

Содержание курса «Оптика»

(Для студентов Физического факультета, гр. 241, 251 и ФНБМТ, гр. 211, 251)

I. Введение. Электромагнитные волны

1. Введение в оптику. История оптики. Оптика в современной физике. Законы геометрической оптики. Принцип Ферма и законы геометрической оптики. (08.02.2011)¹.

II. Электромагнитные волны в пустом пространстве

2. Электромагнитное описание света. Шкала электромагнитных волн. Оптический диапазон. Квантовое описание. Плоские электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Общее решение уравнений Максвелла в пустом пространстве. Волновое уравнение. Поперечность электромагнитной волны. Взаимная ориентация волнового вектора, векторов электрического и магнитного полей в плоской волне. Уравнение плоской волны. (10.02.2011).
3. Связь между электрическим и магнитным полем в электромагнитной волне. Понятие поляризации световой волны. Трехмерные волны. Сферическая волна и ее источник. Сохранение энергии. Энергия электромагнитной волны. Плотность потока энергии. Вектор Умова-Пойтинга. Интенсивность света. Энергия и импульс электромагнитной волны. (15.02.2011)
4. Плоская монохроматическая волна. Основные характеристики колебаний и волн и их физический смысл. Амплитуда, фаза, частота, круговая частота, волновое число, длина волны, фазовая скорость, фронт волны, волновые поверхности. Представление монохроматических волн в комплексном виде. Комплексная амплитуда волнового поля. Уравнения Гельмгольца. Модулированные (квазимонохроматические) волны. Амплитудная, фазовая, частотная модуляции. Суперпозиция двух плоских монохроматических волн различной частоты. Биения. (18.02.2011).
5. Групповая скорость. Формула Рэлея. Дисперсия света. Частотный спектр световой волны. Разложение по гармоническим составляющим. Волновой цуг конечной длительности. Соотношение между длиной цуга и шириной спектрального интервала. (25.02.2011).

III. Интерференция света

6. Интерференция монохроматических волн точечных источников. Уравнение интерференции монохроматических волн (векторная диаграмма и комплексные аналитические сигналы). Условие образования максимумов и минимумов интенсивности. Пространственное распределение интенсивности в интерференционной картине. Контраст (видность) интерференционных полос. (01.03.2011).
7. Интерференция плоских монохроматических волн. Пространственный период полос. Интерферометр Юнга. (04.03.2011).
8. Частично когерентный свет. Интерференция квазимонохроматических волн и временная когерентность. Длина когерентности и ширина спектра. Волновые

¹ Дата лекции по материалу раздела.

цуги. Интерференционный опыт Юнга. Пространственная когерентность. Площадь когерентности. Объем когерентности. Мерцание звезд. (11.03.2011).

9. Разность хода волн, отраженных от плоскопараллельной стеклянной пластины и от оптического клина. Интерференционные полосы равного наклона и равной толщины. Интерферометры. Интерферометры с делением по амплитуде. Кольца Ньютона. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр Маха-Цендера. Интерферометры с делением по волновому фронту. Интерферометр Рэлея. Бипризма и бизеркала Френеля. Билинза Бийе, зеркало Ллойда. Звездный интерферометр Майкельсона и его современные модификации. (15.03.2011).

Самостоятельно: Стоячие электромагнитные волны. Уравнение стоячей волны. Узлы и пучности в стоячей волне. Оптический резонатор. Регистрация стоячих электромагнитных волн: опыт Винера, цветная фотография Липпмана, объемная голограмма Денисюка.

10. Многолучевая интерференция. Интерферометр Фабри-Перо. Распределение интенсивности в интерференционных картинах в проходящем и отраженном излучении. Разность фаз и разность хода лучей в интерферометре Фабри-Перо. Применение интерферометра Фабри-Перо в высокоразрешающей спектроскопии. Интерферометр Фабри-Перо - лазерный резонатор. Интерференционные светофильтры. Многослойные диэлектрические интерференционные зеркала. Просветление оптических деталей. (18.03.2011).

IV. Дифракция света

11. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционный интеграл. Дифракция Френеля на круглом отверстии и круглом экране. Зоны Френеля. Векторные диаграммы. Пятно Пуассона. Распределение освещенности в дифракционной картине в поперечном направлении и вдоль оси отверстия. Зонная пластинка и ее сравнение с линзой. Дифракция Френеля на прямолинейном краю экрана. Спираль Корню. Распределение освещенности в дифракционной картине. (22.03.2011).
12. Дифракция Фраунгофера – дифракция дальнего поля. Дифракция Фраунгофера на щели и на прямоугольном отверстии. Распределение интенсивности в дифракционной картине. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии. Дифракционная расходимость (уширение) световых пучков. Дифракционный предел разрешения оптических систем. Гауссов пучок света. (25.03.2011).
13. Распределение интенсивности в картине дифракции на щелевой амплитудной дифракционной решетке. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Дифракционный спектрограф. Разрешающая способность дифракционной решетки. Отражающие дифракционные решетки. (29.03.2011).

V. Оптическое изображение

14. Системы, формирующие оптическое изображение. Глаз. Камера обскура и ее варианты. Линза. Кардинальные точки и плоскости линзы. Аберрации линз. (01.04.2011).
15. Глаз и зрение, коррекция недостатков зрения. Оптические приборы, вооружающие глаз. Физические принципы голографии. Голографические схемы записи и восстановления оптических полей. Голографическая

интерферометрия. Объемные голограммы Брегга и голограммы Денисюка. (05.04.2011).

VI. Распространение света в изотропной среде

16. Классическая электронная теория дисперсии. Уравнение движения осциллятора во внешнем поле. Дисперсия вдали от линии поглощения. Формула Коши. Формула Лоренц-Лорентца. Дисперсия в области линии поглощения. Аномальная дисперсия. Дисперсионная кривая и спектральный контур поглощения. Распространения света в изотропной диспергирующей среде. Поляризация среды. (08.04.2011).

Самостоятельно: Дисперсия света. Экспериментальные методы исследования аномальной дисперсии. Метод скрещенных призм. Интерференционный метод. Метод "крюков" Рождественского.

17. Уравнение плоской монохроматической волны в поглощающей среде. Формула Лоренц-Лорентца. Дисперсия в области линии поглощения. Аномальная дисперсия. Дисперсионная кривая и спектральный контур поглощения. Показатель преломления смеси. Закон Бугера. Распространение света в металлах. Плазменная частота. (12.04.2011).

18. Рассеяние света. Рассеяние света в неоднородных средах и его закономерности. Индикатриса рассеяния. Поляризация рассеянного света. Закон Рэлея. Молекулярное рассеяние. Объяснение цвета зари и неба. Неупругое рассеяние света. Рассеяние Мандельштама-Брилюэна, комбинационное рассеяние. (15.04.2011).

19. Поляризация света. Свет как поперечная волна. Поляроиды. Линейная, круговая и эллиптическая поляризация. Поляризация при отражении света на границе двух диэлектриков. (18.04.2011).

20. Отражение и преломление света на плоской границе раздела двух изотропных диэлектриков. Вывод законов отражения и преломления на основе принципа Гюйгенса (построений Гюйгенса) и граничных условий уравнений Максвелла. Формулы Френеля - соотношения амплитуд падающей, отраженной и преломленной волн. Вывод формул Френеля. (22.04.2011).

21. Следствия из формул Френеля. Зависимость коэффициента отражения от угла падения. Изменение фазы волны при отражении. Изменение азимута колебаний линейно поляризованной волны при отражении и преломлении. Поляризация отраженного света при отражении под углом Брюстера. Брюстеровские окна в газовом лазере. Изменение состояния поляризации света при отражении и преломлении. Степень поляризации отраженного и преломленного света. (26.04.2011).

Самостоятельно: Стопа Столетова. Энергетические коэффициенты отражения и пропускания. Закон сохранения энергии. Коэффициент отражения при произвольном азимуте линейной поляризации. Коэффициент отражения для естественного и циркулярно поляризованного света.

22. Полное внутреннее отражение. Предельный угол полного внутреннего отражения. Призмы полного внутреннего отражения. Волоконные и планарные световоды. Неоднородная волна вблизи границы раздела сред при полном внутреннем отражении. Нарушенное полное внутреннее отражение. Изменение состояния поляризации света при полном внутреннем отражении.

Вывод из формул Френеля выражений для сдвига фазы волны при полном внутреннем отражении. Преобразование линейно поляризованного света в циркулярно поляризованный при полном внутреннем отражении. Параллелепипед Френеля. Отражение света поверхностью металлов. Коэффициент отражения металлов. Глубина проникновения преломленной волны. Изменение состояния поляризации линейно поляризованной волны при отражении поверхностью металлов. Эллипсометрия. (29.04.2011).

Самостоятельно: Эффект вращения направления поляризации при распространении света в веществе. Естественное вращение плоскости поляризации. Опыт Френеля. Сахарометрия. Поляриметры. Эффект вращения направления поляризации в магнитном поле - эффект Фарадея. Нелинейная оптика. Генерация второй гармоники. Самофокусировка световых пучков. Вынужденное рассеяние света. Просветление, многофотонное поглощение.

VII. Оптика анизотропных сред

23. Распространение света в анизотропной среде. Тензор диэлектрической проницаемости. Одноосные и двуосные кристаллы. Взаимная ориентация векторов электромагнитного поля в анизотропной среде. Фазовая и лучевая скорости волны в анизотропной среде. Обыкновенные и необыкновенные волны. Уравнение для лучевых скоростей в одноосном кристалле. Поверхности лучевых скоростей обыкновенной и необыкновенной волн в одноосном кристалле. (06.05.2011).
24. Преломление света на границе анизотропной среды. Построения Гюйгенса для одноосных кристаллов. (10.05.2011).
25. Поляризационные устройства. Кристаллические пластинки в $\lambda/4$ и $\lambda/2$. Компенсаторы. Поляризационные призмы Николя, Волластона, Рошона и Сенармона. Поляроиды. Закон Малюса. Кристаллическая пластина между двумя поляризаторами (поляроидами). Жидкие кристаллы и ЖК экраны. Индуцированная (искусственная) анизотропия оптических свойств. Фотоупругость. (13.05.2011).

Самостоятельно: Закон фотоупругости Брюстера. Электрооптические эффекты Керра и Погкельса. Эффект Коттона-Мутона.

VIII. Оптика движущихся сред

26. Эффект Доплера в оптике. Проявление эффекта Доплера в спектральных исследованиях (частотный сдвиг спектральных линий излучения звезд, доплеровское уширение спектральных линий). Проявление эффекта Доплера при интерференции и дифракции света. Сдвиг частоты света при дифракции на движущейся дифракционной решетке. Дифракция Рамана-Ната на бегущей акустической волне. (17.05.2011).
27. Скорость света и методы ее определения. Астрономические методы Ремера (по спутникам Юпитера) и Брэдли (метод аберраций). Лабораторные методы Физо (метод прерываний) и Фуко (метод вращающегося зеркала). Проявление движения среды в интерференционных опытах. Опыт Физо. Эффект и интерферометр Саньяка. Оптический интерференционный гироскоп. Опыт Майкельсона. Попытка обнаружения движения Земли оптическим методом. (20.05.2011).

Литература

1. Бутиков Е.И. Оптика. - С.-Петербург: Невский Диалект: БХВ-Петербург. 2003. - 480 с.
1. Ландсберг Г.С. Оптика. Издание 5-е. - М.: Наука, 1976. - 928 с. Издание 6-е. - М.: Наука, 2006. - 928 с.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Т.3: Излучение. Волны. Кванты. Вып.3. – М.: Мир. – 1965. – 240 с.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Вып.3, 6, 7 М.: Мир. 1965-1967.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М.: Наука, 1978. - 480 с.
5. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. - М.: Высшая школа, 1995. - 463 с.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. - М.: Наука, 1976. - 752 с. 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 792 с.
7. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л." Основы оптики. Издательство: С.-П. Изд-во «Питер», 2006. – 336 с.
8. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика: Учебник. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 656 с.
9. Матвеев А.Н. Оптика. - М.: Высшая школа, 1985. - 351 с.
10. Годжаев Н.М. Оптика. - М.: Высшая школа, 1977. - 432 с.
11. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. 3-е изд.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 656 с.

Задачники. Физический практикум

12. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика. / Под ред. Д.В.Сивухина, изд. 4. - М.: Наука, 1977. - 320 с.
13. Физический практикум. Оптика. <http://optics.sgu.ru/library/education/laboptics>
14. И.Е.Иродов. Задачи по общей физике. М.; Наука, 1988.
15. Ильичева Е.Н., Кудеяров Ю.В., Матвеев А.Н. Методика решения задач оптики. /Под ред. А.Н.Матвеева. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 232 с.
16. Физический практикум. Электричество и оптика. Под редакцией В.И.Ивероновой. М.; Наука, 1968.

Дополнительная литература

17. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1973. - 720 с.
18. Дитчберн Р. Физическая оптика. 1965.
19. Учебно-методические материалы по оптике, размещенные на Интернет-сайте кафедры оптики и биофотоники <http://optics.sgu.ru>
20. Федосов И.В. Геометрическая оптика (учебное пособие). - Саратов: Сателлит. – 2008. – 92 с.

Доцент кафедры оптики и биофотоники, к.ф.-м.н., И.В.Федосов