

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе



А.Е. Толстик  
(подпись)

31 мая 2015 г.  
(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 1460 /уч.

## **НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ОПТИКЕ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
высшего образования второй ступени  
1-31 81 02 - Фотоника**

Минск 2015 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 81 02-2012; учебного плана № G31-240уч.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**А.Л. Толстик** — профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.);

Советом физического факультета (протокол № 10 от 18 июня 2015 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины «Нелинейные эффекты в оптике» разработана для специальности второй ступени высшего образования 1-31 81 02 – Фотоника.

**Цель учебной дисциплины** - ознакомление обучающихся с современными интерференционно-голографическими методами преобразования световых полей.

**Основные задачи учебной дисциплины** - дать представление о нелинейных оптических эффектах, имеющих место в средах с нелинейностями третьего, пятого и более высоких порядков, включая нелинейную и поляризационную запись динамических голограмм, сингулярную динамическую голографию, многоволновые взаимодействия и бистабильность в нелинейных интерферометрах.

Постоянный интерес, проявляемый последние десятилетия к нелинейным интерференционным и голографическим системам, связан с заманчивыми перспективами их использования для прямого оптического преобразования изображений и управления пространственно-временной структурой световых полей. Существенное расширение возможностей дифракционных методов преобразования световых полей и методов нелинейной спектроскопии связано с переходом к исследованиям многоволновых взаимодействий, реализуемых в средах с нелинейностями пятого и более высоких порядков. В таких средах имеют место искажения профиля штриха голографической решетки, которые традиционно рассматривались как негативный фактор, приводящий к появлению шумовых компонент дифрагированного излучения. Однако в этих условиях появляются новые компоненты в Фурье-разложении нелинейной восприимчивости среды по пространственным гармоникам динамической решетки, что позволяет реализовать дифракцию считывающего луча в брэгговском режиме во второй и более высокие порядки. Анализ свойств нелинейных голографических элементов способствовал существенному развитию методов обработки оптической информации (пространственная фильтрация, ассоциативная память) и позволил осуществить различные виды преобразований светового пучка (преобразование формы волнового фронта, изменение направления распространения, корректировка искажений пространственной структуры, частотное преобразование изображений и т.д.).

Расширение возможностей интерференционно-голографических методов преобразования световых полей можно ожидать при сочетании явлений оптической бистабильности и обращения волнового фронта, что может быть реализовано, в частности, при четырехволновом взаимодействии в нелинейном интерферометре. Внутррезонаторная запись динамических голограмм позволяет существенно увеличить дифракционную эффективность и угловую селективность решетки, что весьма полезно для запоминающих устройств с высокой плотностью записи. Двумерный характер светового поля позволяет реализовать управление поперечной структурой световых пучков, включая эффекты пространственного гистерезиса и формирования локализованных

пространственных структур светового поля (оптических солитонов). Локализованные пространственные структуры позволяют перейти от операций над отдельными сигналами к операциям одновременно над массивами информации, т.е. к «пространственной алгебре», «пространственной логике». При этом возможно сочетание как аналоговых, так и цифровых методов обработки информации.

*В результате изучения дисциплины студент должен:*

**знать:**

- новые направления развития интерференционно-голографических методов преобразования изображений;
- основные представления сингулярной оптики и динамической голографии;
- явления обращения волнового фронта, оптической бистабильности, пространственного гистерезиса;

**уметь:**

- анализировать условия проявления нелинейностей высших порядков и схемы преобразования пространственной структуры волнового фронта световых пучков на основе нелинейной записи динамических голограмм;
- анализировать особенности преобразования световых пучков при многоволновых взаимодействиях в нелинейных интерферометрах;
- определять изменения топологического заряда и поляризации световых пучков при нелинейных взаимодействиях;

**владеть:**

- методами реализации различных нелинейно-оптических процессов;
- голографическими методами преобразования волнового фронта световых пучков;
- методами формирования световых пучков с заданной пространственно-поляризационной структурой;

Материал курса основан на знаниях и представлениях, заложенных в курсах «Нелинейная оптика», «Оптическая обработка информации», «Когерентная оптика и голография».

Общее количество часов – 60; аудиторное количество часов — 20 (лекции).

Форма получения высшего образования — очная, дневная,

Занятия проводятся на 1-м курсе во 2 семестре.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен (совместно с дисциплиной «Квантовая оптика»).

**СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

1. Понятие нелинейной среды и механизмы нелинейной оптической восприимчивости. Волновое уравнение для светового поля в нелинейной среде.
2. Нелинейность коэффициента поглощения и показателя преломления. Условия проявления нелинейностей высших порядков.
3. Запись динамических голограмм и четырехволновое взаимодействие в нелинейных средах. Явление обращения волнового фронта светового пучка.
4. Нелинейная голографическая запись и многоволновое взаимодействие в нелинейных средах. Условие фазового синхронизма. Преобразование волнового фронта светового пучка.
5. Невырожденное по частоте взаимодействие и преобразование волнового фронта светового пучка. Обращение волнового фронта с одновременным удвоением частоты излучения.
6. Поляризационная голографическая запись. Преобразование световых полей поляризационными динамическими голограммами.
7. Сингулярная динамическая голография. Понятие оптического вортекса и топологического заряда. Алгебраические операции с топологическими зарядами на основе схем многоволнового взаимодействия.
8. Понятие оптической бистабильности и оптического гистерезиса. Оптическая бистабильность в нелинейном интерферометре.
9. Многоволновые взаимодействия в нелинейных интерферометрах. Пространственная оптическая бистабильность.
10. Самофокусировка и формирование пространственных солитонов в средах с нелинейностями высших порядков.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы   | Количество аудиторных часов |                         |                        |                         |     | Количество часов<br>УСР | Форма контроля<br>знаний |
|---------------------|--|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|--------------------------|
|                     |  | Лекции                      | Практические<br>занятия | Семинарские<br>занятия | Лабораторные<br>занятия | КСР |                         |                          |
| 1                   | Механизмы нелинейной оптической восприимчивости. Волновое уравнение для светового поля в нелинейной среде.   | 2                           |                         |                        |                         |     |                         | Устный опрос             |
| 2                   | Нелинейность коэффициента поглощения и показателя преломления. Условия проявления нелинейностей высших порядков.   | 2                           |                         |                        |                         |     |                         |                          |
| 3                   | Запись динамических голограмм и четырехволновое взаимодействие в нелинейных средах. Обращение волнового фронта светового пучка.                                      | 2                           |                         |                        |                         |     |                         | Устный опрос             |
| 4                   | Нелинейная голографическая запись и многоволновое взаимодействие в нелинейных средах. Условие фазового синхронизма. Преобразование волнового фронта светового пучка. | 2                           |                         |                        |                         |     |                         |                          |
| 5                   | Невырожденное по частоте взаимодействие и преобразование волнового фронта светового пучка. Обращение волнового фронта с одновременным удвоением частоты излучения.   | 2                           |                         |                        |                         |     |                         |                          |
| 6                   | Поляризационная голографическая запись. Преобразование световых полей поляризационными дина-   | 2                           |                         |                        |                         |     |                         |                          |

|    |   |           |  |  |  |  |  |                 |
|----|---|-----------|--|--|--|--|--|-----------------|
|    | мическими голограммами.   |           |  |  |  |  |  | Устный<br>опрос |
| 7  | Сингулярная динамическая голография. Понятие оптического вихря и топологического заряда. Алгебраические операции с топологическими зарядами на основе схем многоволнового взаимодействия. | 2         |  |  |  |  |  |                 |
| 8  | Понятие оптической бистабильности и оптического гистерезиса. Оптическая бистабильность в нелинейном интерферометре.   | 2         |  |  |  |  |  | Устный<br>опрос |
| 9  | Многоволновые взаимодействия в нелинейных интерферометрах. Пространственная оптическая бистабильность.  | 2         |  |  |  |  |  |                 |
| 10 | Самофокусировка и формирование пространственных солитонов в средах с нелинейностями высших порядков.  | 2         |  |  |  |  |  | Устный<br>опрос |
|    |   | <b>20</b> |  |  |  |  |  | <b>Экзамен</b>  |

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука. 1989.
2. Розанов Н. Н. Оптическая бистабильность и гистерезис в распределенных нелинейных системах. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 336 с.
3. А.Л.Толстик. Многоволновые взаимодействия в растворах сложных органических соединений. Мн.: БГУ. 2002.
4. О.Г.Романов, А.Л.Толстик. Пространственно-временные структуры световых полей в нелинейных интерферометрах. Мн.: БГУ. 2009.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. Б.Я.Зельдович, Н.Ф.Пилипецкий, В.В.Шкунов. Обращение волнового фронта. М.: Наука. 1985.
2. Х.Гиббс. Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света. М.: Мир. 1988.
3. В.Г.Дмитриев. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта. М.: Физматлит. 2001.
4. Н.Б.Делоне. Нелинейная оптика. М.: Физматлит. 2003.
5. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов. Прикладная нелинейная оптика. М.: Физматлит. 2004.
6. Е.Г.Абрамочкин, В.Г.Волостников. Современная оптика гауссовых пучков. М.: Физматлит. 2010.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Устные опросы.

### **Перечень тем для устных опросов**

1. Механизмы нелинейной оптической восприимчивости. Условия проявления нелинейностей высших порядков.
2. Запись динамических голограмм, обращение волнового фронта и преобразование волнового фронта светового пучка при многоволновых взаимодействиях.
3. Преобразования поляризации и топологического заряда световых пучков на основе поляризационных и сингулярных динамических голограмм.
4. Многоволновые взаимодействия в нелинейных интерферометрах. Оптическая бистабильность и пространственный гистерезис.
5. Самофокусировка и формирование пространственных солитонов в средах с нелинейностями высших порядков.

## Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине рекомендуется использовать устные опросы. Устные опросы проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на устный опрос по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за устные опросы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Оценка каждого из устных ответов проводится по десятибалльной шкале. Оценка текущей успеваемости рассчитывается по формуле:

$$\text{оценка} = 0,8 \cdot \frac{\sum_i^n \text{устн}_i}{n} + \text{ПБ} - \text{ШБ},$$

где *оценка* – это оценка текущей успеваемости, *устн<sub>i</sub>* – оценка по десятибалльной шкале за устный ответ, *n* – количество устных ответов, *ПБ* – поощрительные баллы, начисляемые за выполнение дополнительных (необязательных) заданий, активность на занятиях (максимум 2 балла за семестр), *ШБ* – штрафные баллы, которые начисляются за пропуски занятий, систематическое опоздание, нарушение учебной дисциплины.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена (совместно с дисциплиной «Квантовая оптика»), к экзамену допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не ниже 4 баллов. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Итоговая оценка рассчитывается по формуле:

$$\text{итог} = 0,3 \cdot \text{текущая} + 0,7 \cdot \text{экзамен}$$

где *итог* – итоговая оценка, *текущая* – оценка текущей успеваемости, *экзамен* – экзаменационная оценка, 0,3 и 0,7 – весовые коэффициенты текущей успеваемости и экзаменационной оценки соответственно.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование | Название Кафедры                        | Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)            |
|---|---|--|--|
| Нелинейная оптика   | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.) |
| Оптическая обработка информации                               | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.) |
| Когерентная оптика и голография                               | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.) |

