	
Гелий ( $\alpha$ -частица)	${}_2\text{He}^4$ $\alpha$		4,0015	

$$1 \text{ а.е.м.} = m_0 = 1,658 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

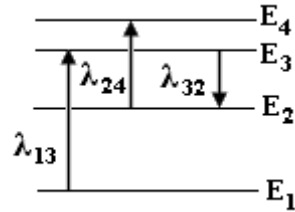
$$E_0 = m_0 c^2 = 931,5 \text{ МэВ}$$

**37.1.** Вычислите радиус первой боровской круговой орбиты электрона в атоме водорода и скорость движения электрона по этой орбите.

**37.2.** Вычислите радиус боровской круговой орбиты электрона в атоме водорода для  $n = 1000$  и длину волны электромагнитного излучения, испускаемого при переходе с тысяча первой круговой орбиты на тысячную. Поясните, почему атомы водорода в таких состояниях обычно не наблюдаются.

**37.3.** При каком минимальном значении энергии электронов, сталкивающихся с атомами водорода, может наблюдаться возникновение всех возможных линий в спектре водорода?

**37.4.** На рисунке представлена схема энергетических уровней некоторого атома. Экспериментально установлено, что минимальная длина волны фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна  $\lambda_0 = 250$  нм.



Какова величина  $\lambda_{13}$ , если  $\lambda_{32} = 545$  нм и  $\lambda_{24} = 400$  нм?

**37.5.** Вычислите энергию связи ядра атома дейтерия  ${}_1\text{H}^2$ .

**37.6.** Вычислите энергию связи ядра атома трития  ${}_1\text{H}^3$ .

**37.7.** Вычислите удельную энергию связи нуклонов в ядре атома гелия  ${}_2\text{He}^4$ .

**37.8.** Вычислите удельную энергию связи нуклонов в ядре атома урана  ${}_{92}\text{U}^{238}$ .  $M_{\text{я}} = 238,03$  а.е.м.

**37.9.** Какое ядро образуется в результате альфа-распада ядра изотопа радия  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ ?

**37.10.** Какое ядро образуется в результате альфа-распада ядра изотопа урана  ${}_{92}\text{U}^{234}$ ?

**37.11.** Какое ядро образуется в результате электронного бета-распада ядра изотопа водорода  ${}_1\text{H}^3$ ?

**37.12.** Какое ядро образуется в результате электронного бета-распада радиоактивного изотопа меди  ${}_{29}\text{Cu}^{64}$ ?



**37.13.** Какое ядро образуется в результате позитронного бета-распада радиоактивного изотопа меди  ${}_{29}\text{Cu}^{64}$ ?

**37.14.** Какое ядро образуется в результате позитронного бета-распада ядра  ${}_{35}\text{Br}^{80}$ ?

**37.15.** Написать ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке алюминия  ${}_{13}\text{Al}^{27}$   $\alpha$ -частицами и сопровождающуюся выбиванием протона.

**37.16.** Написать ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке бора  ${}_{5}\text{B}^{11}$   $\alpha$ -частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.

**37.17.** При бомбардировке изотопа бора  ${}_{5}\text{B}^{10}$  нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается  $\alpha$ -частица. Написать реакцию.

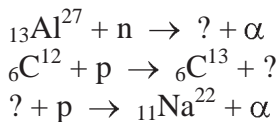
**37.18.** При бомбардировке азота  ${}_{7}\text{N}^{14}$  нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается протон. Написать реакцию. Полученное ядро изотопа углерода оказывается  $\beta$ -радиоактивным. Написать происходящую при этом реакцию.

**37.19.** Период полураспада изотопа радия равен 1600 лет. Сколько ядер изотопа испытает распад за 3200 лет, если начальное число радиоактивных ядер  $N_0 = 10^9$ ?

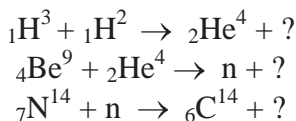
**37.20.** Радиоактивный изотоп калия в результате бета-распада превращается в изотоп кальция. Период полураспада изотопа калия равен 1,24 млрд. лет. Сколько ядер калия (в процентах) превратится в ядра кальция за 5 млрд. лет?

**37.21.** Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Каков период полураспада этого элемента?

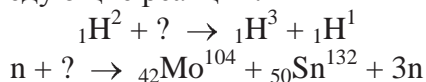
**37.22.** Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях:



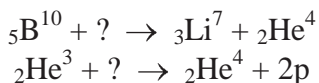
**37.23.** Определите неизвестные продукты реакций:



**37.24.** Определите, с какими атомными ядрами были осуществлены следующие реакции:



**37.25.** Определите, под действием каких частиц были осуществлены следующие реакции:



**37.26.** Препарат, активность которого равна  $1,7 \cdot 10^{12}$  частиц в секунду, помещен в калориметр, заполненный водой при температуре 293 К. Сколько времени потребуется, чтобы довести до кипения 10 г воды, если известно, что данный препарат испускает  $\alpha$ -частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Теплоемкостью калориметра и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь.

**37.27.** При реакции синтеза  ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^3 = {}_2\text{He}^4 + n$  выделяется энергия 17,6 МэВ. Какую кинетическую энергию уносит нейтрон, если суммарный импульс исходных частиц равен нулю, а их кинетическая энергия пренебрежимо мала по сравнению с выделившейся?

**37.28.** Радиоактивный препарат помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За 2 часа температура контейнера повысилась на 5,2 °С. Известно, что данный препарат испускает  $\alpha$ -частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Найдите активность препарата (количество  $\alpha$ -частиц, образующихся в нем за 1 секунду). Теплоемкостью препарата и потерями тепла пренебречь.

Удельная теплоемкость меди  $c = 0,38 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{К})$

## ОТВЕТЫ

### ОПТИКА

#### ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

*Прямолинейное распространение света.  
Законы отражения света. Плоское зеркало.*

**30.1.** При высоте солнца над горизонтом  $\varphi \approx 60^\circ$

**30.2.**  $L_{\min} = 1,92$  м;  $L_{\max} = 16,2$  м

**30.4.**  $a \geq 80$  см

**30.6.**  $h = 46$  см

**30.7.**  $u = \frac{VH}{h+H} = 12$  м/с

**30.10.**  $N = n - 1$

**30.10.**  $X = L/2\sin\alpha = 20$  см

*Сферическое зеркало.*

**30.16.**  $d_1 = 30$  см;  $d_2 = 10$  см

**30.17.**  $F = 40$  см

**30.18.**  $k = 3$

**30.19.**  $d = 45$  см

**30.20.**  $R = 2$  м

**30.21.**  $R = 20 \text{ см}$

**30.22.**  $F = 32 \text{ см}$

**30.23.**  $L_1 = 25 \text{ см}$

*Преломление света на плоской поверхности.  
Полное отражение. Ход лучей в треугольной призме*

**31.2.**  $L_1 = 1,73 \text{ м}; L_2 = 3,44 \text{ м}$

**31.3.**  $H = Ln_2 - h\left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \approx 3,3 \text{ м}$

**31.4.**  $H \approx 7,5 \text{ м}$

**31.5**  $R_{\min} = h/(n^2 - 1)^{1/2}$

**31.6**  $r = Rn_2/n_1 = 2,6 \text{ см}$

**31.8.**  $d \approx 37 \text{ мм}$

**31.9.**  $L = 2(s + d/n) = 4,5 \text{ см}$

**31.10.**  $n_{\min} = \sqrt{2} = 1,41$

**31.12.**  $\vartheta = \varphi(n - 1) = 4^\circ$

**31.13.**  $m = 2$

**31.14.**  $n^2 = [1 - \cos(\vartheta + \varphi)]/(1 - \cos\varphi); n \approx 1,3$

**31.15.**  $\vartheta = \pi$

**31.16.**  $\alpha = \text{arctg}(1/n) \approx 32^\circ$

**31.17.**  $\alpha \approx 3^\circ$

**31.18.\***  $L_k = 2R \sin[(1 - 1/k)\pi/2]$ , где  $k = 3, 4, \dots$

**31.19.**  $\alpha = \arcsin(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \approx 0,17 \text{ рад} \approx 10^\circ$

**31.20.**  $\alpha = 60^\circ$

**31.21.**  $a = L - \frac{D}{2 \operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{D}{2\alpha} = 9 \text{ см.}$

**31.22.**  $n = 1,0006$

**31.23.**  $30^\circ < \alpha < 31^\circ 45'$

*Преломление света на сферической поверхности. Линзы*

**32.7.**  $F = 10 \text{ см; } D = 10 \text{ дптр}$

**32.9.**  $d = 90 \text{ см}$

**32.11.**  $F^2 = ab; F = 20 \text{ см}$

**32.12.**  $F = (L^2 - s^2)/4L = 24 \text{ см}$

**32.13.**  $\Gamma = F^2/(a - F)(b - F) = 4$

**32.14.**  $F = 9 \text{ см}$

**32.15.**  $f = \Delta f \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1 - \Gamma_2} = 90 \text{ см}$

**32.16.**  $\Gamma = 2 \frac{\Gamma_1 \Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2} = 8$

**32.17.** 1)  $F = 20 \text{ см; } 2) F = 12 \text{ см}$

**32.18.**  $L = 15 \text{ см}$

**32.19.**  $\Delta x = - 2 \text{ см}$

**32.20.**  $d = \frac{2F}{n-1}$

**32.21.**  $s = 1,5 \text{ см}$

**32.22.**  $a = 60 \text{ см}$

**32.23.**  $F = 30 \text{ см}$

**32.24.**  $\Gamma = 5$ , изображение мнимое, положение совпадает с положением предмета.

**32.25.**  $f = 60 \text{ см}$

**32.26.**  $x = 10 \text{ см}$

**32.27.**  $14 \text{ см} < x < 30 \text{ см}$

**32.28.**  $0 < d < F/3$

**32.29.**  $a < 2F_1$ ;  $a < 10 \text{ см}$

**32.30.**  $R = 17 \text{ см}$

**32.31.**  $R = 20 \text{ см}$

**32.32.**  $b = F/3 \approx 3,3 \text{ см}$

**32.33.**  $s = \frac{R}{n(n-1)}$

**32.35.**  $F_1 = nF = 13,3 \text{ см}$

**32.36.**  $F_1 = R \frac{n_1}{n_1 - n_2} = 48,4 \text{ см}$

**32.37.**  $\Delta = d \frac{n-1}{n} = 2,8 \text{ мм от линзы}$

**32.39.**  $F = R/2n = 6 \text{ см}$

**32.40.**  $F_1 = F/2$

**32.41.**  $F = a = 34 \text{ см}$

**32.42.**  $n = (2R - s)/2(R - s) = 1,6$

### ***Фотометрия***

**33.1.**  $r_1 = 1 \text{ м}$

**33.2.**  $E_1/E_2 \approx 3,1$

**33.3.**  $I = 2000 \text{ кд}$

**33.4.**  $h = 1,8 \text{ м}$

**33.5.**  $E = 24,6 \text{ лк}$

**33.6.**  $E = 100 \text{ лк}$

**33.7.**  $\Phi_1/\Phi_0 = (1 - \epsilon)/(1 + \epsilon)$

**33.10.**  $B = 800\,000 \text{ раз}$

**33.11.**  $E/E_0 \approx 750$

### ***Зрение. Оптические приборы***

**34.3.**  $D = -6 \text{ дптр}$

**34.4.**  $D = +2 \text{ дптр}$

**34.5.**  $a_1 = 17 \text{ см}, a_2 = \infty$



**34.6.**  $k = 1 + d_o/b = 6$

**34.7.**  $C = 0,01$

**34.8.**  $\tau = 0,001 \text{ c}$

**34.9.**  $D = 19 \text{ MM}$

**34.10.**  $L \approx \frac{gFN^2}{4\pi^2\nu^2h} = 7 \text{ M}$

**34.11.**  $L = 6,3 \text{ M}$

**34.12.**  $F = 40 \text{ CM}$

**34.13.**  $\Delta = 3,6 \text{ MM}$

**34.14.**  $F = - 10 \text{ M}; b = 2,5 \text{ M}$

**34.15.** a)  $L = 54 \text{ CM}; D = 2 \text{ CM}$   
б)  $L = 43,7 \text{ CM}; D = 1,4 \text{ CM}$

**34.16.**  $L = 6 \text{ CM}; D = 1 \text{ CM}$

**34.17.**  $\Gamma = 20$

**34.18.\***  $E = (d_2/\alpha b)^2 = 6,25 E_o$

**34.19.**  $F_1 = 2,5 \text{ MM}$

## ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

### *Интерференция и дифракция света*

$$35.1. \quad h = \lambda \frac{L}{d}$$

$$35.3. \quad d \leq \frac{\lambda}{\alpha} = 2 \text{ мм}$$

$$35.4. \quad h = \frac{\lambda}{\sin \alpha} = 50 \text{ мкм}$$

$$35.5. \quad h = \lambda \frac{F}{d}$$

$$35.6.* \quad \lambda = \frac{3R_1^2}{(2n+1)L}, \quad n = 1, \quad \lambda = 0,49 \text{ мкм}$$

$$35.7. \quad h = \frac{\lambda(a+b)}{2\alpha(n-1)a} = 1,5 \text{ мм}$$

$$35.8. \quad N = E\left\{ \frac{4ab\alpha^2(n-1)^2}{(a+b)\lambda} \right\} = 5; \quad E\{\dots\} - \text{целая часть}$$

$$35.9.* \quad N = E\left\{ \frac{\alpha b}{\lambda} (n_1 + n_2 - 2)[1 - (n_1 - 1)\alpha^2] \right\};$$

$$35.10.* \quad N = E\{2b\alpha^3(n-1)^2/n\lambda\}$$

$$35.11. \quad D = \frac{3\lambda F^2 a}{d^2 a - 3\lambda F(F-a)} = 15 \text{ см}$$

$$35.12. \quad N = 5$$

$$35.13.* \quad N_{\max} = E\left\{ \frac{3r^2}{4\lambda F} \right\} + 1 = 51$$

$$35.14. \quad \Delta\varphi = 3\pi$$

$$35.15. \quad N = 20$$

$$35.16. \quad n = 1,4$$

35.17.  $\lambda = 464 \text{ нм}$

35.18.  $d_{\min} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \approx 0,2 \text{ мкм}$

35.19.  $r = \sqrt{\frac{\lambda R}{n}} \approx 2 \text{ мм}$

35.20.  $\varphi = 1,5^\circ$

35.21.  $\lambda = 500 \text{ нм}$

35.22.  $l = \frac{L}{d} (\lambda_{\text{кр}} - \lambda_{\text{ф}}) = 4 \text{ см}$

35.23.  $n = 4$

35.24. Нет, т.к.  $k = \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) > k_{\max} = d / \lambda_1$

35.25.  $d = \frac{\lambda}{\varphi \cos \alpha} = 10 \text{ мкм}$  или 100 штрихов на мм

35.26.  $N = \frac{\lambda}{n \Delta \lambda} \approx 810 \text{ штрихов}$

***Световые кванты. Фотозффект.***

36.1.  $\varepsilon_1 = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; \varepsilon_2 = 5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

36.2.  $P = 2 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

36.3.  $\lambda = 310 \text{ нм}$

36.4.  $n_1 \approx 50 \text{ с}^{-1}; n_2 = 5 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$

36.5.  $p = 3,6 \cdot 10^{-20} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

36.6.  $\eta = 0,1\%$

36.7.  $\lambda = 0,06 \text{ нм}$

36.8.  $T = 1,9 \cdot 10^6 \text{ K}$

36.9.  $A = 4,3 \text{ эВ}$

36.10.  $V = 2,8 \cdot 10^5 \text{ м/с}$

36.11.  $A = 2,1 \text{ эВ}$

36.12.  $\lambda_{\max} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 U_1 - \lambda_2 U_2} (U_1 - U_2) = 0,65 \text{ мкм}$

36.13.  $U_2 = 2,2 \text{ В}$

36.14.  $I = 5 \text{ mA}$

36.15.  $C = 8000 \text{ пФ}$

36.16.  $Q = 0,02 \text{ нКл}$

36.17.  $\lambda = \frac{1,4Nh}{PS\tau} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

36.18.  $\Delta V = 7 \text{ м/с}$

36.19.  $P_2 = P_1 \frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos^2 \alpha_1} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$

36.20.  $F = 2 \frac{N}{c} \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}}$

36.21.  $\lambda_\alpha = 2 \cdot 10^{-12} \text{ см; } \lambda_\kappa = 2,6 \cdot 10^{-9} \text{ см}$

36.22.  $E = 55 \text{ эВ}$

### ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

37.1.  $r_1 = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м; } v = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$

37.2.  $r_{1000} = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 53 \text{ мкм; } \lambda \approx 45 \text{ м.}$

**37.3.**  $\varepsilon = 13,6 \text{ эВ}$

**37.4.**  $\lambda_{13} \approx 300 \text{ нм}$

**37.5.**  $E = 2,2 \text{ МэВ}$

**37.9.**  ${}_{86}\text{Rn}^{222}$  - радон

**37.10.**  ${}_{90}\text{Th}^{230}$  - торий

**37.11.**  ${}_{2}\text{He}^3$  - гелий

**37.12.**  ${}_{30}\text{Zn}^{64}$  - цинк

**37.13.**  ${}_{28}\text{Ni}^{64}$  - никель

**37.14.**  ${}_{34}\text{Se}^{80}$  - селен



**37.19.**  $N = 7,5 \cdot 10^8$

**37.20.** 94%

**37.21.** 4 дня

**37.26.**  $T \approx 39 \text{ мин}$

**37.27.**  $E_n = 14 \text{ МэВ}$

**37.28.**  $A = 1,7 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$

## *Содержание*

### **ОПТИКА**

#### **ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА**

1. *Прямолинейное распространение света.  
Законы отражения света. Плоское зеркало.* 3
2. *Сферическое зеркало.* 5
3. *Преломление света на плоской поверхности.  
Полное отражение. Ход лучей в треугольной призме* 7
4. *Преломление света на сферической поверхности.  
Линзы.* 12
5. *Фотометрия* 21
6. *Зрение. Оптические приборы* 23

#### **ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА**

7. *Интерференция и дифракция света* 27
8. *Световые кванты. Фотозффект* 33

#### **ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА**

37

#### **ОТВЕТЫ**

42