

|  |  |   |        |
|--|--|---|--------|
| Документ подписан простой электронной подписью<br>Информация о владельце:<br>ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич<br>Должность: Ректор<br>Дата подписания: 17.06.2025 12:10:59<br>Уникальный программный ключ:<br>04c19ed8bfb98f3bbcb77a486b9a8788b8322325 | МИНОВЕРНАУКИ РОССИИ<br>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ») | Рабочая программа дисциплины "Физика фундаментальных взаимодействий" по направлению подготовки (специальности) 03.03.02 "Физика" направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ» | стр. 1 |
|--|--|---|--------|

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)\***

**Физика фундаментальных взаимодействий**

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

Физика

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2025

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2025 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Физика фундаментальных взаимодействий» состоит в изучении основ физики фундаментальных взаимодействий.

Основные задачи дисциплины:

- изучение основных понятий, законов и моделей физики фундаментальных взаимодействий;

- знакомство с основами и современными проблемами физики фундаментальных взаимодействий.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями, полученными в области физико-математических и (или) естественных наук;

ОПК-1.2. Демонстрирует умение решать задачи, формулируемые в рамках физико-математических и (или) естественных наук;

ОПК-1.3. Имеет навыки использования основных понятий, законов физико-математических и (или) естественных наук для решения задач профессиональной деятельности.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.О.34

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Теоретическая механика

Дифференциальные уравнения

Математический анализ

Молекулярная физика

Оптика

Атомная физика

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Векторный и тензорный анализ

Электродинамика

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Космическая электродинамика

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;**

#### Знать:

Для достижения ОПК-1.1: теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий

#### Уметь:

Для достижения ОПК-1.2: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики фундаментальных взаимодействий

#### Владеть:

Для достижения ОПК-1.3: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации по физике фундаментальных взаимодействий

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

#### 3.1 Знать:

3.1.1 теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий

#### 3.2 Уметь:



3.2.1 пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики фундаментальных взаимодействий

**3.3 Владеть:**

3.3.1 методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации по физике фундаментальных взаимодействий

**4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

| Общая трудоемкость  | З ЕТ   |
|---|--|
| Часов по учебному плану : 108<br>в том числе :<br>аудиторные занятия : 52<br>самостоятельная работа : 10,6<br>часов на контроль : 36<br>контактная работа: 61,4<br>ИКР: 9,4 | Виды контроля в семестрах:<br><br>экзамены 7 |

**5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/   | Семестр / Курс | Часов | Литература   |
|-------------|---|----------------|-------|--|
|             | <b>Раздел 1. Частицы и фундаментальные взаимодействия</b>   |                |       |  |
| 1.1         | Обзор фундаментальных взаимодействий. Сравнительные интенсивности взаимодействий. Элементарные частицы. /Лек/   | 7              | 4     | Л1.5 Л1.9Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5                    |
| 1.2         | Обзор фундаментальных взаимодействий. Сравнительные интенсивности взаимодействий. Элементарные частицы. /Ср/  | 7              | 1     | Л1.5 Л1.9Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5                    |
|             | <b>Раздел 2. Квантовые поля</b>   |                |       |  |
| 2.1         | Необходимые сведения из квантовой теории. Релятивистская квантовая механика. Необходимые сведения из теории групп. Калибровочные поля. Уравнения Клейна-Фока и Дирака. Процедура квантования свободных полей. Квантование свободного скалярного поля. Особенности квантования свободных электромагнитного и спинорного полей. /Лек/ | 7              | 4     | Л1.4 Л1.7 Л1.8Л2.4<br>Л2.9 Л2.10<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 2.2         | Необходимые сведения из квантовой теории. Релятивистская квантовая механика. Калибровочные поля. Уравнения Клейна-Фока и Дирака. Процедура квантования свободных полей. Квантование свободного скалярного поля. Особенности квантования свободных электромагнитного и спинорного полей. /Пр/  | 7              | 4     | Л1.4 Л1.7 Л1.8Л2.4<br>Л2.9 Л2.10<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 2.3         | Необходимые сведения из квантовой теории. Релятивистская квантовая механика. Необходимые сведения из теории групп. Калибровочные поля. Уравнения Клейна-Фока и Дирака. Процедура квантования свободных полей. Квантование свободного скалярного поля. Особенности квантования свободных электромагнитного и спинорного полей. /Ср/  | 7              | 1     | Л1.4 Л1.7 Л1.8Л2.4<br>Л2.9 Л2.10<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
|             | <b>Раздел 3. Квантовая электродинамика (КЭД)</b>  |                |       |  |
| 3.1         | Принцип локальной калибровочной симметрии. Основные уравнения КЭД. Основные приложения КЭД. Меллеровское рассеяние. /Лек/   | 7              | 4     | Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.2<br>Л2.5<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5       |
| 3.2         | Основные уравнения КЭД. Основные приложения КЭД. Меллеровское рассеяние. /Пр/   | 7              | 4     | Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.2<br>Л2.5<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5       |
| 3.3         | Принцип локальной калибровочной симметрии. Основные уравнения КЭД. Основные приложения КЭД. Меллеровское рассеяние. /Ср/  | 7              | 1     | Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.2<br>Л2.5<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5       |
|             | <b>Раздел 4. Квантовая хромодинамика (КХД)</b>  |                |       |  |



|   |   |   |     |  |
|---|---|---|-----|--|
| 4.1   | Основные уравнения КХД. Основные КХД-процессы. Экспериментальные подтверждения КХД. /Лек/   | 7 | 4   | Л1.12 Л1.10Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5  |
| 4.2   | Основные уравнения КХД. Основные КХД-процессы. /Пр/   | 7 | 2   | Л1.10 Л1.12Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5  |
| 4.3   | Основные уравнения КХД. Основные КХД-процессы. /Ср/   | 7 | 1   | Л1.10 Л1.12Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5  |
| <b>Раздел 5. Слабое взаимодействие</b>              |   |   |     |  |
| 5.1   | СРТ-теорема. Теория Ферми. Обменная теория. /Лек/   | 7 | 4   | Л1.5 Л1.6 Л1.8Л2.8<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| 5.2   | СРТ-теорема. Теория Ферми. Обменная теория. /Пр/  | 7 | 2   | Л1.5 Л1.6 Л1.8Л2.8<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| 5.3   | СРТ-теорема. Теория Ферми. Обменная теория. /Ср/  | 7 | 1   | Л1.5 Л1.6 Л1.8Л2.8<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| <b>Раздел 6. Электрослабое взаимодействие</b>       |   |   |     |  |
| 6.1   | Механизм Хиггса. Модель Вайнберга-Салама. /Лек/   | 7 | 4   | Л1.6Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| 6.2   | Механизм Хиггса. Модель Вайнберга-Салама. /Ср/  | 7 | 1   | Л1.6Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| <b>Раздел 7. Теория Великого Объединения</b>        |   |   |     |  |
| 7.1   | Свойства калибровочной группы. Некоторые следствия и предсказания. /Лек/  | 7 | 4   | Л1.9Л2.3<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| 7.2   | Свойства калибровочной группы. Некоторые следствия и предсказания. /Ср/   | 7 | 1   | Л1.9Л2.3<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| <b>Раздел 8. Общая теория относительности (ОТО)</b> |   |   |     |  |
| 8.1   | Принципы ОТО. Тензор кривизны. Уравнения Эйнштейна. Законы сохранения в ОТО. Слабое гравитационное поле. Сферически-симметричное гравитационное поле. Основные эффекты ОТО. /Лек/ | 7 | 4   | Л1.2 Л1.4Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5  |
| 8.2   | Тензор кривизны. Уравнения Эйнштейна. Сферически-симметричное гравитационное поле. Основные эффекты ОТО. Космология. /Пр/   | 7 | 6   | Л1.2 Л1.4Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5  |
| 8.3   | Принципы ОТО. Тензор кривизны. Уравнения Эйнштейна. Законы сохранения в ОТО. Слабое гравитационное поле. Сферически-симметричное гравитационное поле. Основные эффекты ОТО. /Ср/  | 7 | 1,6 | Л1.2 Л1.4Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5  |
| <b>Раздел 9. Объединение всех взаимодействий</b>    |   |   |     |  |
| 9.1   | Парадигмы теоретической физики. Квантовая теория гравитации. Единые теории поля. Суперсимметрия и супергравитация. Теория струн. Бинарная геометрофизика. /Лек/                   | 7 | 2   | Л1.9Л2.3<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| 9.2   | Парадигмы теоретической физики. Квантовая теория гравитации. Единые теории поля. Суперсимметрия и супергравитация. Теория струн. Бинарная геометрофизика. /Ср/                    | 7 | 2   | Л1.9Л2.3<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5   |
| <b>Раздел 10. Иная контактная работа</b>            |   |   |     |  |
| 10.1  | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/   | 7 | 9,4 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8<br>Л1.9 Л1.10<br>Л1.12Л2.1 Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7<br>Л2.8 Л2.9 Л2.10<br>Л2.11 Л2.12<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ



### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Отчеты по задачам (по практическим занятиям)  
Ответы на вопросы «теоретического минимума»  
Вопросы к экзамену

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Типовые задачи к практическим занятиям и экзамену

1. Найти лагранжиан спинорного поля.
2. Определить уровни энергии электрона в постоянном магнитном поле.
3. Запишите уравнения Максвелла в дираковской форме.
4. Найти уровни энергии дираковской частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме глубиной  $V_0$  и шириной  $a$ .
5. Проверить инвариантность уравнения Дирака при зарядовом сопряжении.
6. Вывести сопряженное уравнение Дирака.
7. С помощью вариационного принципа получить уравнения Янга-Миллса для калибровочных полей в квантовой хромодинамике.
8. Показать, что в пределе низких энергий теория Ферми и обменная теория слабого взаимодействия приводят к одинаковым результатам.
9. Из уравнений Эйнштейна получить метрику Шварцшильда для сферически-симметричного гравитационного поля.
10. Вывести уравнения линеаризованной теории гравитации.
11. Вывести и проанализировать решения уравнения Фридмана.

Контрольные вопросы

Частицы и фундаментальные взаимодействия.

1. В чем заключается слабый принцип эквивалентности?
2. Как проявляется гравитационное взаимодействие в общей теории относительности (ОТО)?
3. В чем заключается явление экранировки для электромагнитного взаимодействия?
4. В чем заключается градиентная инвариантность потенциалов электромагнитного поля?
5. Чем слабое взаимодействие отличается от остальных?
6. Что подразумевается под сильным взаимодействием?
7. Расположите взаимодействия в порядке возрастания их интенсивности.
8. Что такое «бегущие» константы?
9. Чем отличаются фермионы и бозоны?
10. Что такое адроны?
11. В чем заключается явление конфайнмента кварков?
12. В чем заключается физический смысл понятия «спин»?

Основы квантовой теории поля.

1. Что понимается под измерением, прибором и квантовым объектом?
2. В чем заключается физический смысл волновой функции в квантовой механике?
3. В чем заключается принцип суперпозиции в квантовой механике?
4. Что понимается под физической величиной в квантовой механике? Какие операторы соответствуют физическим величинам?
5. Как выражается условие одновременной измеримости физических величин?
6. В чем заключается соотношение неопределенностей Гейзенберга?
7. В чем заключается и откуда следует боровское квантование уровней электронов в атомах?
8. В чем выражается принцип неопределенностей Гейзенберга в релятивистской квантовой механике?
9. Что такое виртуальные частицы?
10. Что такое биспинор?
11. Как интерпретируются решения уравнения Дирака с отрицательной энергией?
12. Чем отличаются абелевы и неабелевы группы преобразований в теории групп?
13. Что означают обозначения  $U$ ,  $O$  и  $S$  для матриц в теории групп?
14. В чем заключается принцип тождественности частиц?
15. Какие частицы описываются статистикой Бозе-Эйнштейна, а какие - статистикой Ферми-Дирака? В чем заключается принцип Паули?
16. Что такое первичное и вторичное квантование?



Калибровочные теории взаимодействий.

1. Что такое симметрия? Чем отличаются локальные и глобальные симметрии?
2. Как описываются взаимодействия в квантовой теории поля?
3. Как радиус взаимодействия зависит от массы виртуальных частиц – переносчиков взаимодействия?
4. Что такое калибровочная симметрия? Приведите пример.
5. В чем заключается принцип локальной калибровочной инвариантности в теориях поля?
6. Какая симметрия используется в квантовой электродинамике? Какому калибровочному полю она соответствует?
7. Какая симметрия используется в общей теории относительности? Какому калибровочному полю она соответствует?
8. Какая симметрия используется в квантовой хромодинамике? Каким калибровочным полям она соответствует?
9. Какая симметрия используется в теории электрослабого взаимодействия? Каким калибровочным полям она соответствует?
10. В чем заключается механизм спонтанного нарушения симметрии? Что такое механизм Хиггса?
11. Сформулируйте теорему Нётер.

Квантовая электродинамика.

1. Какие частицы и какое взаимодействие описывает квантовая электродинамика?
2. За счет чего достигается инвариантность уравнения Дирака относительно локального преобразования фазы электрона?
3. Назовите основные уравнения квантовой электродинамики. Сколько их?
4. Что такое диаграммы Фейнмана? Нарисуйте пример.
5. Что такое петлевые диаграммы? В чем заключается перенормировка?

Квантовая хромодинамика.

1. Какие частицы и какое взаимодействие описывает квантовая хромодинамика?
2. В чем выражается неабелевость группы преобразований квантовой хромодинамики?
3. В чем заключается явление асимптотической свободы кварков?
4. Назовите эксперименты, подтверждающие гипотезу существования кварков.
5. Назовите эксперименты, подтверждающие гипотезу существования глюонов.

Теории слабого взаимодействия.

1. В чем заключаются P-, C- и T-преобразования? В каких взаимодействиях выполняется P-, C- и T-инвариантность, а в каких – нет?
2. Сформулируйте CPT-теорему.
3. В чем особенность теории Ферми?
4. Какие переносчики взаимодействий вводятся в обменной теории слабого взаимодействия?

Общая теория относительности (ОТО).

1. В чем заключается принцип эквивалентности?
2. Сформулируйте основной принцип общей теории относительности.
3. Что такое скалярная кривизна пространства? Сформулируйте ее геометрический смысл.
4. Что такое космологическая постоянная? Какова ее роль в уравнении Эйнштейна?
5. Каким является пространство в отсутствие материи и космологической постоянной?
6. Назовите эксперименты, подтверждающие ОТО.
7. Что описывает уравнение Фридмана? Что следует из решения стационарного уравнения Фридмана?

Тема 8. Теории объединения взаимодействий.

1. На чем основана Стандартная модель?
2. При каких энергиях происходит гипотетическое объединение электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий? При каких энергиях объединяются все четыре взаимодействия?
3. В чем заключается основная идея теории Калуцы-Клейна?
4. Что такое компактификация дополнительных пространственных измерений?
5. В чем заключается задача квантовой гравитации? Что предсказывает эта теория?
6. В чем заключается основная идея теории суперсимметрии? Каковы ее предсказания?
7. В чем заключается основная идея теории супергравитации?
8. В чем заключается основная идея теории струн? Что такое частицы с точки зрения теории струн?
9. Что такое критическая размерность пространства и чему она равна в теориях струн? Что такое M-теория?
10. Назовите эксперименты, результаты которых выходят за пределы применимости Стандартной модели.



### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Общий обзор фундаментальных взаимодействий.\*
2. Сравнительные интенсивности фундаментальных взаимодействий.\*
3. Константы взаимодействий. Единая константа взаимодействий.
4. Элементарные частицы: классификация и основные свойства.\*
5. Фундаментальные частицы.\*
6. Квантовые характеристики элементарных частиц.\*
7. Квантовая механика и релятивизм.
8. Уравнение Клейна-Фока.
9. Уравнение Дирака.\*
10. Процедура квантования поля.
11. Свободное скалярное поле.
12. Электромагнитное и спинорное поле.
13. Принцип локальной калибровочной симметрии.
14. Основные уравнения квантовой электродинамики.\*
15. Основные приложения квантовой электродинамики.
16. Меллеровское рассеяние электронов.
17. Основные уравнения квантовой хромодинамики.\*
18. Основные КХД процессы.
19. Экспериментальные подтверждения КХД.
20. СРТ-теорема.
21. Теория слабого взаимодействия Ферми.
22. Обменная теория слабого взаимодействия.
23. Спонтанное нарушение локальной калибровочной симметрии.
24. Модель Вайнберга-Салама электрослабого взаимодействия.
25. Свойства калибровочной группы Теории Великого Объединения.
26. Основные следствия Теории Великого Объединения.
27. Принцип эквивалентности.\*
28. Принцип ковариантности.\*
29. Тензор кривизны.
30. Действие для гравитирующей материи.
31. Уравнения Эйнштейна.\*
32. Законы сохранения энергии и импульса в общей теории относительности.
33. Ньютоновская теория гравитации.
34. Гравитационные волны.
35. Интервал Шварцшильда.
36. Движение частиц в поле Шварцшильда.
37. Гравитационное красное смещение.
38. Единые теории поля.\*
39. Квантовая теория гравитации.
40. Суперсимметрия и супергравитация.
41. Теория струн.
42. Бинарная геометрофизика.

Примечание: \*отмечены вопросы, входящие в список вопросов «теоретического минимума».

### 6.4. Критерии оценивания

Текущий контроль теоретических знаний и практических навыков производится на практических занятиях в виде контрольных вопросов из «теоретического минимума» и проверки отчетов о самостоятельном решении задач.

Экзаменационная оценка ставится на основании письменного и устного ответов по экзаменационному билету.

Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу.

На экзамене студент получает оценку «удовлетворительно» в случае успешной сдачи «теоретического минимума», который включает: знание основных понятий, название и физический смысл величин, вид основных соотношений (без вывода), определяемых вопросом билета.

Оценка «хорошо» – студент твердо знает учебно-программный материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул или отсутствие некоторых элементов вывода.

Оценка «отлично» – студент должен продемонстрировать отличное знание материала, как лекционных занятий, так и тем, выносимых на самостоятельное обучение, ответив на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие



математические выкладки и логические рассуждения; задача должно быть полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

|       | Авторы, составители                        | Заглавие   | Издательство, год   | Ресурс |
|-------|--|--|---|--------|
| Л1.1  | Ахиезер А. И.                              | Квантовая электродинамика: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=474067">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=474067</a> )   | Москва : Наука, 1969  | ЭБС    |
| Л1.2  | Вейнберг С.,<br>Сморodinский Я. А.         | Гравитация и космология: принципы и приложения общей теории относительности: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=481489">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=481489</a> ) | Москва : Мир, 1975  | ЭБС    |
| Л1.3  | Жилкин А. Г.                               | Электродинамика: учебное пособие<br>( <a href="http://library.csu.ru/rbooks2/view2?code=local/007754/zhilkinag">http://library.csu.ru/rbooks2/view2?code=local/007754/zhilkinag</a> )  | Челябинск :<br>Издательство<br>Челябинского<br>государственного о<br>университета,<br>2013                  | ЭБС    |
| Л1.4  | Ландау Л. Д., Лифшиц<br>Е. М.              | Теоретическая физика. Т. 9, ч. 2 : Статистическая физика ;<br>Теория конденсированного состояния: в 10 томах : учебное<br>пособие для студентов вузов  | Москва : Наука,<br>1978   |        |
| Л1.5  | Фраунфельдер Г.,<br>Хенли Э.               | Субатомная физика: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483266">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483266</a> )   | Москва : Мир,<br>1979   | ЭБС    |
| Л1.6  | Окунь Л. Б.                                | Слабое взаимодействие элементарных частиц: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483307">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483307</a> )                                   | Москва :<br>Государственное<br>издательство<br>физико-<br>математической<br>литературы, 1963                | ЭБС    |
| Л1.7  | Ландау Л. Д., Лифшиц<br>Е. М.              | Краткий курс теоретической физики: курс лекций<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=494680">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=494680</a> )  | Москва : Наука,<br>1972   | ЭБС    |
| Л1.8  | Боголюбов Н. Н.,<br>Ширков Д. В.           | Квантовые поля: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=75464">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=75464</a> )   | Москва :<br>Физматлит, 2005   | ЭБС    |
| Л1.9  | Окунь Л. Б.                                | Элементарное введение в физику элементарных частиц: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=76603">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=76603</a> )                            | Москва :<br>Физматлит, 2009   | ЭБС    |
| Л1.10 | Иоффе Б. Л., Липатов<br>Л. Н., Фадин В. С. | Физика элементарных частиц: квантовая хромодинамика в 2 т.<br>Том 2: учебное пособие для вузов<br>( <a href="https://urait.ru/bcode/540302">https://urait.ru/bcode/540302</a> )  | Москва : Юрайт,<br>2024   | ЭБС    |
| Л1.11 | Иоффе А. Ф.                                | Основные представления современной физики: практическое пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=706737">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=706737</a> )                                 | Ленинград,<br>Москва :<br>Государственное<br>издательство<br>техничко-<br>теоретической<br>литературы, 1949 | ЭБС    |
| Л1.12 | Иоффе Б. Л., Липатов<br>Л. Н., Фадин В. С. | Физика элементарных частиц: квантовая хромодинамика в 2 т.<br>Том 1: учебное пособие для вузов<br>( <a href="https://urait.ru/bcode/540168">https://urait.ru/bcode/540168</a> )  | Москва : Юрайт,<br>2024   | ЭБС    |

#### 7.1.2. Дополнительная литература

|  | Авторы, составители | Заглавие | Издательство, год | Ресурс |
|--|---------------------|----------|-------------------|--------|
|--|---------------------|----------|-------------------|--------|



|       | Авторы, составители                                  | Заглавие   | Издательство, год   | Ресурс |
|-------|--|--|---|--------|
| Л2.1  | Дирак П.   | Общая теория относительности: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=45408">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=45408</a> )                                    | Ростов-<br>Ярославский :<br>Атомиздат, 1978                 | ЭБС    |
| Л2.2  | Ферми Э.   | Элементарные частицы: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=255660">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=255660</a> )  | Москва :<br>Издательство<br>иностранной<br>литературы, 1953 | ЭБС    |
| Л2.3  | Ландау Л. Д., Лифшиц<br>Е. М.                        | Теоретическая физика. Т. 7 : Теория упругости: в 10 томах :<br>учебное пособие для студентов вузов   | Москва : Наука,<br>1987                                     |        |
| Л2.4  | Бьёркен Дж. Д., Дрелл<br>С. Д., Берестецкий В.<br>Б. | Релятивистская квантовая теория  | Москва: Наука,  |        |
| Л2.5  | Биленький С. М.                                      | Введение в диаграммную технику Фейнмана: научная<br>литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483253">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483253</a> )                    | Москва :<br>Атомиздат, 1971                                 | ЭБС    |
| Л2.6  |  | Элементарные частицы и компенсирующие поля: сборник<br>статей: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483262">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483262</a> ) | Москва : Мир,<br>1964                                       | ЭБС    |
| Л2.7  | Коккедэ Я.   | Теория кварков: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483274">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483274</a> )  | Москва : Мир,<br>1971                                       | ЭБС    |
| Л2.8  | Нишиджима К.,<br>Соколов А. А.                       | Фундаментальные частицы: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483304">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483304</a> )                                       | Москва : Мир,<br>1965                                       | ЭБС    |
| Л2.9  | Блохинцев Д. И.                                      | Основы квантовой механики: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495577">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495577</a> )  | Москва : Наука,<br>1976                                     | ЭБС    |
| Л2.10 | Бьёркен Д. Д., Дрелл С.<br>Д.                        | Релятивистская квантовая теория: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495579">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495579</a> )                                  | Б.м. : б.и., 1978   | ЭБС    |
| Л2.11 | Флюгге З.  | Задачи по квантовой механике: сборник задач и упражнений<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495582">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495582</a> )                          | Москва : Мир,<br>1974                                       | ЭБС    |
| Л2.12 | Флюгге З.  | Задачи по квантовой механике: сборник задач и упражнений<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495583">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495583</a> )                          | Москва : Мир,<br>1974                                       | ЭБС    |

### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

|    |   |
|----|---|
| Э1 | Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. – URL:<br><a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>                                      |
| Э2 | Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО<br>Директмедиа Паблишинг. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |
| Э3 | Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. – URL:<br><a href="https://biblio-online.ru">https://biblio-online.ru</a>                              |
| Э4 | Znanium.com [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / Научно-издательский центр<br>ИНФРА-М. – URL: <a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>                   |
| Э5 | eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – URL:<br><a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                       |

### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

|                       |
|-----------------------|
| Adobe Reader          |
| LMS Moodle            |
| Adobe Connect Acrobat |

#### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

|   |
|---|
| 1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – URL:<br><a href="http://library.csu.ru/ru/">http://library.csu.ru/ru/</a> - Челябинск, 1992. |
|---|



2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <http://journals.aps.org/about> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный.

3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <http://www.scopus.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

5. Springer Link : [сайт]. – URL: <http://link.springer.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

#### 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения - мультимедийным оборудованием (экран, ноутбук, проектор, колонки).

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий (мультимедийные презентации).

Используются аудитория №205 - читальный зал №3 (учебный корпус №1) и аудитория №206 - электронный читальный зал (специализированный медиацентр) (учебный корпус №1) для самостоятельной работы студента, оснащенные персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудиториях обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет».

#### 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение содержания учебной дисциплины «Физика фундаментальных взаимодействий» осуществляется на лекциях, практических занятиях и в процессе самостоятельной учебной деятельности студентов.

Лекционные занятия обеспечивают теоретическое изучение дисциплины. Основными методами обучения являются информационно-объяснительный и проблемный. На лекциях излагается основное содержание тем программы, проводится анализ основных понятий и рассматриваются примеры.

Лекционный материал является важным, но не единственным для усвоения учебной дисциплины. Его обязательно необходимо дополнить материалом основной и дополнительной литературы по теме.

Практические занятия служат для закрепления теоретических основ, излагаемых в лекциях. На практических занятиях обучаемые овладевают основными методами и приемами решения задач. Для проведения текущего и промежуточного контроля проводится контрольная работа и защиты задач по каждой теме практических занятий. Защита задач по теме подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы. Система контрольных мероприятий должна обеспечивать объективную оценку знаний и навыков студентов, способствовать повышению эффективности всех видов учебных занятий, включая и самостоятельную работу.

Важным моментом при изучении любой дисциплины является организация самостоятельной работы. При освоении материала не следует стремиться к механическому запоминанию приведенных определений, формулировок и положений, если требования к Вам прямо не указывают на это. Вполне эффективной может оказаться попытка понять суть явления, выработать свое отношение к нему, опираясь на материал, содержащийся в рекомендованной литературе. Также рекомендуется равномерно распределять нагрузку самостоятельного обучения в течение семестра.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.



Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применяться компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.

#### **10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося (мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения и с нарушением слуха, ассистивные информационные технологии).

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ с помощью специальных технических и программных средств к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах.

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и особенностям восприятия информации.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий.

При проведении промежуточной аттестации по дисциплине обучающимся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается по их заявлению предоставление в доступной форме в зависимости от их индивидуальных особенностей инструкции о порядке проведения промежуточной аттестации, оценочных средств и возможности ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование предоставленных ЧелГУ или собственных технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

