

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных
частиц, физика высоких энергий

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Физика атомных ядер и элементарных частиц,
физика высоких энергий»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий», одной из основных областей фундаментальной науки и техники, – углубленное изучение важнейших экспериментальных и теоретических исследований структуры и свойств атомных ядер, ядерных реакций, теории взаимодействия атомных ядер и элементарных частиц при низких, промежуточных и высоких энергиях, процессов деления и ядерного синтеза, в том числе, синтеза сверхтяжелых элементов, исследований в области релятивистской ядерной физики и физики тяжелых ионов, слабых и электромагнитных процессов в ядерной физике и физике элементарных частиц, включая физику нейтрино, а также современные аспекты физики на Большом адронном коллайдере.

В курсе представлены ключевые вопросы экспериментальной ядерной физики и физики высоких энергий. Рассматриваются различные типы детекторов элементарных частиц и их характеристики, процессы прохождения элементарных частиц через вещество, особенности современных ускорителей элементарных частиц, включая основные параметры Большого адронного коллайдера. Обсуждаются наиболее современные и актуальные аспекты экспериментальной физики частиц и ядер: изучение бозона Хиггса, новых кварковых состояний (тетра- и пентакварки), осцилляций нейтрино, тяжелых кварковых ароматов, включая чармонии и чармониевоподобные состояния, новые сведения о механизме CP-нарушения в редких распадах тяжелых частиц, столкновений тяжелых ионов, поиск новых частиц при сверхвысоких энергиях и поиск безнейтринного бета-распада ядер.

Уделяется внимание созданию экспериментальных установок и приборов для исследовательских работ по изучению структуры ядер, в том числе при взаимодействии ядер с пучками ядер и элементарных частиц. А также рассматриваются вопросы математической статистики и обработки экспериментальных данных.

Задачи освоения научных и технических проблем данной специальности состоят в изучении фундаментальных основ строения вещества и развитии приложений ядерной физики в народном хозяйстве.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.3.15. «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

- 1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- 2) способность планировать и решать задачи собственного

профессионального и личностного развития;

3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;

4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;

5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики атомного ядра и элементарных частиц и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) современное состояние исследований в области физики атомного ядра и элементарных частиц;

2) основы современных теоретических моделей для описания всех видов взаимодействий элементарных частиц;

3) основные экспериментальные методы исследований, а также устройство основных приборов для измерений в физике ядра и элементарных частиц.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

1) применять приобретенные навыки в проводимых экспериментах;

2) обрабатывать полученные экспериментальные данные, в том числе online, проводить анализ этих данных в рамках изучаемого метода и получать окончательные результаты;

3) делать заключение о возможности использования полученных результатов в практических целях.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

1) основными методами обработки данных эксперимента и их анализа;

2) навыками выполнения простых квантово-механических расчетов для получения оценок различных характеристик изучаемых процессов;

- 3) применением опыта научной деятельности;
- 4) умением подготовки научных сообщений и их докладов на семинарах и конференциях.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Физика атомного ядра	33	12	5	16
2	Ядерные реакции	37	12	5	20
3	Взаимодействие ядерных излучений с веществом	33	12	5	16
4	Детекторы элементарных частиц	33	12	5	16
5	Общий обзор элементарных	33	12	5	16

	частиц и их свойства				
6	Сильные и электромагнитные взаимодействия	37	12	5	20
7	Слабые взаимодействия	33	12	5	16
8	Большой адронный коллайдер и экспериментальные установки на БАК	33	12	5	16
9	Поиск и исследование свойств частиц в экспериментах ATLAS и CMS	33	12	5	16
10	Физика в экспериментах LHCb и ALICE	37	12	5	20
11	Современные аспекты физики нейтрино	34	12	2	20
12	Новые результаты в физике тяжелого кваркония	20	12	2	6
Всего		396	144	54	198

Содержание второй части (разделы 7-12) курса для аспирантов, специализирующихся на направлении физика нейтрино

№ Темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
7	Свойства атомных ядер, радиоактивный распад, основы теории ядерных реакций	24	6	6	12
8	Космическое излучение, прохождение заряженных частиц через вещество, нейтронная физика	26	8	6	12
9	Методы регистрации, элементарные частицы, взаимодействия и фундаментальные симметрии, электромагнитные и сильные взаимодействия	36	14	6	16
10	Слабые взаимодействия, модель Глэшоу-Салама-Вайнберга, физика нейтрино, масса и осцилляции нейтрино	48	18	6	24

11	Детектирование реакторных, ускорительных, солнечных, атмосферных нейтрино. Нерешенные проблемы.	14	4	2	8
12	Стандартная модель элементарных частиц и взаимодействий, происхождение и эволюция Вселенной, скрытая масса Вселенной	36	12	6	18
Всего		186	64	32	90

4.2.1. Содержание лекционного курса

Содержание лекционных курсов для аспирантов, специализирующихся в физике атомных ядер и элементарных частиц, физике высоких энергий

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	24	Ядерные силы и общие свойства ядерного вещества. Модели ядра. Закон радиоактивного распада. Бета-распад. Взаимодействие ядер с электромагнитным излучением
2	6	Основы теории ядерных реакций. Реакции с медленными нейтронами. Прямые ядерные реакции. Исследование ядра с помощью быстрых электронов, мезонов, протонов. Кварки в ядрах
3	30	Прохождение заряженных частиц через вещество. Взаимодействие электронов и фотонов с веществом. Тормозное, синхротронное, переходное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Взаимодействие нейтронов с веществом
4	26	Методы регистрации заряженных и нейтральных частиц. Газонаполненные счетчики и их типы. Ионизационные камеры. Пропорциональные счетчики. Сцинтилляционные и черенковские детекторы. Фотоумножители. Полупроводниковые детекторы. Позиционно-чувствительные детекторы
5	6	Таблица элементарных частиц: лептоны, мезоны, барионы, мезонные и барионные резонансы. Распады частиц. Слабые, электромагнитные и сильные распады. Классификация элементарных частиц по представлениям SU(3). Электромагнитные и слабые взаимодействия в унитарной симметрии

6	8	Спектроскопия адронов. Внутренняя структура адронов и скейлинг. Пион-нуклонные и пион-пионные взаимодействия. Рассеяние электронов на нуклонах и электромагнитные формфакторы нуклонов. Токи в физике элементарных частиц. Квантовая хромодинамика.
7	8	Распады нейтральных К- и В-мезонов и нарушение СР-инвариантности.
8	12	Большой адронный коллайдер и экспериментальные установки БАК. Принцип работы и основные параметры Большого адронного коллайдера (БАК). Принцип построения многофункциональных спектрометров. Компоновка и основные подсистемы установок. Магнитные системы, трековые системы, калориметры и мюонные детекторы. Триггер и системы сбора данных. Основные параметры установок CMS и ATLAS. Основные детекторные элементы установок. Общие характеристики установок LHCb и ALICE. Основные детекторные элементы установок.
9	12	Поиск и исследование свойств частиц в экспериментах ATLAS и CMS Процессы образования бозона Хиггса в pp взаимодействиях и их сечения. Моды распада бозона Хиггса для разных масс. Результаты поиска бозона Хиггса на БАК. Измерение свойств бозона Хиггса на БАК. Исследование процессов с образованием адронных струй на БАК. Изучение одиночного, парного и тройного рождения векторных бозонов. Изучение одиночного и парного рождения топ-кварков. Ограничения на параметры частиц, полученные в экспериментах БАК. Пределы на параметры суперсимметрии, поставленные в экспериментах CMS и ATLAS.
10	12	Физика эксперимента LHCb Измерение на БАК характеристик процессов с использованием распадов редких прелестных и очарованных частиц. Изучение СР-симметрии в распадах прелестных частиц. Обнаружение пентакварков и тетракварков. Исследования в эксперименте ALICE Поиск кварк-глюонной плазмы. Основные результаты исследования столкновений ядер свинца в экспериментах БАК. Измерение коллективных переменных, характеризующих потоки частиц, образующихся в PbPb столкновениях.
11	12	Современные аспекты физики нейтрино. Основные сведения о нейтрино. Заряженные и нейтральные токи, пучки нейтрино. Осцилляции нейтрино: солнечные

		и атмосферные нейтрино, ускорительные и реакторные нейтрино, осцилляции в веществе, новые проекты по измерению параметров осцилляций, двойной бета-распад.
12	12	Новые результаты в физике тяжелого кваркония. Открытие чармония. Уровни чармония. Механизмы рождения кваркония. Основные каналы распадов кваркония. Обнаружение новых чармониеподобных состояний на Большом адронном коллайдере. Открытие тетракварков и пентакварков в современных экспериментах.

Содержание лекционных курсов для аспирантов, специализирующихся в физике нейтрино

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
7	2	Заряд ядра. Протон-нейтронное строение ядра. Энергия связи и устойчивость ядер. Дефект масс. Радиус ядра, способы определения, плотность ядерного вещества. Квантовые характеристики: спин, четность. Капельная модель, деление ядер. Формула Вайцекера для масс и энергий связи. Ядерные силы и их природа. Изотопическая инвариантность. Обобщенный принцип Паули. Проблема насыщения ядерных сил. Модель ядерных оболочек, обобщенная модель ядра, модель ферми-жидкости.
7	2	Закон радиоактивного распада. Альфа-распад: туннельный переход, законы сохранения, центробежный барьер. Бета-распад. Элементарная теория бета-распада. Разрешенные и запрещенные бета-переходы. Электронный захват. Двойной бета-распад. Взаимодействие ядер с электромагнитным излучением. Мультипольные переходы и правила отбора для гамма-излучения. Внутренняя конверсия.
7	2	Основы теории ядерных реакций. Кинематика реакций, законы сохранения. Принцип детального равновесия. Каналы реакции. Матрицы рассеяния. Оптическая модель взаимодействия нуклонов с ядрами. Фотоядерные реакции. Кулоновское возбуждение ядер. Гигантские мультипольные резонансы. Ядерная изомерия, эффект Мёссбауэра.

		Прямые ядерные реакции. Неупругое рассеяние. Реакции передачи. Ядерные реакции перезарядки.
8	2	Природа космического излучения. Ядерные каскады. Компоненты космического излучения в атмосфере, на поверхности Земли и под землей.
8	2	Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери и их флуктуации. Однократное и многократное рассеяние. Взаимодействие электронов и гамма-квантов с веществом. Формула Резерфорда. Формула Мотта. Дельта-электроны, многократное рассеяние. Излучение Вавилова-Черенкова. Тормозное, синхротронное, переходное излучение.
8	4	Нейтронная физика. Взаимодействие нейтронов с веществом. Теория замедления и диффузии нейтронов. Реакции с медленными нейтронами. Резонансный захват нейтронов. Формула Брейта-Вигнера. Рассеяние нейтронов ядрами и кристаллами. Отражение и поляризация нейтронов. Нейтронная спектроскопия. Ультрахолодные нейтроны.
9	4	Методы регистрации заряженных и нейтральных частиц. Газонаполненные счетчики и их типы. Ионизационные камеры. Пропорциональные счетчики. Сцинтилляционные и черенковские детекторы, детекторы переходного излучения. Полупроводниковые детекторы. Позиционно-чувствительные детекторы. Детекторы на сжиженных благородных газах.
9	4	Классификация частиц и взаимодействий, основные свойства. Лептоны, кварки, бозоны. Фундаментальные симметрии. Пространственное отражение, зарядовое сопряжение, обращение времени, СРТ-теорема.
9	6	Электромагнитные взаимодействия. Правила отбора по изотопическому спину. Рассеяние электронов и мю-мезонов нуклонами и ядрами. Электромагнитные формфакторы. Магнитные моменты элементарных частиц. Изотопические свойства сильных взаимодействий. SU(3)-симметрия сильных взаимодействий. Модель кварков. Квантовая хромодинамика.
10	6	Теория Ферми слабого взаимодействия. Универсальная теория слабых взаимодействий. Гипотеза о сохранении векторного тока. Унитарная симметрия в слабых взаимодействиях и угол Кабиббо. Смешивание кварков. Физика K ₀ -мезонов. Осцилляция странности. Интерференционные явления с нарушением CP-инвариантности в распадах K ₀ -мезонов.

		Модель Глэшоу-Салама-Вайнберга и нейтральные токи в слабых взаимодействиях. Механизм Хиггса нарушения электрослабой симметрии и массы частиц.
10	6	Физика нейтрино. Открытие нейтрино, эксперименты Ф.Райнеса. Описание нейтрино, двухкомпонентная теория, основные свойства. Дираковское и майорановское нейтрино. Процессы двойного двух-нейтринного и безнейтринного бета-распада ядер.
10	6	Масса нейтрино. Эксперименты по поиску массы. Нейтринные осцилляции: гипотеза, поисковые эксперименты. Осцилляции в вакууме и веществе, эффект MSW. Современные данные по нейтринным осцилляциям.
11	4	Нейтринные эксперименты на ядерных реакторах и ускорителях. Аномалии экспериментальных результатов, стерильные нейтрино. Детектирование солнечных, атмосферных нейтрино и нейтрино от взрывов сверхновых.
12	4	Стандартная модель элементарных частиц и взаимодействий. Большой адронный коллайдер и экспериментальные установки БАК. Открытие бозона Хиггса. Изучение CP-симметрии в распадах прелестных частиц. Обнаружение пентакварков и тетеракварков. Поиски расширения Стандартной модели. Поиск кварк-глюонной плазмы.
12	4	Происхождение и эволюция Вселенной. Нуклеосинтез нуклидов в Солнечной системе и Галактике. Реликтовое излучение, барионная асимметрия Вселенной. Солнечная энергия. Основные ядерные реакции на Солнце. Модели генерации энергии звезд.
12	4	Скрытая масса Вселенной. Темная материя и темная энергия. Изучение природы Темной материи: кандидаты на роль частиц Темной материи и их экспериментальный поиск.

4.2.2 Содержание семинаров и (или) практических занятий

Содержание семинаров и (или) практических занятий для аспирантов, специализирующихся в физике атомных ядер и элементарных частиц, физике высоких энергий

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	2	Масса ядра и нуклонов. Энергия связи ядра относительно всех нуклонов. Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. Дипольный и квадрупольный электрические моменты. Альфа-распад: энергетическое рассмотрение, роль законов сохранения. Мультипольные переходы и правила отбора для гамма-излучения
2	5	Законы сохранения. Каналы реакции. Нарушение С и Р инвариантности. Ознакомление с методом восстановления частиц на примере распада D-мезона на заряженные каон и пион.
3	5	Вывод формулы связи между временем жизни и шириной резонанса. Времена жизни и относительные вероятности распада. Спектроскопия очарованных мезонов и их основные свойства.
4	5	Задачи статистического анализа в экспериментальной физике. Основные сведения из теории вероятностей. Функция плотности вероятности случайных величин. Моменты функции распределения: математическое ожидание, дисперсия, коэффициент корреляции. Частотный и байесовский подход в статистическом анализе данных.
5	5	Квантовые числа частиц: масса, спин, время жизни, четность, зарядовая четность, изоспин, странность, чарм, G-четность. Эмпирические правила отбора, основанные на сохранении зарядов: электрического, барионного, лептонного, гиперзаряда, странности
6	5	Функция плотности вероятности случайных величин и кумулятивная функция распределения. Анализ экспериментальных данных, представление экспериментальных данных в виде гистограмм. Одномерные и двумерные гистограммы. Параметры Гауссовского (нормального) распределения и их применение при анализе данных
7	5	Осцилляции В-мезонов. СКМ-матрица. Связь между изоспином и С-четностью системы двух заряженных пионов. Связь между изоспином и спином для очарованных барионов.
8	5	Восстановление и анализ событий в детекторах ATLAS и CMS. Открытие бозона Хиггса. Измерение основных параметров бозона Хиггса. Поиск нестандартных бозонов Хиггса.
9	5	Сигнатуры процессов с образованием частиц темной материи

		и суперсимметричных частиц. Характеристика основных конечных состояний, используемых для поиска Темной материи и Суперсимметрии.
10	5	Обнаружение ботомония. Эксперимент АРГУС. Поиск редких распадов прелестных мезонов и барионов.
11	2	Обнаружение электронного нейтрино, обнаружение мюонного и тау нейтрино. Измерение массы нейтрино. Измерение массы мюонного и тау-нейтрино. Полные сечения взаимодействия нейтрино. Нейтрино в природе.
12	2	Обнаружение чармония. Уровни чармония. Основные состояния и их квантовые числа. Обнаружение $\chi(3872)$ и других тяжелых состояний чармония, поиск экзотических состояний. Поиски пентакварков и тетракварков. Физика тяжелого кваркония.

Содержание семинаров и (или) практических занятий для аспирантов, специализирующихся в физике нейтрино

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
7	2	Масса ядра и нуклонов. Энергия связи ядра относительно всех нуклонов. Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. Дипольный и квадрупольный электрические моменты. Мультипольные переходы и правила отбора для гамма-излучения
7	2	Принцип детального равновесия. Каналы реакции. Матрицы рассеяния. Оптическая модель взаимодействия нуклонов с ядрами.
7	2	Взаимодействие заряженных и нейтральных частиц с веществом. Пробег заряженных частиц. Зависимость ионизационных потерь от среды. Связь пробега с энергией. Взаимодействие гамма квантов с веществом. Фотоэффект. Комптон эффект. Образование пар. Сечение взаимодействия.
8	2	Реакции с медленными нейтронами. Резонансный захват нейтронов. Формула Брейта-Вигнера. Рассеяние нейтронов ядрами. Рассеяние нейтронов кристаллами. Отражение и поляризация нейтронов. Дифракционное рассеяние. Нейтронная спектроскопия. Ультрахолодные нейтроны.
8	2	Бета-распад нейтрона. Элементарная теория бета-распада. Правила отбора и форма бета-спектра, корреляционные эксперименты. Разрешенные и запрещенные бета-переходы.

		Электронный захват.
8	2	Взаимодействие нейтрино и антинейтрино с веществом. Методы регистрации. Реакция обратного бета-распад на протоне. Взаимодействие с дейтроном и ядрами.
9	2	Задачи статистического анализа в экспериментальной физике. Основные сведения из теории вероятностей. Функция плотности вероятности случайных величин. Моменты функции распределения: математическое ожидание, дисперсия, коэффициент корреляции. Частотный и байесовский подход в статистическом анализе данных.
9	2	Теория статистических оценок и проверки гипотез. Метод максимального правдоподобия. χ^2 - функции распределений. Планирование эксперимента. Системы математических программ обработки и анализа физических результатов. Система распознавания определенного класса событий. Анализ физических результатов.
9	2	Методы детектирования частиц. Классификация детекторов ядерного излучения. Принципы построения детекторов в зависимости от физических задач. Комбинированные детекторы. Принципы работы ионизационных, полупроводниковых, сцинтилляционных детекторов. Энергетическое разрешение. Фоны детекторов. Жидкие органические сцинтилляторы, особенности регистрации легких и тяжелых заряженных частиц.
10	2	Современные методы детектирования частиц в физике слабых взаимодействий и нейтринной физике. Искусственные и естественные источники нейтрино. Солнечные и атмосферные нейтрино. Геонейтрино. Ядерные реакторы как источники электронных антинейтрино. Пучки нейтрино, сформированные на ускорителях.
10	2	Большие Черенковские детекторы (Камиоканде, СуперКамиоканде, SNO). Научные цели. Схемы экспериментальных установок. Метод регистрации нейтрино. Определение направление прилета нейтрино. Достигнутые результаты по регистрации солнечных и атмосферных нейтрино.
10	2	Большие нейтринные сцинтилляционные детекторы (ЛВД, Борексино). Готовящиеся проекты (SNO+, LENA, JUNO). Научные цели. Схемы экспериментальных установок. Метод регистрации нейтрино. Требования к фону детекторов. Методы восстановления точки взаимодействия частицы в детекторе. Методы определения типа взаимодействующей

		частицы по форме импульса.
11	2	Исследования реакторных антинейтрино. Спектроскопия реакторных антинейтрино, методы определения энергетических спектров. Реакторная аномалия и гипотеза стерильных нейтрино. Последние эксперименты на реакторах на больших расстояниях от реакторов (Рало Верде, ШООЗ, КамЛанд). Эксперименты по поиску угла смешивания тета-13, находящиеся в стадии подготовки (ШООЗ-2, Рено, Дая Бэй). Прикладные аспекты реакторных антинейтрино.
12	2	Радиохимические методы детектирования нейтрино. Описание принципов работы. Результаты экспериментов хлор-аргонного детектора и галлиевых детекторов (Галлех и Сэйдж). Поиск без нейтринного двойного бета распада. Описание двойного бета распада. Принципы построения детекторов. Результаты экспериментов по поиску двойного бета распада.
12	2	Нейтринные эксперименты с использованием пучков нейтрино от ускорителей. Описание детекторов. Типы экспериментов с ускорительными нейтрино — на «исчезновение» и на «появление». Результаты экспериментов.
12	2	Когерентное рассеяние нейтрино на ядрах. Перспективные исследования по поиску когерентного рассеяния нейтрино на ядрах с помощью двухфазных детекторов на основе жидких благородных газов.

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Литература
1	2	3	4
1	33	Образование и свойства гиперядер	Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика. – Т.1, 2. – М., Энергоатомиздат, 1993 г.
2	33	Примеры применения детекторов	Клайнкнехт, К. Детекторы корпускулярных излучений – Мир, М., 1994 г.
3	33	Тяжелые кварки	Любимов, А., Киш, Д. Введение в экспериментальную физику частиц. – Дубна, 1999 г.
4	33	Массивные нейтрино в космологии и астрофизике	Боум, Ф., Фогель, П. Физика массивных нейтрино, Мир, М. - 1990
5	33	Гипотеза аномального магнитного момента нейтрино	Окунь, Л. Б. Лептоны и кварки. — 5-е изд. — М., 2012.
6	33	Экспериментальные методы	Перкинс, Д.. Введение в физику высоких энергий – Мир, М., 1990 г.

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Примеры контрольных вопросов:

1. Свойства СКМ-матрицы.

2. Нарисовать диаграмму Фейнмана для распада “золотой” моды поиска осцилляций нейтральных В-мезонов.

3. Решение задач на сохранение изотопического спина в сильном взаимодействии

4. Решение задач на сохранение С-четности.

5. Определить недостающие частицы в данном процессе с помощью законов сохранения квантовых чисел?

Для получения положительной оценки и для выполнения задания по самостоятельной работе аспиранту необходимо подготовить реферат по представленным или подобным темам объемом 15 – 20 страниц. Реферат должен быть написан самостоятельно и построен по типу статьи: краткая аннотация: 4 – 5 строк, введение (цели, задачи обзора, объект рассмотрения), основная часть (описание объекта или способа), заключение, литература.

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Поиски выхода за рамки Стандартной модели: суперсимметрия, супергравитация, суперструны.

2. Современные детекторы солнечных нейтрино.

3. Современные данные по нейтринным осцилляциям.

4. Столкновения тяжелых ионов.

5. Современные ускорительные эксперименты.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Осцилляции В-мезонов.

2. Свойства D-мезонов.

3. Основные состояния и квантовые числа ботомония.

4. Обнаружение электронного нейтрино.

5. Основные положения оболочечной модели.

6. Экспериментальное обнаружение бозона Хиггса.

7. Особенности детектора ATLAS на БАК
8. Прохождение мюонов через вещество.
9. Электромагнитные и адронные калориметры (принцип работы).
10. Осцилляции нейтрино в веществе.
11. Изучение бозона Хиггса в экспериментах на БАК.
12. Исследование чармония в эксперименте LHCb на БАК.
13. Поиск кварк-глюонной плазмы в столкновениях тяжелых ионов в эксперименте ALICE на БАК.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.
2. Ишханов, Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. – Изд. 4, перераб. и доп. URSS, 2019. – 672 с.
3. Пескин, М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. – 2001, 784 с. – Текст: электронный. – DOI отсутствует. – URL: http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/Пескин_Шредер.pdf
4. Горбунов, Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. – Изд.3, перераб. и значит. доп. URSS. 2016. – 616 с. – ISBN 978-5-9710-1679-3.
5. Окунь, Л.Б., Лептоны и кварки Изд. 8, стереотип. URSS, 2019. – 352 с. – ISBN 978-5-9710-6710-8.
6. Окунь, Л. Б. Азы физики. Очень краткий путеводитель. — М.: Физматлит, 2012. - 168 с. – ISBN 978-5-9221-1381-6.
7. Перкинс, Д. Введение в физику высоких энергий. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 427 с. – ISBN 5-283-02467-9.
8. Емельянов, В.М. Стандартная модель и ее расширения. – Физматлит, М., 2007. – 584 с. – ISBN 978-5-9221-0830-0.

9. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика. – Т.1, 2. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 316 с. – ISBN 5-283-04075-5.

10. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. – Изд.4, перераб. и доп. URSS, 2019. – 672 с. – ISBN 978-5-9710-5616-4.

II. Дополнительная литература:

1. Постнов, К.А., Засов А.В. Курс общей астрофизики. – М.: Физический факультет МГУ, 2005, 192 с. – Текст: электронный. – DOI отсутствует. – URL: <https://phys.msu.ru/upload/iblock/aae/2005-postnov-zasov.pdf> (дата обращения: 30.09.2022).

2. Красников Н., Матвеев, В. Новая физика на Большом адронном коллайдере. – М.: URSS, 2014. – 208 с. – ISBN 978-5-396-00629-4.

3. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. М.: URSS, 2008. – 256 с. – ISBN 978-5-382-00590-4.

4. Хелзен, Ф., Мартин, А. Кварки и лептоны. – М., Мир. 1987. – 455 с.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Ядерная физика в интернете: [сайт]. – URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru> (дата обращения: 30.09.2022).

2. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 1. Физика атомного ядра – Издательство "Лань" – 2009 - 384с. – ISBN: 978-5-8114-0739-2 – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL: <https://e.lanbook.com/book/277> (дата обращения: 30.09.2022).

2. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 2. Физика ядерных реакций - Издательство "Лань" – 2009. - 326с. – ISBN: 978-5-8114-0740-8 – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL: <https://e.lanbook.com/book/279> (дата обращения: 30.09.2022).

3. Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 3. Физика элементарных частиц - Издательство "Лань" - 2008 –

432с. – ISBN: 978-5-8114-0741-5 – Текст: электронный. DOI отсутствует. – URL: <https://e.lanbook.com/book/280> (дата обращения: 30.09.2022).

1. Обзор физики элементарных частиц, 2022 (The review of particle physics 2022) : [сайт]. – URL: <http://pdg.lbl.gov/> (дата обращения: 30.09.2022).

2. Учебные материалы по основам химической физики МФТИ: [сайт]. – URL: <https://mipt.ru/dmcp/student/files/chmoph/> (дата обращения: 30.09.2022).

3. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Словари и энциклопедии на Академике: [сайт]. – URL: <https://dal.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/695372> (дата обращения: 28.06.2022).

IV. Доступ к электронным библиотекам:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

3. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

7. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.scilib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов:

[сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

11. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

12. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, он-лайн и офф-лайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).
7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).
8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).
9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).
10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).
11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).
12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).
13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).
14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).
2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.