

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ,
профессор, д.ф.-м.н.



/ В.В. Белокуров /

« 21 » марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий

Physics of atomic nuclei and elementary particles, high energy physics

Программа (программы) подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий
(103-01-00-1315-фмн)

Москва 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Приказом по МГУ от 24 ноября 2021 года № 1216 «Об утверждении Требований к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова».

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины: Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Цель изучения дисциплины – расширение и углубление знаний о современном состоянии и тенденциях развития в области физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий.

2. Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий; область науки: естественные науки.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - Дисциплина, совпадающая с наименованием научной специальности.

5. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

*Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, всего **108** часов, из которых **54** часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (**50** часов занятия лекционного типа, **4** часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **54** часа составляет самостоятельная работа учащегося.*

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

Необходимы знания высшей математики и общей физики в объеме курсов, преподаваемых на физических специальностях классических университетов, полученных на предыдущих уровнях высшего образования.

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Тема 1. Теория атомного ядра (Ядерные силы и модели ядра. Теория ядерных реакций. Ядерная астрофизика)	8	4					4	3	1	4
Тема 2. Физика элементарных частиц (Общий обзор элементарных частиц и их свойства. Взаимодействия элементарных частиц.)	8	4					4	3	1	4
Тема 3. Квантовая теория поля (Классическая теория поля. Квантовая теория свободного поля. Описание взаимодействия, матрица рассеяния, свойства	8	4					4	3	1	4

симметрии. Метод теории возмущений. Общий метод перенормировки. Квантование неабелевых калибровочных полей.)										
Тема 4. Симметрия элементарных частиц (Группа Пуанкаре. Спин и спиральность, дискретные C, P и T симметрии. Изотопическая инвариантность сильных взаимодействий. Кварковая модель элементарных частиц. Глюоны.)	8	4					4	3	1	4
Тема 5. Физика нейтрино (Три типа нейтрино. Масса нейтрино. Нейтринные осцилляции.)	8	4					4	3	1	4
Тема 6. Взаимодействие ядерных излучений с веществом (Взаимодействие тяжелых заряженных частиц, электронов, гамма-квантов, нейтронов. Способы получения и замедления нейтронов. Ультрохолодные нейтроны.)	8	4					4	3	1	4
Тема 7. Методы ускорения частиц (Ускорители прямого действия. Резонансные циклические ускорители. Линейные ускорители. Накопительные	8	4					4	3	1	4

кольца, метод встречных пучков.)										
Тема 8. Детекторы ядерных излучений (Газовые, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы. Трековые позиционно-чувствительные детекторы. Черенковские детекторы. Ионизационные калориметры.)	8	4					4	3	1	4
Тема 9. Электромагнитные взаимодействия (Процессы фоторождения и электророждения. Электромагнитные формфакторы. Магнитные моменты элементарных частиц. Мезоатомы.)	8	4					4	3	1	4
Тема 10. Сильные взаимодействия (Квантовые числа элементарных частиц и резонансов. Квантовая хромодинамика. Основные представления теории комплексных моментов. Теорема Померанчука.)	8	3					3	4	1	5
Тема 11. Слабые взаимодействия (Бета-распад. Универсальная теория слабых взаимодействий. Унитарная симметрия в слабых взаимодействиях. Механизм	10	5					5	4	1	5

Хиггса и массы частиц.)										
Тема 12. Методы измерения и математической обработки экспериментальных данных (Методы спектрометрических измерений. Основные понятия математической статистики. Планирование эксперимента.)	8	3					3	4	1	5
Тема 13. Приборы ядерной электроники (Обобщенная блок-схема ядерно-физического эксперимента. Устройства для измерения амплитуды электрических импульсов, временных интервалов, координаты регистрируемых частиц и излучений. Накопление информации.)	6	3					3	2	1	3
Промежуточная аттестация: допуск к кандидатскому экзамену	4					4	4			
Итого	108	54				4	54	31	13	54

8. Образовательные технологии

Используемые формы и методы обучения: лекции и семинарские занятия, самостоятельная работа аспирантов.

В процессе преподавания дисциплины преподаватель использует как классические формы и методы обучения (лекции и семинарские занятия), так и активные методы обучения.

При проведении лекционных занятий преподаватель использует при необходимости аудиовизуальные, компьютерные и мультимедийные средства обучения, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные (в том числе раздаточные) материалы.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Бор О., Моттelson Б. Структура атомного ядра. Т. 1, 2. М.: Мир, 1971, 1977.
2. Айзенберг И., Грайнер В. Микроскопическая теория ядра. М.: Атомиздат, 1976.
3. Мигдал А.Б. Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер. М.: Наука, 1983.
4. Базь А.И., Зельдович Я.Б., Переломов А.М. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. М.: Наука, 1971.
5. Клоуз Ф. Кварки и партоны. М.: Мир, 1982.
6. Соловьев В.Г. Теория атомного ядра. Ядерные модели. М.: Энергоиздат, 1981.
7. Ситенко А.Т., Тарковский В.К. Лекции по теории ядра. М.: Атомиздат, 1972.
8. Ким Е. Мезонные атомы и ядерная структура. М.: Атомиздат, 1975.
9. Ядерная астрофизика: Сб. статей / Под ред. Ч. Барнса, Д. Клейтона, Д. Шрамма. М.: Мир, 1986.
10. Радиоактивность атомных ядер / Под ред. Б.С.Ишханова. М.: КДУ, Университетская книга, 2017.
11. V.Zelevinsky, A.Volya. Physics of atomic nuclei. Wiley-WCH, 2017.
12. Протон / Под ред. Б.С.Ишханова. М.: КДУ, Университетская книга, 2018.
13. Радиоактивные распады атомных ядер / Под ред. Б.С.Ишханова. М.: КДУ, Университетская книга, 2018.
14. Фотон / Под ред. Б.С.Ишханова. М.: КДУ, Университетская книга, 2020.
15. K.Heyde, J.L.Wood. Quantum mechanics for nuclear structure. Vols. 1, 2. IOP Publishing, 2020.
16. Нейтрон / Под ред. Д.Е.Ланского, М.Е.Степанова, Т.Ю.Третьяковой. М.: КДУ, Университетская книга, 2021.
17. Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов. Гигантский дипольный резонанс атомных ядер. М.: Ленанд, 2021.
18. В.В.Балашов. Квантовая теория столкновений. М.: Изд. Моск. ун-та, 2023.

Дополнительная литература:

1. Нелипа Н.Ф. Физика элементарных частиц. М.: Высшая школа, 1977.
2. Нишиджима К. Фундаментальные частицы. М.: Мир, 1965.
3. Газиорович С. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1969.
4. Клоуз Ф. Кварки и партоны. М.: Мир, 1982.

5. Клапдор-Клайнгротхаус Г.В., Штаудт А. Неускорительная физика элементарных частиц. М.: Наука, 1997.

Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы:

1. <http://www.pdg.lbl.gov/>
2. <http://www.nea.fr/html/dbdata/dbdata.html>
3. <http://www.csa5.lbl.gov/~fchu/ip.html>
4. <http://www.phy.ornl.gov/ndp/ndp.html>

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

1. Д.ф.-м.н., профессор Платонов Сергей Юрьевич, platonov@sinp.msu.ru;
2. Д.ф.-м.н., профессор Еременко Дмитрий Олегович, eremenko@sinp.msu.ru;
3. К.ф.-м.н., доцент Ланской Дмитрий Евгеньевич, lanskoy@sinp.msu.ru.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

1. Построить диаграмму Фейнмана для распада нейтрона.
2. Оценить среднее время жизни W и Z промежуточных бозонов.
3. Привести примеры распадов частиц по каналам сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий.
4. Почему не наблюдается распад η -мезона на два пиона?
5. Определить пороговое значение энергии протона в реакции $p + p \rightarrow p + \Sigma^+ + K^0$. Проверить выполнение законов сохранения.
6. Проанализировать выполнение принципа Паули для кварков, составляющих барионы, входящие в барионный декуплет. Показать необходимость введения нового квантового числа "цвет".
7. Получить соотношение между периодом полураспада, вероятностью распада и средним временем жизни.
8. Рассчитать энергию столкновения электрона и позитрона на коллайдере LEP. Энергии пучков равны по 100 ГэВ.
9. Оценить промежуток времени, необходимый для деления 1 кг вещества в безграничной среде ^{235}U , если средняя энергия нейтронов деления составляет 1,6 МэВ, сечение деления для данной энергии равно 2 барна и значение коэффициента размножения $k = 1,001$. Считать, что в начальный момент времени разделилось только одно ядро.
10. Оценить среднее время жизни одного поколения нейтронов в гомогенной среде, содержащей 100 молей графита на 1 моль урана естественного изотопного состава, Иметь в виду, что время замедления нейтронов до тепловых энергий много меньше времени диффузии.

Вопросы для промежуточной аттестации – зачета:

1. Доказать невозможность поглощения гамма-кванта любой свободной частицей.
2. В результате ядерной реакции в нейтронном генераторе рождается 1000 нейтронов в секунду. Оценить, сколько нейтронов из этого количества распадется за 1 час.

3. Определить приведенную длину волны и полную энергию протона с кинетической энергией 10 МэВ.
4. Определить приведенную длину волны электрона с кинетической энергией 10 МэВ. Рассчитать полную энергию электрона.
5. Определить среднее время жизни Δ^{++} резонанса. Написать реакцию, в сечении которой наблюдается этот резонанс.
6. Составить таблицу возможных квантовых чисел системы пион-нуклон.
7. Для барионов, стабильных относительно слабых распадов, построить таблицы квантовых чисел частиц и античастиц.
8. Почему не обнаружен распад $\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$?
9. Сравнить средние времена жизни заряженных Σ -гиперонов и нейтрального Σ -гиперона. Дать объяснение различию времен жизни.
10. Определить энергии связи и удельные энергии связи ядер ${}^4\text{He}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{27}\text{Al}$.
11. При какой кинетической энергии частицы ее длина волны становится равной диаметру ядра ${}^{27}\text{Al}$? Рассмотреть два случая: а) электрон; б) нейтрон.
12. Рассчитать электрический квадрупольный момент сферически симметричного ядра или частицы.
13. В рамках капельной модели ядра рассчитать вклады отдельных членов в суммарную энергию связи для двух ядер: с $A > 200$ и $A < 100$.
14. В одночастичной оболочечной модели получить спины и четности основных состояний следующих ядер: ${}^5\text{He}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{17}\text{O}$, ${}^{17}\text{F}$, ${}^{29}\text{Si}$, ${}^{33}\text{S}$, ${}^3\text{He}$, ${}^{11}\text{C}$, ${}^{15}\text{N}$, ${}^{27}\text{Al}$.
15. Рассчитать количество тепла, выделившееся при распаде 1 кг плутония (${}^{239}\text{Pu}$) в течение месяца. Период полураспада плутония 24000 лет.
16. Определить тип (электрический, магнитный) и мультипольность гамма-квантов, возникающих при переходах ядра ${}^{13}\text{C}$ из первого возбужденного состояния $1/2^+$ ($E = 3.09$ МэВ) в основное состояние.
17. Определить орбитальный момент дейтрона, вылетающего в результате реакции ${}^{13}\text{C} + p \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^2\text{H}$. Орбитальный момент протона равен 0.
18. Объяснить, почему β^- -распад ядра ${}^{24}\text{Na}$ (спин и четность основного состояния 4^+) происходит не на основной (0^+) или первый возбужденный (2^+), а на второй возбужденный (4^+) уровень ядра ${}^{24}\text{Mg}$.
19. Оценить увеличение эффективного сечения нейтронной активации при снижении в замедлителе кинетической энергии нейтронов от 5 МэВ до энергии, соответствующей тепловому равновесию.
20. При флюорографии доза облучения организма составляет около 8 миллиГрей. Оценить эквивалентную дозу в бэр и Зв и сравнить с предельно допустимой дозой для населения (0.5 бэр/год = 0.005 Зв/год).

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проходит по билетам, включающем 4 вопроса. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

Шкала оценивания знаний, умений и навыков

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий	В целом успешные, но не систематические знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий	Успешные и систематические знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий
Умения	Отсутствие умения применять знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий для решения научных задач	Успешное и систематическое умение применять знания основных законов физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий для решения научных задач
Навыки	Отсутствие/фрагментарное владение навыками решения научных задач в области физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий	В целом успешное, но не систематическое владение навыками решения научных задач в области физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения научных задач в области физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий	Успешное и систематическое владение навыками решения научных задач в области физики атомных ядер и элементарных частиц, физики высоких энергий