

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова  
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



\_\_\_\_\_  
Директор филиала МГУ в г.Сарове  
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины:**

Ядерная фотоника

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Экстремальные электромагнитные поля, релятивистская плазма  
и аттосекундная физика

---

Квалификация «Магистр»

**Форма обучения:** Очная

---

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

**Авторы–составители:**

д.ф.-м.н., профессор физического факультета МГУ А.Б.Савельев-Трофимов

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины**

### **«Ядерная фотоника»**

В курсе изучаются ядерно-физические процессы и явления, протекающие при взаимодействии лазерного излучения с веществом. При воздействии сверхинтенсивного лазерного излучения на плотное вещество, газовые и кластерные струи, пучки заряженных частиц можно создать источники для исследования различных ядерных процессов и явлений от возбуждения уровней до развала ядер, гамма-спектроскопии, наработки изотопов и многих других. В курсе обсуждаются как основные источники излучения и частиц, создаваемые при лазерно-плазменном взаимодействии (рентгеновское и гамма-излучение, пучки электронов, протонов и многозарядных ионов, нейтронов и др.), так и ряд ядерно-физических проблем, в решении которых такие пучки могут быть применены.

---

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Ядерная фотоника» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре и относится к вариативной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Ядерная фотоника» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

## 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн», «Ядерная физика»

## 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none"><li>Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).</li></ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b> основные законы и направления современных научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b> на основе фундаментальных знаний в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b> необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
<ul style="list-style-type: none"><li>Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).</li></ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b> базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b> используя знания в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики проводить научные исследования.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b> навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none"><li>Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области экстремальных</li></ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b> основные направления инновационного развития в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b> проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и</p>

<p>электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики (СПК-3).</p>	<p>аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.  <b>ВЛАДЕТЬ</b>  методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
--	--

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

*Тема 1. Источники излучения и частиц на основе плотных мишеней*

Введение. Основные механизмы ускорения электронов. Основные механизмы ускорения ионов. Генерация рентгеновского и гамма-излучения в плотной плазме. Формирование пучков протонов и многозарядных ионов в ультрарелятивистском режиме взаимодействия.

*Тема 2. Источники излучения на основе газовых и кластерных струй*

Кильватерное ускорение электронов в разреженной плазме. Основные тенденции и достижения. Специфика взаимодействия с кластерными средами.

*Тема 3. Томсоновские генераторы рентгеновского и гамма-излучения*

Рассеяние лазерных импульсов на электронном пучке. Основные закономерности и скейлинги. Релятивистский режим рассеяния.

*Тема 4. Взаимодействие ионизирующего и корпускулярного излучения с веществом*

Закономерности взаимодействия рентгеновского и гамма-излучения с веществом. Электронные и протонные пучки в твердом теле. Рассеяние и поглощение нейтронов, альфа-частиц и др.

*Тема 5. Ядерная спектроскопия*

Гигантский дипольный резонанс, возбуждения ядер ниже порога, пигми резонанс и другие моды возбуждения.

*Тема 6. Изомерные ядерные уровни*

Специфика распада и возбуждения метастабильных низколежащих уровней в плазме. Ядерные часы (торий), гамма-лазер.

*Тема 7. Лабораторная ядерная астрофизика*

Происхождение элементов во Вселенной. Острова стабильности. Быстрый и медленный захваты нейтронов. Возможные направления исследования в лаборатории

*Тема 8. Нарботка и трансмутация изотопов.*

Ядерные реакции под действием протонов и нейтронов. Нарботка изотопов для ПЭТ. Трансмутация изотопов.

*Тема 9. Диагностика вещества с помощью корокомпьюльсных лазерно-ядерных источников.*

Гамма и нейтронные источники для контроля нераспространения делящихся материалов и исследования ударных волн.

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятел ьная работа студентов
		Общая трудоемкост	в том числе			Самостоятел ьная работа студентов	
			Общая аудио рная нагрузк	Лекций	Семина ров		
Ядерная фотоника	2	72	36	18	18	36	

## 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Ядерная фотоника» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно- практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	<i>Источники излучения и частиц на основе плотных мишеней</i>	12	3		3	6	Собеседование, опрос
2	<i>Источники излучения на основе газовых и кластерных струй</i>	8	2	-	2	4	

3	<i>Томсоновские генераторы рентгеновского и гамма-излучения</i>	4	1	-	1	2	
4	<i>Взаимодействие ионизирующего и корпускулярного излучения с веществом</i>	8	2		2	4	
5	<i>Ядерная спектроскопия</i>	8	2		2	4	
6	<i>Изомерные ядерные уровни</i>	8	2		2	4	
7	<i>Наработка и трансмутация изотопов</i>	8	2		2	4	
8	<i>Лабораторная ядерная астрофизика</i>	8	2		2	4	
9	<i>Диагностика вещества с помощью корокомпульсных лазерно-ядерных источников</i>	8	2		2	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет в устной форме
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	

### 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «**Ядерная фотоника**» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «**Ядерная фотоника**» проводится в форме зачета. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

**Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		

Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: принципы работы лазерных источников ионизирующего и корпускулярного излучения ОПК-3.Б 3-6	Отсутствие знаний принципов работы лазерных источников ионизирующего и корпускулярного излучения	В целом успешные, но не систематические знания принципов работы лазерных источников ионизирующего и корпускулярного излучения	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания принципов работы лазерных источников ионизирующего и корпускулярного излучения	Успешные и систематические знания принципов работы лазерных источников ионизирующего и корпускулярного излучения
УМЕТЬ: работать с ядернофизическими методами исследований ОПК-3.Б У-6	Отсутствие умения работать с ядернофизическими методами исследований	В целом успешное, но не систематическое умение работать с ядернофизическими методами исследований	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение работать с ядернофизическими методами исследований	Успешное и систематическое умение работать с ядернофизическими методами исследований

ВЛАДЕТЬ: методами описания и расчета ядерных процессов ОПК-3.Б В-6	Отсутствие/фрагментарное владение методами описания и расчета ядерных процессов	В целом успешное, но не систематическое владение методами описания и расчета ядерных процессов	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами описания и расчета ядерных процессов	Успешное и систематическое владение методами описания и расчета ядерных процессов
--	--	--	--	---

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

*Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:*

*Пример:*

1. Механизмы ускорения электронов в плазме
2. Механизмы ускорения ионов в плазме
3. Механизмы взаимодействия протонов с веществом
4. Что такое  $\gamma$ -процесс,
5. Что такое нейтронография?

## 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

*Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:*

1. Механизмы ускорения электронов в плотной плазме
2. Особенности взаимодействия с кластерными средами
3. Кильватерное ускорение электронов.
4. Режим плазменного пузыря.
5. Ускорение ионов в плазме. Релятивистский режим.
6. Эффект релятивистской прозрачности
7. Генерация гамма-излучения электронным пучком
8. Генерация направленных пучков нейтронов
9. Механизмы возбуждения изомерных ядерных состояний в плотной плазме
10. Угловой и энергетический спектры томсоновского рассеяния. Генерация пучков гамма-излучения
11. Особенности томсоновского рассеяния в релятивистском режиме взаимодействия
12. Гигантский дипольный резонанс
13. Возбуждение ядер ниже порога ГДР
14. Взаимодействие протонов с веществом. Брегговский пик. Протонная терапия.
15. Изотопы для ПЭТ
16. Трансмутация изотопов.
17. Гамма-радиография
18. Нейтронная радиография непрозрачных сред.
19. Острова стабильности ядер при ядерном нуклеосинтезе
20. S- и  $\gamma$ -процессы.

#### **14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

Основная литература.

1. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра: Учебник. Ми 2-е. испр изоп. — М.: Издательство ЛКИ. 2007. — 584 с. (Классический университетский учебник.)
2. А.С. Давыдов. Теория атомного ядра. 1968 год. 612 стр.
3. Айзенберг И., Грайнер В. Механизмы возбуждения ядра. Электромагнитное и слабое взаимодействия. М., Атомиздат, 1973, 348 с.
4. Пенионжкевич Ю.Э. Ядерная астрофизика // СОЖ, 1998, № 10, с. 68–76.
5. ЯДЕРНАЯ АСТРОФИЗИКА. Под редакцией Ч.Барнса, Д.Клейтона, Д.Шрамма. - М.: Мир, 1986
6. Рыжов В.Н. Звездный нуклеосинтез – источник происхождения химических элементов // СОЖ, 2000, № 8, с. 81–87.
7. Стогов Ю.В. Основы нейтронной физики. М.: МИФИ. 2008.-204 с.

Дополнительная литература.

1. Ledingham K W D et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 36 L79–L82 (2003)
2. Borghesi M, Macchi A “Laser-Driven Ion Accelerators: State of the Art and Applications”, in Laser-driven particle 2687 acceleration towards radiobiology and medicine (Springer, 2016) p. 221
3. В.Г.Недорезов, С.Г.Рыкованов, А.Б.Савельев «Ядерная астрофизика» УФН, 2021  
Интернет-ресурсы.  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>  
Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуется аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, управляющим компьютером, экраном и обычной учебной доской.