

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:**

Кинетика ядерных и термоядерных процессов

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Теоретическая 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 рабочей программы дисциплины:**

д.ф.-м.н., профессор Д.О. Еременко, кафедра физики атомного ядра и квантовой теории столкновений физического факультета МГУ,

д.ф.-м.н., профессор С.Ю. Платонов, кафедра физики атомного ядра и квантовой теории столкновений физического факультета МГУ,

к.ф.-м.н., доцент А.А. Кузнецов, кафедра общей ядерной физики физического факультета МГУ,

д.ф.-м.н., профессор К.А. Кузаков, кафедра физики атомного ядра и квантовой теории столкновений физического факультета МГУ

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Кинетика ядерных и термоядерных процессов»**

Дисциплина «Кинетика ядерных и термоядерных процессов» является дисциплиной магистерской программы «Теоретическая физика» по выбору студента.

В курсе излагаются современные экспериментальные и теоретические исследования механизмов ядерных реакций под действием нейтронов, гамма-квантов и легких заряженных частиц, реакций деления и слияния тяжелых ядер. В рамках курса подробно рассматривается формализм, используемый при описании наблюдаемых характеристик ядерных реакций. В рамках курса рассматриваются основы теоретического описания и базовые экспериментальные закономерности процесса спонтанного и вынужденного деления атомных ядер. Существенное место в курсе уделяется вопросам, связанным с синтезом сверхтяжелых элементов, и изучению свойств ядерных систем, вблизи линии нуклонной стабильности.

### **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. Форма 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 «Кинетика ядерных и термоядерных процессов» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре и является дисциплиной по выбору. Курс тесно связан с читаемым ранее курсом «Теоретическая ядерная физика».

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

Освоение следующих дисциплин: «Теоретическая 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)
СПК-1, СПК-3, СПК-2	<p><b>З-4. Знать:</b> основные понятия теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.</p> <p><b>У-4. Уметь:</b> выполнять основные физические оценки параметров процессов, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.</p> <p><b>В-4. Владеть:</b> навыками работы с научной литературой, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.</p>

4. **Форма обучения:** очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. **Содержание дисциплины**

*Тема 1. Общее описание ядерных реакций.*

Классификация ядерных реакций и их характеристики, каналы реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Кинематика ядерных реакций. Матрица столкновений и ее унитарность. Амплитуды рассеяния и реакции, дифференциальные и интегральные сечения упругого рассеяния и неупругих процессов, фазы рассеяния, оптическая теорема, теорема взаимности. Матрица столкновений при наличии спина у частиц. Поляризационные явления в ядерных реакциях.

*Тема 2. Ядерные реакции, идущие через составное ядро, основы статистической теории ядерных реакций*

Экспериментальные проявления составного ядра в ядерных реакциях. Гипотеза Бора, составное ядро в области изолированных уровней. Формула Брейта-Вигнера. Составное ядро в области перекрывающихся состояний. Описание процессов распада возбужденных ядер в рамках статистической теории ядерных реакций. Формула Хаузера-Фешбаха. Понятие плотности уровней. Описание плотности уровней ядра в рамках модели Ферми-газа. Оценка параметров плотности уровней в рамках квазиклассического приближения. Угловые распределения продуктов ядерных реакций.

*Тема 3. Оптическая модель ядерных реакций*

Оптическая модель ядерных реакций. Оптическая модель в области дискретного и квазидискретного спектра, представления о силовой функции. Дифракционное приближение. Дифракционное рассеяние на абсолютно черной сфере, угловое распределение рассеянных частиц. Многократное дифракционное рассеяние. Теория Глаубера-Ситенко.

#### *Тема 4. Предравновесные и прямые ядерные реакции, кулоновское возбуждение атомных ядер*

Предравновесные реакции. Модель внутриядерных каскадов. Прямые реакции ((d,p), связь энергетических спектров и угловых распределений продуктов реакции с характеристиками ядерных состояний, выражение для амплитуды, метод искаженных волн, спектроскопический фактор). Реакция кулоновского возбуждения.

#### *Тема 5. Основные закономерности процесса деления. Барьер деления.*

История открытия явления деления атомных ядер. Модель жидкой капли. Описание поверхности делящегося ядра. Энергия деформации. Устойчивость жидкой капли по отношению к малым деформациям. Параметр делимости ядра. Барьер деления (высота, кривизна, аппроксимация формы). Полуэмпирические оценки высоты барьеров деления. Проницаемость барьера деления. Экспериментальные методы определения параметров барьеров деления. Спонтанное деление ядер. Вычисление периодов полураспада ядер по отношению к спонтанному делению. Процесс вынужденного деления ядер. Метод переходных состояний. Делимость ядер. Нейтронная и делительная ширина распада.

#### *Тема 6. Модель двугорбого барьера деления*

Экспериментальные проявления двугорбой формы барьера деления: массовые и энергетические распределения осколков деления ядер, резонансно-подобные структуры в сечениях подбарьерного деления, спонтанно-делящиеся изомеры. Применение одночастичных моделей для описания характеристик процесса деления. Существование оболочек при больших деформациях ядра. Макро-микроскопический метод вычисления оболочечной поправки к энергии деформации ядра В.М. Струтинского. Модель двугорбого барьера деления. Симметрия формы ядра в характерных точках двугорбого барьера. Схема распада ядер, имеющих два класса возбужденных состояний. Сечения деления и испарения нейтронов. Законы распада делящихся ядер по различным каналам.

#### *Тема 7. Динамические аспекты процесса деления.*

Массовые, энергетические и зарядовые распределения осколков деления. Движение делящегося ядра от седловой точки до точки разрыва. Диссипация кинетической энергии в процессе деления. Адиабатические и статистические подходы. Связь одночастичных и коллективных степеней свободы. Динамические эффекты в делении ядер. Механизм ядерной вязкости. Угловые распределения осколков деления. Каналы деления. Точное квантово-механическое выражение и приближения.

#### *Тема 8. Нейтроны деления.*

Эволюция ядерной системы в процессе деления, источники и этапы испускания нейтронов. Описание выхода мгновенных нейтронов (временной масштаб нейтронной эмиссии; множественность нейтронов; энергетический спектр нейтронов деления). Зависимость выхода мгновенных нейтронов деления от атомного веса и заряда делящегося ядра. Метод «испарительных часов». Запаздывающие нейтроны.

#### *Тема 9. Экзотические моды деления.*

Тройное и четверное деление. Механизмы испускания заряженных частиц при делении. Зависимость выхода тройного деления от массы и энергии возбуждения делящегося ядра. Кинематические характеристики тройного деления. Кластерная радиоактивность. F-фрагментация тяжелых ядер. Запаздывающее деление.

#### *Тема 10. Ядерные реакции столкновения тяжелых ионов.*

Классификация реакций с тяжелыми ионами (упругое кулоновское и ядерное рассеяние, прямые реакции, глубоконеупругие столкновения, реакции слияния-деления). Классическая орбитальная теория. Упругое рассеяние. Дифракционное рассеяние. Квазиупругие процессы.

### Тема 11. Ядро-ядерное взаимодействие.

Потенциальная энергия ядро-ядерного взаимодействия. Адиабатический и диабатический режимы столкновений сложных ядер. Энергия кулоновского взаимодействия. Ядерное взаимодействие: потенциал Вудса-Саксона, контактный потенциал, потенциал Баса, методы двойной и однократной свертки, метод функционала плотности энергии. Оболочечные эффекты при расчетах потенциальной поверхности для ядро-ядерного взаимодействия. Зависимость ядро-ядерного потенциала от деформации сталкивающихся ядер.

### Тема 12. Глубоконеупругое рассеяние ядер

Продукты реакций глубоконеупругих передач. Квазиделение. Концепция диядерной системы. Ядерная диссипация. Диффузионное приближение. Потенциальная энергия диядерной системы. Роль диссипативных сил и нуклонных передач в эволюции диядерной системы. Механизмы ядерной диссипации. Описание глубоконеупругих столкновений с помощью транспортных уравнений. Синтез тяжелых нейтронно-избыточных ядер. Модель критического радиуса. Подбарьерное слияние. Формула Хила-Уилера. Метод связанных каналов. Роль нуклонных передач. Макроскопическая модель Святецкого. Динамическая модель с поверхностным трением. Флуктуационно-диссипативная модель. Модель коллективизации нуклонов. Метод Хартри-Фока в теории ядерных реакций с тяжелыми ионами.

### Тема 13. Сверхтяжелые ядра, остров стабильности.

Сверхтяжелые ядра. Остров стабильности. Реакции синтеза и реакции многонуклонных передач. Современное состояние проблемы.

### Тема 14. Ядерные реакции с радиоактивными пучками, экзотические ядерные системы.

Методы получения радиоактивных пучков. Ядерные реакции с радиоактивными пучками. Свойства атомных ядер, далеких от линии бета-стабильности. Размер и форма экзотических ядер, моды распада, одночастичная структура.

### Тема 15. Прикладные аспекты ядерных реакций

Ядерные процессы в реакторах. Адронная терапия. Исследование поверхности твердых тел методами ядерного и Резерфордского обратного рассеяния.

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоёмкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в акад. часах				
		Общая трудоёмкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Кинетика ядерных и термоядерных процессов	2	72	34	17	17	38

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

Изучение курса «Кинетика ядерных и термоядерных процессов» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. 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 занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Общее описание ядерных реакций	4	1	-	1	2	Собеседование, опрос
2	Ядерные реакции, идущие через составное ядро, основы статистической теории ядерных реакций	4	1	-	1	2	
3	Оптическая модель ядерных реакций	4	1	-	1	2	
4	Предравновесные и прямые ядерные реакции, кулоновское возбуждение атомных ядер	4	1	-	1	2	
5	Основные закономерности процесса деления. Барьер деления	6	1	-	1	3	
6	Модель двугорбого барьера деления	6	1	-	1	3	
7	Динамические аспекты процесса деления	8	2	-	2	4	
8	Нейтроны деления	4	1	-	1	2	
9	Экзотические моды деления	4	1	-	1	2	
10	Ядерные реакции столкновения тяжелых ионов	4	1	-	1	2	
11	Ядро-ядерное взаимодействие	8	2	-	2	4	
12	Глубоконеупругое рассеяние ядер	4	1		1	2	
13	Сверхтяжелые ядра, остров стабильности	4	1		1	3	
14	Ядерные реакции с радиоактивными пучками,	4	1		1	3	

	<i>экзотические ядерные системы</i>						
<b>15</b>	<i>Прикладные аспекты ядерных реакций</i>	<b>4</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	
	Промежуточная аттестация	<b>4</b>	-	-		<b>4</b>	Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>17</b>		<b>17</b>	<b>38</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Кинетика ядерных и термоядерных процессов» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточные аттестации по дисциплине «Кинетика ядерных и термоядерных процессов» проводится во втором семестре в форме зачёта и экзамена. Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

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 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 студента 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 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	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> основные понятия теории ядерных реакций, физики деления и синтеза. ОПК-2.Б 3-4	Отсутствие знаний основных понятий теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	В целом успешные, но не систематические знания основных понятий теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	Успешные и систематические знания основных понятий теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.
<b>УМЕТЬ:</b> выполнять	Отсутствие умения выполнять основные	В целом успешное, но	В целом успешно	Успешное и систематическое

основные физические оценки параметров процессов, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза. ОПК-2.Б У-4	физические оценки параметров процессов, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	не систематическое умение выполнять основные физические оценки параметров процессов, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	е, но содержащее отдельные пробелы умение выполнять основные физические оценки параметров процессов, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	ое умение выполнять основные физические оценки параметров процессов, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.
ВЛАДЕТЬ: навыками работы с научной литературой, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза. ОПК-2.Б В-4	Отсутствие/фрагментарное владение навыками работы с научной литературой, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	В целом успешное, но не систематическое владение навыками работы с научной литературой, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение навыками работы с научной литературой, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.	Успешное и систематическое владение навыками работы с научной литературой, относящейся к области теории ядерных реакций, физики деления и синтеза.

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

#### **Примеры теоретических вопросов:**

1. Сечения реакции (S-матрица, ее унитарность, амплитуды рассеяния и реакции, дифференциальные и интегральные сечения упругого рассеяния и неупругих процессов)
2. Оптическая теорема
3. Теорема взаимности.

4. Особенности использования оптической модели в области квазидискретного спектра.
5. Прямые (d,p) реакции (связь энергетических спектров и угловых распределений протонов с характеристиками ядерных состояний).
6. Реакция кулоновского возбуждения.
7. Оценка энерговыделения в процессе деления.
8. Формула Хаузер-Фешбаха. Понятие о  $\Gamma$ -ширине распада составного ядра.
9. Сечение ядерных реакций, протекающих через стадию образования составного ядра
10. Конкуренция каналов распада составного ядра
11. Диссипация кинетической энергии в процессе деления.
12. Угловые распределения осколков деления.
13. Источники и этапы испускания нейтронов.
14. Упругое рассеяние с тяжелыми ионами: радужное рассеяние, рассеяние глори, орбитирование.
15. Оболочечные эффекты при расчетах потенциальной поверхности для ядро-ядерного взаимодействия
16. Потенциальная энергия диядерной системы
17. Модель критического радиуса
18. Метод связанных каналов. Роль нуклонных передач.
19. Острые стабильности сверхтяжелых элементов

### ***Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины***

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы теории ядерных реакций, физики деления и синтеза; уметь использовать основные методы решения задач курса «Кинетика ядерных и термоядерных процессов».

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

#### **Примеры теоретических вопросов:**

1. Ядерные реакции (классификация, законы сохранения, каналы ядерной реакции, Q-энергия, пороговые энергии).
2. Концепция составного ядра (экспериментальное обоснование, гипотеза Бора).
3. Составное ядро в области изолированных уровней, формула Брейта-Вигнера.
4. Основные положения статистической теории ядерных реакций, испарительные спектры.
5. Оптическая модель (основные положения).
6. Прямые реакции в рамках метод искаженных, спектроскопический фактор.
7. Предравновесные процессы (Спектры частиц, экситонная модель, релаксация к составному ядру).
8. Реакция кулоновского возбуждения
9. Основные положения модели жидкой капли. Энергия деформации.
10. Барьер деления, проницаемость барьера деления, оценка периодов спонтанного деления.
11. Формула Хаузер-Фешбаха. Понятие о  $\Gamma$ -ширине распада составного ядра.
12. Модель двугорбого барьера деления.

13. Диссипация кинетической энергии в процессе деления.
14. Модельные представления о величине и механизмах ядерной вязкости.
15. Каналы деления. Точное квантово-механическое выражение и приближения.
16. Нейтроны, сопутствующие делению. Зависимость выхода мгновенных нейтронов деления от атомного веса и заряда делящегося ядра.
17. Тройное и четверное деление. Механизмы испускания заряженных частиц при делении.
18. Классификация реакций с тяжелыми ионами их особенности
19. Квазиупругое рассеяние.
20. Глубоконеупругие реакции. Свойства продуктов реакций глубоконеупругих передач. Квазиделение.
21. Описание глубоконеупругих столкновений с помощью транспортных уравнений, диффузионное приближение.
22. Подбарьерное слияние. Формула Хила-Уилера.
23. Метод связанных каналов. Роль нуклонных передач
24. Описание ядерных реакций с тяжелыми ионами с помощью метода Хартри-Фока с зависимостью от времени.
25. Методы получения радиоактивных пучков (ISOLD и In-flight – фрагментация).
26. Свойства атомных ядер, далеких от линии  $\beta$ -стабильности: их размер и форма, моды распада, одночастичная структура.

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

Основная литература.

1. К.Н. Мухин, Экспериментальная ядерная физика. Кн. 1, Ч. I и II, Издательство «Энергоатомиздат», 1993.
2. А.Г.Ситенко. Теория ядерных реакций. 1983, М: Энергоатомиздат.
3. Н.Feshbach. Theoretical Nuclear Physics. Nuclear Reaction. John Wiley & Sons, Inc., 1992.
4. В.В.Балашов. Квантовая теория столкновений. 2012, М: МАКС-Пресс.
5. R. Vandenbosh, J.R. Huizenga, Nuclear Fission. Academic Press, New-York and London, 1983.
6. Э. Хайд, И. Перлман, Г. Сиборг, Серия: Ядерные свойства тяжелых элементов. Вып. 5, Деление ядер, Москва, Издательство «Атомиздат», 1979
7. В.А.Волков. Ядерные реакции глубоконеупругих передач. Москва: Энергоатомиздат, 1982.
8. Н.Feshbach. Theoretical Nuclear Physics. Nuclear Reaction. John Wiley & Sons, Inc., 1992.
9. W.Nörenberg, H.A.Weidenmüller. Introduction to the theory of Heavy-Ion Collisions, Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York, 1976.
10. В.И.Загребаев. Ядерные реакции с тяжелыми ионами. 2016, Дубна.
11. Введение в физику тяжелых ионов под ред. Ю.Ц.Оганесяна. 2008, Дубна.

Дополнительная литература.

1. Н.Р.Sheik. Nuclear reactions. The Introduction. 2014, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
2. P. Frobrich and R. Lipperheide, Theory of Nuclear Reactions, Oxford University Press, Oxford, 1996.
3. G.R.Sathler. Introduction to Nuclear reactions. 1990, MACMILAN EDUCATION Ltd.

4. А.В. Игнатюк, Статистические свойства возбужденных тяжелых ядер. Москва, Издательство «Энергоатомиздат». 1983.
5. Дж. Халперн, Физика деления, Москва, Издательство «Физматгиз», 1971
6. Proceedings of the International Conference on Fifty Years Research in Nuclear Fission, (Berlin, 1989). Nuclear Physics, V. A502 (1989) p. 1.
7. S. Bjornholm, J.E. Lynn, The double-humped fission barrier. Review of Modern Physics, V. 52, No. 4, (1980) p. 725.
8. Г.Д. Адеев, И.И. Гончар, В.В. Пашкевич, Н.И. Пичасов, О.И. Сердюк, Диффузионная модель формирования распределений осколков деления. ЭЧАЯ, т. 19, вып. 6 (1988) стр. 1229.
9. D.Durand, E.Surand, B.Tamain. Nuclear dynamics in the nucleonic regime. 2001, Institute of Physics, Bristol and Philadelphia.
10. R.Brogliа, A.Winter. Heavy ion reactions.2004, Westview Press.

#### Интернет-ресурсы:

- 1) <http://nr.v.jinr.ru/nrv/>
- 2) <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
- 3) <http://np-chair.sinp.msu.ru>

Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86\_64 16 шт.
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86\_64 14шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrainsPyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrainsCLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit)Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продуктCodeBlocksThe Code::Blocks Team

18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продукт Haskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

#### Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

#### **Материально-техническое обеспечение**

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