

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:

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

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,

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

к.ф.-м.н., доцент Т.Ю. Третьякова, кафедра общей ядерной физики физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Теоретическая ядерная физика»

Дисциплина «Теоретическая ядерная физика» является обязательным курсом второго семестра первого курса.

В курсе излагаются теоретические основы и методы ядерной физики. Рассматриваются современные теоретические представления о нуклон-нуклонном взаимодействии, свойствах малонуклонных ядерных систем и ядерной материи; микроскопические подходы к описанию структуры сложных атомных ядер в основном и в возбужденных состояниях; современные модельные представления о коллективных ядерных возбуждениях; закономерности радиоактивных распадов и их связь со структурой атомных ядер; теория резонансных ядерных реакций; модели прямых ядерных реакций; статистическая теория ядерных реакций; основы теоретического описания спонтанного и вынужденного деления атомных ядер. Существенное внимание уделено взаимосвязи рассматриваемых в курсе теоретических моделей и подходов.

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 «Теоретическая ядерная физика» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре и является частью общенаучного блока обязательной части. Курс тесно связан с читаемым ранее курсом «Теория фундаментальных взаимодействий».

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

Освоение следующих дисциплин: «Теория фундаментальных взаимодействий, Ч. 1», «Квантовая теория поля, Ч. 1».

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

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

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">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1). | <p>ЗНАТЬ</p> <p>основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики.</p> <p>УМЕТЬ</p> <p>на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ</p> <p>необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области теоретической физики.</p> |
| <ul style="list-style-type: none">Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области теоретической физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2). | <p>ЗНАТЬ</p> <p>базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании.</p> <p>УМЕТЬ</p> <p>используя знания в области теоретической физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ</p> <p>навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p> |
| <ul style="list-style-type: none">Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3). | <p>ЗНАТЬ</p> <p>основные направления инновационного развития в области теоретической физики.</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>УМЕТЬ</p> <p>проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p>ВЛАДЕТЬ</p> <p>методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области теоретической физики.</p> |
|--|---|

4. **Форма обучения:** очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Нуклон-нуклонное взаимодействие, малочастичные ядерные системы.

Свойства нуклон-нуклонного взаимодействия. Изотопическая инвариантность. Обобщенный принцип Паули. Классификация состояний двухнуклонной системы. Общий вид оператора потенциальной энергии двухнуклонной системы. Феноменологические потенциалы. Потенциал однопионного обмена. Потенциал однобозонного обмена. Дейтрон. Решение уравнения Шредингера для основного состояния (центральный и тензорный нуклон-нуклонный потенциал). Магнитный дипольный и электрический квадрупольный моменты. Электрический и магнитный формфакторы. Нуклонная изобара в ядре. Ядра трития и ^3He . Трехчастичные взаимодействия между нуклонами. Ненуклонные степени свободы.

Тема 2. Ядерная материя, особенности нуклон-нуклонного взаимодействия в ядерной среде.

Ядерная материя. Модель ферми-газа. Энергия симметрии. Модель независимых пар. Уравнение Бете-Голдстоуна. Длина “залечивания” волновой функции нуклона в ядерной среде. Конечные ядра. Уравнения Хартри-Фока (вторичное квантование). Эффективный одночастичный гамильтониан. Обменное взаимодействие. Одночастичные самосогласованные энергии. Теорема Коопмана. Энергия основного состояния. Эффективное нуклон-нуклонное взаимодействие. Метод Бракнера. Взаимодействие Скирма.

Тема 3. Теория среднего поля, оболочечная структура атомных ядер, остаточное взаимодействие.

Модель оболочек. Магические ядра. Оболочечная модель нечетных ядер. Электрические квадрупольные и магнитные дипольные моменты атомных ядер. Многочастичный подход к описанию структуры ядра. Остаточное нуклон-нуклонное взаимодействие. Смешивание конфигураций. Модели ядерных оболочек без инертного кора. Релятивистская модель среднего поля. Структура Лагранжиана. Мезонные поля. Спин-орбитальное взаимодействие. Частично-дырочные возбуждения. Приближение Тамма-Данкова. Приближение хаотических фаз. Гигантский дипольный резонанс. Теория парных корреляций в ядрах. Сверхтекучая модель. Квазичастицы. Каноническое преобразование Н.Н.Боголюбова. Метод Хартри-Фока-Боголюбова. Квазичастичные возбужденные состояния. Теория конечных ферми-систем Ландау-Мигдала.

Тема 4. Коллективные возбуждения атомных ядер.

Коллективные возбуждения атомных ядер. Ротационные волновые функции и спектры. Взаимодействие Кориолиса. Колебания ядерной поверхности и вибрационные спектры.

Обобщенная модель ядра. β и γ -колебания несферических ядер. Высокоспиновые состояния. Модель принудительного вращения, Одночастичные состояния в деформированных ядрах. Модель Нильсона. Двухцентровая оболочечная модель.

Тема 5. Ядерные распады.

Электромагнитные переходы в ядрах. Разложение по мультиполям. Правила отбора. Вероятности переходов. Одночастичные и коллективные переходы. Угловое распределение гамма-излучения и угловая корреляция в каскадных гамма-переходах. Альфа-распад ядер. Структурные факторы вероятности альфа-распада. Правила отбора. Вероятности альфа-распада и парные корреляции сверхпроводящего типа. Распад с испусканием тяжелых фрагментов. Бета-распад. Правила отбора. Классификация переходов. Двойной бета-распад.

Тема 6. Теория резонансных ядерных реакций.

Характеристики резонансного механизма реакций. Формула Брейта-Вигнера для интегрального сечения упругого рассеяния. Описание упругого рассеяния при наличии неупругого рассеяния. Полные и парциальные ширины. Интегральное сечение неупругого рассеяния. Обобщенная формула Брейта-Вигнера в методе Фешбаха. Связь парциальных ширин с матричными элементами операторов взаимодействия.

Тема 7. Модели прямых ядерных реакций.

Характеристики прямого механизма реакций. Сечение упругого рассеяния в оптической модели. Сечение флуктуаций. Применимость оптической модели. Сечение реакций. Полное сечение. Структура оптического потенциала. Вещественная часть оптического потенциала и характеристика её параметров. Спин-орбитальный потенциал, кулоновский потенциал для заряженных частиц. Поверхностное и объёмное поглощение. Модификации оптического потенциала. Оптическая модель для составных частиц. Гамильтониан и система уравнений метода связанных каналов. Радиальные формфакторы неупругих переходов. Описание коллективных возбуждений при неупругом рассеянии нуклонов на ядрах в методе связанных каналов и методе искажённых волн. Дифференциальное сечение неупругого рассеяния. Форма угловых распределений.

Тема 8. Статистическая теория ядерных реакций.

Описание процессов распада возбужденных ядер в рамках статистической теории ядерных реакций. Модель составного ядра. Формула Хаузера-Фешбаха. Понятие плотности уровней. Описание плотности уровней ядра в рамках модели Ферми-газа. Оценка параметров плотности уровней в рамках квазиклассического приближения. Зависимость плотности уровней от энергии возбуждения и углового момента ядер. Феноменологическое описание плотности уровней атомных ядер (систематики параметров плотности уровней). Влияние на величину плотности уровней оболочечной структуры одночастичного спектра. Влияние корреляционных эффектов сверхпроводящего типа на статистические свойства атомных ядер. Феноменологическое описание влияния коллективных степеней свободы на плотность уровней ядра. Зависимость коэффициента ротационного наращивания плотности уровней от типа симметрии формы ядра. Учет возбуждений вибрационной природы в рамках фононной модели и модели жидкой капли. Конкуренция каналов распада. Сечения реакций, основные положения оптической модели. Каскадные испарительные процессы. Описание делимости ядер. Систематики отношения нейтронной и делительной Γ -ширин распада.

Тема 9. Особенности процесса деления как особой моды распада атомного ядра.

Модель жидкой капли. Формула Вайцеккера. Описание поверхности делящегося ядра. Энергия деформации. Устойчивость жидкой капли по отношению к малым деформациям. Параметр делимости ядра. Оценка полного энергосвободного деления в процессе деления ядра на два осколка равной и неравной массы. Оценка полной кинетической энергии осколков деления.

Поверхность потенциальной энергии деформации. Понятие потенциального барьера деления (высота, кривизна, аппроксимация формы). Полуэмпирические оценки высоты барьеров деления. Проницаемость барьера деления. Спонтанное деление ядер. Вычисление периодов полураспада ядер по отношению к спонтанному делению. Процесс вынужденного деления ядер. Метод переходных состояний.

Тема 10. Модель двугорбого барьера деления.

Экспериментальные явления, не находящие теоретического описания в рамках модели жидкой капли: массовые и энергетические распределения осколков деления ядер, резонансно-подобные структуры в сечениях под-барьерного деления, спонтанно-делящиеся изомеры. Применение одночастичных моделей для описания характеристик процесса деления. Макро-микроскопический метод В.М. Струтинского. Модель двугорбого барьера деления. Экспериментальные проявления двугорбой формы барьера деления. Проницаемость барьера. Схема распада ядер, имеющих два класса возбужденных состояний. Сечения деления и испарения нейтронов. Законы распада делящихся ядер по различным каналам. Время жизни возбужденных ядер, имеющих два класса возбужденных состояний. Явление дополнительной временной задержки процесса вынужденного деления тяжелых ядер. Энергетическая поверхность делящихся ядер в рамках метода оболочечной поправки, симметрия формы ядра в характерных точках двугорбого барьера. Сверхтяжелые ядра, “остров” стабильности.

Тема 11. Динамические аспекты процесса деления.

Движение делящегося ядра от седловой точки до точки разрыва. Массовые, энергетические и зарядовые распределения осколков деления. Диссипация кинетической энергии в процессе деления. Основные положения модели флуктуационно-диссипативной динамики ядерного деления. Связь одночастичных и коллективных степеней свободы. Динамические эффекты в делении ядер. Модельные представления о механизмах ядерной вязкости. Угловые распределения осколков деления. Каналы деления. Нейтроны, сопутствующие делению. 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.

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 | |
| Теоретическая ядерная физика | 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 «Теоретическая ядерная физика» 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-исследовательская работа | Семинары | Самостоятельная работа | |
| 1 | Нуклон-нуклонное взаимодействие, малочастичные ядерные системы | 10 | 1 | - | 1 | 3 | Собеседование, опрос |
| 2 | Ядерная материя, особенности нуклон-нуклонного взаимодействия в ядерной среде | 10 | 1 | - | 1 | 4 | |
| 3 | Теория среднего поля, оболочечная структура атомных ядер, остаточное взаимодействие | 10 | 1 | - | 1 | 3 | |
| 4 | Коллективные возбуждения атомных ядер | 10 | 1 | - | 1 | 3 | |
| 5 | Ядерные распады. Экзотические ядерные системы. | 10 | 1 | - | 1 | 3 | |
| 6 | Теория резонансных ядерных реакций | 6 | 2 | - | 2 | 3 | |
| 7 | Модели прямых ядерных реакций | 8 | 2 | - | 2 | 3 | |
| 8 | Статистическая теория ядерных реакций | 8 | 2 | - | 2 | 3 | |
| 9 | Особенности процесса деления как особой моды распада атомного ядра | 10 | 2 | - | 2 | 3 | |
| 10 | Модель двугорбого барьера деления | 8 | 2 | - | 2 | 3 | |
| 11 | Динамические аспекты процесса деления | 8 | 2 | - | 2 | 3 | |

| | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|---|
| | Промежуточная аттестация | 4 | - | - | - | 4 | Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием |
| ИТОГО: | | 72 | 17 | | 17 | 38 | |

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Теоретическая ядерная физика» 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 «Теоретическая ядерная физика» 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 |
|---|---|---|
| Оценочные средства текущего контроля | | |
| 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 |
| Оценочные средства промежуточной аттестации | | |
| 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 |
| ЗНАТЬ: основные понятия теоретической ядерной физики. ОПК-2.Б 3-4 | Отсутствие знаний базовых понятий теоретической ядерной физики. | В целом успешные, но не систематические знания базовых понятий теоретической ядерной физики. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания базовых понятий теоретической ядерной физики. | Успешные и систематические знания базовых понятий теоретической ядерной физики. |
| УМЕТЬ: выполнять основные физические оценки | Отсутствие умения выполнять теоретические расчеты основных характеристик ядерных | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержащее отдельные | Успешное и систематическое умение выполнять теоретические |

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
| параметров процессов, относящейся к области теоретической ядерной физики. ОПК-2.Б У-4 | систем и ядерных реакций. | выполнять теоретические расчеты основных характеристик ядерных систем и ядерных реакций. | пробелы умение выполнять теоретические расчеты основных характеристик ядерных систем и ядерных реакций. | расчеты основных характеристик ядерных систем и ядерных реакций. |
| ВЛАДЕТЬ: навыками работы с научной литературой, относящейся к области теоретической ядерной физики. ОПК-2.Б В-4 | Отсутствие/фрагментарное владение навыками применения методов теоретической ядерной физики. | В целом успешное, но не систематическое владение навыками применения методов теоретической ядерной физики. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками применения методов теоретической ядерной физики. | Успешное и систематическое владение навыками применения методов теоретической ядерной физики. |

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Примеры задач и теоретических вопросов:

Содержаться на интернет-ресурсе: <http://np-chair.sinp.msu.ru>

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы теоретической ядерной физики; уметь использовать основные методы решения задач курса «Теоретическая ядерная физика».

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

Примеры задач и теоретических вопросов:

1. Свойства нуклон-нуклонного взаимодействия. Общий вид оператора потенциальной энергии двухнуклонной системы.
2. Изотопическая инвариантность ядерного взаимодействия.
3. Обобщенный принцип Паули. Классификация состояний двухнуклонной системы.

4. Потенциалы однопионного и однобозонного обмена.
5. Дейтрон (центральный и тензорный нуклон-нуклонный потенциал).
6. Магнитный дипольный и электрический квадрупольный моменты дейтрона.
7. Трехнуклонные ядерные системы. Уравнение Фаддеева для трехнуклонной системы.
8. Ядерная материя. Модель ферми-газа.
9. Метод Бракнера-Голдстоуна.
10. Модель независимых пар. Уравнение Бете-Голдстоуна. Длина “залечивания” волновой функции нуклона в ядерной среде.
11. Метод Хартри-Фока. Эффективный одночастичный гамильтониан. Одночастичные самосогласованные энергии. Энергия основного состояния.
12. Одночастичная модель оболочек. Магические ядра.
13. Многочастичные подходы к описанию структуры ядра. Смешивание конфигураций.
14. Модель оболочек без инертного кора.
15. Магнитные и электрические квадрупольные моменты в рамках одночастичной оболочечной модели.
16. Частично-дырочные возбуждения. Приближение Тамма-Данкова.
17. Приближение хаотических фаз.
18. Гигантский дипольный резонанс. Основные свойства. Микроскопическое описание в рамках приближения Тамма-Данкова.
19. Обобщенная модель ядра. Приближение адиабатичности. Вращение аксиально-симметричных ядер.
20. Связь вращения с однонуклонным движением. Взаимодействие Кориолиса.
21. Одночастичные состояния в деформированных ядрах (модель Нильсона).
22. Двухцентровая оболочечная модель.
23. Колебания ядерной поверхности сферических ядер.
24. β и γ – колебания несферических ядер. Гамильтониан Бора.
25. Парные корреляции в ядрах. Модель сверхтекучести.
26. Представления о квазичастицах. Каноническое преобразование Н.Н.Боголюбова. Низколежащие возбужденные состояния ядра в сверхтекучей модели (“щель”).
27. Уравнения Хартри-Фока-Боголюбова.
28. Электромагнитные переходы в ядрах. Разложение по мультиполям. Правила отбора. Приведенные вероятности электромагнитных переходов и структура возбужденных состояний атомных ядер.
29. Альфа-распад ядер. Структурные факторы вероятности альфа-распада. Правила отбора. Вероятности альфа-распада и парные корреляции сверхпроводящего типа.
30. Бета-распад. Правила отбора. Классификация переходов. Двойной бета-распад.
31. Резонансы в задаче о двух связанных каналах. Формула Брейта-Вигнера.
32. Признаки резонанса в парциальной амплитуде и парциальной S-матрице. Полная фаза рассеяния и фаза резонансного рассеяния.
33. Рассеяние медленных нейтронов на ядрах в окрестности изолированного резонанса.
34. Резонансы в рассеянии и распадающиеся состояния. Время жизни и скорость распада.
35. Резонансный механизм расщепления составных систем. Формула Фано.
36. Понятие обобщенного оптического потенциала. Оптическая модель упругого рассеяния.
37. Метод искаженных волн и оптическая модель. Приближение хаотических фаз.
38. Метод искаженных волн при высоких энергиях. Фактор искажения
39. Основные положения модели жидкой капли. Энергия деформации.
40. Оценка энерговыделения в процессе деления.
41. Барьер деления, проницаемость барьера деления, оценка периодов спонтанного деления.
42. Формула Хаузер-Фешбаха. Понятие о Γ -ширине распада составного ядра. Сечение ядерных реакций, протекающих через стадию образования составного ядра.

43. Плотность уровней в модели Ферми-газа.
44. Экспериментальное определение плотности уровней. Систематики параметров плотности уровней.
45. Сверхтекучая модель плотности уровней.
46. Феноменологическое описание коллективных эффектов в плотности уровней.
47. Основные формулы статистической теории ядерных реакций.
48. Конкуренция каналов распада составного ядра.
49. Модель двугорбого барьера деления.
50. Следствия двугорбой формы барьера деления.
51. Диссипация кинетической энергии в процессе деления. Адиабатические и статистические подходы. Основные положения модели флуктуационно-диссипативной динамики ядерного деления.
52. Модельные представления о величине и механизмах ядерной вязкости.
53. Угловые распределения осколков деления. Каналы деления. Точное квантово-механическое выражение и приближения.
54. Нейтроны, сопутствующие делению. Эволюция ядерной системы в процессе деления, источники и этапы испускания нейтронов. Зависимость выхода мгновенных нейтронов деления от атомного веса и заряда делящегося ядра.

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

Основная литература.

1. Айзенберг И., Грайнер В. Теория атомного ядра (в 3-х томах). Т.1. Модели ядра. Коллективные и одночастичные явления (Атомиздат, 1975); Т.2. Механизмы возбуждения ядра (Атомиздат, 1973); Т.3. Микроскопическая теория ядра (Атомиздат, 1976).
2. Соловьев В.Г. Теория атомного ядра. Ядерные модели. М.: Энергоиздат, 1981.
3. Бор О., Моттельсон Б. Структура атомного ядра. Т. 1, 2. М.: Мир, 1971, 1977.
4. Suhonen J., From Nucleons to Nucleus: Concepts of Microscopic Nuclear Theory (Springer, 2007).
5. Greiner W., Maruhn J. Nuclear models (Springer, 1995).
6. Maruhn J., Reinhard P.-G., Surand E. Simple Models of Many-Fermion Systems (Springer, 2010).
7. Б.И. Барц, Ю.Л.Болотин и др. Метод Хартри-Фока в теории ядра (Киев: Наукова Думка, 1982).
8. Эрамжян Р. А. Структура атомных ядер, М., Изд-во МГУ, 1988.
9. Ситенко А. Г., Тартаковский В.К. Лекции по теории ядра, (Атомиздат, 1972).
10. Э. Хайд, И. Перлман, Г. Сиборг, Серия: Ядерные свойства тяжелых элементов. Вып. 5, Деление ядер, Москва, Издательство «Атомиздат», 1979.
11. S. R. Vandenbosh, J.R. Huizenga, Nuclear Fission. Academic Press, New-York and London, 1983.
12. Балашов В.В. Квантовая теория столкновений. Москва: МАКС Пресс, 2012.
13. Ситенко А.Г. Теория ядерных реакций. Москва: Энергоатомиздат, 1983.
14. K. Heyde, J.L. Wood. Quantum Mechanics for Nuclear Structure. Volume 1: A primer. IOP Publishing Ltd, 2020 (<https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-2179-2>)
15. K. Heyde, J.L. Wood. Quantum Mechanics for Nuclear Structure. Volume 2: An intermediate level view. IOP Publishing Ltd, 2020 (<https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-2171-6>)

16. A. Frank, J. Jolie, P. Van Isacker, Symmetries in Atomic Nuclei. From Isospin to Supersymmetry (Series Springer Tracts in Modern Physics). Springer, 2019.
(<https://www.springer.com/gp/book/9783030219307>)
17. N. Takigawa, K. Washiyama. Fundamentals of Nuclear Physics. Springer, 2017.
(<https://www.springer.com/gp/book/9784431553779>)

Дополнительная литература.

1. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М., Наука, 1980.
2. B. Alex Brown, Lecture Notes in Nuclear Structure Physics (2005, National Superconducting Cyclotron Laboratory and Department of Physics and Astronomy Michigan State University).
3. H. Hofmann, The physics of warm nuclei: with analogies to mesoscopic systems (2008, Oxford University Press Inc., New York).
4. P. Ring, P. Schuck. The nuclear many-body problem (2004, Springer).
5. K.L.G. Heyde. The Nuclear shell model (1990, Springer-Verlag).
6. С.М. Поликанов, Изомерия формы атомных ядер. Москва, Издательство «Атомиздат», 1987.
7. Ю.В. Соколов, Плотность уровней атомных ядер. Москва, Издательство «Энергоатомиздат». 1990.
8. А.В. Игнатюк, Статистические свойства возбужденных тяжелых ядер. Москва, Издательство «Энергоатомиздат». 1983.
9. Дж. Халперн, Физика деления, Москва, Издательство «Физматгиз», 1971
10. W. Younes, W.D. Loveland, An Introduction to Nuclear Fission. Springer, 2021
(<https://www.springer.com/gp/book/9783030845919>).
11. S. Bjornholm, J.E. Lynn, The double-humped fission barrier. Review of Modern Physics, V. 52, No. 4, (1980) p. 725.
12. V.I. Zagrebaev, Heavy Ion Reactions at Low Energies. Springer, 2017.
(<https://www.springer.com/gp/book/9783030272166>)
13. Шмид Э., Цигельман Х. Проблема трех тел в квантовой механике. Москва: Наука, 1979.
14. W. Demtröder, Particle and Nuclear Physics. Springer, 2021.
(<https://www.springer.com/gp/book/9783030583118>)

Интернет-ресурсы:

- 1) <http://nrv.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 3.0.0Free 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 продуктHaskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Educationакадемическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
26. Программный продуктMicrosoft VisualStudioProfessional 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». Занятия проводятся в лекционных аудиториях, оборудованных компьютерами и мультимедиа-проекторами.