

**ИЗБРАННЫЕ ЗАДАЧИ
КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ:
ОПТИКА**

Учебно-методическое пособие
по курсу *Общая физика*

МОСКВА
МФТИ
2017

1 Геометрическая оптика. Оптические приборы

1

1.1. Оптическая сила тонкой стеклянной линзы в воздухе равна $D_1 = +5,5$ дптр. Какова оптическая сила той же линзы D_2 , погруженной в воду, если коэффициент преломления стекла $n_{ст} = 1,5$, а коэффициент преломления воды $n_в = 1,33$?

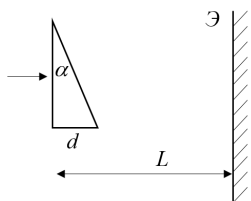


Рис. 1

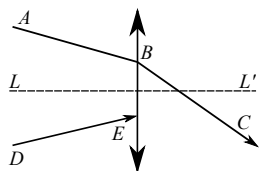


Рис. 2

1.2. На боковую поверхность прямо-угольной призмы с преломляющим углом $\alpha = 15^\circ$ нормально падает белый луч. На расстоянии $L = 10$ м от призмы расположен экран, ориентированный перпендикулярно основанию призмы. Оценить ширину освещенного участка экрана, если коэффициенты преломления для фиолетового и красного лучей равны соответственно 1,42 и 1,37. Основание призмы d много меньше L (рис. 1).

1.3. На рис. 2 показаны положение главной оптической оси тонкой линзы LL' и ход проходящего сквозь нее луча ABC . Найдите построением ход произвольного луча DE за линзой.

I

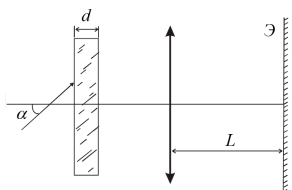


Рис. 3

1.4. Луч лазера, направленный под углом $\alpha = 0,1$ к главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 3$ см, наблюдается в виде светящейся точки на экране Θ , расположенном на расстоянии $L = 540$ см от линзы (рис. 3). Если слева от линзы поставить плоскопараллельную пластинку толщиной $d = 1$ см, то светящаяся точка смещается по экрану

на расстояние $a = 7$ см. Определить показатель преломления пластины.

1.5. Волоконный световод — это тонкая двухслойная стеклянная нить. Внутренняя жила изготавливается из высокопрозрачного стекла

2

с показателем преломления $n_1 = 1,479$. Показатель преломления материала оболочки $n_0 = 1,474$, поэтому лучи распространяются внутри жилы, претерпевая полное внутреннее отражение на границе жила-оболочка. Рассчитайте угловую апертуру волоконного световода, т.е. максимальный угол φ между падающим на торец световода лучом и осью световода, который может канализироваться световодом.

1.6. (1.38) Зрительная труба с фокусным расстоянием объектива $f = 50$ см настроена на бесконечность. На какое расстояние ΔL надо передвинуть окуляр трубы, чтобы ясно видеть предметы на расстоянии 50 м?

II

1.7. Микроскоп имеет объектив с фокусным расстоянием $f_1 = 1$ см и окуляр с фокусным расстоянием $f_2 = 3$ см, расстояние между ними $d = 20$ см. На каком расстоянии L_1 от объектива должен находиться объект, чтобы окончательное изображение получилось на расстоянии $L_2 = 25$ см от глаза (что является минимальным расстоянием ясного зрения)? Какое при этом получится линейное увеличение α ?

1.8. На дне сосуда с водой лежит плоское зеркало. Толщина слоя воды 16 см. На расстоянии 20 см от поверхности воды находится точечный источник света. На каком расстоянии от зеркала находится его изображение, образуемое лучами, вышедшими обратно из воды? Показатель преломления воды $n_0 = 4/3$.

1.9. За рассеивающей линзой с фокусным расстоянием $f = 11$ см расположено вогнутое сферическое зеркало. Эта система отражает лучи, параллельные главной оптической оси линзы, точно в обратном направлении. Определите радиус кривизны зеркала R , если расстояние между линзой и зеркалом $d = 6$ см.

1.10. (1.37) Галилеева труба 9-кратного увеличения имеет длину 40 см. После того как объектив и окуляр трубы заменили собирающими линзами, труба стала давать то же увеличение. Определить фокусные расстояния f'_1 и f'_2 этих линз, а также фокусные расстояния f_1 и f_2 объектива и окуляра галилеевой трубы.

2 Интерференция волн. Временная когерентность

0

2.1. Запишите уравнение распространяющейся в вакууме плоской монохроматической волны с частотой ω , волновой вектор которой ле-

жит в плоскости XU и составляет угол α с осью OX ($0 < \alpha < \pi/2$). Сделайте поясняющий чертёж (моментальный снимок) электромагнитной волны, на котором изобразите векторы электрического и магнитного полей, а также волновой фронт.

2.2. При освещении мыльной плёнки зелёным светом ($\lambda = 520$ нм) она кажется чёрной. Для какой минимальной толщины мыльной плёнки (показатель преломления $n = 1,33$) это возможно?

2.3. В интерференционном опыте по схеме Юнга используется источник света со средней длиной волны $\lambda = 600$ нм и шириной спектра $\Delta\lambda = 1$ нм. Оцените максимальное число интерференционных полос, которые можно наблюдать в этом опыте.

I

2.4. Пучки света с длиной волны $\lambda = 500$ нм, преломлённые каждой из половинок бипризмы Френеля, интерферируют между собой. При каком расстоянии между бипризмой и экраном на нём будут наблюдаться интерференционная картина максимального размера при нормальном падении света на боковую грань бипризмы? Расстояние между вершинами бипризмы $2a = 5$ см, показатель преломления материала бипризмы $n = 1,5$, преломляющий угол $\alpha = 10^{-3}$ рад. Определите ширину интерференционных полос и их число для этого случая.

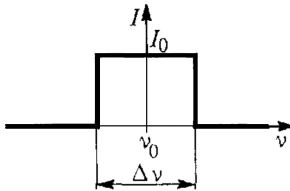


Рис. 4

2.5. (4.11) Определить видность V интерференционной картины в некотором интерферометре, использующем квазимонохроматический источник света, спектр излучения которого изображён на рис. 4. Как зависит видность V от ширины спектра $\Delta\nu$?

2.6. (3.25) Найти фокусное расстояние f плосковыпуклой линзы, применённой для получения колец Ньютона, если радиус третьего светлого кольца равен 1,1 мм, $n = 1,6$, $\lambda = 589$ нм. Кольца наблюдаются в отражённом свете.

II

2.7. (4.2) Найти разность длин волн D -линий Na, если известно, что резкость интерференционной картины, наблюдаемой в интерферометре с двумя лучами, минимальна у 490-й, 1470-й и т.д., а максимальна у 1-й, 980-й и т.д. полос. Средняя длина волны D -линий $\lambda = 5893$ Å.

2.8. (3.11) Из линзы с фокусным расстоянием $f = 50$ см вырезана центральная часть шириной a , как показано на рис. 5.

Обе половины линзы сдвинуты до соприкосновения. По одну сторону линзы помещён точечный источник монохроматического света ($\lambda = 600$ нм). С противоположной стороны линзы помещён экран, на котором наблюдаются полосы интерференции. Расстояние между соседними светлыми полосами $\Delta x = 0,5$ мм и не изменяется при перемещении экрана вдоль оптической оси. Найти a .

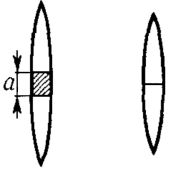


Рис. 5

2.9. (3.27) Плоскопараллельная стеклянная пластинка лежит на одной из поверхностей двояковыпуклой линзы. При наблюдении колец Ньютона в отражённом свете натриевой горелки ($\lambda = 5890$ Å) найдено, что радиус тёмного кольца порядка $m = 20$ (центральному кольцу соответствует $m = 0$) равен $r_1 = 2$ мм. Когда пластинка была положена на другую поверхность линзы, радиус тёмного кольца того же порядка сделался равным $r_2 = 4$ мм. Определить фокусное расстояние линзы, если показатель преломления стекла, из которого она изготовлена, $n = 1,5$.

2.10. С целью уменьшения доли отражённого света от поверхности стекла на неё наносят тонкую плёнку, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла (просветление оптики). Белый свет (длина волны от 400 нм до 700 нм) падает нормально на нанесённую на стекло плёнку. Показатель преломления плёнки $n = 4/3$, её толщина $h = 600$ нм. На каких длинах волн отражённый свет максимально ослабляется?

2.11. (4.10) Интерференционные полосы равной толщины наблюдаются на воздушном клине между двумя стеклянными пластинками с углом при вершине $\alpha = 1'$. Полосы получаются в свете зелёной линии ртути с длиной волны $\lambda = 546,1$ нм и шириной $\Delta\lambda = 1$ нм. Определить: 1) расстояние Δx между двумя соседними полосами; 2) максимальное количество полос N , которые можно было бы видеть на клине, если бы его размеры не были ограничены; 3) расстояние x последней наблюдаемой полосы от вершины клина и толщину h клина в этом месте.

3 Интерференция волн. Пространственная когерентность

0

3.1. На рис. 6 приведена интерференционная схема Юнга для протяженного источника. Выразить через углы Ω , Ψ , α : Λ — ширину интерференционной полосы на экране, $r_{\text{ког}}$ — радиус пространственной когерентности, b_{max} — максимально допустимый размер источника для наблюдения интерференционной картины при заданных остальных параметрах.

3.2. а) Запишите условие наблюдения интерференции при использовании протяжённого квазимонохроматического источника с длиной волны λ . Размер источника b , апертура интерференции Ω . б) Дайте определение радиуса пространственной когерентности.

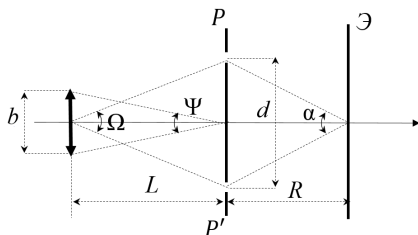


Рис. 6

3.3. На экран с двумя узкими параллельными щелями падают лучи непосредственно от Солнца. При каком расстоянии D между щелями могут наблюдаться интерференционные полосы? Угловой диаметр Солнца $\alpha \approx 0,01$ рад.

I

3.4. (5.3) Изображение Солнца получено при помощи линзы с фокусным расстоянием $f = 50$ мм на отверстии экрана (размер отверстия равен величине изображения). За экраном помещены две узкие параллельные щели на расстоянии $D = 1$ мм друг от друга. При каком расстоянии L между экраном и щелями могут наблюдаться интерференционные полосы? Угловой диаметр Солнца $\alpha \approx 0,01$ рад.

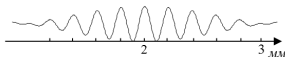


Рис. 7

3.5. На рис. 7 показана часть симметричного распределения интенсивности в интерференционной картине от двух щелей (аналог опыта Юнга). Длина волны используемого света $\Delta\lambda \approx 0,5$ мкм. Оценить: 1) угловое расстояние между щелями относительно центра экрана; 2)

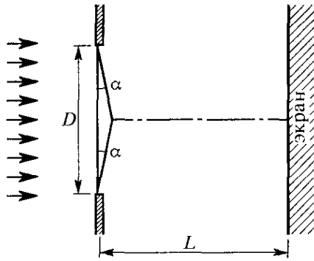


Рис. 8

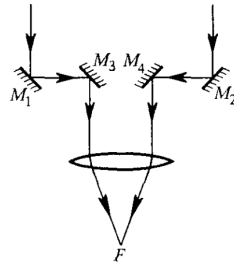


Рис. 9

степень монохроматичности используемого света; 3) длину когерентности.

3.6. (5.19) Параллельный пучок света от удалённого источника с длиной волны $\lambda = 500$ нм падает на бипризму с преломляющим углом $\alpha = 10^{-2}$ рад и шириной $D = 2$ см, выполненную из стекла с показателем преломления $n = 1,5$ (рис. 8). 1) На каком расстоянии L от бипризмы следует расположить экран, чтобы на нем можно было наблюдать максимально возможное число интерференционных полос? 2) Оценить допустимую немонохроматичность $\Delta\lambda$ света, необходимую для наблюдения всех полос. 3) Оценить допустимый угловой размер ψ источника в этом интерференционном опыте.

II

3.7. (5.18) На рис. 9 изображена схема установки Майкельсона, предназначенной для измерения угловых диаметров звёзд. Зеркала M_1, M_2, M_3, M_4 направляют в объектив телескопа два пучка света, интерферирующие друг с другом в фокальной плоскости объектива. При измерении углового диаметра гигантской красной звезды Бетельгейзе Майкельсон нашёл, что интерференционные полосы исчезли, когда расстояние между внешними зеркалами M_1 и M_2 равнялось 306,5 см. Считая, что эффективная длина волны света от Бетельгейзе равна 575 нм, вычислить угловой диаметр этой звезды ψ .

3.8. (5.1) Найти видность V интерференционной картины в опыте Юнга при использовании протяжённого источника света. Размер источника света b , расстояние от источника до экрана со щелями L , расстояние между щелями d . Средняя длина волны $\lambda = 500$ нм.

3.9. (5.13) С помощью зрительной трубы, установленной на бесконечность, наблюдают интерференционные полосы в тонкой плоскопараллельной стеклянной пластинке толщиной $h = 0,2$ мм с показателем преломления $n = 1,41$; при этом угол наблюдения φ может изменяться

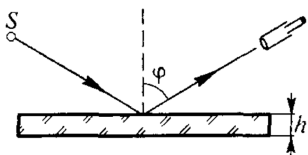


Рис. 10

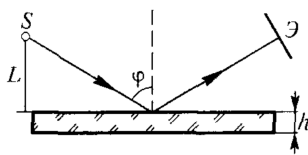


Рис. 11

от 0 до 90° (рис. 10). Найти максимальный и минимальный порядок интерференционных полос. Оценить допустимую некогерентность $\Delta\lambda$ источника, при которой будут достаточно чётко наблюдаться все интерференционные полосы. Каков допустимый размер источника света в этом интерференционном эксперименте? Используется зелёный свет с длиной волны $\lambda = 560$ нм.

3.10. (5.12) Источник света S расположен на расстоянии $L = 1$ м от тонкой слюдяной пластинки толщиной $h = 0,1$ мм с показателем преломления $n = 1,4$ (рис. 11). На таком же расстоянии от пластинки расположен небольшой экран \mathcal{E} , ориентированный перпендикулярно отражённым лучам, на котором наблюдаются интерференционные полосы. Угол $\varphi = 60^\circ$. Найти порядок m интерференционной полосы в центре экрана и ширину $\Delta\ell$ интерференционных полос. Оценить допустимый размер b и допустимую монохроматичность $\Delta\lambda$ источника. Используется зелёный свет с длиной волны $\lambda = 560$ нм.

4 Дифракция Френеля. Зонные пластинки

0

4.1. Дайте математическую формулировку принципа Гюйгенса—Френеля.

4.2. (6.1) Какова интенсивность света J в центре дифракционной картины от круглого экрана, если он закрывает первую зону Френеля? Интенсивность света в отсутствие экрана равна J_0 .

4.3. Зонная пластинка содержит 10 прозрачных нечётных зон Френеля. Во сколько раз интенсивность света в фокусе пластинки превышает интенсивность падающего света?

I

4.4. Плоская световая волна с $\lambda = 1,20$ мм и интенсивностью I_0 падает нормально на круглое отверстие радиуса $R = 1,20$ мм. Найти интенсивность в центре дифракционной картины на экране, отстоящем на $b = 1,50$ м от отверстия.

4.5. (6.20) В плоскопараллельной стеклянной пластинке с показателем преломления n , на которую нормально падает плоская волна, вырезано круглое отверстие размером в одну зону Френеля для некоторой точки P , лежащей на оси системы. Определить, при какой толщине пластинки h интенсивность колебаний в точке P будет максимальной. Найти J_{\max} , если в отсутствие пластинки интенсивность равна J_0 . Длина волны падающего света равна λ .

4.6. (6.33) Точечный источник света и точка наблюдения P расположены симметрично на расстоянии $2L$ на оси круглого отверстия в непрозрачном экране. Отверстие оставляет открытой одну зону Френеля для точки P . Во сколько раз изменится интенсивность света в точке P , если к отверстию без нарушения осевой симметрии приложить тонкую линзу с фокусным расстоянием $f = L$?

II

4.7. (6.15) Яркий источник можно сфотографировать, поместив между ним и фотопластинкой гладкий непрозрачный шар. Объяснить явление. Диаметр шара $D = 40$ мм, расстояние от источника до шара $a = 12$ м, расстояние от шара до изображения $b = 18$ м, размер источника $y = 1$ мм. Определить размер изображения y . Будет ли изображение испорчено, если поверхность шара испещрена множеством неправильных царапин, глубина которых h порядка $0,1$ мм? Можно ли шар заменить диском?

4.8. (6.43) Линза с фокусным расстоянием $f = 50$ см и диаметром $D = 5$ см освещается параллельным монохроматическим пучком света с длиной волны $\lambda = 630$ нм. Найти, во сколько раз интенсивность волны J в фокусе линзы превышает интенсивность волны J_0 , падающей на линзу. Оценить размер b пятна в фокальной плоскости.

4.9. (6.31) Перед тонкой линзой с оптической силой $D = 2,5$ дптр расположен непрозрачный экран с круглым отверстием $r = 1,1$ мм. На экран параллельно оптической оси падает пучок света с длиной волны $\lambda = 550$ нм. Измеряется интенсивность света J_1 в фокусе линзы, после этого линзу убирают и вновь измеряют интенсивность света J_2 в той же точке. Найти отношение J_1/J_2 .

4.10. (6.44) Зонная пластинка с радиусом 1-й зоны Френеля $r_1 = 0,5$ мм помещена перед отверстием в экране диаметром $D = 1$ см. Пластинка освещается параллельным монохроматическим пучком света с длиной волны $\lambda = 500$ нм и интенсивностью J_0 . Определить интенсивность J волны в фокусе пластинки.

5 Дифракция Фраунгофера. Разрешающая способность оптических инструментов и спектральных приборов

0

5.1. Укажите, на каких расстояниях от отверстия радиуса r , освещённого монохроматическим пучком света с длиной волны λ , наблюдаются явления геометрической оптики, дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера.

5.2. Оцените угловую полуширину главного максимума в дифракционной картине Фраунгофера на щели ширины b , освещаемой параллельным пучком света с длиной волны λ .

5.3. Пользуясь решением для дифракции Фраунгофера на круглом отверстии, оцените угловую разрешающую способность телескопа, имеющего зеркало диаметром $D = 10$ м при наблюдении на длине волны $\lambda = 550$ нм.

5.4. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ падает на дифракционную решётку с периодом штрихов d . Найти угловые положения дифракционных максимумов в области дифракции Фраунгофера.

I

5.5. Плоская электромагнитная волна с длиной волны λ падает нормально на дифракционную решётку с N щелями. Ширина щели b , период решётки d . Дифракционная картина наблюдается на экране с помощью линзы с фокусным расстоянием F . Найти распределение интенсивности интерференционной картины на экране.

5.6. (7.39) Каково должно быть увеличение зрительной трубы для того, чтобы полностью использовать разрешающую способность её объектива?

5.7. (7.54) В фокальной плоскости объектива телескопа помещена фотопластинка. Освещённость изображения звезды на фотопластинке в $\alpha = 10$ раз меньше освещённости дневного неба. Во сколько раз надо увеличить диаметр объектива, чтобы освещённость изображения звезды на фотопластинке стала в $\beta = 10$ раз больше освещённости изображения неба?

II

5.8. (8.40) Свет от удалённого источника, угловой размер которого составляет $\psi = 10^{-3}$ рад, падает на дифракционную решётку. Оценить, какую максимальную разрешающую способность $(\lambda/\delta\lambda)_{\max}$ решётки можно получить в таких условиях.

5.9. (7.10) С самолёта, летящего на высоте $H = 5$ км, производится аэрофотосъёмка местности. Какими следует выбрать фокусное расстояние f и диаметр объектива D фотоаппарата, чтобы сфотографировать объекты размером $\ell \approx 2,5$ см на фотоплёнку с разрешающей способностью $n = 500$ штрих/мм? На какое время τ следует открывать затвор фотоаппарата (экспозиция), чтобы движение самолёта со скоростью $v = 360$ км/час не приводило к размытию изображения?

5.10. Источник света излучает в спектральном интервале $\Delta\lambda = 200$ нм со средней длиной волны $\lambda = 600$ нм. Требуется выполнить исследование спектрального состава излучения источника с высоким разрешением не хуже $\delta\lambda = 6 \cdot 10^{-3}$ нм. Для этой цели может быть использован спектрограф с дифракционной решёткой. В лаборатории имеются три высококачественные решётки, их параметры указаны в таблице, в которой n — число штрихов на миллиметр, b — ширина щели, L — полный размер решётки. Какую из этих решёток следует использовать для проведения указанных исследований?

| № | n , штр/мм | b , мкм | L , см |
|---|--------------|-----------|----------|
| 1 | 250 | 1 | 10 |
| 2 | 500 | 1,5 | 10 |
| 3 | 1000 | 0,7 | 10 |

5.11. На плоскую отражательную решётку, содержащую $N = 50000$, нормально падает свет от двойной линии натрия ($\lambda_1 = 5890$ Å, $\lambda_2 = 5896$ Å). Плотность штрихов $n = 5000$ штрих/мм. Какой максимальный порядок спектра m можно получить от такой решётки.

6 Дисперсия. Поляризация света. Элементы кристаллооптики

0

6.1. Найти групповую скорость электромагнитной волны $u = \frac{d\omega}{dk}$, если известна а) зависимость её фазовой скорости от длины волны

$v(\lambda)$, б) зависимость показателя преломления среды от длины волны $n(\lambda)$.

6.2. Найдите связь между фазовой v и групповой u скоростями для электромагнитных волн в ионосфере, закон дисперсии которой имеет вид $v = (c^2 + b^2\lambda^2)^{1/2}$, где c — скорость света в вакууме, λ — длина волны в среде, b — некоторая постоянная величина.

6.3. (11.3) Параллельный пучок света падает нормально на пластинку исландского шпата, вырезанную так, что оптическая ось лежит в плоскости пластинки. Определить разность хода Δ обыкновенного и необыкновенного лучей, прошедших через пластинку. Толщина пластинки равна 0,03 мм; показатель преломления обыкновенной волны $n_o = 1,658$, необыкновенной $n_e = 1,486$.

6.4. Свет с длиной волны $\lambda = 625,5$ нм с круговой поляризацией падает нормально на пластинку из предыдущей задачи. Какую поляризацию будет иметь свет после прохождения пластинки?

I

6.5. Показатель преломления ионосферы для радиоволн с частотой $\nu = 10$ МГц равен $n = 0,9$. Найти концентрацию N электронов в ионосфере, а также фазовую v и групповую u скорости для этих радиоволн. Волны каких частот могут проходить через ионосферу при распространении волны вверх, а какие будут полностью отражаться?

6.6. Имея в виду, что для достаточно жёсткого рентгеновского излучения электроны вещества можно считать свободными, определить, на сколько отличается от единицы показатель преломления графита для рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 50$ пм (в вакууме). Плотность графита $\rho = 1,6$ г/см³, число электронов в атоме $Z = 6$.

6.7. Линейно-поляризованный световой пучок падает на поляризатор, плоскость пропускания которого вращается с угловой скоростью ω . Найти интенсивность света J , выходящего из поляризатора, если интенсивность в падающем пучке равна J_0 .

II

6.8. (11.16) Смесь света, поляризованного по кругу, и естественного рассматривается через кристаллическую пластинку в четверть волны и николю. При вращении николя вокруг оси светового пучка найдено, что максимальная интенсивность света, прошедшего через систему в $m = 3$ раза, превосходит минимальную интенсивность. Найти отношение интенсивности света J_k , поляризованного по кругу, к интенсивности естественного света J_e .

6.9. Свет проходит через систему из двух скрещенных поляризаторов, между которыми расположена кварцевая пластинка. Её оптическая ось составляет угол 45° с плоскостями поляризаторов. При какой минимальной толщине пластинки свет с длиной волны $\lambda_1 = 643$ нм будет проходить сквозь эту систему с максимальной интенсивностью, а свет с $\lambda_2 = 564$ нм будет практически задержан, если для обеих длин волн $n_e - n_o = 0,009$?

6.10. (10.5) Вычислить групповую скорость u для различных законов дисперсии (v – фазовая скорость):

1. $v = a$ ($a = \text{const}$) — недиспергирующая среда, например звуковые волны в воздухе;
2. $v = a\sqrt{\lambda}$ — волны на поверхности глубокого водоёма, вызываемые силой тяжести (гравитационные волны);
3. $v = a/\sqrt{\lambda}$ — волны на поверхности воды при наличии поверхностного натяжения (капиллярные волны);
4. $v = a/\lambda$ — поперечные колебания стержня;
5. $v = c\omega/\sqrt{\omega^2\varepsilon - c^2\alpha^2}$ — электромагнитные волны в прямолинейном волноводе, заполненном диспергирующей средой с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$ (c — скорость света в вакууме, α — постоянная, зависящая от размеров и формы поперечного сечения волновода).

6.11. (11.1) Найти наименьшую толщину d пластинки кварца, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий плоско поляризованный свет выходил поляризованным по кругу ($n_e = 1,5533$, $n_o = 1,5442$, $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см).

ОТВЕТЫ

▷ **1.1.** $D_2 = +1,4$ дптр. **1.2.** 13 см. **1.4.** $n = 1,6$. **1.5.** $\sin \varphi = \sqrt{n_1^2 - n_0^2} \approx 0,12$. **1.6.** $\Delta L = 0,5$ см. **1.7.** $L_1 = 1,06$ см, $\alpha = 153$. **1.8.** 28 см. **1.9.** $R = 17$ см. **1.10.** $f'_1 = 36$ см; $f'_2 = 4$ см; $f_1 = 45$ см; $f_2 = 5$ см.

▷ **2.2.** 195 нм. **2.3.** ~ 1200 . **2.4.** $L = 12,5$ м, $\Delta x = 0,5$ мм, $N = 50$. **2.5.** $V(d) = \left| \frac{\sin(\pi d \Delta \nu / c)}{\pi d \Delta \nu / c} \right|$, где d — разность хода. **2.6.** 137 см. **2.7.** $\Delta \lambda = 6$ Å. **2.8.** $a = f \lambda / \Delta x = 0,6$ мм. **2.9.** $f = \frac{r_1^2 r_2^2}{r_1^2 + r_2^2} \frac{1}{(n-1)m \lambda} = 54$ см. **2.10.** 457 нм и 640 нм. **2.11.** $\Delta x = 0,94$ мм, $N \approx 54600$, $x \approx 51,3$ м, $h \approx 14,9$ см.

▷ **3.3.** $D, \lambda / \alpha \approx 0,05$ мм. **3.4.** $l > f D \alpha / \lambda \approx 100$ см. **3.5.** 1) $\psi \approx \lambda / \Delta x = 2,5 \cdot 10^{-3}$, где $\Delta x = 0,2$ мм; 2) $\lambda / \Delta \lambda \approx m = 8$; 3) $\ell_{\text{кор}} \approx m \lambda = 4,0$ мкм. **3.6.** 1) $L = \frac{D}{4\alpha(n-1)} = 1$ м, $\Lambda = 5 \cdot 10^{-3}$ см. 2) $\Delta \lambda = 5$ нм, 3) $\psi \leq 2\lambda / D = 5 \cdot 10^{-5}$. **3.7.** $\psi \approx 2 \cdot 10^{-7}$ рад. **3.8.** $V(b) = \left| \frac{\sin \xi}{\xi} \right|$, где $\xi = \frac{\pi b d}{\lambda R_0}$. **3.9.** $m_{\min} \approx 720$, $m_{\max} \approx 1000$, $\Delta \lambda \leq 0,5$ нм, любые размеры. **3.10.** $m = 360$, $b \approx 2,8$ см, $\Delta \lambda \approx 1,6$ нм.

▷ **4.2.** $J = J_0$. **4.3.** 40. **4.4.** $I = 2I_0$. **4.5.** $h = \frac{(2m+1)\lambda}{2(n-1)}$, $m = 0, 1, 2, \dots$; $J_{\max} = 9J_0$. **4.6.** Увеличится в 2 раза. **4.7.** $y' = by/a = 10,5$ мм. **4.8.** $J/J_0 = \left(\frac{\pi D^2}{4f\lambda} \right)^2 \approx 3,9 \cdot 10^7$, $b \approx 2\lambda f / D = 10^{-3}$ см. **4.9.** $J_1/J_2 = (m\pi)^2/2 \approx 150$, где $m = r^2 D / \lambda = 5,5$. **4.10.** $J/J_0 = m^2 = 10^4$.

▷ **5.6.** $\Gamma \geq D/d$. **5.7.** В $\sqrt{\alpha\beta} = 10$ раз. **5.8.** $R_{\max} \approx 1/\psi = 10^3$. **5.9.** $f \geq 40$ см, $D \geq 10$ см, $\tau \approx 2,5 \cdot 10^{-3}$ с. **5.10.** №=3 **5.11.** $m = 3$.

▷ **6.1.** а) $u = v(k) + k \frac{dv}{dk} = v(\lambda) - \lambda \frac{dv}{d\lambda}$, б) $u = \frac{c}{n} \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda} \right)$. **6.2.** $vu = c^2$. **6.3.** 5,16 мкм. **6.4.** Линейную, под углом $\pi/4$ к оси кристалла. **6.5.** $N = \frac{(1-n^2)m\omega^2}{4\pi e^2} = 2,4 \cdot 10^3$ см $^{-3}$, $v = 3,3 \cdot 10^{10}$ см/с, $u = 2,7 \cdot 10^{10}$ см/с, проходят волны с частотой, большей $\nu_0 = \sqrt{1-n^2}\nu = 4,3$ МГц. **6.6.** $n-1 = -\frac{b\lambda^2}{8\pi^2 c^2} = -5,4 \cdot 10^{-7}$, где $b = \frac{N_A \rho Z e^2}{A \epsilon_0 m_e}$. **6.7.** $J = J_0/2$. **6.8.** $J_k/J_e = (m-1)/2 = 1$. **6.9.** $h_{\min} = \frac{7\lambda_1}{2(n_e - n_o)} = 0,25$ мм. **6.10.** 1) $u = v$, 2) $u = v/2$, 3) $u = \frac{3}{2}v$, 4) $u = 2v$, 5) $u = \frac{c^2}{v \epsilon + \omega \frac{d\epsilon}{d\omega}}$. **6.11.** $d = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)} = 0,014$ мм.