

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям



О.И. Чуприс

(подпись)

5.07.2018

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-5660/уч.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОПТИКЕ
И ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 08 Компьютерная физика**

Минск 2018

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 08-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 № 88; учебных планов №G31-144/уч., №G31и-178/уч. от 30.05. 2013

СОСТАВИТЕЛЬ:

О.Г.Романов – заведующий кафедрой компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 23 мая 2018 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 28 июня 2018 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины специал «Компьютерное моделирование в оптике и лазерной физике» разработана для специальности 1-31 04 08 «Компьютерная физика», специализации 1-31 04 08 03 «Компьютерное моделирование физических процессов».

Дисциплина предполагает знание студентами основ программирования и математического моделирования, охватывает основные вопросы волновой оптики, физики лазеров, физики взаимодействия лазерного излучения с веществом, рассматривает основные численные методы, применяемые при решении задач в данных областях.

Целью учебной дисциплины «Компьютерное моделирование в оптике и лазерной физике» является развитие компетенций студентов в овладении основными методами численного моделирования физических процессов в оптике и лазерной физике, приобретение практических навыков решения современных задач в области классической и нелинейной оптики, лазерной физики, физики взаимодействия лазерного излучения с веществом. Программа согласована с другими дисциплинами специальности, курс лекций является неотъемлемой частью общего плана специализации «Компьютерное моделирование физических процессов» и является развитием дисциплин «Численные методы», «Вычислительный эксперимент», «Вычислительные методы в физике сплошных сред».

Задачи учебной дисциплины – на конкретных примерах решения задач волновой оптики научить студентов применять знания, полученные в процессе изучения общезначимых курсов, к физическому и математическому моделированию оптических явлений. Дисциплина закладывает основные знания и умения, которыми должны владеть студенты для проведения вычислительного эксперимента в области вычислительной электродинамики, анализа и интерпретации его данных.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

знать:

- основные закономерности процесса генерации лазерного излучения и методы моделирования данного явления;
- основные механизмы взаимодействия лазерного излучения с веществом и методы моделирования данных процессов;
- численные методы, применяемые при решении задач вычислительной электродинамики и лазерной физики;

уметь:

- разрабатывать физико-математические и численные модели для решения задач распространения лазерного излучения в линейных и нелинейных средах;
- разрабатывать физико-математические и численные модели, описывающие процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом;

владеть:

- навыками применения численных методов при решении задач вычислительной электродинамики;
- навыками построения численных схем для решения уравнений Максвелла;

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Академические компетенции:

- Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- Владеть системным и сравнительным анализом.
- Владеть исследовательскими навыками.
- Уметь работать самостоятельно.
- Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- Быть способным к социальному взаимодействию.
- Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).
- Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, научно-технической и патентной литературой.
- Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования.
- Применять знания физических основ современных технологий, методы внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

С целью выработки навыков проведения вычислительного физического эксперимента, корректного анализа и надежной интерпретации его данных в рамках освоения содержания дисциплины «Компьютерное моделирование в оптике и лазерной физике» предусмотрено выполнение студентами лабораторных работ в рамках лаборатории специализации «Программирование и моделирование физических процессов».

Общее количество часов – 92 (2,5 зачетные единицы); количество аудиторных часов – 32, из них: лекции – 26, УСР – 6. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен в 9 семестре.

Текущий контроль знаний при выполнении управляемой самостоятельной работы (УСР) осуществляется в форме устного опроса, письменной контрольной работы. Система оценивания – рейтинговая.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Компьютерное моделирование в волновой оптике. Основные уравнения волновой оптики. Система уравнений Максвелла. Волновое уравнение. Укороченное волновое уравнение, парааксиальное приближение, нелинейное уравнение Шредингера, вид волновых уравнений для различных моделей оптической нелинейности.

Методы численного моделирования задач распространения электромагнитного излучения в линейных и нелинейных средах. Методы численного решения системы уравнений Максвелла. *FDTD*-метод: общая постановка в *3D*-геометрии, *2D*-задачи для *TE*- и *TM*-мод, распространение электромагнитных волн в *1D*-геометрии. Моделирование процессов распространения сверхкоротких лазерных импульсов в линейных и нелинейных средах. Применение *FDTD*-метода при решении задач нанофотоники. Моделирование распространения электромагнитного излучения в метаматериалах. Моделирование распространения электромагнитного излучения в фотонных кристаллах. Моделирование волнового распространения электромагнитного излучения.

Методы численного моделирования задач распространения лазерных пучков. Численное решение $(1D+1)$ и $(2D+1)$ волновых уравнений в линейной и нелинейной среде, сравнение эффективности различных методов и их практическая реализация. Двухслойный явный метод, трехслойный явный метод, неявные методы, метод распространения светового пучка, основанный на преобразовании Фурье в поперечном сечении. Распространение световых пучков в нелинейных средах. Начальная структура пучка (гауссов, вихрь, бесселев и др.); линейный режим распространения; нелинейный режим распространения. Самофокусировка и оптические солитоны. Расчет структуры пучка в условиях самофокусировки. Моделирование распространения пространственно-временных локализованных световых структур («световых пульс»). Моделирование режима оптической бистабильности, переходных процессов и динамики нелинейных интерферометров. Моделирование эффектов самоорганизации дифракционных оптических структур в нелинейных интерферометрах.

2. Моделирование динамических режимов работы лазерных систем. Точечные и распределенные модели лазерных систем. Балансные (кинетические) уравнения для описания взаимодействия излучения с многоуровневыми системами. Основные динамические режимы лазерной генерации: режим свободной генерации, режим модуляции добротности, режим синхронизации мод. Моделирование режима свободной генерации в сосредоточенных моделях лазеров.

Модели лазера с насыщающимся поглотителем. Модели с периодической модуляцией параметров. Динамические модели лазерного диода с обратной связью. Модель многомодового твердотельного лазера. Модель многомодового полупроводникового лазера с периодической модуляцией накачки.

3. Моделирование процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом. Поглощение и рассеяние излучения биотканями. Постановка задачи о термическом действии лазерного излучения на материалы. Модели лазерного прогревания биологических тканей. Методы решения 3D уравнения теплопроводности, уравнения диффузии излучения и их практическая реализация. Методы решения 3D уравнение теплопроводности в задаче лазерного плавления материалов и их практическая реализация. Оптоакустические эффекты при воздействии импульсного лазерного излучения на поглощающие среды. Лазерное термооптическое возбуждение звука. Численный метод решения уравнений движения в одномерной геометрии: плоская, цилиндрическая, сферическая геометрии. Воздействие импульсного лазерного излучения на микро- и нано-объекты.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Всего	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия					
1	Компьютерное моделирование в волновой оптике. Основные уравнения волновой оптики. Система уравнений Максвелла. Волновое уравнение. Укороченное волновое уравнение, параксиальное приближение, нелинейное уравнение Шредингера, вид волновых уравнений для различных моделей оптической нелинейности.	2			2	РРТ	10-30	yo
2	Методы численного моделирования задач распространения электромагнитного излучения в линейных и нелинейных средах.	2			2	РРТ	10-30	yo
3	Методы численного решения системы уравнений Максвелла. <i>FDTD</i> -метод: общая постановка в <i>3D</i> -геометрии, <i>2D</i> -задачи для <i>TE</i> - и <i>TM</i> -мод, распространение электромагнитных волн в <i>1D</i> -геометрии. Моделирование процессов распространения сверхкоротких лазерных импульсов в линейных и нелинейных средах.	2		2	4	РРТ	10-30	к
4	Применение <i>FDTD</i> -метода при решении задач нанофотоники. Моделирование распространения электромагнитного излучения в метаматериалах. Моделирование распространения электромагнитного излучения в фотонных кристаллах. Моделирование волноводного распространения электромагнитного излучения.	2			2	РРТ	10-30	yo
5	Методы численного моделирования задач распространения лазерных пучков. Численное решение (<i>1D+1</i>) и (<i>2D+1</i>) волновых уравнений в линейной и нелинейной среде, сравнение эффективности различных методов и их практическая реализация. Двухслойный явный метод, трехслойный явный метод, неявные методы, метод распространения светового пучка, основанный на преобразовании Фурье в поперечном сечении.	2			2	РРТ	10-30	yo
6	Начальная структура пучка (гауссов, вихрь, бесселев и др.); линейный режим распространения; нелинейный режим распространения. Самофокусировка и оптические солитоны. Расчет структуры пучка в условиях самофокусировки. Моделирование распространения пространственно-временных локализованных световых структур («световых пульс»).	2			2	РРТ	10-30	yo

Номер раздела, темы	Название раздела, темы, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Всего	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия					
7	Моделирование режима оптической бистабильности, переходных процессов и динамики нелинейных интерферометров. Моделирование эффектов самоорганизации дифракционных оптических структур в нелинейных интерферометрах.	2			2	РРТ	4о, 1д, 3д	уо
8	Моделирование динамических режимов работы лазерных систем. Точечные и распределенные модели лазерных систем. Балансные (кинетические) уравнения для описания взаимодействия излучения с многоуровневыми системами.	2			2	РРТ	5о, 6о, 2д	уо
9	Основные динамические режимы лазерной генерации: режим свободной генерации, режим модуляции добротности, режим синхронизации мод. Моделирование режима свободной генерации в сосредоточенных моделях лазеров.	2		2	4	РРТ	5о, 6о, 2д	к
10	Модели лазера с насыщающимся поглотителем. Модели с периодической модуляцией параметров. Динамические модели лазерного диода с обратной связью. Модель многомодового твердотельного лазера. Модель многомодового полупроводникового лазера с периодической модуляцией накачки.	2			2	РРТ	5о, 6о, 2д	уо
11	Моделирование процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом. Поглощение и рассеяние излучения биотканями. Постановка задачи о термическом действии лазерного излучения на материалы.	2			2	РРТ	7о-9о	уо
12	Методы решения 3D уравнения теплопроводности, уравнения диффузии излучения и их практическая реализация. Методы решения 3D уравнение теплопроводности в задаче лазерного плавления материалов и их практическая реализация.	2		2	4	РРТ	7о-9о	к
13	Оптоакустические эффекты при воздействии импульсного лазерного излучения на поглощающие среды. Лазерное термооптическое возбуждение звука. Численный метод решения уравнений движения в одномерной геометрии: плоская, цилиндрическая, сферическая геометрии. Воздействие импульсного лазерного излучения на микро- и нанообъекты.	2			2	РРТ	8о, 11о	уо
	Всего	26		6	32			экзамен

Условные обозначения: РРТ – презентация MS PowerPoint; уо – устный опрос; к – контрольная работа.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М., Наука. 1989.
2. Н.Бломберген. Нелинейная оптика. М.: Мир. 1966.
3. A. Taflove, S.C. Hagness. Computational Electrodynamics: the Finite-Difference Time-Domain Method – Norwood, MA: Artech, 2000.
4. Х.Гиббс. Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света. М., Мир. 1988.
5. О.Звелто. Принципы лазеров. М.: Мир, 1980.
6. П.А.Апанасевич. Основы теории взаимодействия света с веществом. Мн.: Наука и техника. 1977.
7. А.Г. Григорянц. Основы лазерной обработки материалов, М.: Машиностроение, 1989
8. Л.М. Лямшев. Лазерное термооптическое возбуждение звука. М., Наука. 1989
9. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов. - М.: Наука, 1989.
10. Саульев В.К. Интегрирование уравнений параболического типа методом секток. М.:Физматгиз, 1960.
11. Р.Рихтмайер, К.Мортон. Разностные методы решения краевых задач. М.:Мир, 1972.

Перечень дополнительной литературы

1. О.Г.Романов, А.Л.Толстик. Пространственно-временные структуры световых полей в нелинейных интерферометрах. – Мн.: БГУ, 2009. – 187 с.
2. Методы расчета оптических квантовых генераторов. Под ред. Б.И.Степанова. Т.1, Т.2. Мн.: Наука и техника. 1968.
3. Н.Н.Розанов Оптическая бистабильность и гистерезис в распределенных нелинейных системах. М.: Наука. 1997.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Устный опрос.
2. Письменная контрольная работа.
3. Устный экзамен.

Рекомендуемые темы для устного опроса

1. Самофокусировка сингулярных световых пучков
2. Светлые и темные пространственные солитоны
3. Применение FDTD-метода для задач нанофотоники
4. Режим свободной генерации лазерного излучения

Рекомендуемые темы контрольной работы

1. Численные методы решения уравнения Максвелла.
2. Численные методы расчета взаимодействия лазерного излучения с веществом.
3. Моделирование процесса лазерной генерации.

**Методические рекомендации по организации
и выполнению самостоятельной работы студентов**

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по курсу является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения экзамена.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь №53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 №382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003г.)

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название 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)
Компьютерное моделирование в физике твердого тела	Кафедра компьютерного моделирования	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол №12 от 23.05.2018)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на ____/____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
Компьютерного моделирования
(протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент

_____ О.Г. Романов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета БГУ
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.М. Анищик