

УТВЕРЖДЕНО  
Проректор по учебной работе  
и довузовской подготовке  
А.А. Воронов  
9 января 2019 года

## ПРОГРАММА

по дисциплине: Общая физика: оптика  
по направлению подготовки: 03.03.01 «Прикладные математика и физика»  
физтех-школа: для всех физтех-школ  
кафедра: общей физики  
курс: 2  
семестр: 4

Трудоёмкость:

теор. курс: базовая часть – 4 зачет. ед.:

физ. практикум: базовая часть – 3 зачет. ед.:

лекции – 30 часов

практические (семинарские)

занятия – 30 часов

лабораторные занятия – 60 часов

Экзамен – 4 семестр

Диф. зачёт – 4 семестр

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ – 120

Самостоятельная работа:

теор. курс – 90 часов

физ. практикум – 75 часов

Программу и задание составили:

д.ф.-м.н., проф. Г.Р. Локшин  
д.ф.-м.н., проф. Ю.Р. Аланакян  
к.ф.-м.н., доц. В.А. Петухов  
к.ф.-м.н., доц. К.М. Крымский  
к.ф.-м.н., доц. Л.М. Колдунов  
к.ф.-м.н., доц. С.В. Виноградов  
к.ф.-м.н., доц. Ю.Н. Филатов

Программа принята на заседании кафедры  
общей физики 4 декабря 2018 г.

Заведующий кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор

А. В. Максимычев

## ОПТИКА

1. Геометрическая оптика. Принцип Ферма, законы преломления и отражения, граничные условия, формулы Френеля, угол Брюстера. Геометрические абберации. Современные применения геометрической оптики в пределе коротких длин волн: рентгеновская микроскопия, проекционная рентгеновская литография, рентгеновская астрономия, микроанализ с пространственным разрешением. Элементы фотометрии.

2. Волновая оптика. Волновое уравнение, монохроматические волны, комплексная амплитуда, уравнение Гельмгольца, плоские и сферические волны, показатель преломления, фазовая скорость распространения, комплексная диэлектрическая проницаемость и комплексный показатель преломления, связь мнимой части с поглощением света средой. Нерелятивистский эффект Доплера, поиск экзопланет.

3. Дисперсия показателя преломления, классическая теория дисперсии, нормальная и аномальная дисперсии. Затухающие волны, закон Бугера. Показатель преломления плазмы. Радиоволны в ионосфере и дальняя радиосвязь. Метаматериалы – среды с отрицательными  $\epsilon$  и  $\mu$ , достижения в создании метаматериалов. Групповая скорость. Различные диапазоны длин волн, их особенности.

4. Принцип суперпозиции и интерференция монохроматических волн. Видность полос, ширина полосы. Просветление оптики. Статистическая природа излучения квазимонохроматической волны. Временная когерентность, функция временной когерентности, связь со спектральной интенсивностью (теорема Винера–Хинчина) и с видностью. Ограничение на допустимую разность хода в двухлучевых интерференционных схемах, соотношение неопределенностей.

5. Интерференция при использовании протяженных источников. Пространственная когерентность, радиус когерентности, функция пространственной когерентности, связь с распределением интенсивности излучения по источнику  $I(x)$  (теорема Ван Циттерта–Цернике). Ограничения на допустимые размеры источника и апертуру интерференции в двухлучевых схемах. Лазеры как источники излучения с высокой временной и пространственной когерентностью.

6. Дифракция волн. Принцип Гюйгенса–Френеля. Дифракция на тонком экране. Граничные условия Кирхгофа. Волновой параметр. Дифракция Френеля. Задачи с осевой симметрией, зоны Френеля, спираль Френеля. Зонные пластинки, линза. Использование зонных пластинок для фокусировки рентгеновского излучения. Дифракция на дополнительном экране, пятно Пуассона. Дифракция на системе дополнительных экранов, теорема Бабинэ. Дифракция на краю, спираль Корню.

7. Дифракция Фраунгофера. Световое поле в зоне Фраунгофера как преобразование Фурье граничного поля. Дифракция Фраунгофера на щели, дифракционная расходимость. Дифракционный предел разрешения телескопа и микроскопа. Поле в фокальной плоскости линзы, поперечные и продольные размеры фокального пятна.

8. Спектральные приборы: призма, дифракционная решётка, интерферометр Фабри–Перо. Характеристики спектральных приборов: разрешающая способность, область дисперсии, угловая дисперсия. Интерференция в тонких пленках и многослойных структурах, зеркала с высоким коэффициентом отражения. Искусственные многослойные структуры для отражения мягкого рентгеновского излучения. Радиотехнические аналоги дифракционных решеток.

9. Принципы фурье-оптики. Метод Рэлея решения задачи дифракции: волновое поле как суперпозиция плоских волн разных направлений (пространственное фурье-разложение), соотношение неопределённости. Дифракция Френеля на периодических структурах (эффект саморепродукции). Теория Аббе формирования оптического изображения, принцип двойной дифракции. Апертура, полоса пропускания пространственных частот оптической системы, связь с разрешающей способностью. Разрешающая способность при когерентном и некогерентном освещении.

10. Принципы голографии. Голограмма Габо́ра. Голограмма с наклонным опорным пучком. Разрешающая способность голограммы. Условие Брэгга–Вульфа. Объёмная голограмма, объёмная решётка в регистрирующей среде. Представление о голографической микроскопии биообъектов и голографической интерферометрии.

11. Кристаллооптика: поляризация света. Естественный свет. Дихроизм, поляроиды, закон Малюса. Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах, разложение волны на обыкновенную и необыкновенную. Взаимная ориентация векторов  $k$ ,  $E$ ,  $D$ ,  $B$ , направление вектора Пойнтинга, боковой снос световых пучков в кристаллах. Интерференционные явления в кристаллических пластинках. Понятие об искусственной анизотропии. Эффекты Фарадея, Керра и Поккельса и их применение.

12. Распространение электромагнитных волн в волноводах и световодах. Градиентные световоды и световоды с резким изменением показателя преломления. Допустимая угловая апертура. Типы волн. Одномодовые и многомодовые световоды. Применение для высокоскоростной связи. Область нулевой дисперсии.

13. Рассеяние света. Эффективное сечение рассеяния, диаграмма направленности, их зависимость от длины волны и от размера рассеивающих частиц, Рэлеевское рассеяние (рассеяние на флуктуациях плотности). Поляризация рассеянного света. Рэлеевское рассеяние как главная причина затухания световой волны в световодах.

14. Нелинейные оптические явления. Нелинейная поляризация среды. Оценки интенсивности световой волны, при которых наблюдаются нелинейные эффекты, исходя из значений внутриатомных полей. Наведенное двулучепреломление. Генерация второй гармоники, фазовый синхронизм. Симметричные соображения, невозможность генерации второй гармоники в средах с центром инверсии. Самофокусировка, критическая мощность самофокусировки, мелкомасштабная самофокусировка.

## Литература

### Основная

1. Кингсен А.С., Локишин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Т. I, ч. III, гл. 6–11. – М.: Физматгиз, 2001.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. Т. IV. – М.: Наука, 1985.
3. Бутиков Е.И. Оптика. – М.: Высшая школа, 1986.
4. Ахманов С.А. Никитин С.Ю. Физическая оптика. – Издательство МГУ, Наука, 2004.

### Дополнительная

1. Горелик Г.С. Колебания и волны. – М.: Физматлит, 1959, 2007.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2003.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973.
4. Козел С.М., Листвин В.И., Локишин Г.Р. Введение в когерентную оптику и голографию: учебно-метод. пособие. – М.: МФТИ, 2000.
- 5.Р. Кольер, Оптическая голография, М. Мир, 1973
6. Крымский К.М. Абберрации центрированных оптических систем – теория и расчёт: учебное пособие.- М.:МФТИ, 2015.

## ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ

### для студентов 2-го курса

на весенний семестр 2018/2019 учебного года

Дата	№ сем	Тема семинарских занятий	Задачи	
			1 гр.	2 гр.
04.02 – 10.02	<b>1</b>	Принцип Ферма. Геометрическая оптика и элементы фотометрии. Оптические инструменты.	1.29, 1.22, 1.38, 1.56	1.15, П1, П2, П3
11.02 – 17.02	<b>2</b>	Распространение электромагнитных волн. Законы отражения, формулы Френеля. Поток энергии.	2.2, 2.23, 2.42, П4	2.1, 10.15, П5, 2.23
18.02 – 24.02	<b>3</b>	Дисперсия. Фазовая и групповая скорости.	10.8, 10.43, Т1 (10.75), Т2 (10.77)	10.4, 10.9, 10.21, 10.24
25.02 – 03.03	<b>4</b>	Интерференция монохроматических волн. Ширина полос.	3.5, 3.10, 3.18, 3.25	3.16, 3.11, 3.20, 3.35
04.03 – 10.03	<b>5</b>	Немонохроматический свет, временная когерентность. Интерференция волн при использовании протяжённых источников. Пространственная когерентность	4.3, 4.10 (1,2,3), 5.9, Т3 (5.32)	4.9, 4.11, 5.13, Т4 (7.73)

11.03 – 17.03	<b>6</b>	Дифракция Френеля, зонные пластинки.	6.15, 6.20, T5 (6.59), 6.43	6.16, 6.31, 6.50, T6 (6.64)
18.03 – 24.03	<b>7</b>	Дифракция Фраунгофера. Разрешающая способность оптических инструментов.	7.16, 7.48, 7.54, T7 (7.83)	7.10, 7.53, 7.59, T8 (7.33)
25.03 – 31.03	<b>8</b>	Разрешающая способность спектральных приборов.	8.2, 8.39, 8.61, 8.80	8.37, 8.41, 8.47, T9 (8.137)
01.04 – 07.04	<b>9</b>	Контрольная работа по группам.		
08.04 – 14.04	<b>10</b>	Разбор контрольной работы. Сдача 1-го задания.		
15.04 – 21.04	<b>11</b>	Дифракция на синусоидальных решётках. Пространственное фурье-преобразование.	9.1, 9.15, 9.22, 9.26	9.11, 9.17, 9.28, T10 (9.79)
22.04 – 28.04	<b>12</b>	Элементы фурье-оптики и голографии.	9.32, 9.35, 9.45, 9.52	9.33, 9.36, 9.40, T11 (9.78)
29.04 – 05.05	<b>13</b>	Поляризация света. Элементы кристаллооптики.	11.9, 11.16, 11.21, 11.54	11.13, 11.60, 11.80, T12(11.121)
06.05 – 12.05	<b>14</b>	Распространение света в веществе. Элементы нелинейной оптики.	11.88, 11.89, T15(11.126), T13(11.125)	10.35, 11.90, 11.121, T14(11.128)
13.05 – 19.05	<b>15</b>	Сдача 2-го задания.		
20.05 – 26.05	<b>16</b>	Зачёт.		

### Примечание

Номера задач указаны по «Сборнику задач по общему курсу физики. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Оптика / под ред. В.А. Овчинкина (4-е изд., испр. и доп.). – М.: Физматкнига, 2017».

Все задачи обязательны для сдачи задания. В каждой теме семинара задачи разбиты на 3 группы:

- 0** — задачи для самостоятельного решения студентами к предстоящему семинару. При необходимости эти задачи разбираются на семинаре.
- I** — задачи, рекомендованные для обсуждения на семинаре. Преподаватель на семинарах может разбирать и/или другие задачи по своему выбору.
- II** — задачи для самостоятельного решения студентами.

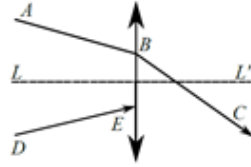
Решения задач 1 и 2 групп студент должен иметь в своей тетради при сдаче задания.

## Контрольные задачи и вопросы к семинарам (задачи группы 0)

### Семинар 1

1. Задача 1.4.

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



3. Положительной линзой с фокусным расстоянием  $F$  создается изображение объекта на экране. Какому условию должно удовлетворять расстояние от объекта до экрана, чтобы это было возможно?

### Семинар 2

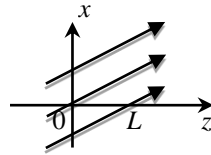
1. Используя постоянство потока энергии, переносимой волной в непоглощающей среде, установить характер зависимости интенсивности и амплитуды цилиндрической волны от расстояния  $r$  до оси  $z$ , вдоль которой расположен источник волны.

2. Выразить интенсивность плоской электромагнитной волны, распространяющейся в немагнитной среде с показателем преломления  $n$ , через амплитуду вектора напряженности электрического поля волны  $E_0$ .

3. Совпадают ли в пространстве координаты узлов и пучностей векторов  $H$  и  $E$  в плоской стоячей электромагнитной волне? Совпадают ли в пространстве в произвольный момент времени координаты максимумов и минимумов векторов  $H$  и  $E$  в плоской бегущей электромагнитной волне?

### Семинар 3

1. Параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda$  распространяется в плоскости  $xz$  под углом  $\alpha$  к оси  $z$ . Найти разность фаз между колебаниями в точках  $z = 0$  и  $z = L$ , лежащих на оси  $z$  (см. рис.).



2. Задача 10.2.

3. Найти закон дисперсии  $\omega(k)$  электромагнитной волны в плазме с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon(\omega) = 1 - \omega_p^2/\omega^2$ , где  $\omega_p$  — плазменная частота,  $k$  — волновое число.

### Семинар 4

1. На тонкую пленку с показателем преломления  $n$  падает пучок белого света под углом  $\theta$  к нормали. При какой минимальной толщине  $b_{\min}$  и в какой цвет будет окрашена пленка в отраженном свете?

2. Найдите аперттуру интерференции в опыте с бипризмой с преломляющим углом  $\alpha$  и показателем преломления  $n$ , если источник и плоскость наблюдения расположены на одинаковых расстояниях от бипризмы.

3. Задача 3.3

## Семинар 5

1. В интерференционном опыте используется источник света с длиной волны  $\lambda$  и шириной спектра  $\Delta\lambda$ . Оцените число интерференционных полос  $m_{max}$ , которые можно наблюдать в этом опыте.
2. Задача 4.2
3. Задача 5.3

## Семинар 6

1. Найти положение максимумов интенсивности на оси за круглым отверстием радиуса  $r$  в экране, освещаемом нормально падающей плоской волной с длиной волны  $\lambda$ .
2. На ирисовую диафрагму с переменным радиусом отверстия  $R$ , расположенную на расстоянии  $L$  от экрана, падает свет с длиной волны  $\lambda$ . Диафрагму постепенно открывают, начиная с  $R \approx 0$ . При каком радиусе  $R$  интенсивность света в центре экрана впервые обратится в ноль?
3. Задача 6.1.

## Семинар 7

1. Задача 7.5
2. Через маленькое отверстие проходит монохроматический пучок света и создает на экране дифракционную картину Фраунгофера. Во сколько раз изменится интенсивность света в центре экрана и энергия света, проходящего через отверстие, если увеличить диаметр отверстия вдвое?
3. Плоская световая волна дифрагирует на щели с шириной, существенно превышающей длину волны. Оценить отношение интенсивностей нулевого и первого дифракционных максимумов.

## Семинар 8

1. Задача 8.1.
2. Дифракционная решётка с периодом  $d$  имеет размер  $D$  в направлении, перпендикулярном штрихам. Ширина прозрачных штрихов решётки равна половине периода. Определить разрешающую способность решётки в спектре 1-го порядка.
3. На дифракционную решетку, имеющую  $N = 100$  штрихов/мм, нормально падает свет от желтого дублета натрия ( $\lambda_1 = 5890 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_2 = 5896 \text{ \AA}$ ). Найти угловое расстояние между максимумами  $\delta\varphi$  во втором порядке ( $m = 2$ ).

## Семинар 11

1. Волновой вектор плоской волны с длиной волны  $\lambda$  направлен под углом  $\alpha$  к оси  $z$  и лежит в плоскости  $xz$ . Запишите распределение комплексной амплитуды волны и интенсивности в плоскости  $z = 0$ .
2. Решётка освещается нормально падающей плоской монохроматической волной с амплитудой  $A$ . Укажите пространственные частоты и амплитуды плоских волн за дифракционной решёткой, прозрачность которой  $\tau(x) = a \cos^2(\Omega x)$ .

3. Оцените ширину пространственного спектра плоских волн  $\Delta u$  при дифракции плоской монохроматической волны на щели шириной  $\Delta x$ .

### Семинар 12

1. Точечный источник с длиной волны  $\lambda$  расположен в начале координат. Пользуясь параболическим приближением, найти распределение комплексной амплитуды и интенсивности в плоскости  $x = L$ .

2. Нарисуйте схему Габора записи голограммы. В чём состоит основной недостаток голограммы, записанной по этой схеме?

3. Почему при получении голографических изображений объёмных объектов практический интерес представляют только мнимые изображения? Поясните ответ с помощью схематического рисунка.

### Семинар 13

1. Задача 11.7.
2. Задача 11.17.
3. Задача 11.1.

### Семинар 14

1. Лазерный пучок проходит сквозь слабопоглощающую жидкость. Каков знак возникающей в жидкости линзы?

2. Как будут разворачиваться молекулы жидкости с разной поляризуемостью по разным осям в поле световой волны: максимальной поляризуемостью по направлению вектора  $E$  или перпендикулярно? Ответ обосновать.

3. Найти коэффициент пропускания света слоем воздуха толщиной 8 км и плотностью, равной плотности атмосферы вблизи поверхности Земли, для двух длин волн:  $\lambda = 400$  нм (фиолетовый свет) и 650 нм (красный свет) (применить формулу Рэлея).

### **Текстовые задачи**

**T1 (10.75).** При изучении ионизированной оболочки Земли — ионосферы — применяется метод дисперсионного интерферометра. С космического зонда, падающего вертикально вниз в гравитационном поле Земли со скоростью  $v = 1$  км/с два передатчика излучают радиоволны на частотах  $f_1 = 30$  МГц и  $f_2 = 3f_1 = 90$  МГц (в системе отсчёта зонда). Приёмник, расположенный в точке падения зонда на Землю, принимая и обрабатывая сигналы, измеряет приведенную разность частот  $\Delta f = |f'_2 - 3f'_1|$ , где  $f'_1$  и  $f'_2$  — частоты сигналов, принятые от первого и второго передатчика соответственно. Определить концентрацию электронов  $N_e$  в ионосфере, если  $\Delta f = 5$  Гц. Для исследуемого участка ионосферы можно считать, что  $2\pi f_1 \gg \omega_{пл}$ , где  $\omega_{пл}$  — плазменная частота. Считать, что за время регистрации сигнала концентрация электронов в месте нахождения зонда практически не изменилась.



**T2 (10.77).** Короткий радиоимпульс длительности  $\tau = 0,2$  мкс на несущей частоте  $f_0 = 100$  МГц распространяется в ионосфере, критическая длина волны которой  $\lambda = 10$  м. Оцените дистанцию, которую импульс пробегает в ионосфере без заметного искажения формы огибающей.

**T3 (5.32).** Для наблюдения колец Ньютона в отражённом свете используется источник света с угловым размером  $\theta = 5 \cdot 10^{-2}$  рад, средней длиной волны  $\lambda = 450$  нм и шириной спектра  $\Delta\lambda = 9$  нм. Кольца наблюдают с помощью микроскопа, сфокусированного на верхнюю поверхность стеклянной пластинки, на которой лежит плосковыпуклая линза с радиусом кривизны выпуклой поверхности  $R = 5$  см. Какое максимальное число тёмных колец  $m_{max}$  можно увидеть в данных условиях? Оцените, при каком максимальном смещении  $\delta$  тубуса микроскопа по вертикали количество видимых колец ещё не будет уменьшаться? *Указание.* Для оценки можно пренебречь преломлением света на изогнутой поверхности линзы и считать, что в микроскоп наблюдается интерференция плоской волны, отражённой от пластинки, и сферической волны, отражённой от выпуклой поверхности линзы.

**T4 (7.73).** На рис. 1 изображена модифицированная схема опыта Юнга. Источником света служит щель шириной  $a$ , освещаемая протяжённым источником. Свет от щели падает параллельным пучком на экран с двумя щелями шириной  $b$  каждая, расположенными на расстоянии  $d$  друг от друга. Интерференционная картина наблюдается в фокальной плоскости второй линзы. Длина волны  $\lambda = 600$  нм, фокусные расстояния линз одинаковы:  $F_1 = F_2 = 20$  см. Зависимость интенсивности от угла наблюдения  $I(\varphi)$  изображена на рис. 2. Видность полос не зависит от угла и равна  $V(\varphi) \approx 0,64 \approx 2/\pi$ .

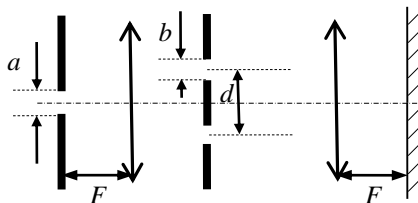
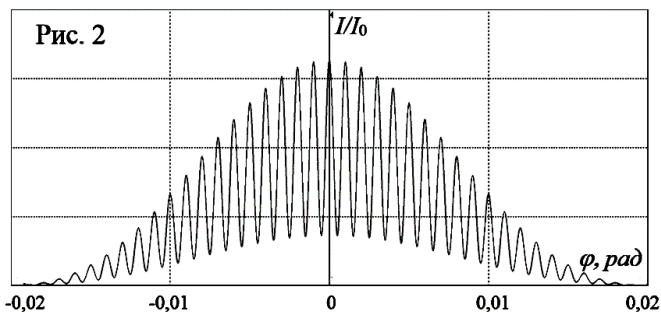
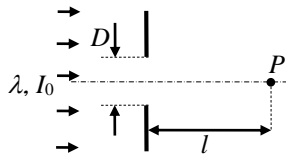


Рис. 1

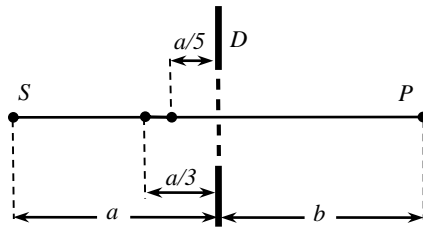


Определите 1) ширину  $b$  каждой из 2-х щелей, 2) расстояние  $d$  между щелями, 3) ширину щели  $a$ , 4) максимальную ширину щели  $a_{\max}$ , при которой ещё можно наблюдать интерференционные полосы, 5) максимально допустимую некогерентность источника  $\Delta\lambda$ , при которой можно наблюдать все интерференционные полосы, изображённые на рис. 2.

**T5 (6.59).** Наблюдается дифракция Френеля на оси круглого отверстия диаметром  $D = 0,5$  см. Точка наблюдения  $P$  находится на расстоянии  $l = 50$  см от плоскости экрана. Свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм и интенсивностью  $I_0$  падает на экран параллельным пучком. Как изменится интенсивность света в точке наблюдения, если к экрану вплотную соосно приложить линзу с оптической силой 1 дптр?



**T6 (6.64).** Амплитудная зонная пластинка Френеля для радиоволн с длиной волны  $\lambda = 3$  мм, состоящая из чередующихся прозрачных и непрозрачных зон Френеля, вставлена в отверстие в непрозрачном экране диаметром  $D = 30$  см. Точечный источник  $S$  радиоволн и точка наблюдения  $P$  расположены симметрично относительно экрана



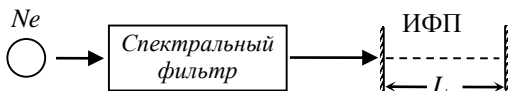
на расстояниях  $a = b = 150$  см (см. рис.). Радиусы зон Френеля пластинки рассчитаны именно для этого расположения точек  $S$  и  $P$ . Начальная интенсивность в точке  $P$  равна  $I_0$ . Определите интенсивности  $I_1, I_2$  в т.  $P$ , когда: 1) источник находится на расстоянии  $a_1 = a/3$  до экрана; 2) источник находится на расстоянии  $a_2 = a/5$  до экрана.

**T7 (7.83).** Линза диаметра  $D$  создаёт изображение точечных некогерентных источников  $S_1$  и  $S_2$ , находящихся друг от друга на пределе разрешения по Рэлю:  $\Delta x = 1,22\lambda z/D$  ( $z$  — расстояние между линзой и источниками). Известно, что при этом «провал» в суммарной картине интенсивности  $I(x)$  (в точке  $x = 0$  на оси оптической системы) составляет примерно 20% от максимальной интенсивности  $I_{\max}$  (т.е. от интенсивности в точках  $x_0$  и  $-x_0$ , где возникает «геометрическое» изображение источников):  $I_0 = 0,8I_{\max}$ . Как изменится отношение  $I(0)/I(x_0)$ , если заменить некогерентные источники когерентными, синфазно излучающими источниками, находящимися на том же расстоянии  $\Delta x$  друг от друга?

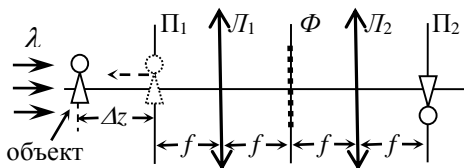
**T8 (7.33).** Оценить, во сколько раз изменится угловое разрешение телескопа, если центральную его часть закрыть непрозрачным экраном. Для простоты считать сечения объектива и экрана квадратными со сторонами

$D$  и  $d$  соответственно. Каково максимально возможное изменение разрешающей способности?

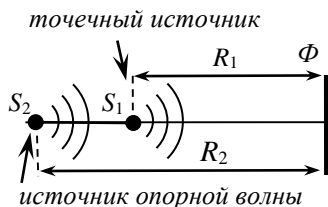
**Т9 (8.137).** Ширина спектральной линии неона с длиной волны  $\lambda = 633$  нм (на этой линии работает He–Ne лазер) равна  $\Delta\nu = 1,5 \cdot 10^3$  МГц. Для детального исследования контура этой линии предлагается использовать интерферометр Фабри–Перо, зеркала которого имеют энергетический коэффициент отражения  $r = 0,95$ . Какую максимальную базу  $L_{\max}$  может иметь интерферометр для того, чтобы с его помощью можно было исследовать контур спектральной линии неона во всём диапазоне  $\Delta\nu$ ? Какой при этом будет его максимальная разрешающая способность  $R_{\max}$ ?



**Т10 (9.79).** Если во входной плоскости  $\Pi_1$  оптической системы (см. рис.) расположить предмет, то в выходной плоскости  $\Pi_2$  изображение предмета оказывается сфокусированным, т.е. плоскости  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  являются оптически сопряжёнными. При каком минимальном смещении объекта  $\Delta z$  от входной плоскости  $\Pi_1$  изображение в выходной плоскости  $\Pi_2$  также окажется сфокусированным, если в Фурье плоскости  $\Phi$  расположить фильтрующую решётку с периодом  $d = 10^{-2}$  см. Фокусные расстояния объективов  $L_1$  и  $L_2$  равны  $f = 10$  см, а длина волны, освещающей объект,  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см.

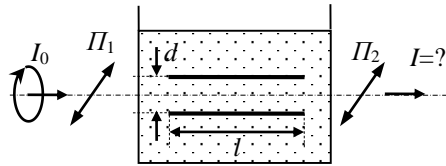


**Т11 (9.78).** При записи голограммы точечного источника  $S_1$ , расположенного на расстоянии  $R_1 = 60$  см от фотопластинки  $\Phi$ , по методу Габора вместо плоской опорной волны использована сферическая опорная волна от когерентного точечного источника  $S_2$ , расположенного на расстоянии  $R_2 = 90$  см от фотопластинки (см. рис.). Определите положения действительного и мнимого изображений при просвечивании записанной голограммы нормально падающей монохроматической плоской волной той же длины волны, что и при записи.



Определите положения действительного и мнимого изображений при просвечивании записанной голограммы нормально падающей монохроматической плоской волной той же длины волны, что и при записи.

**T12 (11.121).** Некоторые жидкости под действием электрического поля приобретают свойства одноосного кристалла, причём оптическая ось оказывается направлена по полю (электрооптический эффект Керра).



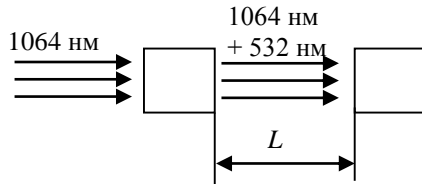
Фазовый сдвиг между обыкновенной и необыкновенной волной даётся соотношением  $\Delta\varphi = (2\pi/\lambda)(n_e - n_o)l = 2\pi BIE^2$ . Здесь  $l$  — толщина слоя вещества,  $B$  — константа Керра. Наибольшим значением  $B$  из всех исследованных жидкостей обладает нитробензол, для которого  $B = 2,2 \cdot 10^{-5}$  (ед. СГСЭ). На рис. изображена кювета с нитробензолом, в которой расположен конденсатор. С обеих сторон к кювете примыкают два идеальных поляроида, разрешённые направления которых параллельны и направлены под углом  $\alpha = 45^\circ$  к направлению поля в конденсаторе. Пластины конденсатора имеют длину  $l = 5$  см, расстояние между ними  $d = 5$  мм. К конденсатору приложено напряжение  $U = 2910$  В. Определите интенсивность  $I$  света на выходе второго поляроида, если на первый поляризатор падает свет, поляризованный по кругу с интенсивностью  $I_0$ .

**T13 (11.125).** Оценить плотность мощности  $I$  световой волны, при которой в оптических материалах начинают проявляться нелинейные эффекты. Учесть, что для этого достаточно, чтобы нелинейная добавка к показателю преломления составила  $10^{-4}$ .

*Указание:* Отношение нелинейной добавки к показателю преломления по порядку величины равно  $\Delta n_{нл}/n \sim E/E_{вн}$ , где  $E_{вн}$  — внутриатомное поле, создаваемое зарядом ядра для внешних электронов.

**T14 (11.128)** Наблюдатель находится в тумане между двух фонарей одинаковой мощности, красного (длина волны  $\lambda_1 = 700$  нм) и синего ( $\lambda_2 = 400$  нм) цветов, расстояние между которыми равно  $L = 500$  м. На каком расстоянии от красного фонаря яркости обоих источников для наблюдателя одинаковы? Считать, что рассеяние света в тумане подчиняется закону Релея.

**T15 (11.126).** Экспериментатор, недовольный малым коэффициентом преобразования лазерного излучения с длиной волны  $\lambda_1 = 1064$  нм (неодимовый лазер) во вторую гармонику ( $\lambda_2 = 532$  нм), решил после первого кристалла-удвоителя поставить еще один кристалл, чтобы перекачать остаток инфракрасного излучения во вторую гармонику. Какое расстояние  $L$  должно быть между кристаллами? Показатели преломления воздуха для данных длин волн равны соответственно  $n_1 = 1,0002742$  и  $n_2 = 1,0002782$ .



**П1.** Найти идеальную форму зеркала, фокусирующего параллельный пучок света в точку. Совпадает ли эта форма с формой поверхности ртути во вращающемся сосуде (телескоп Вуда)?

**П2.** а) У некоторого близорукого человека дальняя граница области, в которой он видит предметы резко, находится на расстоянии  $L_d$  от глаза. Очки какой оптической силы  $D$  ему следует носить, чтобы эта граница переместилась в бесконечность? Провести расчет для  $L_d = 0,5$  м.

б) У некоторого дальновзоркого человека ближняя граница области, в которой он видит предметы резко, находится на расстоянии  $L_b$  от глаза. Очки какой оптической силы ему следует надеть, чтобы эта граница переместилась в «положение наилучшего зрения»  $L_{best} = 0,25$  м. Провести расчет для  $L_b = 1$  м.

**П3.** Найти тип идеальной формы поверхности плоско-выпуклой линзы для фокусировки параллельного пучка в точку (сфера, гипербола, парабола или др). Линза расположена плоской поверхностью к плоскому волновому фронту.

**П4.** По какому закону зависит от угла падения  $\varphi$  глубина проникновения световой волны в среду с меньшим показателем преломления при полном внутреннем отражении вблизи границы полного внутреннего отражения.

**П5.** Найти скорость распространения света в движущейся среде с показателем преломления  $n$ . (опыт Физо). Скорость движения  $V$ , направление распространения света коллинеарно со скоростью среды.