

Документ подписан простой электронной подписью Информация о владельце: ФИО: Таскаев Сергей Васильевич Должность: Ректор Дата подписания: 29.06.2026 10:21:58 Уникальный программный ключ: 04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8327573	МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ») Физический факультет Кафедра общей и теоретической физики		
Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий» по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»			
Версия документа - 1	стр. 1	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____

**Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации  
 по дисциплине (модулю)  
Физика фундаментальных взаимодействий**

Направление подготовки (специальность)  
03.03.02 Физика

Направленность (профиль)  
Физика

Присваиваемая квалификация (степень)  
Бакалавр

Форма обучения  
Очная

Год набора 2026

Челябинск, 2026 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 2

Первый экземпляр \_\_\_\_\_

КОПИЯ № \_\_\_\_\_

## Содержание

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Перечень формируемых компетенций
3. Содержание оценочных средств по дисциплине
  - 3.1. Виды оценочных средств
  - 3.2. Содержание оценочных средств
4. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации
  - 4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации
  - 4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств
  - 4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 3

Первый экземпляр \_\_\_\_\_

КОПИЯ № \_\_\_\_\_

## 1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль): Физика

Дисциплина: Физика фундаментальных взаимодействий

Семестр изучения: 7

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Система оценивания: оценивание результатов осуществляется в рамках 5-балльной системы

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «Физика фундаментальных взаимодействий» направлено на формирование следующих компетенций:

Коды компетенции (по ФГОС)	Содержание компетенций согласно ФГОС	Индикаторы достижения компетенций согласно ОПОП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	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.	<u>Знать</u> : Для достижения ОПК-1.1: теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий; <u>Уметь</u> : Для достижения ОПК-1.2: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики фундаментальных взаимодействий; <u>Владеть</u> : Для достижения ОПК-1.3: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации по физике фундаментальных взаимодействий



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 4

Первый экземпляр \_\_\_\_\_

КОПИЯ № \_\_\_\_\_

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 3.1 Виды оценочных средств

№ п/п	Код компетенции/ планируемые результаты обучения	Контролируемые темы/ разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Наименование оценочного средства на промежуточной аттестации/№ задания
1	ОПК-1 <u>Знать:</u> Для достижения ОПК-1.1: теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий; <u>Уметь:</u> Для достижения ОПК-1.2: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики фундаментальных взаимодействий; <u>Владеть:</u> Для достижения ОПК-1.3: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации по физике фундаментальных взаимодействий	Частицы и фундаментальные взаимодействия	Вопросы к экзамену	Вопросы к экзамену 1-6
		Квантовые поля	Задачи к практическим занятиям, Вопросы к экзамену	Задача №1 из раздела 2, вопросы к экзамену 6, 7, 8, 10, 11
		Квантовая электродинамика (КЭД)	Задачи к практическим занятиям, Вопросы к экзамену	Задачи № 1-4 из раздела 3, вопросы к экзамену 9, 12- 16
		Квантовая хромодинамика (КХД)	Задачи к практическим занятиям, Вопросы к экзамену	Вопросы к экзамену 17-19
		Слабое взаимодействие	Задачи к практическим занятиям, Вопросы к экзамену	Задача № 1 из раздела 5, вопросы к экзамену 20-23
		Электрослабое взаимодействие	Вопросы к экзамену	Вопросы к экзамену 23-24
		Теория Великого Объединения	Вопросы к экзамену	Вопросы к экзамену 25-26
		Общая теория относительности (ОТО)	Задачи к практическим занятиям, Вопросы к экзамену	Задачи № 1-3 из раздела 8, вопросы к экзамену 27-37



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 5	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

	Объединение всех взаимодействий	Вопросы к экзамену	Вопросы к экзамену 38-42
--	---------------------------------	--------------------	--------------------------

Типовые задания, критерии и показатели оценивания в рамках текущего контроля представлены в рабочей программе дисциплины (модуля). Полные комплекты оценочных средств и контрольно-измерительных материалов хранятся на кафедре.

### 3.2 Содержание оценочных средств

#### Задачи к практическим занятиям

##### Раздел 2. «Квантовые поля»

- 1) Определить уровни энергии электрона в постоянном магнитном поле.

Ответ:  $\varepsilon = m^2 + p_z^2 + 2n|e|H$ , где  $\varepsilon$ ,  $m$  и  $e$  – энергия, масса и заряд электрона,  $p_z$  – проекция импульса электрона на направление магнитного поля с напряженностью  $H$ .

##### Раздел 3 «Квантовая электродинамика»

- 1) Найти лагранжиан спинорного поля.

Ответ:  $L = \bar{\psi}(\gamma^\mu \hat{p}_\mu - m)\psi$ ,

где  $\psi$  – биспинор,  $\gamma^\mu$  – матрицы Дирака,  $\hat{p}_\mu = i\partial/\partial x_\mu$  – оператор импульса,  $m$  – масса частицы,  $\bar{\psi}$  – дираковски-сопряженный биспинор.

- 2) Запишите уравнения Максвелла в дираковской форме.

Ответ:

$$i \frac{\partial \vec{\xi}}{\partial t} = (\vec{s}\vec{p})\vec{\xi}, \quad (\vec{p}\vec{\xi}) = 0,$$

$$i \frac{\partial \vec{\eta}}{\partial t} = -(\vec{s}\vec{p})\vec{\eta}, \quad (\vec{p}\vec{\eta}) = 0,$$

где  $\vec{\xi} = \vec{E} + i\vec{H}$ ,  $\vec{\eta} = \vec{E} - i\vec{H}$ ,  $\vec{s}$  – вектор-матрица с компонентами

$$s_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}, \quad s_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad s_3 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$p_i = i\partial/\partial x_i$  – оператор трехмерного импульса.



3) Проверить инвариантность уравнения Дирака при зарядовом сопряжении.

4) Вывести сопряженное уравнение Дирака.

Ответ: если уравнение Дирака записано в виде

$$(\gamma^\mu \hat{p}_\mu - m)\psi = 0,$$

то сопряженное уравнение

$$\bar{\psi}(\gamma^\mu \hat{p}_\mu + m) = 0.$$

## Раздел 8. Общая теория относительности

1) Из уравнений Эйнштейна получить метрику Шварцшильда для сферически-симметричного гравитационного поля.

Ответ:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) c^2 dt^2 - r^2 (\sin^2 \theta d\varphi^2 + d\theta^2) - \frac{dr^2}{1 - \frac{r_g}{r}},$$

где  $r_g = 2GM/c^2$  – гравитационный радиус тела массой  $M$ .

2) Вывести уравнения линеаризованной теории гравитации.

Ответ:

$$\square h_{\mu\nu} = 0,$$

где  $\square$  – оператор Даламбера,  $h_{\mu\nu}$  – тензор, описывающий слабое возмущение метрики  $g_{\mu\nu}$ .

3) Вывести и проанализировать решения уравнения Фридмана.

Ответ:

$$\dot{a}^2 + Kc^2 = \frac{8\pi G\rho a^2}{3},$$

где  $a$  – масштабный фактор Робертсона – Уокера (единица измерения координат),  $K$  – параметр, определяющий кривизну пространства ( $K = 0$  – евклидово пространство,  $K = 1$  – сферическое пространство,  $K = -1$  – гиперсферическое пространство),  $\rho$  – плотность вещества во Вселенной.

## 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.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 8	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

- 40) Суперсимметрия и супергравитация.
- 41) Теория струн.
- 42) Бинарная геометрофизика.

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

#### **4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

##### **4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится в форме письменно-устного экзамена. Время подготовки к ответу на вопросы и задачу билета – 60 минут.

##### **4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств.**

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и в форме самостоятельной работы. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. В течение семестра студент должен сдать отчет по задачам. Отчет подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы.

Оценка	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Характеристики ответа	Решено > 80% задач, отчет сдан вовремя	Решено >80% задач, отчет сдан не вовремя	Решено <80% задач, отчет сдан не вовремя	Задачи не решены
Уровень освоения проверяемых компетенций	высокий	средний	базовый	недостаточный

Экзамен проходит в письменно-устной форме по билетам. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Во время экзамена студент должен дать развернутый ответ на вопросы, изложенные в билете. Преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы по всей изучаемой дисциплине. В случае если студент сдал отчет по задачам в течение семестра, то он освобождается от решения задачи на



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 9

Первый экземпляр \_\_\_\_\_

КОПИЯ № \_\_\_\_\_

экзамене.

#### Критерии оценивания ответов на вопросы экзаменационного билета:

Характеристики ответа	Оценка	Уровень освоения проверяемых компетенций
Студент ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, задача полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения. Возможны несущественные ошибки.	«отлично»	высокий
Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул и решении задачи или отсутствие некоторых элементов вывода.	«хорошо»	средний
Студент знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин по другим вопросам билета.	«удовлетворительно»	базовый
Не может ответить на вопрос базового уровня	«неудовлетворительно»	недостаточный

#### 4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций

Результат промежуточной аттестации соответствует оценке ответов студента на вопросы и задачу экзаменационного билета и является подтверждением сформированности компетенций ОПК-3 и ПК-1.

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)  
Физический факультет  
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий»  
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 10

Первый экземпляр \_\_\_\_\_

КОПИЯ № \_\_\_\_\_

Уровни сформированности компетенций определяется следующим образом:

1. Высокий уровень сформированности компетенций соответствует оценке «отлично» и предполагает формирование компетенций на высоком уровне:

- всестороннее знание теоретических основ, основных понятий, законов и моделей физики фундаментальных взаимодействий;
- полностью сформированное умение применять основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий для решения задач теоретической физики;
- свободное владение навыками обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации по физике фундаментальных взаимодействий, задач теоретической физики.

2. Средний уровень соответствует оценке хорошо и предполагает формирование компетенций на среднем уровне:

- знание теоретических основ, основных понятий, законов и моделей физики фундаментальных взаимодействий;
- умение применять основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий для решения задач теоретической физики;
- хорошее владение навыками обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации по физике фундаментальных взаимодействий, решения задач теоретической физики.

3. Базовый уровень соответствует оценке удовлетворительно и предполагает формирование компетенций на начальном уровне

- знание «теоретического минимума»;
- умение пользоваться основными понятиями фундаментальных взаимодействий;
- недостаточное владение навыками решения базовых задач по физике фундаментальных взаимодействий.

4. Низкий уровень соответствует оценке неудовлетворительно

- отсутствие знаний теоретических основ, основных понятий, законов и моделей физики фундаментальных взаимодействий;
- отсутствие умения применять теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики фундаментальных взаимодействий для решения задач теоретической физики;
- отсутствие навыков решения базовых задач по физике фундаментальных взаимодействий.

