

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением
ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Аттосекундная физика
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
магистратура
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.04.03 радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Квантовая радиофизика и лазерная физика
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.03, аттосекундная физика к части ООП направления подготовки 03.04.03 <i>радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>Знать современные проблемы и новейшие достижения физики и радиофизики, необходимые для осуществления научно-исследовательской деятельности в области аттосекундной физики</p> <p>Уметь использовать знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики при осуществлении научно-исследовательской деятельности в области аттосекундной физики</p> <p>Владеть опытом использования знания современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики в самостоятельной научно-исследовательской деятельности, относящейся к аттосекундной физике</p>	<i>Собеседование, доклад, задача</i>

<p>ПК-2. Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>Знать фундаментальные разделы физики и радиофизики, необходимые для решения научно-исследовательских задач в области аттосекундной физики</p> <p>Уметь использовать знание фундаментальных разделов физики и радиофизики при решении научно-исследовательских задач в области аттосекундной физики</p> <p>Владеть опытом использования знаний по фундаментальным разделам физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач в области аттосекундной физики</p>	<p><i>Собеседование, доклад, задача</i></p>
---	--	---	---

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72

в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	39
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	
1. Ионизация атомов и молекул в световом поле	14	6			6	8
2. Генерация высоких гармоник лазерного излучения	14	6			6	8
3. Генерация аттосекундных импульсов	12	6			6	6
4. Экспериментальная техника аттосекундной физики	8	4			4	4
5. Аттосекундная метрология	11	4			4	7
6. Измерения и контроль сверхбыстрых процессов с аттосекундным временным разрешением	12	6			6	6
Текущий контроль	1	1				
Промежуточная аттестация (зачет)						

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,
- подготовка докладов-презентаций по проблемным вопросам.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			объеме.	недочетами.		объеме.	
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
--------	-----------------

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ	
1. Характерные временные и энергетические масштабы различных процессов в микромире.	ПК-2
2. Основные условия, необходимые для получения аттосекундных импульсов.	ПК-2
3. Методы генерации импульсов когерентного рентгеновского излучения и их применения.	ПК-1
4. Формула Келдыша для скорости ионизации в переменном лазерном поле и ее предельные случаи.	ПК-2
5. Полуклассическая модель Коркума для возвратных соударений электронов и ее использование для анализа энергетических и угловых распределений электронов в ионизационных процессах.	ПК-2
6. Полуклассическая модель Коркума и ее использование для анализа спектральных и частотно-временных характеристик процесса генерации высоких гармоник в газах.	ПК-2
7. Приближение сильного поля при квантовомеханическом описании процесса генерации высоких гармоник в газах. Теория Левенштейна.	ПК-2
8. Особенности генерации высоких гармоник в молекулярных газах.	ПК-1
9. Синхронизация высоких гармоник.	ПК-1
10. Влияние поляризации и магнитного поля лазерного излучения на эффективность генерации высоких гармоник в газах.	ПК-1
11. Генерация и применения циркулярно-поляризованных рентгеновских импульсов.	ПК-1
12. Методы реализации фазового синхронизма и квазисинхронизма при генерации высоких гармоник в газах.	ПК-2
13. Использование предельно коротких лазерных импульсов для получения одиночного аттосекундного импульса. Роль фазы заполнения относительно огибающей лазерного импульса.	ПК-1
14. Принцип «поляризационного затвора» для получения одиночного аттосекундного импульса.	ПК-1
15. Режимы и физические механизмы генерации высоких гармоник при взаимодействии высокоинтенсивного лазерного излучения с поверхностью плотной плазмы.	ПК-2
16. Принцип метода RABBITT и его использование для измерения характеристик цуга аттосекундных импульсов.	ПК-2
17. Принцип действия аттосекундной стрик-камеры и ее применения.	ПК-2
18. Принцип пространственной селекции одиночного аттосекундного импульса с помощью «аттосекундного маяка».	ПК-2
19. Использование процессов при перерасеянии электронов на родительских ионах для исследования сверхбыстрых процессов в молекулах.	ПК-1
20. Методы исследования сверхбыстрых процессов в веществе с использованием аттосекундных импульсов.	ПК-1
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	
1. Характерные временные и энергетические масштабы процессов, связанных с различными типами внутренних движений в атомах и молекулах.	ПК-2
2. Смысл и значения атомных единиц длины, времени, заряда и напряженности электрического поля.	ПК-2
3. Особенности энергетических зависимостей сечений фотоионизации различных атомов (на примере инертных газов).	ПК-2
4. Характерные соотношения между энергиями фотонов ИК и видимого света и потенциалами ионизации различных атомов.	ПК-2

5. Параметр Келдыша и его роль в теории ионизации атомов в переменном лазерном поле.	ПК-2
6. Различия в закономерностях надпороговой ионизации в полях длинных и коротких лазерных импульсов.	ПК-1
7. Угловые распределения электронов при надпороговой ионизации низких и высоких порядков.	ПК-1
8. Динамический эффект Штарка и его роль в надпороговой ионизации.	ПК-2
9. Процессы, описываемые полуклассической моделью перерасеяния Коркума.	ПК-2
10. Упругие и неупругие процессы при электрон-ионных соударениях в сильном лазерном поле.	ПК-2
11. Механизмы многократной ионизации атомов и их проявления в спектрах импульсов продуктов ионизации.	ПК-2
12. «Короткие» и «длинные» траектории электронов и их вклады в сигнал высоких гармоник, генерируемых в газах.	ПК-1
13. Влияние потенциала ионизации частиц газа на ширину спектра генерируемых высоких гармоник.	ПК-1
14. Факторизуемость спектральной зависимости выхода высоких гармоник и ее значение для ГГВП-спектроскопии.	ПК-1
15. Зависимости вероятности лазерной ионизации молекул от их ориентации, межъядерных расстояний и типа валентной орбитали.	ПК-1
16. Многоцентровая интерференция в спектрах высоких гармоник, генерируемых в ансамбле выстроенных молекул.	ПК-1
17. «Возрождения» колебательных и вращательных волновых пакетов, возбуждаемых ультракороткими лазерными импульсами.	ПК-1
18. Использование генерации высоких гармоник для зондирования ядерных волновых пакетов.	ПК-1
19. Факторы, приводящие к фазовым расстройкам при генерации высоких гармоник лазерного излучения в газах.	ПК-1
20. Зависимость выхода высоких гармоник от длины волны лазерного излучения.	ПК-2
21. Магнитный дрейф электрона и его влияние на выход высоких гармоник в зависимости от параметров частиц газа и лазерного импульса.	ПК-2
22. «Атточирп» и его компенсация для укорочения аттосекундных импульсов.	ПК-2
23. Ширина используемого спектра при различных способах получения одиночного аттосекундного импульса.	ПК-2
24. Формирование лазерных импульсов с переменной эллиптичностью для реализации метода поляризационного затвора.	ПК-2
25. Измеряемые величины при различных геометриях наблюдения в аттосекундной стрик-камере.	ПК-2

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются: индивидуальное собеседование

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются: домашние задания (доклады-презентации)

5.2.2. Типовые темы докладов для оценки сформированности компетенции

«ПК-1»

1. Фазовый квазисинхронизм при генерации высоких гармоник во встречных лазерных пучках.
2. Получение одиночного аттосекундного импульса методом двойного оптического затвора.
3. «Аттосекундный маяк».

«ПК-2»

4. Неадиабатическое выстраивание и ориентация молекул ультракоротким лазерным импульсом.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. С.А. Ахманов, В.А. Выслоух, А.С. Чиркин, Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, М.: Наука, 1988. – 3 экз.

2. О. Звелто, Принципы лазеров. / под ред. Т.А. Шмаонова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Мир, 1984. – 395 с. // 1990. – 558 с. – 3 экз.

3. Н.Б. Делоне, В.П. Крайнов, Атом в сильном световом поле, М., Энергоатомиздат, 1984. – 3 экз.

б) дополнительная литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теория поля, М.: Наука, 2018.

<http://znanium.com/catalog/document?id=369175>

2. П.Г. Крюков, Фемтосекундные импульсы, М.: Физматлит, 2008.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109413.html>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Проект «Международный центр исследований экстремальных световых полей (ЦИЭС)»

<http://www.xcels.iapras.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также Центр физических демонстраций, включающий в себя Демонстрационный физический кабинет и Лабораторию технического сопровождения лекционного процесса. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории. Обучающимся доступен библиотечный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 918.

Автор (ы) к.ф.-м.н. доцент Рябикин М.Ю.

Рецензент (ы) к.ф.-м.н. доцент Миловский Н.Д.

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.