

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**«Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН»**

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЯФ СО РАН,

Академик РАН \_\_\_\_\_ П.В.Логачев

« 05 » октября 2018 г.

**ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки

**03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации)**

Общая трудоемкость дисциплины: 6 зачетные единицы – **216** часов.

Форма промежуточной аттестации: зачет

Виды деятельности:

Лекции	68	контактная работа обучающихся с преподавателем	136
Семинарские занятия	68		
Самостоятельная работа	74	занятия в активной и интерактивной форме	136
Консультации			
Зачеты	8	Экзамены	

**Новосибирск- 2018**

Программа курса «Введение в физику элементарных частиц» составлена в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта высшего образования 03.06.01 Физика и астрономия. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума, для аспирантов, специализирующихся на вопросах автоматизации и обработки данных экспериментов по физике высоких энергий.

Курс задуман как практическое введение в современную теорию элементарных частиц для аспирантов непрофильных специальностей. В процессе обучения аспиранты должны будут не только усвоить теоретические основы физики элементарных частиц, но и овладеть основными навыками практических вычислений, например, научиться рисовать и вычислять фейнмановские диаграммы, соответствующие определенному процессу, анализировать и использовать ограничения, накладываемые симметриями теории на амплитуды процессов. Учитывая специализацию слушателей, будет также сделан некоторый акцент на использование компьютерных методов для вычисления диаграмм и других задач, возникающих в теории элементарных частиц.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: сдача заданий в течение семестра.

Промежуточная аттестация: зачёт в каждом из семестров.

Общая трудоемкость первой части курса составляет 6 зачетных единиц, 216 часов, в том числе 68 часов лекций, 68 часов семинарских занятий.

Составитель:

д.ф.-м.н. Р.Н. Ли

Рабочая программа

## Содержание

1.	Цели освоения дисциплины .....	4
2.	Место дисциплины в структуре программы обучения.....	4
3.	Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины 4	
4.	Структура и содержание дисциплины.....	5
5.	Образовательные технологии.....	8
6.	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов.....	9
7.	Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины:.....	9
8.	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	10
9.	Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	10

## «Введение в физику элементарных частиц»

### Рабочая программа дисциплины

#### 1. Цели освоения дисциплины

Курс задуман как практическое введение в современную теорию элементарных частиц для аспирантов непрофильных специальностей. Задача курса довольно амбициозна: пройти за два семестра последовательный путь от квантовой механики к современной теории элементарных частиц. Предполагается, что слушатели курса обладают начальными знаниями по специальной теории относительности и квантовой механике. В процессе обучения аспиранты должны будут не только усвоить теоретические основы физики элементарных частиц, но и овладеть основными навыками практических вычислений, например, научиться рисовать и вычислять фейнмановские диаграммы, соответствующие определенному процессу, анализировать и использовать ограничения, накладываемые симметриями теории на амплитуды процессов. Учитывая специализацию слушателей, будет также сделан некоторый акцент на использование компьютерных методов для вычисления диаграмм и других задач, возникающих в теории элементарных частиц.

Продолжительность курса – два семестра. Первая часть курса посвящена квантовой механике и релятивистским волновым уравнениям. В этой части будет, в частности, заложена основа для дальнейшего изложения релятивистской квантовой теории элементарных частиц: будут обсуждаться решения волновых уравнений, теория рассеяния, представление взаимодействия, представление чисел заполнения. Во втором семестре излагаются основы квантовой теории поля, выводится диаграммная техника Фейнмана, обсуждаются симметрии Стандартной модели.

#### 2. Место дисциплины в структуре программы обучения

Дисциплина «Введение в физику элементарных частиц» относится к вариативной части блока 1 "Дисциплины (модули)". Дисциплина является элективной (дисциплиной по выбору), ориентированной в основном на аспирантов, специализирующихся на вопросах автоматизации и обработки данных экспериментов по физике высоких энергий. Курс может быть полезен аспирантам специальностей, не связанных прямо с экспериментами по физике высоких энергий (ускорители, плазма) для расширения кругозора и квалификации в области современной физики. Аспиранты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны иметь общую базовую подготовку в рамках программы 5-6 лет обучения в ВУЗе, в том числе:

- должны быть знакомы с основами нерелятивистской классической механики,
- должны знать основы классической электродинамики,
- должны быть знакомы с основами нерелятивистской квантовой механики,
- должны владеть основами математического анализа.

#### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов для решения научных и практических задач (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-1);
- Способность к получению, критическому осмыслению и реферативному изложению научных результатов в области физики (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-2);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **иметь представление** о направлении развития современной квантовой теории, ее открытых проблемах;
- **знать** основания и главные результаты современной квантовой теории.
- **уметь** применять полученные знания в научных исследованиях.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Введение в физику элементарных частиц» представляет собой годовой курс, читаемый в аспирантуре ИЯФ СО РАН. Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

Раздел дисциплины	Неделя	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
		Лекции	Семинары	Самостоятельная работа	
<b>Первый семестр</b>					
Симметрии физических законов. Непрерывные симметрии: трансляции, вращения, преобразования Галилея, преобразования Лоренца. Дискретные симметрии: отражения, обращение времени, зарядовая четность.	1	2	2	2	
Основания квантовой механики: стабильность атомов, формула Планка, принцип неопределенности Гейзенберга, волны де Бройля.	2	2	2	2	
Уравнение Шредингера, физический смысл волновой функции. Операторы физических величин, вычисление средних, коммутатор. Расплывание волнового пакета. Оптимальность гауссового пакета. Преобразование волновой функции при переходе в	3-4	4	4	4	

другую систему отсчета. Инверсия времени.					
Преобразования волновой функции относительно поворотов, собственный угловой момент частицы. Спин 1/2, преобразования спиноров, сложение моментов.	5-6	4	4	4	
Уравнение Шредингера в осцилляторном потенциале. Операторы рождения-уничтожения, вычисление средних.	7	2	2	2	
Уравнение Шредингера в кулоновском поле. Уровни энергии атома водорода. Оператор Рунге-Ленца.	8	2	2	6	Контрольная работа по пройденному материалу.
Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена, неравенства Белла. Квантовые каналы связи.	9-10	4	4	2	Разбор контрольной работы.
Квантовый компьютер, алгоритмы Гровера и Шора.	11-12	4	4	2	
Теория возмущений для дискретного спектра. Секулярное уравнение.	13	2	2	2	
Теория возмущений для непрерывного спектра, правило Ферми для вероятности перехода. Представление взаимодействия.	14	2	2	2	
Теория рассеяния, борновское разложение. Фазовая теория рассеяния, оптическая теорема.	15-17	6	6	8	Контрольная работа по пройденному материалу. Разбор контрольной работы
<b>Зачеты</b>					4
<b>Итого за 1 семестр</b>		<b>34</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>4</b>
<b>Второй семестр</b>					
Релятивистские волны де Бройля, уравнение Клейна-Фока-Гордона. Свободные решения. Дискретные и непрерывные симметрии уравнения Клейна-Фока-Гордона.	1	2	2	2	
Уравнения Максвелла. Дискретные и непрерывные симметрии. Поляризация света, параметры Стокса.	2	2	2	2	
Уравнение Дирака. Алгебра гамма-матриц. Свободные решения. Дискретные и непрерывные симметрии	3	2	2	2	

уравнения Дирака. Поляризация матрица плотности электронов.					
Рассеяние релятивистских электронов в кулоновском поле. Поляризация эффекты.	4	2	2	2	
Тождественность частиц, фермионы и бозоны. Представление чисел заполнения, операторы рождения и уничтожения.	5	2	2	2	
Действие для классических полей. Свободные лагранжианы. Безмассовые векторные поля и калибровочная инвариантность. Локальные взаимодействия полей.	6	2	2	2	
Спонтанное нарушение симметрии, голдстоуновские бозоны, механизм Хиггса. Стандартная модель электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий.	7-8	4	4	6	Контрольная работа по пройденному материалу.
Процедура канонического квантования. Квантование скалярного поля, квантование электромагнитного поля.	9-10	4	4	4	Разбор контрольной работы.
Излучение атомов, мультипольное разложение, электрический и магнитный типы переходов, правила отбора.	11	2	2	2	
Инвариантная теория возмущений. Формула Вика, диаграммы Фейнмана.	12	2	2	2	
Элементарные процессы квантовой электродинамики: дифференциальные сечения, поляризация эффекты.	13	2	2	2	
Радиационные поправки, петлевые интегралы, размерностная регуляризация, понятие перенормировки.	14	2	2	2	
Метод эффективных лагранжианов, построение	15-17	6	6	6	

инвариантных амплитуд с учетом непрерывных и дискретных симметрий.					
<b>Зачет</b>					4
<b>Итого за 2 семестр</b>		<b>34</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>4</b>

### **Содержание дисциплины:**

Симметрии физических законов: трансляции, вращения, преобразования Галилея, преобразования Лоренца, отражения, обращение времени, зарядовая четность.

Основания квантовой механики, соотношение неопределенности. Волны де-Бройля, уравнение Шредингера, волновая функция.

Уравнение Шредингера для потенциала осциллятора, кулоновского потенциала.

Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена, неравенства Белла. Квантовые каналы связи. Квантовый компьютер, алгоритмы Гровера и Шора.

Теория возмущений в дискретном и непрерывном спектре. Правило Ферми, представление взаимодействия.

Теория рассеяния, борновское разложение, фазовая теория рассеяния, оптическая теорема.

Квантовая механика и релятивизм, несохранение числа частиц, релятивистские волновые уравнения Клейна-Фока-Гордона и Дирака, парадокс Клейна, рождение пар в электрическом поле.

Тождественность частиц, фермионы и бозоны, связь спина со статистикой, представление чисел заполнения, операторы рождения и уничтожения.

Принцип наименьшего действия для классических полей. Свободные лагранжианы. Безмассовые векторные поля и калибровочная инвариантность. Локальные взаимодействия полей.

Спонтанное нарушение симметрии, голдстоуновские бозоны, механизм Хиггса. Стандартная модель электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий.

Квантование полей, операторы рождения-уничтожения, пространство Фока. Квантованное электромагнитное поле, излучение атомов.

Инвариантная теория возмущений. Формула Вика, диаграммы Фейнмана. Элементарные процессы квантовой электродинамики.

Радиационные поправки, размерностная регуляризация, понятие перенормировки.

Метод эффективного лагранжиана, построение инвариантных амплитуд с учетом непрерывных и дискретных симметрий.

### **5. Образовательные технологии**

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование. Практические занятия включают в себя самостоятельное решение различных задач, иллюстрирующих лекционный материал. Особый упор делается на обучении аспирантов делать качественные оценки эффектов, а также на обучении аспирантов умению проводить всесторонний анализ полученных результатов и исследованию различных предельных случаев. Лекции и семинары проходят в малых группах (до 6 человек) в интерактивном режиме, с привлечением слушателей к обсуждению излагаемых вопросов



## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов**

Самостоятельная работа студентов поддерживается регулярными приемами заданий. Система контроля включает текущий (по ходу семестра) контроль освоения практического материала. В качестве текущего контроля успеваемости используется контроль посещаемости. Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачете, который проводится в конце семестра по билетам в устной форме.

## **7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Билеты для зачета.

1. Преобразования Галилея.
2. Преобразования Лоренца.
3. Оценить время жизни атомов в классической модели.
4. Уравнение Шредингера, физический смысл волновой функции.
5. Операторы физических величин, вычисление средних, коммутатор.
6. Расплывание волнового пакета.
7. Преобразование волновой функции при переходе в другую систему отсчета.
8. Преобразования волновой функции относительно поворотов, собственный угловой момент частицы.
9. Сложение моментов.
10. Уравнение Шредингера в осцилляторном потенциале. Операторы рождения-уничтожения, вычисление средних.
11. Уравнение Шредингера в кулоновском поле. Уровни энергии атома водорода. Оператор Рунге-Ленца.
12. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена, неравенства Белла.
13. Квантовый канал связи.
14. Квантовый компьютер, алгоритм Гровера.
15. Теория возмущений для дискретного спектра. Секулярное уравнение.
16. Теория возмущений для непрерывного спектра, правило Ферми для вероятности перехода.
17. Теория рассеяния, борновское разложение.
18. Уравнение Клейна-Фока-Гордона. Свободные решения. Дискретные и непрерывные симметрии.
19. Уравнения Максвелла. Дискретные и непрерывные симметрии. Поляризация света, параметры Стокса.
20. Уравнение Дирака. Свободные решения. Дискретные и непрерывные симметрии уравнения Дирака.
21. Поляризационная матрица плотности электронов.
22. Рассеяние релятивистских электронов в кулоновском поле.
23. Тождественность частиц. Представление чисел заполнения для бозонов.
24. Тождественность частиц. Представление чисел заполнения для фермионов.
25. Действие для классических полей. Свободные лагранжианы для скалярного и спинорного поля. Уравнения движения.
26. Спонтанное нарушение симметрии, голдстоуновские бозоны, механизм Хиггса.
27. Частицы и взаимодействия Стандартной модели электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий.
28. Квантование скалярного поля, операторы рождения-уничтожения, пространство Фока.

29. Квантованное электромагнитное поле, излучение атомов.
30. Электрическое и магнитное дипольное излучение.
31. Инвариантная теория возмущений. Формула Вика, диаграммы Фейнмана.
32. Элементарные процессы квантовой электродинамики: дифференциальные сечения, поляризационные эффекты.
33. Радиационные поправки, размерностная регуляризация, понятие перенормировки.
34. Метод эффективных лагранжианов, построение инвариантных амплитуд с учетом непрерывных и дискретных симметрий.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература**

1. Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; Квантовая механика, М.: Физматлит, 2012.
2. В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; Сборник задач по электродинамике, М. 2002.

### **Дополнительная литература**

1. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. М.: URSS, 2005.
2. В.Б.Берестецкий, Е.М.Лившиц, Л.П.Питаевский Квантовая электродинамика, М.1989
3. В.М. Галицкий , Б.М. Карнаков , В.И. Коган; Задачи по квантовой механике, М.: Наука, 1992.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оборудованной мультимедийным проектором и компьютером, необходимых для презентации электронного варианта лекций и проведения компьютерных демонстраций.