

**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.

**ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ.**

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	64	контактная работа обучающихся с преподавателем	128
Семинарские занятия	64		
Самостоятельная работа	80	занятия в активной и интерактивной форме	80
Консультации			
Зачеты	8	Экзамены	

**Новосибирск- 2018**

Программа курса «Избранные главы современной физики» 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, обучающихся по направлению (профилю подготовки) 01.04.02 Теоретическая физика и 01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинары, самостоятельная работа студента.

Предлагаемый курс лекций является частью профессионального цикла подготовки аспирантов по специальностям 01.04.02 Теоретическая физика и 01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц (уровень подготовки кадров высшей квалификации). Он ставит перед собой две основные задачи. Первой задачей является подготовка аспирантов указанных специальностей к сдаче кандидатского экзамена по широкому кругу вопросов. Второй задачей является детальное обсуждение некоторых вопросов, которые не входят в стандартную университетскую программу, но знание и правильное понимание которых очень важно для работы исследователей. Обучение предполагается проводить не на основе повторения университетского курса, а на основе обсуждения нетривиальных и интересных физических проблем, решение которых потребует напоминания основ теории. Это позволит подготовиться к сдаче кандидатских экзаменов, а также повысить интерес к исследовательской работе. Продолжительность курса - два семестра (одна лекция и один семинар в неделю). В первом семестре обсуждаются вопросы, связанные с классической динамикой, специальной теорией относительности, классической электродинамикой, релятивистской квантовой механикой. Во втором семестре обсуждаются проблемы ядерной физики, феноменология сильных и слабых взаимодействий.

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.

Составитель:

д.ф.-м.н., проф. А.И. Мильштейн

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.....	10
6.	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов.....	10
7.	Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины:.....	10
8.	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	12
9.	Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	12

## **«Избранные главы современной физики»**

### *Рабочая программа Дисциплины*

#### **1. Цели освоения дисциплины**

Предлагаемый курс лекций является частью профессионального цикла подготовки аспирантов по специальностям 01.04.02 Теоретическая физика и 01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц (уровень подготовки кадров высшей квалификации). Он ставит перед собой две основные задачи. Первой задачей является подготовка аспирантов указанных специальностей к сдаче кандидатского экзамена по широкому кругу вопросов. Второй задачей является детальное обсуждение некоторых вопросов, которые не входят в стандартную университетскую программу, но знание и правильное понимание которых очень важно для работы исследователей. Обучение предполагается проводить не на основе повторения университетского курса, а на основе обсуждения нетривиальных и интересных физических проблем, решение которых потребует напоминания основ теории. Это позволит подготовиться к сдаче кандидатских экзаменов, а также повысить интерес к исследовательской работе. Продолжительность курса - два семестра (одна лекция и один семинар в неделю). В первом семестре обсуждаются вопросы, связанные с классической динамикой, специальной теорией относительности, классической электродинамикой, релятивистской квантовой механикой. Во втором семестре обсуждаются проблемы ядерной физики, феноменология сильных и слабых взаимодействий.

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

Дисциплина «Избранные главы современной физики» относится к вариативной части блока 1 "Дисциплины (модули)". Дисциплина является элективной (дисциплиной по выбору), ориентированной на аспирантов, специализирующихся в области теоретической физики и физики элементарных частиц. 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 релятивистской классической и квантовой динамике, ядерной физике и феноменологии сильных и слабых взаимодействий при низких энергиях.
- **уметь** проводить анализ и оценку величин различных эффектов, которые важны при проведении современных экспериментов.
- **знать** направление развития и современное состояние ядерной физики и физики элементарных частиц.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Избранные главы современной физики» 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>					
Преобразования Лоренца для векторов и тензоров, преобразование Лоренца для электромагнитного поля, инварианты электромагнитного поля относительно преобразований Лоренца	1	2	2	3	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Функция Лагранжа релятивистской частицы в электромагнитном поле, сила Лоренца, Гамильтониан, канонический импульс, калибровочная инвариантность.	2	2	2	3	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Плотность энергии и импульса электромагнитного поля, сохранение энергии и импульса системы частица+поле при движении частицы в переменном поле.	3	2	2	3	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Прецессия Томаса, движение магнитного момента в электромагнитном поле, уравнение Баргмана-Мишеля-Телегди.	4	2	2	3	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Проблема центра инерции в системе взаимодействующих	5	2	2	3	Контрольная работа по пройденному материалу.

релятивистских частиц					
Движение в центральном поле, уравнение Гамильтона-Якоби, рассеяние релятивистской частицы в кулоновском поле, проблема падения на центр в релятивистской классической механике.	6	2	2	3	Разбор контрольной работы
Потенциалы движущихся зарядов, излучение электромагнитных волн частицей во внешнем поле, мультипольное разложение, поляризация излучения, параметры Стокса.	7	2	2	3	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Сила радиационного трения. Лазер на свободных электронах.	8	2	2	3	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Уравнения Дирака в электромагнитном поле, ток, калибровочная инвариантность, вероятностная интерпретация, преобразование Фолди-Ваутхайзена, нерелятивистское разложение, гамильтониан Брейта	9	2	2	2	Контрольная работа по пройденному материалу.
Оператор скорости электрона в релятивистском случае, дрожание (Zitterbewegung) электрона, рассеяние в одномерном случае, парадокс Клейна	10	2	2	2	Разбор контрольной работы
Релятивистские эффекты в атомах, тонкая структура, асимметричное рассеяние медленных электронов, скачек волновой функции, аномальный эффект Холла, спиновый эффект Холла.	11	2	2	2	
Флуктуации вакуума, Лэмбовский сдвиг в атоме водорода, Лэмбовский сдвиг в системе двух частиц (или ?). Аномальный магнитный момент, его зависимость от поля.	12	2	2	2	
Рассеяние электронов при низких энергиях, эффект	13	2	2	2	

Рамзауэра. Рассеяние электронов при высоких энергиях, спиновые эффекты, борновское приближение, эйкональное приближение, квазиклассическое приближение					
Рассеяние света на атомах и ядрах, томсоновское рассеяние, рэлеевское рассеяние, комптоновское рассеяние, дельбрюковское рассеяние, резонансное рассеяние	14	2	2	2	
Тормозное излучение электрона на атоме при высоких энергиях, длина формирования, влияние многократного рассеяния, эффект Ландау-Померанчука	15	2	2	2	
Рождение электрон-позитронных пар фотоном в атомном поле, рождение пар однородным электромагнитным полем, механизм Швингера	16	2	2	2	
<b>Зачеты</b>					4
<b>Итого за 1 семестр</b>		<b>32</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>4</b>
<b>Второй семестр</b>					
Нуклон-нуклонное взаимодействие при низких энергиях, изотопическая инвариантность, обобщенный принцип Паули; свойства ядерных сил, роль кулоновских сил в деформации и делении ядер; энергия связи ядер.	1	2	2	2	Решение задач студентами на каждом семинаре В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом.
Дейтрон, магнитный момент дейтрона, примесь d-волны. pp, pp и np рассеяние при очень низких энергиях, виртуальный уровень. Приближение нулевого радиуса	2	2	2	3	
Потенциал Саксона-Вудса и трехмерный осциллятор, оболочки, магические ядра, спин-орбитальное взаимодействие, кулоновское взаимодействие, pp и np спаривание в ядрах;	3	2	2	3	

магнитные моменты ядер.					
Изотопы, стабильность ядер, - распад, спектр -электронов и влияние массы нейтрино, правила отбора для -распада; -распад, деление ядер.	4	2	2	3	
Одночастичные возбуждения в ядрах, электромагнитные переходы, правила отбора; статическая деформация ядер.	5	2	2	2	Контрольная работа по пройденному материалу.
Вращательные спектры, колебательные спектры, гигантские дипольные резонансы; упругие и неупругие ядерные реакции.	6	2	2	3	Разбор контрольной работы
Четыре типа взаимодействий. Их пространственно-временные масштабы, константы связи. Элементарные частицы: кварки, лептоны, калибровочные бозоны.	7	2	2	2	
Мезоны и барионы как кварковые состояния. Квантовое число "цвет", симметрия барионной волновой функции. Кварковые ароматы. Дублет u- и d-кварков. Изотопическая симметрия. Дублет антикварков, G-сопряжение, G-четность. Пентакварки и молекулярные состояния элементарных частиц.	8	2	2	3	
Сохраняющиеся квантовые числа. Изомультиплеты. Следствия изотопической инвариантности. Методы получения изотопических соотношений: коэффициенты Клебша-Гордона, построение инвариантных амплитуд, "фабрика" Шмушкевича.	9	2	2	3	Контрольная работа по пройденному материалу.
Электромагнитные характеристики адронов. Константы мезонных распадов. Формфакторы, поляризуемость. Массовые формулы.	10	2	2	3	Разбор контрольной работы
Асимптотическая свобода. Квантовая	11	2	2	3	



хромодинамика. Кварконий. Спектроскопия состояний. Аннигиляционные каналы распада. Определение величины константы связи.					
Структура упругого нуклон-нуклонного и нуклон - мезонного взаимодействия, спиновые эффекты.	12	2	2	2	
Электрон-позитронная аннигиляция в адроны. Модель векторной доминантности в области умеренных энергий. Глубоко неупругое рассеяние лептонов. Кварк-партоновая модель.	13	2	2	2	
Непертурбативные эффекты в КХД. Вакуум в КХД. Инстантоны. Невылетание цвета.	14	2	2	2	
Стандартная модель слабых и электромагнитных взаимодействий. Промежуточные векторные бозоны, их массы, каналы распада, ширины.	15	2	2	2	
Нейтральные каоны. Нарушение CP инвариантности. Матрица Кобаяши-Маскавы, осцилляции нейтрино.	16	2	2	2	
<b>Зачет</b> <b>Итого за 2 семестр</b>		<b>32</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>4</b> <b>4</b>

### Содержание дисциплины:

1. Релятивистская классическая динамика в электромагнитном поле, калибровочная инвариантность, вывод уравнений движения, уравнения Гамильтона, уравнения Лагранжа, уравнения Гамильтона-Якоби, рассеяние релятивистских частиц, движение магнитного момента, прецессия Томаса.
2. Излучение релятивистских частиц в классической электродинамике, законы сохранения, радиационное трение, лазер на свободных электронах.
3. Релятивистская квантовая механика, уравнения Дирака, решения, парадокс Клейна, релятивистские эффекты при низких энергиях, эффекты флуктуации вакуума, рассеяние света при разных энергиях, рассеяние электронов при высоких энергиях, тормозное излучение релятивистских электронов в атомных полях и рождение пар фотоном в атомном поле, механизм Швингера рождения пар в электрическом поле.

4. Основные понятия ядерной физики, массы ядер, деформация ядер, коллективные и одночастичные возбуждения в ядрах, ядерные реакции, эффекты слабых взаимодействий в ядрах.

5. Феноменология сильных и слабых взаимодействий при низких энергиях, квантовая хромодинамика, зоопарк частиц, мультиплеты, получение инвариантных амплитуд для различных процессов, понятие о вакууме и непертурбативных эффектах, кварконии, молекулярные состояния адронов. Несохранение пространственной четности в атомах и комбинированной четности в физике К и В мезонов.

### **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 по курсу проводятся в малых группах (до 6 человек) в интерактивном режиме, с возможностью привлечения слушателей к обсуждению рассматриваемых 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 Лоренца для векторов и тензоров, преобразование Лоренца для электромагнитного поля, инварианты электромагнитного поля относительно преобразований Лоренца
2. Функция Лагранжа релятивистской частицы в электромагнитном поле, сила Лоренца, Гамильтониан, канонический импульс, калибровочная инвариантность.
3. Плотность энергии и импульса электромагнитного поля, сохранение энергии и импульса системы частица+поле при движении частицы в переменном поле. 4. Прецессия Томаса, движение магнитного момента в электромагнитном поле, уравнение Баргмана-Мишеля-Телегди.
5. Проблема центра инерции в системе взаимодействующих релятивистских частиц
6. Движение в центральном поле, уравнение Гамильтона-Якоби, рассеяние релятивистской частицы в кулоновском поле, проблема падения на центр в релятивистской классической механике.
7. Потенциалы движущихся зарядов, излучение электромагнитных волн частицей во внешнем поле, мультипольное разложение, поляризация излучения, параметры Стокса.
8. Сила радиационного трения. Лазер на свободных электронах.

9. Уравнения Дирака в электромагнитном поле, ток, калибровочная инвариантность, вероятностная интерпретация, преобразование Фолди-Ваутхайзена, нерелятивистское разложение, гамильтониан Брейта
10. Оператор скорости электрона в релятивистском случае, дрожание (Zitterbewegung) электрона, рассеяние в одномерном случае, парадокс Клейна
11. Релятивистские эффекты в атомах, тонкая структура, асимметричное рассеяние медленных электронов, скачек волновой функции, аномальный эффект Холла, спиновый эффект Холла.
12. Флуктуации вакуума, Лэмбовский сдвиг в атоме водорода, Лэмбовский сдвиг в системе двух частиц ( или ?). Аномальный магнитный момент, его зависимость от поля.
13. Рассеяние электронов при низких энергиях, эффект Рамзауэра. Рассеяние электронов при высоких энергиях, спиновые эффекты, борновское приближение, эйкональное приближение, квазиклассическое приближение
14. Рассеяние света на атомах и ядрах, томсоновское рассеяние, рэлеевское рассеяние, комптоновское рассеяние, дельбрюковское рассеяние, резонансное рассеяние
15. Тормозное излучение электрона на атоме при высоких энергиях, длина формирования, влияние многократного рассеяния, эффект Ландау-Померанчука
16. Рождение электрон-позитронных пар фотоном в атомном поле, рождение пар однородным электромагнитным полем, механизм Швингера
17. Нуклон-нуклонное взаимодействие при низких энергиях, изотопическая инвариантность, обобщенный принцип Паули; свойства ядерных сил, роль кулоновских сил в деформации и делении ядер; энергия связи ядер.
18. Дейтрон, магнитный момент дейтрона, примесь d-волны. np, pp и nn рассеяние при очень низких энергиях, виртуальный уровень. Приближение нулевого радиуса
19. Потенциал Саксона-Вудса и трехмерный осциллятор, оболочки, магические ядра, спин-орбитальное взаимодействие, кулоновское взаимодействие, pp и nn спаривание в ядрах; магнитные моменты ядер.
20. Изотопы, стабильность ядер,  $\alpha$ -распад, спектр  $\beta$ -электронов и влияние массы нейтрино, правила отбора для  $\alpha$ -распада;  $\beta$ -распад, деление ядер.
21. Одночастичные возбуждения в ядрах, электромагнитные переходы, правила отбора; статическая деформация ядер.
22. Вращательные спектры, колебательные спектры, гигантские дипольные резонансы; упругие и неупругие ядерные реакции.
23. Четыре типа взаимодействий. Их пространственно-временные масштабы, константы связи. Элементарные частицы: кварки, лептоны, калибровочные бозоны.
24. Мезоны и барионы как кварковые состояния. Квантовое число "цвет", симметрия барионной волновой функции. Кварковые ароматы. Дублет u- и d-кварков. Изотопическая симметрия. Дублет антикварков, G-сопряжение, G-четность. Пентакварки и молекулярные состояния элементарных частиц.
25. Сохраняющиеся квантовые числа. Изомультиплеты. Следствия изотопической инвариантности. Методы получения изотопических соотношений: коэффициенты Клебша-Гордона, построение инвариантных амплитуд, "фабрика" Шмушкевича.
26. Электромагнитные характеристики адронов. Константы мезонных распадов. Формфакторы, поляризуемость. Массовые формулы.

27. Асимптотическая свобода. Квантовая хромодинамика. Кварконий. Спектроскопия состояний. Аннигиляционные каналы распада. Определение величины константы связи.
28. Структура упругого нуклон-нуклонного и нуклон - мезонного взаимодействия, спиновые эффекты.
29. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны. Модель векторной доминантности в области умеренных энергий. Глубоко неупругое рассеяние лептонов. Кварк-партоновая модель.
30. Непертурбативные эффекты в КХД. Вакуум в КХД. Инстантоны. Невылетание цвета.
31. Стандартная модель слабых и электромагнитных взаимодействий. Промежуточные векторные бозоны, их массы, каналы распада, ширины.
32. Нейтральные каоны. Нарушение CP инвариантности. Матрица Кобаяши-Маскавы, осцилляции нейтрино.

## **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. Ожунь 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.