

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. директора  
филиала МГУ в г.Дубне  
/ Э.Э. Боос /  
«14» 09 2022 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Наименование дисциплины:**

Нуклеосинтез и ядерная астрофизика

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

---

**Форма обучения:** Очная форма обучения

---

Дубна 2022 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 программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. кандидат физико-математических наук, Кондратьев Владимир Николаевич, почасовик МГУ

**Руководитель магистерской программы:**

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Нуклеосинтез и ядерная астрофизика»**

Целями дисциплины является изучение студентами основных процессов и возможных сценариев образования атомных ядер (т.е. химических элементов), наблюдаемых в видимой части Вселенной, модели звезд и основных направлений лабораторных исследования по синтезу новых элементов и изотопов.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Нуклеосинтез и ядерная астрофизика» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

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

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

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

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<b>МПК-2</b> Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	<b>ИМПК-2.1</b> Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	Знать: основные процессы и используемые модели и методы их описания в астрофизике. Уметь: количественно оценивать характеристики основных процессов нуклеосинтеза и иных явлений астрофизики. Владеть: умением формализовать наблюдаемые и гипотетические процессы астрофизики, обосновано выбирать наиболее подходящую для их описания модель или создавать таковую.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

*Тема 1. Введение.*

Карта ядер, границы стабильности. Распространенность элементов в природе. Модель «большого взрыва». Возможные реакции нуклеосинтеза и их основные характеристики.

*Тема 2. Основные положения ядерной астрофизики.*

Расширение Вселенной. Соотношение гелия и водорода и нуклеосинтез «большого взрыва». Образование звезд и их систематика. Эволюция звезд и взрыв сверхновых. Образование тяжелых элементов. Критическая плотность и темная материя.

*Тема 3. Нуклеосинтез в звездах и солнечная модель.*

Термоядерные реакции, общие положения. Астрофизический S-фактор. Гамовский пик. Скорость термоядерных реакций, резонансные реакции. Стандартная солнечная модель. Основной процесс сгорания водорода. CNO-цикл сгорания водорода. Солнечные нейтрино, проблемы. Сгорание гелия, углерода и других ядер.

*Тема 4. Нуклеосинтез в сверхновых.*

Завершение звездного цикла, красные гиганты и сверхновые. Нуклеосинтез в сверхновых. s-процесс. r-процесс и образование тяжелых элементов. rp-процесс. Гамма-процесс.

*Тема 5. Управляемые термоядерные реакции.*

Характеристики основных термоядерных процессов. Горячая плазма и критерий Лоусона. Гравитационный, инерционный, магнитный, пузырьковый и мюонный синтез. Принципиальная схема ТОКАМАКа и основные результаты.

*Тема 6. Синтез сверхтяжелых элементов.*

Основные исторические этапы лабораторного синтеза тяжелых элементов. Остров стабильности. Постановка эксперимента по синтезу сверхтяжелых элементов. «Холодные» и «горячие» реакции слияния. Сечение выхода испарительных остатков. Конкуренция слияния и квазиделения. Конкуренция деления и испарения легких частиц. Последние экспериментальные результаты по синтезу сверхтяжелых элементов. Дальнейшие перспективы синтеза сверхтяжелых элементов.

*Тема 7. Получение экзотических ядер и реакции с ними.*

g-процесс и нейтронно-избыточные ядра, их свойства и получение. rp-процесс и протонно-избыточные ядра, их свойства и получение. Извлечение ядерных астрофизических S-факторов. Получение пучков радиоактивных ядер, сепарация, эксперименты.

**7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Учебно-практические занятия	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Нуклеосинтез и ядерная астрофизика	3	108	34	17	17	74	

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

В ходе семинарских занятий студенты должны усвоить основные определения, формулировки и формулы, данные на лекции, и научиться применять их к решению задач. Семинарские занятия начинаются с краткого повторения теоретического материала с опросом студентов (или преподаватель в сжатой форме напоминает пройденный на лекции материал и выписывает нужные формулы на доске – в зависимости от уровня студентов). Затем решаются задачи по теме занятия. Сложные или новые задачи преподаватель может показать на доске, типовые задачи студенты решают самостоятельно с последующим обсуждением (как правило, один или несколько студентов у доски, остальные в тетрадях). Перед началом занятия преподаватель может провести выборочную проверку домашнего задания с обсуждением сложностей, возникших у студентов при его выполнении. Преподаватель устанавливает график индивидуальной сдачи домашних заданий.

Основой самостоятельной работы студентов является проработка лекционного материала и выполнение практических заданий. Она включает в себя проработку и повторение лекционного материала, используя конспекты лекций, учебники, учебные пособия, методические указания, специальную литературу и ресурсы сети Интернет; выполнение практического задания; подготовку к контрольным работам, экзамену.

№ темы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Са мо сто я те ль на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Введение	12	2	2		8	ДЗ	
2	Основные положения ядерной астрофизики	14	2	2		10	КР	
3	Нуклеосинтез в звездах и солнечная модель	16	3	3		10	ДЗ	
4	Нуклеосинтез в сверхновых	15	3	2		10	ДЗ	
5	Управляемые термоядерные реакции	16	3	3		10	ДЗ	
6	Синтез сверхтяжелых элементов	15	2	3		10	ДЗ	
7	Получение экзотических ядер и реакции с ними	14	2	2		10	ДЗ	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен	
<b>ИТОГО:</b>		<b>108</b>	<b>17</b>	<b>17</b>		<b>74</b>		

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Нуклеосинтез и ядерная астрофизика» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и беседах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

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).

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 специальная беседа по тематике предыдущей лекции и 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
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
ЗНАТЬ: основные процессы и используемые модели и методы их описания в астрофизике. ИМПК-2.1 З-1	Отсутствие знаний основных процессов и используемых моделей и методов их описания в астрофизике.	В целом успешные, но не систематически знания основных процессов и используемых моделей и методов их описания в астрофизике.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных процессов и используемых моделей и методов их описания в астрофизике.	Успешные и систематические знания основных процессов и используемых моделей и методов их описания в астрофизике.
УМЕТЬ: количественно оценивать характеристик и основных процессов нуклеосинтеза и иных явлений астрофизики. ИМПК-2.1 У-1	Отсутствие умения количественно оценивать характеристики основных процессов нуклеосинтеза и иных явлений астрофизики.	В целом успешное, но не систематическое умение количественно оценивать характеристики основных процессов нуклеосинтеза и иных явлений астрофизики.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение количественно оценивать характеристики основных процессов нуклеосинтеза и иных явлений астрофизики.	Успешное и систематическое умение количественно оценивать характеристики основных процессов нуклеосинтеза и иных явлений астрофизики.
ВЛАДЕТЬ: умением формализовать наблюдаемые и гипотетические процессы астрофизики, обосновано выбирать наиболее	Отсутствие/фрагментарное владение умением формализовать наблюдаемые и гипотетические процессы астрофизики, обосновано выбирать	В целом успешное, но не систематическое владение умением формализовать наблюдаемые и гипотетические процессы астрофизики,	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение умением формализовать наблюдаемые и гипотетические	Успешное и систематическое владение умением формализовать наблюдаемые и гипотетические процессы астрофизики, обосновано выбирать



подходящую для их описания модель или создавать такую. ИМПК-2.1 В-1	наиболее подходящую для их описания модель или создавать такую.	обосновано выбирать наиболее подходящую для их описания модель или создавать такую.	процессы астрофизики, обосновано выбирать наиболее подходящую для их описания модель или создавать такую.	наиболее подходящую для их описания модель или создавать такую.
---	---	---	---	---

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

№	Тема задания
Д1	Эволюция Вселенной, начиная с первовзрыва.
Д2	Расширение Вселенной, темная материя.
Д3	Эволюция звезд различной массы.
Д4	Оценка времени жизни Солнца.
Д5	Сценарий взрыва сверхновой.
Д6	Методы определения распространенности элементов в природе.
Д7	Управляемый термоядерный синтез, методы решения проблемы.
Д8	Принцип работы и история развития ТОКОМАКов.
Д9	История синтеза тяжелых и сверхтяжелых элементов.
Д10	Методы получения экзотических ядер.

### **Контрольные работы**

1. Эволюция Вселенной, начиная с первовзрыва.
2. Расширение Вселенной, темная материя.
3. Эволюция звезд различной массы.
4. Оценка времени жизни Солнца.
5. Сценарий взрыва сверхновой.
6. Методы определения распространенности элементов в природе.
7. Управляемый термоядерный синтез, методы решения проблемы.
8. Принцип работы и история развития ТОКОМАКов.
9. История синтеза тяжелых и сверхтяжелых элементов.
10. Методы получения экзотических ядер.

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

Экзамен проводится в письменной форме с собеседованием после.

### *Список экзаменационных вопросов по курсу «Нуклеосинтез»:*

1. Карта ядер, границы стабильности. Распространенность элементов в природе.
2. Характеристики основных термоядерных процессов. Горячая плазма и критерий Лоусона.
3. Модель «большого взрыва». Возможные реакции нуклеосинтеза и их основные характеристики.
4. Гравитационный, инерционный, магнитный, пузырьковый и мюонный термоядерный синтез. Принципиальная схема ТОКАМАКа.
5. Расширение Вселенной. Соотношение гелия и водорода в природе и нуклеосинтез «большого взрыва».
6. Основные исторические этапы лабораторного синтеза тяжелых элементов. Остров стабильности.
7. Образование звезд, их систематика. Эволюция звезд и взрыв сверхновых. Образование тяжелых элементов в природе.
8. Постановка эксперимента по синтезу сверхтяжелых элементов.
9. Термоядерные реакции, общие положения. Астрофизический S-фактор. Гамовский пик.
10. «Холодные» и «горячие» реакции слияния. Сечение выхода испарительных остатков.
11. Скорость термоядерных реакций, резонансные реакции, примеры.
12. Конкуренция слияния и квазиделения в реакциях слияния тяжелых ядер. Конкуренция деления и испарения легких частиц из составного ядра.
13. Стандартная солнечная модель. Основной процесс сгорания водорода. Солнечные нейтрино, проблемы.
14. Последние экспериментальные результаты по синтезу сверхтяжелых элементов. Дальнейшие перспективы синтеза сверхтяжелых элементов.
15. CNO-цикл сгорания водорода. Сгорание гелия, углерода и других ядер.
16. r-процесс. Гамма-процесс.
17. Завершение звездного цикла, красные гиганты и сверхновые. s-процесс.
18. Извлечение ядерных астрофизических S-факторов в лабораторных опытах.
19. r-процесс и образование тяжелых элементов в сверхновых.
20. Получение пучков радиоактивных ядер, сепарация, эксперименты.

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

##### Основная литература

1. Ишханов Б.С. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов / Ишханов Борис Саркисович, Капитонов Игорь Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с.
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник для вузов: В 2 кн. Кн.1 : Физика атомного ядра. Ч.1. Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений / Мухин Константин Никифорович. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 376с.
3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник для вузов: В 2 кн. Кн.2 : Физика элементарных частиц / Мухин Константин Никифорович. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 408с.

##### Дополнительная литература

1. Шкловский, И. Звезды: их рождение, жизнь и смерть / И. Шкловский. - Новгород : Наука, 1984. - 306 с. [Электронный ресурс - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=44304> (29.06.2016)].

- Ишханов Б.С., Нуклеосинтез во Вселенной : Учебное пособие для студентов вузов / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, И. А. Тутынь; МГУ им.М.В.Ломоносова. Физический факультет. Кафедра общей ядерной физики; Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына. - 3-е изд. - М. : Либроком, 2013. - 208с. - Лит.:с.201

#### Периодические издания

- Вестник Московского университета. Серия 3, Физика. Астрономия: научный журнал / учредитель: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова; гл. ред. В.И. Трухин. - М.: МГУ, 2017. - Журнал .
- Успехи физических наук/ РАН; гл. ред. В.А. Рубаков. - М.: Успехи физических наук, 2017. - Журнал .
- Физика элементарных частиц и атомного ядра: ЭЧАЯ : научный обзорный журнал / Объединенный институт ядерных исследований; гл. ред. В. А. Матвеев. - Дубна: ОИЯИ , 2017. - Журнал .

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

- Операционная система Astra Linux ( <https://astralinux.ru/> ) или аналог, с офисным пакетом.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>

Электронные и интернет-ресурсы:

- ЭБС Университетская библиотека онлайн
- ЭБС Znanium.com
- Национальная электронная библиотека
- Электронная библиотека диссертаций РГБ
- Elibrary.ru. Научная электронная библиотека (РУНЭБ)
- ArXiv.org
- Math-Net.Ru
- <http://jinr.ru> –Объединенный институт ядерных исследований
- <http://inspirehep.net/>
- <https://www.wolframalpha.com/> - база знаний и набор вычислительных алгоритмов
- <https://home.cern/> - European Organization for Nuclear Research
- <https://postnauka.ru/courses>
- <http://pdg.lbl.gov/> - Particle Data Group

#### Материально-техническое обеспечение

Специальные помещения представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.