

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

(факультет)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ВШОПФ _____ Е.Д. Господчиков

« ____ » _____ 2018 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика лазеров

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 Физика

Направленность образовательной программы
профиль: Фундаментальная физика

Квалификация (степень)
бакалавр

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2018

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика лазеров» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Является дисциплиной по выбору в восьмом семестре четвертого года обучения в бакалавриате.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов современного представления об основных физических процессах, лежащих в основе генерации и усиления лазерного излучения;
- освоение студентами методов теоретического расчета на примере простейших лазерных систем;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-3 готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-3) Знать</i> квантовые процессы взаимодействия фотона с двух-уровневой средой, основные механизмы уширения линии, условия появления в среде лазерного усиления и перехода усиления из линейного в насыщенный режим, условие порога генерации в открытом резонаторе, режимы лазерной генерации и основные методы их реализации, способы селекции продольных, поперечных и поляризационных мод в открытом резонаторе, основные тепловые эффекты в лазерах и методы их подавления и компенсации. <i>У1 (ПК-3) Уметь</i> пользоваться феноменологическим подходом к описанию лазерных усилителей и генераторов для определения и оптимизации выходных параметров, в том числе с учетом квантовых шумов. <i>В1 (ПК-3) Владеть</i> навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.
ПК-5 способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-5) Знать</i> основные понятия, используемые в современной научной литературе для описания физических процессов в лазерах, современные подходы и уравнения, используемые для их описания; основные режимы генерации и усиления лазерного излучения. <i>У1 (ПК-5) Уметь</i> использовать методы физики лазеров (основные уравнения и способы их решения) для описания экспериментальных результатов. <i>В1 (ПК-5) Владеть</i> методами решения основных уравнений, используемых в физике лазеров

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 75 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (24 часа занятия лекционного типа, 24 часа занятия лабораторного типа, 24 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 3 часа мероприятия промежуточной атте-

станции), 45 часов подготовка и сдача экзамена, 96 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Двухуровневая среда	10	1	1	1	3	7
Тема 2. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.	10	1	1	1	3	7
Тема 3 Ширина линии и время жизни.	13	2	2	2	6	7
Тема 4. Сечение перехода, инверсия населенностей.	13	2	2	2	6	7
Тема 5. Накачка. Интенсивность насыщения	13	2	2	2	6	7
Тема 6. Коэффициент усиления и шумы усилителя	13	2	2	2	6	7
Тема 7. Открытые резонаторы.	13	2	2	2	6	7
Тема 8. Стационарная генерация.	13	2	2	2	6	7
Тема 9. Релаксационные колебания и свободная генерация. Модуляция добротности.	13	2	2	2	6	7
Тема 10. Синхронизация мод и ультракороткие лазерные импульсы	13	2	2	2	6	7
Тема 11. Селекция продольных, поперечных, поляризационных мод.	13	2	2	2	6	7
Тема 12. Термооптика твердотельных лазеров	13	2	2	2	6	7
Тема 13. Типы лазеров	18	2	2	2	6	12
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	45

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Подготовка и оформление отчетов о выполненных лабораторных работах осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком проведения лабораторных занятий по соответствующей тематике.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

Типовые задачи, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1. Невезучему студенту научный руководитель поручил настроить конфокальный резонатор и дал два зеркала с $R = 200\text{мм}$. К несчастью, оба зеркала на самом деле были изготовлены с ошибкой $\Delta R = 3\text{мм}$, причем ошибки были в разные стороны. После долгих бессонных ночей, проведенных в лаборатории в тщетных попытках настроить резонатор при номинальном расстоянии между зеркалами $l = 200\text{мм}$, студент обнаружил, что лазер устойчиво работает, если зеркала либо ближе, либо дальше номинального расстояния. Объясните этот феномен и найдите положение зеркал, обеспечивающих устойчивость резонатора.

Задача 2. Полагая порогом появления двухмодовой генерации модуляцию импульса равную $\pm 1\%$, найти необходимую для одномодовой генерации разницу потерь соседних мод при числе обходов резонатора $M = 1000$ и $M = 100$.

Задача 3. Сделайте оценку отношения коэффициентов усиления двух соседних продольных мод линейного резонатора с расстоянием между зеркалами 1м , заполненного активной средой с лоренцевской линией усиления с шириной равной 6 см^{-1} .

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-3: готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	Коллоквиум не сдан		Коллоквиум сдан				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать квантовые процессы взаимодействия фотона с двухуровневой средой, основные механизмы уширения линии, условия появления в среде лазерно-	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материала с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного материала без ошибок и погрешностей

го усиления и перехода усиления из линейного в насыщенный режим, условие порога генерации в открытом резонаторе, режимы лазерной генерации и основные методы их реализации, способы селекции продольных, поперечных и поляризационных мод в открытом резонаторе, основные тепловые эффекты в лазерах и методы их подавления и компенсации.							стей
<u>Умения</u> Уметь пользоваться феноменологическим подходом к описанию лазерных усилителей и генераторов для определения и оптимизации выходных параметров, в том числе с учетом квантовых шумов.	Полное отсутствие умения использовать методы физики лазеров для решения задач.	Неумение использовать основные методы физики лазеров для решения задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Умение использовать основные методы физики лазеров для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные методы физики лазеров для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные методы физики лазеров для решения стандартных задач с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные методы физики лазеров для решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные методы физики лазеров для решения стандартных задач и задач повышенной сложности
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Полное отсутствие навыка решения стандартных задач	Не владение навыками решения стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам физики)	Владение навыками решения стандартных задач по основным разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-5: способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

Индикаторы компе-	Критерии оценивания (дескрипторы)
-------------------	-----------------------------------

тенции	Незачет	Зачет
<u>Умения</u> Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области	Отсутствие умения применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным положениям физики лазеров)	Умение применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области
<u>Навыки</u> Владеть методами физики лазеров и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.	отсутствие ряда важнейших навыков, предусмотренных данной компетенцией	наличие основных навыков, продемонстрированное в стандартных ситуациях при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100%

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общезначимых и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общезначимых и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше

Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.
- сдача отчетов о выполнении лабораторных работ.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Перечень лабораторных работ, выполняемых при освоении дисциплины¹:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Переходы в атоме под действием электромагнитного излучения. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.
- 2) Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Механизмы уширения и форма спектральных линий.
- 3) Эффект насыщения усиления и поглощения. Сечение перехода. Интенсивность насыщения.
- 4) Коэффициент усиления непрерывного усилителя. Коэффициент усиления импульсного усилителя. Формула Франца-Нодвига.

¹ Лабораторные работы выполняются студентами в соответствии с графиком выполнения работ, разрабатываемым преподавателем.

- 5) Понятие об открытом резонаторе. Моды и условие самовозбуждения открытого резонатора.
- 6) Стационарная генерация. Оптимальный коэффициент отражения зеркала (резонатор Фабри-Перо и кольцевой резонатор).
- 7) Уравнение для разности населенностей для 3-х-уровневой и 4-х-уровневой модели. Выходная мощность непрерывного генератора.
- 8) Уравнение для интенсивности поля в резонаторе. Время установления стационарного режима и релаксационная частота для 3х-уровневой и 4х-уровневой модели. Свободная генерация.
- 9) Модуляция добротности: идея, уравнения, оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала, длительность импульса, методы реализации.
- 10) Генерация на двух и более продольных модах. Синхронизация мод: идея, уравнения, параметры выходного излучения. Ультракороткие лазерные импульсы: генерация, усиление, диагностика.
- 11) Понятие об импульсно-периодическом режиме. Термооптика твердотельных лазеров.
- 12) Селекция мод: продольных, поперечных, поляризационных. Подавление двунаправленной генерации в кольцевом резонаторе.
- 13) Газовые лазеры (в том числе химические, фотодиссоционные эксимерные и т.д.). Твердотельные лазеры. Лазеры на красителях. Полупроводниковые лазеры.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности компетенции ПК-3: готовности применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований:

Задача 1.1. Для двухуровневой среды в термодинамическом равновесии найти температуру, при которой вероятности спонтанных и вынужденных переходов равны на длине волны 500нм, а также длину волны, при которой эти вероятности равны при температуре 4000К.

Задача 1.2. Найти максимальную интенсивность в непрерывном усилителе при наличии нерезонансных потерь β .

Задача 1.3. Найти выражения для запасенной энергии в усилителе, имеющем коэффициент усиления по слабому сигналу для трех- и четырехуровневых моделей.

Задача 1.4. Генератор работает в непрерывном режиме при накачке пятикратно превышающей порог. Коэффициенты отражения зеркал R и R_1 . Найти значение коэффициента усиления за проход.

Для оценки сформированности компетенции ПК-5: способности пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований:

Задача 2.1. Импульсный усилитель накачивается в течении времени t_{pump} , время жизни τ_{21} . Найти зависимость КПД по накачке (отношение запасенной к моменту t_{pump} энергии к энергии импульса накачки) от t_{pump}

Задача 2.2. В симметричном, близком к плоскому резонаторе ($R_1=R_2=R \gg 1$) найти приближенное выражение диаметров моды в перетяжке и на зеркалах. Вычислить эти диаметры для аргонового лазера ($\lambda=514\text{нм}$) с длиной резонатора $l=1\text{м}$, $R=8\text{м}$ и сравнить их со случаем конфокального резонатора той же длины.

Задача 2.3. Внутриврезонаторный эталон Фабри-Перо имеет длину 12мм и $R_F=0.5$. Длина обхода резонатора 1м, длина волны 1микрон. При случайном расположении мод резонатора найти вероятность двухмодовой генерации. Критерием считать отношение потерь за обход резонатора для двух мод равное 0.99.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика лазеров»

а) основная литература:

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. - М., Наука, 1983, 319 с. -63 экз.
2. Ярив А. Квантовая электроника. - М., Сов. Радио, 1980, 488 с. -95 экз.

б) дополнительная литература:

1. П.Г.Крюков. Фемтосекундные импульсы. Москва: Физматлит, 2008. -208 с. -3 экз.
2. С.А.Ахманов, В.А.Выслоух, А.С.Чиркин, Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. - М. Наука, 1988. -309 с. -3 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) The Encyclopedia of Laser Physics and Technology, Rüdiger Paschotta <https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная физика».

Авторы

Е.А. Хазанов

Рецензент

О.В. Палашов

Программа одобрена на заседании методической комиссии факультета «Высшая школа общей и прикладной физики»
от _____ года, протокол № _____.

Председатель методической комиссии _____ А.М. Фейгин