

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и  
«Электроника и микроэлектроника»  
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

## **Гейко, Павел Пантелеевич**

Взаимодействие оптического излучения с веществом =  
Взаимодействие оптического излучения с веществом: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 19 с.

Цель дисциплины состоит в формировании у студентов представлений о взаимодействии оптического излучения с веществом – важнейшим разделе оптической физики.

Задачи изучения дисциплины заключаются в освоении студентами современных специальных знаний с учетом последних научных достижений в области взаимодействия оптического и, прежде всего, лазерного излучения с веществом. А также в закреплении ранее приобретенных знаний и умений построения физических моделей явлений и их математического описания с последующим применением для разработки и конструирования различных устройств электроники и оптоэлектроники.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» по дисциплине «Взаимодействие оптического излучения с веществом»).

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭП

\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и  
«Электроника и микроэлектроника»  
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик

профессор каф. ЭП

\_\_\_\_\_ П.П. Гейко

\_\_\_\_\_ 2012 г

## **Введение**

Цель дисциплины состоит в формировании у студентов представлений о взаимодействии оптического излучения с веществом – важнейшим разделе оптической физики. Взаимодействие оптического излучения с веществом – одно из основных научных направлений современной оптики и лазерной физики. Оно формирует представления о фундаментальных фотофизических процессах, происходящих в веществе (в первую очередь, в конденсированных средах) при воздействии интенсивных световых потоков. Также оно позволило разработать физические основы многочисленных прикладных направлений, связанных с управлением оптическим излучением и преобразованием его пространственных параметров и спектрального состава.

Задачи изучения дисциплины заключаются в освоении студентами современных специальных знаний с учетом последних научных достижений в области взаимодействия оптического и, прежде всего, лазерного излучения с веществом. А также в закреплении ранее приобретенных знаний и умений построения физических моделей явлений и их математического описания с последующим применением для разработки и конструирования различных устройств электроники и оптоэлектроники.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как: «Физика», «Физические основы квантовой и оптической электроники», «Оптические и акустооптические системы обработки информации».

## **Раздел 1 Физические основы взаимодействия света и вещества**

### **1.1 Содержание раздела**

Уравнения Максвелла. Вектор поляризации. Основное материальное уравнение. Нелинейная поляризация в волновом уравнении. Модели нелинейной поляризации. Временная и пространственная дисперсии

### **1.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Вывод волнового уравнение из системы уравнений Максвелла
2. Отличие волнового уравнение для изотропной среды от волнового уравнения для анизотропной среды.
3. Отличие пространственной и временной дисперсии, дисперсионное уравнение.

### 1.3 Вопросы для самопроверки

1. Записать уравнение Максвелла и материальные уравнения в общем виде
2. На основе материального уравнения провести классификацию сред
3. Описать поведение плоской монохроматической волны в линейной, однородной изотропной среде
4. Записать выражения для комплексных диэлектрической восприимчивости, проницаемости и показатель преломления

## Раздел 2 Распространение света в линейной изотропной среде

### 2.1 Содержание раздела

Электронная теория дисперсии Лоренца. Дисперсия и поглощение света в линейной изотропной среде. Распространение светового импульса в диспергирующей среде. Рассеяние света

### 2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Основные положения классической осцилляторной модели среды.
2. Физический смысл действительной и мнимой части показателя преломления
3. Особенности нормальной и аномальной дисперсии
4. Особенности дисперсии в области высоких частот
5. Отличия сред с дисперсией первого и второго порядка
6. Определения фазовой и групповой скоростей, дисперсионной длины

### 2.3 Вопросы для самопроверки

1. Принципы классическая осцилляторная модель среды
2. Дисперсия и поглощение света в линейной изотропной среде.
3. Получить выражение для показателя преломления плотных сред
4. Экспериментальное подтверждение дисперсионной теории Лоренца (рефракция, нормальная дисперсия, дисперсия в области низких и высоких частот)
5. Особенности распространение светового импульса в диспергирующей среде
6. Модель среды с дисперсией первого и второго порядка

## **Раздел 3 Распространение света в анизотропной среде**

### **3.1 Содержание раздела**

Оптическая анизотропия и основные эффекты кристаллооптики. Структура световой волны в анизотропном кристалле. Эллипсоид показателей преломления. Формулы Френеля. Двойное лучепреломление света на границе с анизотропной средой. Наведенная анизотропия: электро- и магнитооптические эффекты

### **3.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Структуру световой волны в анизотропном кристалле
2. Особенности распространения света в одноосном кристалле, обыкновенная и необыкновенная волны.
3. Классификацию анизотропных сред

### **3.3 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое двулучепреломление, анизотропное поглощение? Как можно объяснить явление анизотропного поглощения?
2. Дайте классификацию кристаллов по виду компонент тензора диэлектрической проницаемости среды
3. Дайте определения оптической оси кристалла, главной плоскости.
4. Запишите уравнение нормалей Френеля, дайте определение обыкновенной и необыкновенной волн
5. Что такое магнитооптический эффект? Эффект Фарадея, постоянная Верде?

## **Раздел 4 Взаимодействие света с границей раздела сред**

### **4.1 Содержание раздела**

Отражение и преломление света на границе раздела сред. Формулы Френеля. Эффект Брюстера. Отражение света от поверхности металла

### **4.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Законы отражения и преломления света, просветляющие оптические покрытия
2. Двойное лучепреломление на границе с анизотропной средой

3. Получение и анализ поляризованного света, призма Глана, компенсатор.

4. Управление поляризацией света, четвертьволновая и полуволновая пластинки

### **4.3 Вопросы для самопроверки**

1 Что такое полное внутреннее отражение, эффект Брюстера, просветление оптики?

2 Что такое поляризация света? Поляризаторы и эффект двойного лучепреломления.

3 Приведите примеры веществ, обладающих двойным лучепреломлением.

4 Нарисуйте ход лучей в призме Глана, что такое компенсатор, четверть и полуволновая пластинки?.

## **Раздел 5 Нелинейно-оптическое взаимодействие света с кристаллами**

### **5.1 Содержание раздела**

Симметрия кристаллов. Квадратично- и кубично нелинейные кристаллы. Эффективные нелинейные коэффициенты, волновая расстройка. Уравнения для амплитуд связанных волн. Скалярные укороченные уравнения

### **5.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Материальное уравнение для нелинейной среды  
2. Линейный и нелинейные члены поляризации, их относительные величины

3. Осцилляторную модель нелинейной среды, ее отличие от аналогичной модели для линейной среды.

4. Классификацию нелинейно-оптических явлений

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

1. Перечислите основные нелинейно-оптические эффекты второго порядка

2. Перечислите основные нелинейно-оптические эффекты третьего порядка

3. Нарисуйте сечения показателей преломления в одноосном

кристалле, показывающие возможность реализации фазового синхронизма

## **Раздел 6 Генерация второй оптической гармоники в кристаллах**

### **6.1 Содержание раздела**

Интегралы движения для генерации второй гармоники. Аналитические решения системы укороченных уравнений. Эффективность преобразования во вторую гармонику. Приближения заданной интенсивности и заданного поля

### **6.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Особенности генерации второй гармоники
2. Укороченные уравнения для трехчастотных взаимодействий
3. Генерацию второй гармоники при наличии обратного самовоздействия
4. Соотношения Мэнли-Роу
5. Условия фазового синхронизма.

### **6.3 Вопросы для самопроверки**

1. Является ли генерация второй гармоники пороговым эффектом?
2. В чем состоит физический смысл соотношений Мэнли-Роу?
3. Что такое фазовый синхронизм и каковы способы его достижения?
4. Зачем используют внутрирезонаторную генерацию второй гармоники?

## **Раздел 7 Другие нелинейно-оптические явления в кристаллах**

### **7.1 Содержание раздела**

Генерация суммарной частоты. Повышение частоты вверх (ап-конверсия). Генерация разностной частоты в терагерцовый диапазон. Параметрическое усиление. Параметрическая генерация. Самофокусировка света

### **7.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Трехволновый характер процессов генерации суммарных и разностных частот
2. Самосогласованный анализ параметрической генерации
3. Возможность детектирования ИК сигналов в видимом диапазоне с помощью ап-конверсии.

4. Возможности получения субмиллиметрового когерентного излучения с помощью генерации разностных частот

### **7.3 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое параметрическое усиление и параметрическая генерация?
2. Как осуществляется перестройка частоты в параметрическом генераторе?
3. Что такое самофокусировка света и самодефокусировка света?
4. Что такое многофотонное поглощение?

## **Раздел 8 Тепловое действие оптического излучения на вещество**

### **8.1 Содержание раздела**

Оптический нагрев поглощающей среды. Импульсный нагрев поверхности металла лазерным излучением. Лазерный отжиг полупроводников. Физические принципы лазерного термоядерного синтеза

### **8.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Физические принципы теплового воздействия оптического излучения на вещество.
2. Уравнения, которыми описывается оптический нагрев среды

### **8.3 Вопросы для самопроверки**

1. Для чего применяется лазерный отжиг полупроводников?
2. Каковы физические принципы лазерного термоядерного синтеза

## **Раздел 9 Взаимодействие сверхкоротких импульсов с веществом**

### **9.1 Содержание раздела**

Сверхсильные световые поля. Новые технологии базирующиеся на фемтосекундных импульсах. Перспективы исследований взаимодействия фемтосекундных импульсов с веществом

### **9.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела следует обратить внимание на

1. Спектроскопию сверхбыстрых процессов

## 2. Нелинейную оптику сверхсильных световых полей

### 9.3 Вопросы для самопроверки

1. Какие типы лазеров и в каких режимах способны излучать сверхкороткие импульсы?
2. Какие параметры, характеризуют фундаментальные процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом

## 10 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с установкой, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций,

изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным.

Ниже приведены названия лабораторных работ

1. Эффективность генерации второй гармоники ограниченными пучками света
2. Моделирование параметрической генерации света в средах с квадратичной нелинейностью
3. Моделирование распространения световых пучков в оптически неоднородных средах
4. Моделирование распространения световых пучков в нелинейных средах

## 11 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения для студентов направления «Электроника и микроэлектроника (Специальность 210105 – Электронные приборы и устройства)

1. Лазерный отжиг полупроводников.
2. Перспективы исследований взаимодействия фемтосекундных импульсов с веществом.

В теме «Перспективы исследований взаимодействия фемтосекундных импульсов с веществом» должны быть самостоятельно освоены следующие вопросы:

- 1) сверхкороткие рентгеновские и электронные импульсы;
- 2) сильные нелинейности, управление светом с помощью света;
- 3) реализация предельных возможностей нерезонансной нелинейной оптики прозрачной среды;
- 4) неравновесные состояния в полупроводниках и металлах, сверхбыстрый нагрев твердотельной плазмы;
- 5) нелинейная электронная физика, нелинейная квантовая электродинамика;

По одной из выбранной темы студент пишет реферат.

## 12 Тестовые задачи

1. Выведите выражение для угла между направлением распространения луча и оптической осью кристалла, при котором выполняется условие пространственного синхронизма в положительном одноосном кристалле, т. е. когда  $n_e > n_o$ .

2. Продумайте эксперимент по генерации второй гармоники света в теллуре при длине волны основного луча 10,6 мкм. Теллур принадлежит к группе симметрии 32. Найдите угол синхронизма, определите направление

поляризации луча и ориентацию кристалла, обеспечивающие максимальную выходную мощность с  $\lambda = 5,3$  мкм.

Дисперсия в теллуре

$\lambda$ , мкм	$n_o$	$n_e$	$\lambda$ , мкм	$n_o$	$n_e$
4	4,929	6,372	8	4,809	6,253
5	4,864	6,316	10	4,796	6,246
6	4,838	6,826	12	4,789	6,237
7	4,821	6,257	14	4,785	6,230

3. Выведите выражение для угла фазового синхронизма в параметрическом усилителе на кристалле KDP, в котором две волны — необыкновенные, а третья — обыкновенная. Которую из трех волн (т. е. сигнальную, «холостую» или накачки) выбрать как обыкновенную? Может ли этот тип фазового синхронизма быть выполнен при  $\lambda_3=1$  мкм,  $\lambda_2=\lambda_1=2$  мкм. Если да, то каково значение угла синхронизма?

Дисперсия в KDP

$\lambda$ , мкм	$n_o$	$n_e$
1.0	1,496044	1,460993
2.0	1,460044	1,450308

4. Требуется удвоить частоту излучения Nd:YAG лазера в кристалле KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) Вычислите угол синхронизма.

Дисперсия в KDP

$\lambda$ , мкм	$n_o$	$n_e$
1.06	1,507	-----
0.53	1,5283	1.48222

5. Оцените эффективность преобразования во вторую гармонику по 1 типу взаимодействия в случае идеального фазового синхронизма в кристалле KDP длиной 2.5 см, причем падающий пучок имеет длину волны 1.06 мкм и интенсивность  $100 \text{ МВт/см}^2$ ,  $d_{\text{эф}}=d_{36}\sin\theta=0.28*10^{-12} \text{ М/В}$

6. На какой частоте  $\omega_1$  возможен фазовый синхронизм при генерации второй гармоники в квадратично-нелинейной среде с дисперсией  $\omega = \alpha k - \beta k^3 + \gamma k^5$  ( $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$ )? Какова размерность коэффициентов  $\alpha, \beta, \gamma$ ?

7. На какой частоте  $\omega_1$  возможен фазовый синхронизм при генерации второй гармоники в квадратично-нелинейной среде с дисперсией  $\omega = \alpha k - \beta k^2 + \gamma k^4$  ( $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$ )? Какова размерность коэффициентов  $\alpha, \beta, \gamma$ ?

8. В рамках приближения заданного поля при генерации второй гармоники вывести зависимость амплитуд основной волны и второй гармоники от расстояния. Нарисовать график.

9. Что такое  $L_{\text{нл}}$  и  $L_{\text{ког}}$  при генерации второй гармоники? Получить соотношение между  $L_{\text{нл}}$  и  $L_{\text{ког}}$ , при котором справедливо приближение заданного поля при генерации второй гармоники.

10. Гелий-неоновый лазер генерирует в нелинейном кристалле слабую вторую гармонику с  $\lambda_{20}=1.695$  мкм. Известно, что амплитуда второй гармоники достигает максимального значения на длине 0.8475 мм. Чему равна в этом кристалле длина нелинейного взаимодействия, если  $n_2 < n_1$ ? ( $n_1 = 1.016$ ;  $\gamma_2 E_{10} = 1.096 \cdot 10^{-5}$ ).

11. В нелинейном кристалле длиной  $L=1$  см лазер на неодимовом стекле ( $\lambda_{10}=1.058$  мкм) возбуждает вторую гармонику с максимальной амплитудой, равной 0.01 амплитуды основной волны. Из эксперимента известно, что на выходе кристалла амплитуда второй гармоники равна нулю, причем на длине кристалла укладывается 60 максимумов  $|A_2|$ . Определить разность показателей преломления основной волны и второй гармоники.

12. При какой разности показателей преломления основной волны и слабой второй гармоники отношение  $\frac{L_{\text{нл}}}{L_{\text{ког}}} = 50$ , если известно, что  $\gamma_2 E_{10} = 0.652 \cdot 10^{-4}$ ;  $n_2 = 1.45$ .

13. Из эксперимента известно, что в нелинейном кристалле амплитуда слабой второй гармоники достигает первого минимума на расстоянии  $L=0.5$  см. Найти длину волны второй гармоники в вакууме, если  $n_1 = 1.0015$ ;  $n_2 = 1.0016$ .

14. Пучок импульсного рубинового лазера генерирует в кристалле кварца слабую вторую гармонику с  $\lambda_{20}=0.397$  мкм. Амплитуда второй гармоники достигает максимума на длине 8 мкм. Чему равна разность показателей преломления основной волны и второй гармоники?

15. Полупроводниковый лазер на арсениде галлия ( $\lambda_{10}=0.84$  мкм) возбуждает в нелинейном кристалле вторую гармонику. Длина нелинейного взаимодействия  $L_{\text{нл}}=21$  см. При каких значениях  $|\Delta k|$  и  $|n_2 - n_1|$  будет справедливо приближение заданного поля?

16. При каком условии в одноосном отрицательном кристалле с квадратичной нелинейностью возможен фазовый синхронизм обыкновенной волны первой гармоники и необыкновенной волны второй гармоники, если  $n_2^{(o)} > n_1^{(o)} \geq n_2^{(e)} > n_1^{(e)}$ ? Для иллюстрации нарисовать волновые поверхности.

17. В нелинейном одноосном отрицательном кристалле с квадратичной нелинейностью световая волна обыкновенной поляризации возбуждает вторую гармонику необыкновенной поляризации. Найти направление фазового синхронизма  $\theta_c$ , если известны компоненты тензора показателя преломления  $n_{\perp}(\omega) = 1,496$ ;  $n_{\perp}(2\omega) = 1,515$ ;  $n_{//}(2\omega) = 1,472$ .

18. Для случая сильного взаимодействия двух гармоник при фазовом синхронизме получить зависимость амплитуд основной волны и второй гармоники от расстояния. Нарисовать график. На каком расстоянии амплитуды первой и второй гармоник будут равны?

19. В удвоителе частоты эффективность преобразования энергии во вторую гармонику при фазовом синхронизме составляет 50%. Чему будет равна эта эффективность при уменьшении длины нелинейного кристалла вдвое?

20. В удвоителе частоты эффективность преобразования энергии во вторую гармонику при фазовом синхронизме составляет 25%. Чему будет равна эта эффективность при увеличении длины нелинейного кристалла вчетверо?

21. В удвоителе частоты эффективность преобразования энергии во вторую гармонику при фазовом синхронизме составляет 50%. Чему будет равна эта эффективность при увеличении длины нелинейного кристалла вдвое?

22. В кристалле с квадратичной нелинейной восприимчивостью  $\chi^{(2)} = 10^{-9}$  CGSE происходит синхронное удвоение частоты света. При какой интенсивности падающего излучения с  $\lambda_1 = 1$  мкм на расстоянии 1 см трансформируется 58% энергии основного излучения в энергию второй гармоники, если  $n_1 = n_2 = 1.5$ ? (Указание:  $\text{th}^2 1 = 0.58$ ).

23. В квадратично-нелинейной среде с дисперсией  $k = \alpha\omega - \beta\omega^3 + \gamma\omega^5$  распространяются три волны с частотами  $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ . При какой частоте  $\omega_3$  можно осуществить фазовый синхронизм этих волн, если  $\omega_1 = 0.4\omega_3$ ?

24. В квадратично-нелинейной среде с дисперсией  $k = \alpha\omega - \beta\omega^2 + \gamma\omega^4$  распространяются три волны с частотами  $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ . При какой частоте  $\omega_3$  можно осуществить фазовый синхронизм этих волн, если  $\omega_2 = 0.3\omega_3$ ?

25. Выписать соотношения Мэнли-Роу при трехчастотном взаимодействии ( $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ ). Из соотношений Мэнли-Роу вывести пределы изменения квадратов действительных амплитуд, интенсивностей и числа квантов для случая, когда мощной является волна на частоте а)  $\omega_1$ , б)  $\omega_2$ . Доказать устойчивость (малое изменение интенсивности) мощной низкочастотной волны при трехчастотном взаимодействии.

26. В приближении заданного поля мощной низкочастотной волны при трехчастотном взаимодействии написать систему укороченных уравнений для комплексных амплитуд взаимодействующих волн и найти ее решение при  $\Delta k \neq 0$ . Определить зависимость периода пространственных осцилляций квадратов действительных амплитуд  $L_B$  от  $\Delta k$ . Нарисовать график  $L_B = f(\Delta k)$ .

27. В приближении заданного поля мощной низкочастотной волны при трехчастотном взаимодействии написать систему укороченных уравнений для комплексных амплитуд взаимодействующих волн и найти ее решение при  $\Delta k = 0$ . Рассмотреть случаи генерации суммарной и разностной частоты. Нарисовать график зависимости интенсивности слабых волн от расстояния.

28. При трехчастотном взаимодействии в заданном поле мощной волны на частоте  $\omega_1$  амплитуды волн на частотах  $\omega_2$  и  $\omega_3$  испытывают пространственные осцилляции с периодом  $L_0 = 1$  см при  $\Delta k = 0$ . При какой фазовой расстройке  $\Delta k$  период пространственных осцилляций сократится в два раза?

29. При трехчастотном взаимодействии интенсивности волн на входе нелинейного кристалла  $I_{10} = 900I_0$ ,  $I_{20} = 40I_0$ ,  $I_{30} = 0$ , причем  $\omega_1 = 0.25\omega_3$ , используя соотношения Мэнли-Роу. Найти минимальные и максимальные значения всех интенсивностей  $I_j$  и числа квантов  $N_j$  ( $j=1,2,3$ ). Нарисовать графики зависимостей  $I_j$  и  $N_j$  от расстояния.

30. При трехчастотном взаимодействии интенсивности волн на входе нелинейного кристалла  $I_{10} = 0$ ,  $I_{20} = 400I_0$ ,  $I_{30} = 50I_0$ , причем  $\omega_1 = 0.3\omega_3$ , используя соотношения Мэнли-Роу. Найти минимальные и максимальные значения всех интенсивностей  $I_j$  и числа квантов  $N_j$  ( $j=1,2,3$ ). Нарисовать графики зависимостей  $I_j$  и  $N_j$  от расстояния.

31. При трехчастотном взаимодействии интенсивности волн на входе нелинейного кристалла  $I_{10} = 1000I_0$ ,  $I_{20} = 12I_0$ ,  $I_{30} = 0$ , причем  $\omega_1 = 0.4\omega_3$ , используя соотношения Мэнли-Роу. Найти минимальные и максимальные значения всех интенсивностей  $I_j$  и числа квантов  $N_j$  ( $j=1,2,3$ ). Нарисовать графики зависимостей  $I_j$  и  $N_j$  от расстояния.

32. При трехчастотном взаимодействии интенсивности волн на входе нелинейного кристалла  $I_{10} = 0$ ,  $I_{20} = 800I_0$ ,  $I_{30} = 10I_0$ , причем  $\omega_1 = 0.2\omega_3$ , используя соотношения Мэнли-Роу. Найти минимальные и максимальные значения всех интенсивностей  $I_j$  и числа квантов  $N_j$  ( $j=1,2,3$ ). Нарисовать графики зависимостей  $I_j$  и  $N_j$  от расстояния.

33. В случае распадной неустойчивости высокочастотной волны при трехчастотном взаимодействии написать систему укороченных уравнений для комплексных амплитуд взаимодействующих волн и найти ее решение. При каком условии возможно параметрическое усиление слабых волн?

34. В параметрическом усилителе субгармоники максимальный инкремент, достигаемый при фазовом синхронизме, равен  $\Gamma_0 = 1\text{см}^{-1}$ . При какой фазовой расстройке  $\Delta k$  инкремент уменьшается в два раза?

### Заключение

1. В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.
2. Уравнение Максвелла, материальные уравнения
3. Классификация сред на основе материального уравнения
4. Плоская монохроматическая волна в линейной, однородной изотропной среде
5. Комплексные диэлектрическая восприимчивость, проницаемость и показатель преломления
6. Классическая осцилляторная модель среды
7. Дисперсия и поглощение света в линейной изотропной среде.
8. Показатель преломления плотных сред
9. Экспериментальное подтверждение дисперсионной теории Лоренца (рефракция, нормальная дисперсия, дисперсия в области низких и высоких частот)
10. Распространение светового импульса в диспергирующей среде
11. Модель среды с дисперсией первого порядка
12. Модель среды с дисперсией второго порядка
13. Структура световой волны в анизотропном кристалле
14. Классификация кристаллов
15. Собственные состояния поляризации световой волны в анизотропном кристалле
16. Распространение света в одноосном кристалле, обыкновенная и

необыкновенная волны.

17. Уравнение нормалей Френеля и скорость необыкновенной волны

18. Законы отражения и преломления света, просветляющие оптические покрытия

19. Двойное лучепреломление на границе с анизотропной средой

20. Получение и анализ поляризованного света, призма Глана, компенсатор.

21. Управление поляризацией света, четвертьволновая и полуволновая пластинки.

22. Материальное уравнение для нелинейной среды

23. Линейный и нелинейные члены поляризации, их относительные величины

24. Осцилляторная модель нелинейной среды

25. Классификация нелинейно-оптических явлений

26. Генерация второй гармоники, условие фазового синхронизма, генерация суммарных частот

27. Укороченные уравнения для трехчастотных взаимодействий

28. Генерация второй гармоники при наличии обратного самовоздействия, соотношения Мэнли-Роу

29. Внутррезонаторная генерация второй гармоники

30. Параметрическое усиление и параметрическая генерация

31. Самосогласованный анализ параметрической генерации

32. Перестройка частоты в параметрическом генераторе

33. Самофокусировка света

34. Линейный электрооптический эффект

35. Амплитудная электрооптическая модуляция

36. Фазовая электрооптическая модуляция

37. Квадратичный электрооптический эффект

### Рекомендуемая литература

1. Оптика: Учебное пособие для вузов / Г. С. Ландсберг. - М. : Физматлит, 2006. - 848 с.

2. Волновая оптика: Учебное пособие для вузов / Н. И. Калитеевский. - 4-е изд., стереотип. - СПб. : Лань, 2006. - 465 с.

3. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. - М.: Мир, 1987. – 616 с.

4. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. – М.: Наука, 1989. – 557 с.

5. Гейко П.П. Прикладная нелинейная оптика: учебное пособие, Томск, ТУСУР, 2007

6. Взаимодействие оптического излучения с веществом: учебное пособие / П. П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2007. - 151 с.

7. Эффективность генерации второй гармоники ограниченными пучками света: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

8. Моделирование параметрической генерации света в средах с квадратичной нелинейностью: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 12 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

9. Моделирование распространения световых пучков в оптически неоднородных средах: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

10. Моделирование распространения световых пучков в нелинейных: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

Учебное пособие

Гейко Павел Пантелеевич

Взаимодействие оптического излучения с веществом

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_ Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40