

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 29.06.2026 10:21:58
Уникальный программный ключ:
04c19ed8bb98f3b6cb77a486b9a8788b8322378



МИНОБРАЗОВАНИЯ 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 «Квантовая теория»
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)
Квантовая теория**

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 «Квантовая теория»
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. 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 «Квантовая теория»
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: Квантовая теория

Семестр: 6, 7

Форма промежуточной аттестации: экзамен

Система оценивания: оценивание результатов осуществляется в рамках 5-балльной системы с использованием балльно-рейтинговой системы.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И ЭТАПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «Квантовая теория» 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 квантовой теории; <u>Уметь</u> : Для достижения ОПК-1.2: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию по разделу теоретической физики "Квантовая теория", пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями квантовой теории; <u>Владеть</u> : Для достижения ОПК-1.3: физическими и математическими методами обработки и анализа информации по разделу теоретической физики



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 4

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

			"Квантовая теория"; навыком решения конкретных физических задач
--	--	--	--

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 квантовой теории; <u>Уметь</u> : Для достижения ОПК-1.2: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию по разделу теоретической физики "Квантовая теория", пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями квантовой теории; <u>Владеть</u> : Для достижения ОПК-1.3: физическими и математическими методами обработки и анализа информации по разделу теоретической физики "Квантовая теория"; навыком решения конкретных физических задач	Введение. Математический аппарат квантовой теории	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену
		Простейшие задачи квантовой теории	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену
		Движение частицы в поле центральных сил	задачи к практическим занятиям	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену
		Приближенные методы квантовой теории	задачи к практическим занятиям	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену
		Теория представлений	вопросы к экзамену	вопросы к экзамену
		Теория квантовых переходов	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену
		Тождественные частицы	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену
		Теория рассеяния	задачи к практическим	Тест; задачи к практическим



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 5

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		занятиям	занятиям; вопросы к экзамену
	Квазирелятивистская квантовая теория	задачи к практическим занятиям	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену

3.2 Содержание оценочных средств

База тестовых вопросов

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Раздел 1. Введение. Математический аппарат квантовой теории		
1	Объекты, которые изучает квантовая теория.	атомы молекулы кварки электропроводность температуру кристаллов
2	Область применения квантовой теории.	Все тела Макроскопические тела Явления, в которых нельзя пренебречь величинами порядка $\hbar\omega$ и $\hbar\vec{k}$. Объекты меньше 1 нм.
3	Принцип неопределенности.	Некоторые величины нельзя одновременно измерить Физические величины одновременно не измеряются Величина поля и координаты частицы одновременно не измеряются Состояние квантовой системы не определено
4	Статистическая трактовка волновой функции.	Волновая функция пропорциональна вероятности нахождения части в точке Квадрат волновой функции пропорционален вероятности нахождения части в точке Модуль волновой функции пропорционален вероятности нахождения части в точке Квадрат модуля волновой функции пропорционален плотности



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 6

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		вероятности нахождения части в точке
5.	Коммутационные соотношения для операторов физических величин.	$[p_x, x] = 0,$ $[p_x, x] \neq 0,$ $[p_x, y] = 0,$ $[p_x, y] \neq 0.$
Раздел 2. Простейшие задачи квантовой теории		
1	Уравнение Шредингера, зависящее от времени.	Записать $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi.$
2	Частица в пространстве, свободном от сил.	$\rho(\mathbf{x}) = \text{const},$ $\rho(x) = \cos(kx),$ $\psi(x) = C * \exp(kx),$ $\psi(\mathbf{x}) = C * \exp(i\mathbf{k}\mathbf{x}).$
3	Одномерный гармонический осциллятор.	$E = \hbar\omega,$ $E_n = n\hbar\omega,$ $E = 1 / \hbar\omega,$ $E_n = \hbar\omega \left(n + \frac{1}{2} \right).$
4	Стационарное уравнение Шредингера.	Записать $\hat{H}\psi = E\psi.$
5	Частица в яме с бесконечно высокими стенками.	$E_n = \hbar\omega,$ $E_n = Cn^2,$ $E = n\hbar\omega,$ $E = \hbar\omega \left(n + \frac{1}{2} \right)$
Раздел 3. Движение частицы в поле центральных сил		
1	Поле центральных сил.	$U(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = U(\vec{r}_1 - \vec{r}_2),$ $U(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = U(\vec{r}_1 - \vec{r}_2),$ $U(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = U(\vec{r}_1 + \vec{r}_2),$ $U(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = U(\vec{r}_1 + \vec{r}_2).$
2	Разделение переменных в сферических координатах.	$\psi(r, \theta, \varphi) = R(r)\Theta(\theta)\Phi(\varphi),$ $\psi(r, \theta, \varphi) = R(r)Y(\theta, \varphi),$ $\psi(r, \theta, \varphi) = R(r, \theta)Y(\varphi),$ $\psi(r, \theta, \varphi) = R(r, \varphi)Y(\theta).$
3	Классификация уровней энергий.	Записать:



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 7

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		$n=1..∞;$ $l=0..n-1;$ $m= -1..l;$ $σ=±1/2h.$
4	Оператор момента импульса.	Записать: $\hat{L} = [\hat{r} \times \hat{p}]$.
5	Зависимость волновых функций от углов.	$\Theta(\theta)\Phi(\varphi),$ $Y(\theta, \varphi),$ $R(r, \theta)Y(\varphi),$ $Y(\theta)\varphi.$
Раздел 4. Приближенные методы квантовой теории		
1	Первый порядок теория возмущения без вырождения уровней энергий.	Записать: $E_n^{(1)} = E_n^{(0)} + \langle \psi_n^{(0)} V \psi_n^{(0)} \rangle$.
2	Вариационный принцип.	Записать: $\rho(\psi) = \frac{\langle \psi H \psi \rangle}{\langle \psi \psi \rangle} \rightarrow \min.$
3	Теория возмущения с вырождением уровней энергий.	Позволяет найти расщепление вырожденных уровней, Позволяет уточнить результат теории возмущения без вырождения, Позволяет учесть возмущения зависящие от времени, Не ограничена условием малости возмущения.
4	Применимость теории возмущений.	Всегда, При малых возмущениях, Когда ряд теории сходится, В одномерных случаях, В трехмерных случаях.
5	Метод канонических преобразований.	Позволяет найти только основное состояние, Частный случай теории возмущений, Теория возмущений частный случай метода канонических преобразований.
Раздел 5. Теория представлений		
1	Что является базисом в координатном представлении.	Решение уравнения: $\vec{r} \psi(\vec{r}) \rangle = \vec{r} \psi(\vec{r}) \rangle$.
2	Что является базисом в энергетическом представлении.	Решение уравнения: $H \psi_n \rangle = E_n \psi_n \rangle$.
3	Что является базисом в импульсном	Решение уравнения:



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 8

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

	представлении.	$\vec{p} \psi(\vec{p})\rangle = \vec{p} \psi(\vec{p})\rangle.$
4	Скобочные обозначения Дирака.	являются частным случаем координатного представления, являются более абстрактным представлением, чем координатное, включают бра и кет вектора, из скобочных обозначений Дирака можно перейти в другое представление, из координатного представления можно перейти в скобочные представления Дирака.
5	Представление Гейзенберга.	функция зависит от t, оператор зависит от t, функция зависит от t, оператор не зависит от t, функция не зависит от t, оператор зависит от t.
Раздел 6. Теория квантовых переходов		
1	Адиабатическое включение взаимодействия.	Адиабатическое – значит медленное. Адиабатическое – значит быстрое. Вероятность переходов велика. Вероятность переходов мала.
2	Внезапное включение взаимодействия.	Внезапное – значит быстрее, чем регистрирует прибор. Внезапное – быстрее, чем некоторое время, зависящее от системы. Вероятность переходов велика. Вероятность переходов мала.
3	Возмущение в виде ступеньки.	$\Delta E = \hbar\omega.$ $\Delta E = \hbar\omega(n_1 - n_2).$ $\Delta E = 0.$ $\Delta E = \hbar\omega / (n_1 - n_2).$
4	Длинноволновое приближение.	$\vec{k}\vec{r} \ll 1.$ $\vec{k}\vec{r} \geq 1.$ $e^{i\vec{k}\vec{r}} \approx 1.$ $e^{i\vec{k}\vec{r}} \approx 0.$
5.	Спонтанное излучение фотонов.	Связанно с соотношением неопределенности. Связанно с нулевыми колебаниями вакуума.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 9

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		Зависит от величины внешнего электромагнитного поля. Зависит от количества фотонов в системе.
Раздел 7. Тожественные частицы		
1	Фермионы.	Спин равен 0. Спин целый. Спин полуцелый. Волновая функция симметричная. Волновая функция антисимметричная.
2	Бозоны.	Спин целый. Спин полуцелый. Волновая функция симметричная. Волновая функция антисимметричная.
3	Спин.	Зависит от координаты. Не зависит от координаты. Имеет размерность момента импульса. Имеет размерность момента энергии. Имеет размерность импульса. Меняется через \hbar.
4	Частицы тождественны если:	Имеют одинаковый заряд. Имеют одинаковый заряд и массу. Не различимы на эксперименте. Имеют одинаковую волновую функцию. Описываются одним и тем же математическим выражением.
5	Волновые функции тождественных частиц:	Не различаются. Антисимметричны или Симметричны. Не содержат особенностей. Четные или нечетные.
Раздел 8. Теория рассеяния		
1	Основные характеристики процесса рассеяния:	Амплитуда, фаза, сечение.
2	Первое Борновское приближение это:	Замена ряда для амплитуды рассеяния его первым членом. Соответствует первому порядку теории возмущения.
3	Упругое рассеяние	Сохраняет энергию частицы. Не сохраняет энергию частицы. Это рассеяние назад. Это рассеяние вперед.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 10

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		Связано со слипание частиц.
4	Рассеяние описывается	Стационарным уравнением Шредингера. Не стационарным уравнением Шредингера. Уравнением Дирака. Вторым законом Ньютона.
Раздел 9. Квизирелятивистская квантовая теория		
1	Уравнение Шредингера	Релятивистское Не релятивистское Может быть записано в ковариантной форме Релятивистское, для постоянного потенциала
2	В разных системах координат число частиц	Сохраняется Не сохраняется Сохраняется заряд Сохраняется число частиц минус число античастиц одного сорта.
3	Кинетическая энергия	Не ограничена. Ограничена рождением пар частиц. Преобразуется как в СТО. Преобразуется иначе чем в СТО.
4	Атом может быть описан	Не релятивистским уравнением. Релятивистским уравнением. Легкие атомы могут быть описаны не релятивистским уравнением. Покоящийся атом может быть описан не релятивистским уравнением.
5	Уравнение Дирака.	Описывает электроны. Описывает фермионы. Описывает бозоны. Описывает фотоны.

Задачи к практическим занятиям

Задача 1. Найти собственные значения и собственные функции операторов \hat{p} , $\frac{\hat{p}^2}{2m}$.

Задача 2. Вычислить коммутаторы:

$$[\hat{x}, \hat{p}_x], [\hat{y}, \hat{p}_x], [\hat{L}_x, \hat{L}_y], [\hat{L}_x, \hat{L}_x], [\hat{L}^2, \hat{L}_x], [\hat{L}_x, \hat{y}], [\hat{L}_x, \hat{p}_y].$$



Задача 3. Вычислить $\langle \vec{k}' | \hat{p} | \vec{k} \rangle$, $\langle \vec{k}' | \frac{\hat{p}^2}{2m} | \vec{k} \rangle$.

Задача 4. Доказать, что операторы \hat{x} , \hat{p} , $\frac{\hat{p}^2}{2m}$, $\frac{\hat{p}^2}{2m} - \frac{Ze^2}{|\vec{r}|}$, \hat{L} , \hat{L}^2 эрмитовы.

Задача 5. Найти собственные значения и собственные функции оператора \hat{s}

$$\hat{s} = \frac{1}{2} \hbar \hat{\sigma}, \hat{\sigma}_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \hat{\sigma}_y = \begin{pmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{pmatrix}, \hat{\sigma}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (0.1)$$

Задача 6. (1.1.) Рассмотреть следующие операторы ($-\infty < x < \infty$):

а) отражения $\hat{I} : \hat{I}\Psi(x) \equiv \Psi(-x)$;

б) сдвига $\hat{T}_a : \hat{T}_a\Psi(x) \equiv \Psi(x+a)$;

в) изменения масштаба $\hat{M}_c : \hat{M}_c\Psi(x) \equiv \sqrt{c}\Psi(cx)$;

г) комплексного сопряжения $\hat{K}\Psi(x) \equiv \Psi^*(x)$.

Являются ли эти операторы линейными?

Задача 7. (1.2.) Для оператора $i\hbar \frac{d}{dx}$, ($-\infty < x < \infty$), найти операторы, которые по отношению к нему являются транспонированным, комплексно сопряженным, эрмитово сопряженным, обратным.

Задача 8. (1.3.) Для произвольного линейного оператора \hat{L} показать:

а) $\left(\hat{L}^+\right)^+ = \hat{L}$;

б) операторы $\hat{L}^+\hat{L}$ и $\hat{L}\hat{L}^+$ эрмитовы;

в) операторы $\hat{L}^+ + \hat{L}$ и $i(\hat{L} - \hat{L}^+)$ эрмитовы.

Задача 9. (1.4.) Показать, что если оператор \hat{C} эрмитов, то оператор $\hat{G} = \hat{A}\hat{C}\hat{A}^+$ также является эрмитовым.

Задача 10. (1.5.) Показать, что произвольный оператор \hat{F} можно представить в виде $\hat{F} = \hat{A} + i\hat{B}$, где \hat{A} и \hat{B} – эрмитовы операторы.

Задача 11. (1.6.) Показать, что если операторы \hat{A} и \hat{B} эрмитовы, то операторы $\hat{A}\hat{B} + \hat{B}\hat{A}$ и $i(\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A})$ также эрмитовы.

Задача 12. (1.7.) Оператор \hat{F} неэрмитов. В каком случае оператор \hat{F}^2 эрмитов.



Задача 13. (1.19.) В состоянии, описываемом волновой функцией вида

$$\Psi(x) = C \exp\left[\frac{ip_0x}{\hbar} - \frac{(x-x_0)^2}{2a^2}\right], \quad (0.2)$$

где p_0 , x_0 , a – вещественные параметры, найти функцию распределения по координатам частицы. Определить средние значения и флуктуации координаты и импульса частицы.

Задача 14. (1.20.) Волновая функция состояния частицы имеет вид

$$\psi(x) = C \exp\left(\frac{ip_0x}{\hbar}\right) \varphi(x), \quad (0.3)$$

$\varphi(x)$ – вещественная функция. Показать, что p_0 – средний импульс частицы в рассматриваемом состоянии.

Задача 15. (1.25.) Найти собственные функции и собственные значения физической величины, представляющей линейную комбинацию одноименных компонент импульса и координаты: $f = \alpha \hat{p} + \beta \hat{x}$. Убедиться в ортогональности полученных функций. Рассмотреть предельные случаи $\alpha \rightarrow 0$; $\beta \rightarrow 0$. Решение искать в виде:

$$\Psi(x) = C \exp\left[-\frac{i(\beta x - f)^2}{2\hbar\alpha\beta}\right]$$

Задача 16. (2.1.) Найти энергетические уровни и нормированные волновые функции стационарных состояний частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины a , т.е.

$$U(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a, \\ \infty, & x < 0, x > a. \end{cases}$$

Выяснить свойства симметрии полученных функций при инверсии координат относительно центра ямы ($x \rightarrow x' = -x + a$).

Задача 17. (2.2.) В стационарных состояниях частицы из задачи 16 найти функцию распределения по координатам и импульсам частицы, средние значения этих величин и их флуктуации.

Задача 18. (2.3.) Найти среднюю кинетическую энергию и ее флуктуацию в стационарных состояниях частицы из задачи 16.

Задача 19. (2.7.) Найти четные и нечетные энергетические уровни дискретного спектра частицы в симметричной потенциальной яме:

$$U(x) = \begin{cases} -U_0, & |x| < a, \\ 0, & |x| > a. \end{cases}$$

Каково число состояний частицы в дискретном спектре в зависимости от глубины ямы?



Задача 20. (2.11.) Найти уровни энергий и нормированные волновые функции состояния дискретного спектра частицы в поле $U(x) = -\alpha\delta(x)$, $\alpha > 0$. Найти среднее значение кинетической и потенциальной энергии в этих состояниях.

Задача 21. (2.43.) Для свободной частицы, движение которой ограничено непроницаемой стенкой, т.е.

$$U(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0, \\ 0, & x > 0, \end{cases}$$

найти волновые функции стационарных состояний. Нормировать их на δ -функцию по энергии.

Задача 22. (2.44.) Найти волновые функции стационарных состояний частицы в поле

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ U_0, & x > 0, (U_0 > 0), \end{cases}$$

для случая, когда энергия частицы E меньше высоты потенциальной стенки U_0 . Нормировать их на δ -функцию по энергии.

Задача 23. (2.47.) Определить коэффициенты прохождения и отражения частиц в случае δ -функционального потенциала $U(x) = \alpha\delta(x)$.

Задача 24. (2.48.) Найти коэффициент прохождения частиц через прямоугольный потенциальный барьер:

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, x > a, \\ U_0, & 0 < x < a, (U_0 > 0), \end{cases}$$

Исследуйте случаи:

- $E \rightarrow \infty$ ($E \gg U_0$);
- широкий барьер ($(U_0 - E)ma^2 / \hbar^2 \gg 1$);
- очень низкий барьер ($E \rightarrow \infty$).

Задача 25. (4.1.) Найти волновые функции стационарных состояний и уровни энергии плоского ротатора с моментом инерции I .

Какова кратность вырождения уровней?

Ротатор – это вращающаяся система из двух жестко связанных друг с другом частиц. Момент инерции равен $I = ma^2$, m – приведенная масса частиц, a – расстояние между ними.

Задача 26. (4.3.) Найти волновые функции стационарных состояний и уровни энергии пространственного ротатора с моментом инерции I .

Задача 27. (4.8.) Найти энергетические уровни и волновые функции стационарных состояний частицы в бесконечно глубокой двумерной потенциальной яме



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 14

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

$$U(\rho) = \begin{cases} 0, & \rho \leq a, \\ \infty, & \rho > a. \end{cases}$$

Задача 28. (4.9.) Найти энергетические уровни дискретного спектра частицы в двумерной потенциальной яме $U(\rho)$ вида

$$U(\rho) = \begin{cases} -U_0, & \rho < a, \\ 0, & \rho \geq a, \end{cases}$$

отвечающие значению $m=0$ проекции момента частицы на направление, перпендикулярное плоскости движения.

Исследовать случай мелкой ямы $ma^2U_0 / \hbar^2 \ll 1$.

Задача 29. (4.10.) То же, что в задаче 28, но в случае $m \neq 0$. Получить условие существования дискретного спектра.

Задача 30. (4.20.) Как изменяются значения $E_{n,l}$ энергетических уровней частицы в дискретном спектре:

- при фиксированном значении l с увеличением n ;
- при фиксированном значении n с увеличением l ?

Задача 31. (4.21.) Для частицы, находящейся в центральном поле,

- могут ли быть двукратно вырожденные уровни?
- какую кратность вырождения может иметь первый возбужденный уровень?
- что можно сказать о квантовых числах уровня, если его кратность вырождения равна 7; 9?

Задача 32. (4.23.) Найти уровни энергии и нормированные волновые функции стационарных состояний сферического осциллятора $U(r) = kr^2 / 2$.

Задача 33. Найти $\hat{I}^2, \hat{\sigma}_x^2, \hat{\sigma}_y^2, \hat{\sigma}_z^2$.

Задача 34. Найти $[\hat{\sigma}_x, \hat{\sigma}_y]_+ = \hat{\sigma}_x \hat{\sigma}_y + \hat{\sigma}_y \hat{\sigma}_x$.

Задача 35. Система состоит из двух частиц со спином $1/2$. Написать симметризованную и антисимметризованную спиновую часть волновой функции. Взаимодействием частиц пренебречь.

Задача 36. (5.1.) Для частицы со спином $s=1/2$ найти из решения задачи на собственные функции и собственные значения спиновые функции $\Psi_{s_i}(i=1,2,3)$, описывающие состояния частицы с определенной проекцией спина на оси x, y, z системы координат.

Задача 37. (5.3.) Найти собственные значения оператора $\hat{f} = \alpha + \vec{b} \hat{\sigma}$ (α – число, \vec{b} –



обычный вектор, $\hat{\sigma}$ – матрицы Паули).

Задача 38. (5.5.) Произвольный линейный оператор \hat{L} , действующий в пространстве спиновых переменных частиц с $s=1/2$, является квадратной матрицей 2-го ранга. Какие ограничения накладывает эрмитовость оператора \hat{L} на элементы этой матрицы?

Найти собственные значения такого эрмитова оператора.

Задача 39. Найти в первом порядке теории возмущения собственные значения матрицы $\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{W}$, $\hat{H}_0 = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$, $\hat{W} = \begin{pmatrix} a & b \\ b^* & c \end{pmatrix}$. Сравнить с точным решением.

Задача 40. (8.1.) Для частицы, находящейся в бесконечной глубокой потенциальной яме шириной a ($0 < x < a$), найти в первом порядке теории возмущений смещение энергетических уровней под действием возмущений вида:

$$a) V(x) = \frac{V_0}{a} (a - |2x - a|);$$

$$b) V(x) = \begin{cases} V_0, & b < x < a - b, \\ 0, & 0 < x < b, a - b < x < a. \end{cases}$$

Задача 41. (8.3.) На заряженный линейный осциллятор наложено однородное электрическое поле E , направленное вдоль оси колебаний. Рассматривая действие электрического поля как возмущение, рассчитать в первых двух порядках теории возмущений сдвиг энергетических уровней осциллятора. Полученный результат сравнить с точным решением.

Задача 42. (8.4.) Представим гамильтониан осциллятора в виде:

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{kx^2}{2} + \frac{\alpha x^2}{2}.$$

Рассматривая слагаемое $\frac{\alpha x^2}{2}$ как возмущение, рассчитать в первых двух порядках теории возмущений сдвиг энергетических уровней осциллятора. Полученный результат сравнить с точным решением. Каково условие сходимости ряда теории возмущений?

Задача 43. ([1] §73. Атом во внешнем электрическом поле.) В первом порядке теории возмущения получить эффект Штарка.

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{W} = \frac{\hat{p}^2}{2m} - \frac{Ze^2}{r} - ezE.$$

Задача 44. (8.23.) На частицу, находящуюся при $t \rightarrow -\infty$ в основном состоянии в бесконечно глубокой яме шириной a , накладывается слабое однородное поле, изменяющееся во времени по закону:



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 16

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

$$a) V(x, t) = -x F_0 \exp(-t^2 / \tau^2);$$

$$b) V(x, t) = -x F_0 \exp(-|t| / \tau).$$

Вычислить в первом порядке теории возмущений вероятность возбуждений различных состояний частицы при $t \rightarrow \infty$.

Задача 45. (8.24.) Линейный осциллятор подвергается воздействию однородного электрического поля, изменяющегося во времени по закону:

$$a) E(t) = E_0 \exp(-(t / \tau)^2);$$

$$b) E(t) = E_0 \exp(-|t| / \tau).$$

До включения поля при $t \rightarrow -\infty$ осциллятор находился в n -ом состоянии. Найти в первом порядке теории возмущения вероятности возбуждения различных состояний частицы при $t \rightarrow \infty$.

Задача 46. (14.1.) Найти время жизни и ширину возбужденного $2p$ -состояния атома водорода (спином пренебречь).

Задача 47. (14.2.) Найти время жизни первого возбужденного уровня заряженного сферического осциллятора.

Задача 48. Симметризовать и антисимметризовать $\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3)$.

Задача 49. Симметризовать и антисимметризовать $\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3) = \varphi_1(\vec{r}_1) \varphi_2(\vec{r}_2) \varphi_3(\vec{r}_3)$.

Задача 50. (10.1.) Для системы из двух одинаковых частиц со спином s найти число различных спиновых состояний, симметричных и антисимметричных по отношению к перестановке спиновых переменных обеих частиц.

Задача 51. (10.11.) Для системы из двух одинаковых бозонов со спином $s=0$ найти функцию распределения по относительному расстоянию между частицами. Как проявляется в полученном распределении тождественность частиц? Какой смысл имеет выражение $\int |\Psi(\vec{r}, \vec{r})|^2 d\vec{r}$? $\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ - нормированная волновая функция системы.

Задача 52. (10.12.) Как известно, в задаче двух тел движение центра масс и относительное движение независимы. Убедиться в том, что условие симметричности волновой функции системы тождественных частиц по отношению к их перестановке не нарушает этой независимости.

Задача 53. (10.13.) Какие значения может принимать суммарный спин S двух тождественных бозонов со спином s в состоянии с относительным орбитальным моментом L (L – момент в системе центра инерции), т.е. какие состояния возможны в системе из двух тождественных бозонов? Рассмотреть, в частности, случай бозонов со спином $s=0$.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 17

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

Задача 54. (10.14.) То же, что и в задаче 53, но для тождественных фермионов. Специально рассмотреть случай фермионов со спином $1/2$.

Задача 55. ([10.15]) Два тождественных бозона со спином $s=0$ связаны потенциалом $U = k(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)^2 / 2$. Каков энергетический спектр системы?

Задача 56. Вычислить $\langle n | \hat{a}^+ \hat{a} | m \rangle, \langle n | \hat{a} \hat{a}^+ | m \rangle, \langle n | \hat{a} \hat{a} | m \rangle, \langle n | \hat{a}^+ \hat{a}^+ | m \rangle$.

Задача 57. (10.18.) Найти коммутационные отношения для операторов, представляющих эрмитову и антиэрмитову части бозевского оператора уничтожения \hat{a} и рождения \hat{a}^+ .

Задача 58. (10.19.) Построить из оператора координаты \hat{x} и импульса \hat{p} частицы операторы \hat{a} и \hat{a}^+ , обладающие свойствами бозевских операторов рождения и уничтожения.

Задача 59. (10.20.) Найти собственные функции и собственные значения операторов рождения и уничтожения, В рассматриваемых состояниях найти распределение по числу частиц.

Обсудить случаи бозевских и фермиевских операторов.

Задача 60. (10.21.) Исходя из отношений $[\hat{b}, \hat{b}^+]_{\pm} = 1, \hat{b}^2 = 0$ для фермиевских операторов уничтожения \hat{b} и рождения \hat{b}^+ показать, что собственные значения оператора числа частиц $\hat{b}^+ \hat{b}$ равны 0 и 1.

Задача 61. (10.22.) Является ли переход от операторов a, a^+ к новым операторам $a' = a + \alpha, a'^+ = a^+ + \alpha^*$ (α – комплексное число) унитарным преобразованием? Рассмотреть случай фермиевских и бозевских оператором рождения и уничтожения.

Провести анализ состояния вакуума состояний новых частиц $|0'\rangle$ (частиц, операторами уничтожения и рождения которых являются a', a'^+) в терминах исходных частиц, т.е. найти распределение по числу этих частиц.

Задача 62. (10.23.) То же, что в задаче 61 для преобразования $a' = \alpha a + \beta a^+, a'^+ = \alpha^* a^+ + \beta^* a$. (α и β – комплексные числа). При каких α и β преобразование унитарное.

Задача 63. (10.24.) Можно ли для преобразования вида

$$\hat{a}' = \hat{a}^+, \hat{a}'^+ = \hat{a}$$



рассматривать \hat{a}' , \hat{a}^{++} как операторы уничтожения и рождения некоторых новых частиц?

Задача 64. Дано $\hat{a}^+ |n\rangle = \sqrt{n+1} |n+1\rangle$, $\hat{a} |n\rangle = \sqrt{n} |n-1\rangle$. Доказать $\langle n+1 | n+1 \rangle = 1$,
 $\langle n-1 | n-1 \rangle = 1$.

Пример варианта контрольной работы

1. Вычислить $\langle n | \hat{a}^+ \hat{a} \hat{a}^+ | n \rangle$.

2. $\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \cos(|\vec{r}_1|) \cdot \sin(|\vec{r}_2|)$. Симметризовать и антисимметризовать.

3. Найти \hat{I}^2 , $\hat{\sigma}_x^2$, $\hat{\sigma}_y^2$, $\hat{\sigma}_z^2$. $\hat{\sigma}$ – матрицы Паули.

$$\hat{\sigma}_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \hat{\sigma}_y = \begin{pmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{pmatrix}, \hat{\sigma}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Пример варианта контрольной работы

1. Для произвольного линейного оператора \hat{L} показать:

а) $(L^+)^+ = \hat{L}$;

б) операторы $\hat{L}^+ \hat{L}$ и $\hat{L} \hat{L}^+$ эрмитовы;

2. Рассмотреть следующие операторы ($-\infty < x < \infty$):

а) отражения $\hat{I} : \hat{I}\Psi(x) \equiv \Psi(-x)$;

б) сдвига $\hat{T}_a : \hat{T}_a \Psi(x) \equiv \Psi(x+a)$;

в) изменения масштаба $\hat{M}_c : \hat{M}_c \Psi(x) \equiv \sqrt{c} \Psi(cx)$;

г) комплексного сопряжения $\hat{K} \Psi(x) \equiv \Psi^*(x)$.

Являются ли эти операторы линейными?

в) операторы $\hat{L}^+ + \hat{L}$ и $i(\hat{L} - \hat{L}^+)$ эрмитовы.

3. Вычислить коммутаторы:

$$[\hat{x}, \hat{p}_x], [\hat{y}, \hat{p}_x].$$

Вопросы к экзамену (6 семестр)

1. Область применения квантовой механики. Переход от квантовой к классической механике.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 19

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

2. Объекты, которые изучает квантовая механика. Их характеристики.
3. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Явление фотоэффекта. Фотонная теория света.
4. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Эффект Комптона.
5. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Опыт Франка-Герца.
6. Дифракция электронов. Гипотеза де Бройля. Волновой пакет.
7. Дуализм: волна – частица. Принцип неопределенности.
8. Периодические граничные условия для свободной частицы.
9. Построение операторов физических величин.
10. Волновая функция. Статистическая трактовка волновой функции.
11. Коммутационные соотношения для операторов физических величин.
12. Свойства операторов физических величин.
13. Собственные функции и собственные значения операторов физических величин.
14. Операторы координаты, импульса, энергии.
15. Простейшие задачи квантовой механики. Уравнение Шредингера, зависящее от времени.
16. Простейшие задачи квантовой механики. Стационарное уравнение Шредингера.
17. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в пространстве, свободном от сил.
18. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в яме с бесконечно высокими стенками.
19. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Дискретный спектр.
20. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Непрерывный спектр.
21. Простейшие задачи квантовой механики. Прямоугольный потенциальный барьер.
22. Одномерный гармонический осциллятор.
23. Движение частицы в поле центральных сил. Задача движения двух тел. Сведение к задаче трех переменных.
24. Движение частицы в поле центральных сил. Разделение переменных в сферических координатах.
25. Движение частицы в поле центральных сил. Зависимость волновых функций от углов.
26. Движение частицы в поле центральных сил. Радиальное уравнение.
27. Движение частицы в поле центральных сил. Асимптотика радиальной части волновой функции.
28. Движение частицы в поле центральных сил. Движение в кулоновском поле.
29. Движение частицы в поле центральных сил. Классификация уровней энергий.
30. Теория оператора момента импульса.
31. Свойства оператора момента импульса.
32. Условия одновременной измеримости физических величин.
33. Уравнение непрерывности для плотности вероятности нахождения частицы в заданных координатах.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 20

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

34. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущения без вырождения уровней энергий.
35. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущения при наличии вырождения уровней энергий.
36. Приближенные методы квантовой механики. Вариационный принцип.
37. Приближенные методы квантовой механики. Метод канонических преобразований.
38. Теория представлений. Координатное представление.
39. Теория представлений. Энергетическое представление.
40. Теория представлений. Импульсное представление.
41. Теория представлений. Скобочные обозначения Дирака $\langle \text{bra} | \text{ket} \rangle$.
42. Теория представлений. Понятие об унитарных преобразованиях.
43. Теория представлений. Представление Шредингера.
44. Теория представлений. Представление Гейзенберга.
45. Теория представлений. Представление Дирака (Представление взаимодействия).
46. Представление чисел заполнения. Операторы рождения, уничтожения, числа частиц.
47. Нахождение энергетического спектра гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
48. Нахождение волновых функций гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
49. Нахождение энергетического спектра ангармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
50. Система гармонических осцилляторов в представлении чисел заполнения.

Вопросы к экзамену (7 семестр)

1. Основные положения (аксиомы) квантовой механики.
2. Способ построения операторов в квантовой механике.
3. Условия одновременной измеримости физических величин.
4. Теория квантовых переходов. Теория возмущений, зависящих от времени.
5. Теория квантовых переходов. Адиабатическое и внезапное включение взаимодействия.
6. Теория квантовых переходов. Электронный и позитронный распад.
7. Теория квантовых переходов. Возмущение в виде ступеньки.
8. Теория квантовых переходов. Гармоническое возмущение.
9. Теория квантовых переходов. Принципы построения правил отбора.
10. Теория квантовых переходов. Возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей.
11. Теория квантовых переходов. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Вероятность перехода $P_{m \rightarrow l}$.
12. Теория квантовых переходов. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Длинноволновое приближение.
13. Теория квантовых переходов Замена $\langle m|p|l \rangle \rightarrow \langle m|r|l \rangle$. Дипольный электрический момент перехода $m \rightarrow l$ ($d_{m,l}$).
14. Вероятность испускания фотона в единице телесного угла.
15. Вероятность поглощения фотона в единице телесного угла.
16. Вероятность испускания одного фотона.
17. Вероятность поглощения одного фотона.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 21

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

18. Спонтанное излучение фотонов.
19. Индуцированное излучение фотонов.
20. Правила отбора для испускания света атомом. Плоская волна.
21. Правила отбора для поглощения света атомом. Плоская волна.
22. Правила отбора для поглощения света атомом. Круговая поляризация.
23. Время жизни возбужденного состояния.
24. Ширина энергетических линий состояний с конечным временем жизни.
25. Тожественные частицы. Основные положения.
26. Тожественные частицы. Ферми - статистика.
27. Тожественные частицы. Бозе - статистика.
28. Атом гелия. Парагелий.
29. Атом гелия. Ортогелий.
30. Спин. Оператор спина.
31. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Бозе.
32. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Фононы.
33. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Электромагнитное поле.
34. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Ферми. Электроны.
35. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Уравнение Хартри-Фока.
36. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистическое приближение. Уравнение Хартри-Фока-Слэтера.
37. Уравнение Томаса-Ферми.
38. Периодическая система Менделеева.
39. Химическая связь. Молекулы. Адиабатическое приближение.
40. Химическая связь. Молекулы. Движение ядер. (Движение центра масс, вращение, колебание).
41. Химическая связь. Молекулы. Метод Гайтлера-Лондона. Молекула H₂.
42. Химическая связь. Молекулы. Метод ЛКАО.
43. Химическая связь. Молекулы. Виды связей.
44. Общие положения, постановка и типы задач в квантовой теории рассеяния, виды рассеяния.
45. Основные характеристики процесса рассеяния: амплитуда, фаза, сечение.
46. Борновское приближение в теории рассеяния.
47. Низкоэнергетическое рассеяние.
48. Рассеяние при высоких энергиях.
49. Формула Резерфорда.
50. Квазирелятивистская квантовая теория. Элементарные частицы в квантовой теории.
51. Квазирелятивистская квантовая теория. Уравнение Клейна – Гордона.
52. Квазирелятивистская квантовая теория. Свободное движение частицы с нулевым спином.
53. Квазирелятивистская квантовая теория. Уравнение Дирака.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 22	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

54. Квазирелятивистская квантовая теория. Свободное движение электрона.
55. Квазирелятивистская квантовая теория. Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в два этапа.

На первом этапе студент выполняет тест из 5 вопросов. Продолжительность – 20 минут.

На втором этапе студент отвечает на вопросы экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Время подготовки к ответу на вопросы билета – 60 минут. Во время подготовки можно использовать справочные материалы.

4.2. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций

Максимальный балл за **посещение лекционных занятий** – 1 балл, за **посещение практических занятий** – 1 балл.

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и в форме самостоятельной работы. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. Максимальный балл по результатам работы на практических занятиях – 6 баллов.

Также в течение семестра проводится одна **контрольная работа**. На контрольной работе студенту предлагается решить 3 задачи. Максимальный балл за контрольную работу – 9 баллов.

Критерии оценивания контрольной работы:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Правильно и с пояснениями решены три задачи	9	высокий
Решены три задачи, но есть ошибки	8-7	средний
Правильно и с пояснениями решены две задачи	6	
Решены две задачи, но есть ошибки	5-4	базовый
Правильно решена одна задача	3	
Частично решена одна задача	2-1	недостаточный

Таким образом, за работу в семестре студент может получить максимум 60 баллов.



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 23	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Если студент за время работы в семестре набрал менее 25 баллов, для него **экзамен** проходит в два этапа; если 25 баллов и более – только второй этап в письменно-устной форме по билетам.

На первом этапе экзамена студент выполняет тест из 5 вопросов. Продолжительность – 20 минут. Критерии оценивания теста: каждый правильный ответ – 6 балла. Максимальное количество баллов – 30.

Оценка	Зачтено	Незачтено
Баллы	30-18 балл	12-0 баллов
Уровень освоения проверяемых компетенций	базовый	неудовлетворительный

При оценке за тест незачтено за экзамен студент получает оценку неудовлетворительно.

Второй этап экзамена: в билете два теоретических вопроса и одна задача. Если студент за время работы в семестре набрал 55-60 баллов, он освобождается от решения задачи на экзамене.

Максимальный балл за ответы по билету – 40 баллов.

Критерии оценивания теоретических вопросов:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, задача полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения. Возможны несущественные ошибки.	35-40	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.	25-35	средний
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.	10-20	базовый
Не может ответить на вопрос базового уровня	0	неудовлетворительный

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации. Полученные за текущую аттестацию баллы суммируются с баллами, полученными за каждый этап при прохождении промежуточной аттестации:

Критерии оценивания экзамена:

0-50 баллов - неудовлетворительно (2);

51-70 баллов - удовлетворительно (3);



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 «Квантовая теория»
по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 24	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

71-90 баллов - хорошо (4);
91-100 баллов - отлично (5).

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

Уровни сформированности компетенций определяется следующим образом:

1. Высокий уровень сформированности компетенций соответствует оценке отлично: предполагает формирование компетенций на высоком уровне: студент свободно владеет основной терминологией и понятийным аппаратом раздела теоретической физики «Квантовая теория», что позволяет формулировать выводы и участвовать в дискуссии по учебным вопросам данной дисциплины; полностью сформировано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач и уверенно владеть навыком их решения;
2. Средний уровень соответствует оценке хорошо: предполагает формирование компетенций на среднем уровне: студент хорошо владеет основной терминологией и понятийным аппаратом раздела теоретической физики «Квантовая теория»; сформировано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач и владеть навыками решения базовых задач по Квантовая теория;
3. Базовый уровень соответствует оценке удовлетворительно: предполагает формирование компетенций на начальном уровне: студент знает «теоретический минимум» и недостаточно владеет методами решения базовых задач по Квантовая теория;
4. Низкий уровень соответствует оценке неудовлетворительно: студент не владеет основной терминологией и понятийным аппаратом раздела теоретической физики «Квантовая теория»; не владеет навыками решения базовых задач по Квантовая теория.

