

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2024 16:05:28
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Утверждаю:
Руководитель ООП
Б.Б.Педько
«21» мая 2024 г.

Рабочая программа дисциплины
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА
Квантовая механика

Закреплена за кафедрой: **Общей физики**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Медицинская физика**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **6,7**

Программу составил(и):
канд. физ.-мат. наук, доц., Зубков Виктор Викторович

Тверь, 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов основных представлений об основании и методах, лежащих в основе квантовой парадигмы.

Задачи:

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение основных физических моделей и процессов в рамках как нерелятивистской, так и релятивистской квантовой механики;
- установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О.14Б1.О

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Раздел теоретической физики «Квантовая механика» излагается в 6-7 семестрах и его главной задачей является создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики в теоретической физике и различных специализированных курсов направления «Физика». Для успешного освоения дисциплины необходимо уверенно владеть математическим аппаратом в рамках курсов, читаемых для студентов-физиков. Некоторые необходимые элементы математического и функционального анализа и алгебры, не входящие в стандартный курс высшей математики, читаемой для физиков, вводятся по мере необходимости.

Интегральные уравнения

Дифференциальные уравнения

Аналитическая геометрия и линейная алгебра

Математический анализ

Векторный и тензорный анализ

Теория функций комплексного переменного

Теория вероятностей и математическая статистика

Атомная физика

Механика

Теоретическая механика

Электродинамика

Методы математической физики

Оптика

Электричество и магнетизм

Физика атомного ядра и элементарных частиц

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

Термодинамика и статистическая физика

Нанотехнологии в физике конденсированного состояния

Физика магнитных явлений

Микромагнетизм

Физика магнитных материалов

Физика полупроводников

Основы физического металловедения

Научно-исследовательская работа

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
в том числе:	
аудиторные занятия	108
самостоятельная работа	37
часов на контроль	27

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Анализирует физические объекты и процессы с применением базовых знаний в области физико-математических наук

ОПК-1.2: Применяет знания в области физико-математических наук при решении практических задач в сфере профессиональной деятельности

ОПК-2.2: Решает теоретические задачи и проводит моделирование физических объектов, систем и процессов в рамках научного исследования

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.2: Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	7
зачеты	6

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Переход от старой к новой квантовой механике.					
1.1	Старая квантовая механика. Постулаты Нильса Бора. Переход к новой квантовой механике. Правила соответствия Макса Борна.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.2 Л2.3	
1.2	Фундаментальное коммутационное соотношение. Уравнение Вернера Гайзенберга.	Лек	6	2	Л1.4 Л1.5 Л1.7	

	Раздел 2. Связь между операторами и измеримыми величинами. Математический аппарат квантовой механики.					
2.1	Связь между операторами и измеримыми величинами. Оператор плотности. Теория измерений.	Лек	6	6	Л1.3 Л1.7	
2.2	Математический аппарат квантовой механики. Гильбертово пространство и векторы состояния. Операторы.	Пр	6	9	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
2.3	Эрмитовы и унитарные операторы. Матрица плотности. Теория измерений.	Ср	6	4		
	Раздел 3. Эволюция квантовой системы. Картины Гайзенберга и Шредингера. Постулаты квантовой механики.					
3.1	Эволюция квантовой системы. Картины Гайзенберга и Шредингера. Уравнение Шредингера. Уравнение фон Неймана. Постулаты квантовой механики.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
3.2	Координатное и импульсное представления в квантовой механике	Лек	6	1	Л1.1 Л1.6 Л1.7	
3.3	Совместимые наблюдаемые. Полный набор наблюдаемых. Соотношение неопределенностей Гайзенберга.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.7	
3.4	Оператор эволюции и пропагатор. Стационарные состояния квантовой системы. Взгляд Фейнмана: интегралы по траекториям	Лек	6	2	Л1.7	
3.5	Эволюция квантовой системы.	Пр	6	4	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.6	Свободное движение. Волновой пакет. Уравнение непрерывности.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.7	
3.7	Гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
3.8	Симметрии в квантовой механике. Интегралы движения.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.7	

3.9	Переход к классической механике. Теорема вириала. Теоремы Эренфеста.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
3.10	Гармонический осциллятор. Когерентные состояния.	Пр	6	4	Л1.3 Л1.7	
3.11	Одномерные задачи. Потенциальные ямы и барьеры.	Пр	6	5	Л1.5 Л1.7	
3.12	Эволюция квантовой системы.	Ср	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.13	Гармонический осциллятор. Когерентные состояния.	Ср	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.14	Одномерные задачи. Потенциальные ямы и барьеры.	Ср	6	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 4. Эволюция системы в центральном поле.					
4.1	Оператор углового момента в квантовой механике.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
4.2	Задача двух тел в квантовой механике.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.3	Атом водорода.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.4	Угловой момент. Движение в центральных полях.	Пр	6	6	Л1.1 Л1.5 Л1.6	
4.5	Задача двух тел в квантовой механике.	Ср	6	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 5. Приближенные методы решения задач в квантовой механике					
5.1	Квазиклассика. ВКБ приближение.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	

5.2	Стационарная теория возмущений.	Лек	7	3	Л1.1 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.3	Нестационарная теория возмущений. Теория переходов.	Лек	7	4	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.4	Вариационный принцип Ритца и вариационный метод Ритца	Лек	7	1	Л1.1 Л1.7	
5.5	ВКБ приближение в квантовой механике	Пр	7	2	Л1.1 Л1.7	
5.6	Стационарная теория возмущений.	Пр	7	4	Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.7	Теория переходов	Пр	7	2	Л1.7	
5.8	Стационарная теория возмущений.	Ср	7	7	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.9	Нестационарная теория возмущений. Теория переходов.	Ср	7	8	Л1.1 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 6. Спин. Магнитные взаимодействия с элементами релятивистской квантовой теории					
6.1	Спин. Уравнение Паули.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
6.2	Элементы релятивистской квантовой механики. Уравнение Дирака	Лек	7	2	Л1.7	
6.3	Свободная дираковская частица. Античастицы.	Лек	7	2	Л1.7	
6.4	Квазирелятивистское приближение. Спин-орбитальное взаимодействие и контактное взаимодействие.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.5	Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.6	Поправки к состоянию атома водорода. Тонкая структура атома. Сверхтонкая структура атома.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.7	
6.7	Тождественные частицы. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.7	

6.8	Методы Хартри и Хартри-Фока	Лек	7	2	Л1.1 Л1.7	
6.9	Атом гелия	Лек	7	1	Л1.7	
6.10	Эволюция спина. ЭПР.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.11	Сложение моментов в квантовой механике	Пр	7	2	Л1.1 Л1.7	
6.12	Атом гелия. Теория возмущений. Вариационный метод Ритца.	Пр	7	4	Л1.7	
6.13	Метод Хартри-Фока.	Пр	7	2	Л1.7	
6.14	LS- и jj-связь	Пр	7	2	Л1.7	
6.15	Движение в магнитном поле.	Пр	7	2	Л1.7	
6.16	Взаимодействие атомов с классическим электромагнитным полем	Пр	7	4	Л1.7	
6.17	LS- и jj-связь	Ср	7	5	Л1.1 Л1.7	
6.18	Взаимодействие атомов с классическим электромагнитным полем	Ср	7	5	Л1.1 Л1.7	
	Раздел 7. Контроль					
7.1	Экзамен	Экзамен	7	27		

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
---	-------------------

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Смотри приложение

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Смотри приложение

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

Модуль 1.
Контрольная работа - 10 баллов
Решение задач на практике - 15 баллов

Модуль 2
Итоговая контрольная работа - 20 баллов
Решение задач на практике - 15 баллов
экзамен - 40 баллов

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Ландау, Лифшиц, Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория), Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016, ISBN: 978-5-9221-0530-9, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=369173
Л1.2	Львовский, Отличная квантовая механика : решения. Часть 2, Москва: ООО "Альпина нон-фикшн", 2019, ISBN: 978-5-91671-952-9, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=368826
Л1.3	Львовский, Отличная квантовая механика : учебное пособие. Часть 1, Москва: ООО "Альпина нон-фикшн", 2019, ISBN: 978-5-91671-952-9, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=368791
Л1.4	Ведринский Р.В., Квантовая механика, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2009, ISBN: 978-5-9275-0706-1, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=96700
Л1.5	Краснопевцев, Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела, Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2010, ISBN: 978-5-7782-1464-4, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=52371
Л1.6	Савельев И. В., Основы теоретической физики. В 2 томах. Том 2. Квантовая механика, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-47138-6, URL: https://e.lanbook.com/book/330521
Л1.7	Киселёв В. В., Квантовая механика: курс лекций, Москва: МЦНМО, 2009, ISBN: 978-5-94057-497-2, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=62965

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Елютин П. В., Кривченков В. Д., Квантовая механика с задачами, Москва: Физматлит, 2001, ISBN: 978-5-9221-0077-9, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68967
Л2.2	Ведринский Р. В., Квантовая механика, Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009, ISBN: 978-5-9275-0706-1, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240937

Л2.3	Краснопевцев Е. А., Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела, Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010, ISBN: 978-5-7782-1464-4, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=435995
------	--

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС «Лань»
5	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
6	Журналы American Chemical Society (ACS)
7	Журналы American Institute of Physics (AIP)
8	Журналы издательства Taylor&Francis
9	Ресурсы издательства Springer Nature
10	Архивы журналов издательства Nature
11	Архивы журналов издательства The Institute of Physics
12	Архивы журналов издательства Oxford University Press

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Смотри приложение

Типовые задания текущей и итоговой аттестации

1. Опишите Евклидово и гильбертово пространства
2. Базис. Линейные операторы. Среднее значение оператора. Функции операторов
3. Знать постулаты квантовой механики.
4. Сформулируйте постулаты квантовой механики.
5. Напишите и дайте пояснения к уравнению Дирака для электрона во внешнем электромагнитном поле, уравнению Паули.
6. Перечислите свойства скалярного произведения.
7. Перечислите свойства эрмитовых операторов.
8. Сформулируйте основные положения волновой механики.
9. Опишите свободное движение релятивистского электрона.

10. Найдите вероятность отражения частицы при прохождении над одномерным потенциальным барьером $V(x) = V_0$ при $|x| < a$; $V(x) = 0$ при $|x| > a$ (энергия частицы больше высоты барьера).
11. Найдите дифференциальное сечение упругого рассеяния α -частицы на α -частице (в системе центра масс).
12. Найдите уровни энергии и вектора состояния одномерного гармонического осциллятора в постоянном внешнем поле $H = p^2/2m + kx^2/2 - Fx$. Сравните точный ответ с первой поправкой к осцилляторным уровням энергии, если внешнее поле рассматривается как возмущение.
13. Докажите, что если $[\hat{A}, \hat{B}] = 1$, то $[\hat{A}, \widehat{B^2}] = 2\hat{B}$
14. Вычислите амплитуду упругого рассеяния медленной частицы на потенциальной яме $V(r) = -V_0, r < a, V(r) = 0, r > a$.
15. Покажите, что между размером участка Δx , в котором локализована группа волн и разбросом волновых векторов Δk группы волн существует соотношение $\Delta x \cdot \Delta k \sim \pi$.

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Планы практических (семинарских) занятий:

Семинар 1. Решение задач на тему «Исторические предпосылки создания квантовой механики».

Примеры задач:

Найти расщепление уровней энергии атома водорода в однородном магнитном поле \hat{H} .

Семинар 2. Решение задач на тему «Линейные операторы. Задача на собственные функции и собственные значения. Эрмитовы операторы и их свойства».

Примеры задач:

1. Доказать, что если $[\hat{A}, \hat{B}] = 1$, то $[\hat{A}, \hat{B}^2] = 2\hat{B}$
2. Доказать, что если \hat{A} и \hat{B} эрмитовы и не коммутируют, то оператор $i[\hat{A}, \hat{B}]$ - эрмитов.

Семинар 3. Решение задач на тему «Уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Стационарное решение».

Примеры задач:

Найти уровни энергии в одномерной симметричной потенциальной яме: $V(x) = -V_0$ при $|x| < a$; $V(x) = 0$ при $|x| > a$.

Семинар 4. Решение задач на тему «Соотношение неопределенности Гейзенберга.».

Примеры задач:

Показать, что между размером участка Δx , в котором локализована группа волн и разбросом волновых векторов Δk группы волн существует соотношение $\Delta x \cdot \Delta k \sim \pi$.

Семинар 5. Решение задач на тему «Задача движения в поле центральных сил. Водородоподобный атом.».

Примеры задач:

1. Рассчитать расщепление уровня атома водорода с $n=2$ в слабом однородном электрическом поле.

Семинар 6. Решение задач на тему «Квантовый осциллятор. Спектр. Матричное представление.».

Примеры задач:

1. Найти уровни энергии и вектора состояния одномерного гармонического осциллятора в постоянном внешнем поле $H = p^2/2m + kx^2/2 - Fx$. Сравнить точный ответ с первой

поправкой к осцилляторным уровням энергии, если внешнее поле рассматривается как возмущение.

Семинар 7. Решение задач на тему «Матричное представление квантовой механики. Эрмитовы матрицы. Унитарные матрицы и различные преобразования. Свойство унитарных матриц. Определение функции операторов.».

Примеры задач:

1. Показать, что если оператор A — скаляр, то $\langle J'M' | A | JM \rangle = \delta_{JJ'} \delta_{MM'} \langle J | A | J \rangle$, т.е. его матричные элементы диагональны по J и M и не зависят от M .

Семинар 8. Решение задач на тему «Момент импульса. Правила коммутации. Собственные функции и собственные значения.».

Примеры задач:

1. Указать, между какими уровнями заряженного сферического гармонического осциллятора возможны электромагнитные переходы в дипольном приближении. Вычислить время жизни первого возбужденного состояния осциллятора в этом приближении.

Семинар 9. Решение задач на тему «Гейзенберговское представление. Гейзенберговское уравнение движения. Связь с уравнениями Гамильтона.».

Примеры задач:

1. Найти вероятность отражения частицы при прохождении над одномерным потенциальным барьером $V(x) = V_0$ при $|x| > a$; $V(x) = 0$ при $|x| < a$ (энергия частицы больше высоты барьера).

Семинар 10. Решение задач на тему «Законы сохранения и сохраняющиеся величины. Преобразования симметрии. Общие свойства преобразования. Понятие о теории групп и неприводимых представлениях.».

Примеры задач:

1. Найти вероятность перехода атома трития H^3 из $1s$ состояния в $1s$ состояние иона He^{3+} при β -распаде одного из нейтронов ядра.

Семинар 11. Решение задач на тему «Стационарная теория возмущений (невырожденный случай и с учётом вырождения).».

Примеры задач:

2. Двухуровневая система с состояниями $|1\rangle$, $|2\rangle$, энергии которых есть $\hbar\omega_1$, $\hbar\omega_2$, подвергается действию не зависящего от времени возмущения W . Вычислить вероятность обнаружить то или иное состояние в момент времени t , если в момент времени $t=0$ система находилась в основном состоянии.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

Оценочные материалы (фонд оценочных средств)

Номер задания	Правильный ответ (ключ)	Содержание вопроса/задания	Критерии оценивания заданий
Задания закрытого типа			
1	А	<p>Действие квантовомеханического оператора координаты \hat{x} на волновую функцию ψ в координатном представлении определяется соотношением</p> <p>А. $\hat{x}\psi = x\psi$</p> <p>Б. $\hat{x}\psi = \frac{d\psi}{dx}$</p> <p>В. $\hat{x}\psi = \int_{-\infty}^{\infty} dx\psi$</p> <p>Г. Ответ зависит от состояния квантовой системы</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
2	В	<p>Коммутатор операторов координаты и проекции импульса $[\hat{x}, \hat{p}_x]$ равен</p> <p>А. $\hat{x}\hat{p}_x$</p> <p>Б. $-i\hbar\hat{1}$</p> <p>В. $i\hbar\hat{1}$</p> <p>Г. 0</p>	Правильно выбран ответ – 1 балл
3	А	<p>Пусть \hat{H} – оператор Гамильтона системы. Уравнение Гайзенберга для наблюдаемой \hat{A} имеет вид:</p> <p>А. $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + \frac{i}{\hbar}[\hat{H}, \hat{A}]$</p> <p>Б. $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + \frac{i}{\hbar}[\hat{A}, \hat{H}]$</p> <p>В. $i\hbar\frac{d\hat{A}}{dt} = i\hbar\frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + [\hat{H}, \hat{A}]$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

		Г. $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial \hat{A}}{\partial t} + ih[\hat{A}, \hat{H}]$	
4	А	<p>Нормированная собственная функция $\psi_p(x)$ оператора импульса в координатном представлении имеет вид</p> <p>А. $\psi_p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \exp\left(\frac{i}{\hbar} p_x x\right)$</p> <p>Б. $\psi_p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \exp\left(-\frac{i}{\hbar} p_x x\right)$</p> <p>В. $\psi_p(x) = \sqrt{2\pi\hbar} \exp\left(\frac{i}{\hbar} p_x x\right)$</p> <p>Г. $\psi_p(x) = \sqrt{2\pi\hbar} \exp\left(-\frac{i}{\hbar} p_x x\right)$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
5	В.	<p>Наблюдаемая является интегралом движения, если она</p> <p>А. явно не зависит от времени</p> <p>Б. не зависит явно от времени и коммутирует с оператором импульса</p> <p>В. не зависит явно от времени и коммутирует с оператором Гамильтона,</p> <p>Г. не зависит явно от времени и коммутирует с оператором кинетической энергии</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
6	В.	<p>Состояние частицы в координатном представлении описывается волновой функцией $\exp(-2ibx)$ (b – некоторое действительное число). Проводят измерение проекции импульса частицы на ось x. Какие значения могут быть при этом получены</p> <p>А. любые с одинаковыми вероятностями,</p> <p>Б. $2b\hbar$ с вероятностью единица,</p> <p>В. $-2b\hbar$ с вероятностью единица,</p> <p>Г. $-2b$ с вероятностью единица</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
7	А.	<p>Гамильтониан частицы не зависит от времени. Будут ли зависеть от времени волновые функции стационарных состояний частицы?</p> <p>А. да,</p> <p>Б. это зависит от начальных условий,</p> <p>В. нет,</p> <p>Г. это зависит от вида гамильтониана</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

8	В.	<p>Собственными значениями оператора четности являются</p> <p>А. все четные целые числа, Б. все нечетные целые числа, В. +1 и -1, Г. 0 и 1</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
9	Г	<p>Какой формулой выражается условие полноты системы собственных функций $f_\alpha(x)$ оператора физической величины, имеющего непрерывный спектр собственных значений?</p> <p>А. $\int f_\alpha(x) ^2 dx = 1$, Б. $\int f_\alpha(x) ^2 d\alpha = 1$, В. $\int f_\alpha^*(x) f_\beta(x) dx = \delta(\alpha - \beta)$, Г. $\int f_\alpha^*(x) f_\alpha(x') d\alpha = \delta(x - x')$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
10	Б.	<p>Пусть потенциальная энергия частицы $U(x)$ отлична от нуля в некоторой конечной области. Пусть также волновая функция стационарного состояния частицы имеет следующую асимптотику при $x \rightarrow -\infty$ имеет вид $\frac{1}{2} e^{-ikx} - \frac{i\sqrt{3}}{2} e^{ikx}$. Измеряют поток частиц в этом состоянии в области действия потенциала при $x = 0$. Какое значение будет получено?</p> <p>А. $-\frac{\hbar k}{2m}$ Б. $\frac{\hbar k}{2m}$ В. $-\frac{\hbar k}{4m}$ Г. Значение зависит от значения потенциала в точке $x = 0$.</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
11	В	Частица находится в состоянии, в котором проекция момента на ось z имеет определенное значение L_z .	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

		<p>Чему равно среднее значение величины L_y в этом состоянии?</p> <p>А. $\langle L_y \rangle = L_x$</p> <p>Б. $\langle L_y \rangle = L_x / 2$</p> <p>В. $\langle L_y \rangle = 0$</p> <p>Г. $\langle L_y \rangle = -L_x / 2$</p>	
12	Г.	<p>Для любых двух векторов $f\rangle$ и $g\rangle$ гильбертова пространства и некоторого оператора \hat{M}, действующего в этом пространстве, выполнено условие $\langle f g \rangle = \langle \hat{M}^+ f \hat{M} g \rangle$. Какое свойство оператора \hat{M} обязательно имеет место?</p> <p>А. он нелинейный,</p> <p>Б. он эрмитов,</p> <p>В. он унитарный,</p> <p>Г. он совпадает со своим обратным</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
13	Б.	<p>Частица находится в состоянии с определенной проекцией орбитального момента импульса на ось x: $\hat{L}_x = 2\hbar$. Измеряют квадрат орбитального момента. Какое из перечисленных значений могло быть при этом получено?</p> <p>А. $10\hbar^2$</p> <p>Б. $12\hbar^2$</p> <p>В. $8\hbar^2$</p> <p>Г. $24\hbar^2$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
14	Б	<p>Физическая величина A имеет в состоянии $\psi\rangle$ определенное значение, если</p> <p>А. $\psi\rangle$ не зависит от времени</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

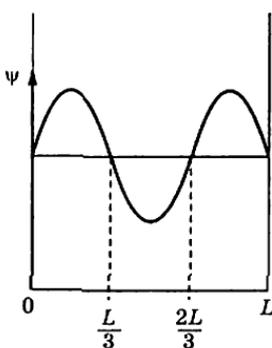
		<p>Б. $\psi\rangle$ является одним из собственных векторов наблюдаемой \hat{A}</p> <p>В. $\psi\rangle$ является собственным вектором оператора Гамильтона системы</p> <p>Г. $\psi\rangle$ не зависит от координат</p>	
15	А, Б, Г	<p>Выберите все верные утверждения</p> <p>А. Состояния, в которых гамильтониан принимает точные значения, называются стационарными состояниями</p> <p>Б. В стационарном состоянии матрица плотности не изменяется со временем</p> <p>В. В стационарном состоянии вектор состояния не изменяется со временем</p> <p>Г. В стационарном состоянии вероятности получения тех или иных значений наблюдаемой, не зависящей от времени, постоянны</p>	<p>Правильно выбран один вариант ответа – 0,25 балл</p> <p>Выбраны два правильных утверждения – 0,5 балл</p> <p>Выбраны три правильных утверждения – 1 балл</p>
16	А	<p>Пусть \hat{H} – оператор Гамильтона системы. Уравнение Гайзенберга для наблюдаемой \hat{A} имеет вид:</p> <p>А. $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + \frac{i}{\hbar}[\hat{H}, \hat{A}]$</p> <p>Б. $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + \frac{i}{\hbar}[\hat{A}, \hat{H}]$</p> <p>В. $i\hbar \frac{d\hat{A}}{dt} = i\hbar \frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + [\hat{H}, \hat{A}]$</p> <p>Г. $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial\hat{A}}{\partial t} + i\hbar[\hat{A}, \hat{H}]$</p>	<p>Правильно выбран вариант ответа – 1 балл</p>
17	А, Б, В	<p>Пусть $f_n\rangle$ – собственные векторы наблюдаемой \hat{A}, a_n – ее собственные невырожденные значения, $\hat{P}_n = f_n\rangle\langle f_n$. Система находится в состоянии, определяемой матрицей плотности $\hat{\rho}$. Выберите все верные утверждения.</p> <p>А. Вероятность того, что наблюдаемая \hat{A} принимает значение a_n в состоянии, определяемом</p>	<p>Правильно выбран один вариант ответа – 0,25 балл</p> <p>Выбраны два правильных утверждения – 0,5 балл</p> <p>Выбраны три правильных утверждения – 1 балл</p>

		<p>оператором матрицы плотности $\hat{\rho}$, равна $\text{Sp}(\hat{P}_n \hat{\rho})$.</p> <p>Б. Вероятность обнаружить систему в состоянии $f_n\rangle$, если она с достоверностью находится в состоянии $\hat{\rho}$, равна $\text{Sp}(\hat{P}_n \hat{\rho})$.</p> <p>В. Вероятность обнаружить систему в состоянии $f_n\rangle$, если она с достоверностью находится в состоянии $\hat{\rho}$, равна $\langle f_n \hat{\rho} f_n \rangle$.</p> <p>Г. Вероятность обнаружить систему в состоянии $f_n\rangle$, если она с достоверностью находится в состоянии $\hat{\rho}$, равна $a_n \text{Sp}(\hat{P}_n \hat{\rho})$.</p>	
18	В.	<p>Наблюдаемая является интегралом движения, если она</p> <p>А. явно не зависит от времени</p> <p>Б. не зависит явно от времени и коммутирует с оператором импульса</p> <p>В. не зависит явно от времени и коммутирует с оператором Гамильтона,</p> <p>Г. не зависит явно от времени и коммутирует с оператором кинетической энергии</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
19	Г.	<p>Пусть оператор гамильтона квантовой системы не зависит от времени. Как зависит от времени среднее значение координаты в некотором состоянии?</p> <p>А. растет</p> <p>Б. убывает</p> <p>В. не зависит от времени</p> <p>Г. зависит от состояния</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
20	В.	<p>Коммутатор $[\hat{L}, \hat{M}]$ операторов $\hat{L} = d/dx$ и $\hat{M} = f(x)$ равен оператору</p> <p>А. $df/dx - f d/dx$,</p> <p>Б. $f(x) + d/dx$,</p> <p>В. $df(x)/dx$,</p> <p>Г. $f(x)d/dx$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

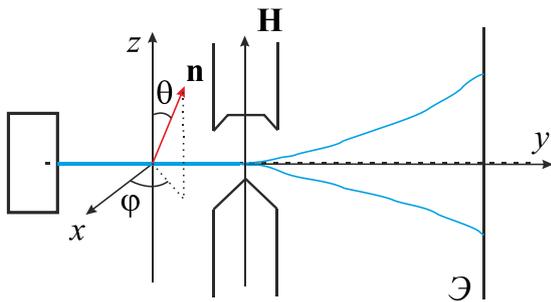
21	В.	<p>Собственными значениями оператора четности являются</p> <p>А. все четные целые числа, Б. все нечетные целые числа, В. +1 и -1, Г. 0 и 1</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
22	Б	<p>Частица находится в состоянии, в котором ее координата x имеет определенное значение a. Проводят измерение проекции импульса частицы на ось x. Какие значения будут получены</p> <p>А. положительные значения с одинаковыми вероятностями Б. любые числа с одинаковыми вероятностями В. отрицательные значения с одинаковыми вероятностями Г. $h/(2a)$ с единичной вероятностью.</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
23	В.	<p>Потенциальная энергия обращается в нуль при $x \rightarrow \pm\infty$. Какова кратность вырождения собственных значений гамильтониана, относящихся к непрерывному спектру?</p> <p>А. не вырождены, Б. часть собственных значений не вырождена, часть двукратно вырождена, В. двукратно вырождены, Г. зависит от конкретного вида потенциала</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

24	А.	<p>При измерениях энергии гармонического осциллятора обнаружены нулевое и второе собственные значения с вероятностями $w_0 = 1/4$ и $w_2 = 3/4$. Чему равна средняя энергия осциллятора?</p> <p>А. $\langle E \rangle = 2\hbar\omega$</p> <p>Б. $\langle E \rangle = 4\hbar\omega$</p> <p>В. $\langle E \rangle = 3\hbar\omega$</p> <p>Г. $\langle E \rangle = 5\hbar\omega/4$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
25	А	<p>Пусть потенциальная энергия частицы отлична от нуля в некоторой конечной области. Волновая функция при $x \rightarrow +\infty$ имеет вид $4ie^{ikx}$, где k – некоторое положительное число. Может ли волновая функция при $x \rightarrow -\infty$ иметь вид $5e^{ikx} + 3e^{-ikx}$?</p> <p>А. да</p> <p>Б. нет</p> <p>В. зависит от энергии частицы</p> <p>Г. зависит от поведения поля в указанной области</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
26	В	<p>Какая волновая функция может отвечать состоянию частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины a (A – постоянная)?</p> <p>А. $\psi(x, t) = A \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) \exp\left(-i \frac{\pi^2 \hbar t}{2ma^2}\right)$</p> <p>Б. $\psi(x, t) = A \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp\left(-2i \frac{\pi^2 \hbar t}{ma^2}\right)$</p> <p>В. $\psi(x, t) = A \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp\left(-i \frac{\pi^2 \hbar t}{2ma^2}\right)$</p> <p>Г. $\psi(x, t) = A \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \exp\left(-4i \frac{\pi^2 \hbar t}{ma^2}\right)$</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

27	Г.	<p>Какое из нижеперечисленных утверждений справедливо?</p> <p>А. Любая собственная функция оператора L^2 будет собственной функцией оператора \hat{L}_z</p> <p>Б. Любая собственная функция оператора \hat{L}_z будет собственной функцией оператора L^2</p> <p>В. Никакая собственная функция оператора L^2 не является собственной функцией оператора \hat{L}_z</p> <p>Г. Все перечисленное неверно</p>	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
Задания открытого типа			
1	<p>Частица находится в состоянии</p> $ \psi\rangle = 2i f_1\rangle - f_2\rangle + 4i f_3\rangle.$ <p>Оператор \hat{A} имеет вид:</p> $\hat{A} = f_1\rangle\langle f_1 - 2i f_1\rangle\langle f_2 + f_3\rangle\langle f_3 .$ <p>Векторы $f_i\rangle$ образуют ортонормированный базис. Найти среднее значение оператора $\langle \hat{A} \rangle$ в этом состоянии.</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	
Правильный ответ (ключ)			
2	<p>Волновая функция частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме в некоторый момент времени имеет вид</p> $A \left(\sin \frac{\pi x}{a} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi x}{a} \right),$ <p>где a - ширина ямы, A - постоянная. Чему равна средняя энергия частицы в этом состоянии?</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	
Правильный ответ (ключ)			
3	<p>Найти коммутатор квадрата оператора координаты и оператора проекции импульса $[\hat{x}^2, \hat{p}_x]$.</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	
Правильный ответ (ключ)			
4	<p>Матрица плотности одномерного гармонического осциллятора с частотой ω имеет вид:</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	

	$\hat{\rho} = \frac{1}{3} 0\rangle\langle 0 + \frac{2}{3} 1\rangle\langle 1 + \frac{i}{6} 0\rangle\langle 1 - \frac{i}{6} 1\rangle\langle 0 $ <p>Найти среднее значение энергии осциллятора в этом состоянии.</p>		
Правильный ответ (ключ) $7\hbar\omega/6$			
5	<p>Система находится в состоянии $\psi(\theta, \varphi) = A \sin \theta \cos \varphi$.</p> <p>Чему равно среднее значение квадрата оператора орбитального момента в этом состоянии?</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	
Правильный ответ (ключ) $\langle \hat{\mathbf{L}}^2 \rangle = 2\hbar^2$.			
6	<p>Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент $\hbar\sqrt{20}$. Каким может быть соответствующее квантовое число L?</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	
Правильный ответ (ключ) $L = 3, 4, 5$			
7	<p>Оператор Гамильтона некоторой системы имеет вид</p> $H = \mathcal{E}_0 \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$ <p>Найдите вектор состояния, в котором окажется система, если после измерения ее энергии получено значение $-\mathcal{E}_0$?</p>	Получен правильный ответ – 1 балл	
Правильный ответ (ключ) $ \psi\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$			
8	<p>Волновая функция частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной L с непроницаемыми стенками представлена на рисунке. Какова вероятность обнаружить частицу в области $L/6 < x < 5L/6$?</p>		Получен правильный ответ – 1 балл

Правильный ответ (ключ) 2/3		
9	<p>На частицу, находящуюся в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a</p> $U(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a, \\ \infty, & x \leq 0, x \geq a, \end{cases}$ <p>наложили малое возмущение $V(x) = V_0 \cos(\pi x/a)$. Чему равна поправка второго порядка к энергии основного состояния?</p>	Получен правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $-\frac{V_0^2 m a^2}{6\pi^2 \hbar^2}$		
10	<p>В момент времени $t = 0$ частица со спином $1/2$ находится в состоянии, в котором проекция спина на ось z равна $+1/2$.</p> <p>Гамильтониан частицы в магнитном поле имеет вид $H = A\sqrt{2}(\sigma_x + \sigma_y)$.</p> <p>Здесь A – постоянная, σ_x, σ_y – матрицы Паули.</p> <p>Найдите, через какое время проекция спина будет равна $-1/2$.</p>	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $t = \frac{\pi \hbar}{2A}$		
11	На сколько компонент расщепится в магнитном поле терм 1P ?	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) три		
12	<p>Частица находится в состоянии $\psi\rangle = 2i f_1\rangle - f_2\rangle + 4i f_3\rangle$.</p> <p>Оператор \hat{A} имеет вид: $\hat{A} = f_1\rangle\langle f_1 - 2i f_1\rangle\langle f_2 + f_3\rangle\langle f_3$.</p> <p>Векторы $f_i\rangle$ образуют ортонормированный базис. Найдите среднее значение оператора $\langle \hat{A} \rangle$ в этом состоянии.</p>	Получен правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) 24		
13	Пусть частицы в пучке поляризованы вдоль направления \mathbf{n} , т.е. спинор имеет вид	Получен правильный ответ – 1 балл

	$\chi_n = \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta}{2} \\ \sin \frac{\theta}{2} e^{i\varphi} \end{pmatrix}$ <p>Вектор напряженности магнитного поля в приборе Штерна направлен вдоль оси Oz. Найти отношение интенсивностей в двух точках на экране (интенсивность в верхней к интенсивности в нижней) после прохождения прибора Штерна, считая, что интенсивности пропорциональны вероятностям обнаружить в одной точке спин $-\frac{1}{2}$, а в другой $+\frac{1}{2}$.</p> 	
<p>Правильный ответ (ключ)</p> $\operatorname{ctg}^2\left(\frac{\theta}{2}\right).$		
<p>14</p>	<p>Спиновая матрица плотности в падающем пучке имеет вид</p> $\hat{\rho} = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{i}{8} \\ -\frac{i}{8} & \frac{3}{4} \end{pmatrix}.$ <p>Найти отношение интенсивностей в двух точках на экране (интенсивность в верхней к интенсивности в нижней) после прохождения прибора Штерна, вектор напряженности магнитного поля в котором направлен вдоль оси аппликат.</p>	<p>Получен правильный ответ – 1 балл</p>
<p>Правильный ответ (ключ)</p> $1/3$		
<p>15</p>	<p>Матрица плотности одномерного гармонического осциллятора с частотой ω имеет вид:</p> $\hat{\rho} = \frac{1}{3} 0\rangle\langle 0 + \frac{2}{3} 1\rangle\langle 1 + \frac{i}{6} 0\rangle\langle 1 - \frac{i}{6} 1\rangle\langle 0 .$ <p>Найти среднее значение энергии осциллятора в этом состоянии.</p>	<p>Получен правильный ответ – 1 балл</p>
<p>Правильный ответ (ключ) $7\hbar\omega/6$</p>		
<p>16</p>	<p>Система находится в состоянии $\psi(\theta, \varphi) = A \sin \theta \cos \varphi$.</p>	<p>Получен правильный ответ – 1 балл</p>

	Чему равно среднее значение квадрата оператора орбитального момента в этом состоянии?	
Правильный ответ (ключ) $\langle \hat{\mathbf{L}}^2 \rangle = 2\hbar^2$.		
17	Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент $\hbar\sqrt{20}$. Каким может быть соответствующее квантовое число L ?	Получен правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $L = 3, 4, 5$		
18	Оператор Гамильтона некоторой системы имеет вид $H = \mathcal{E}_0 \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$ Найдите вектор состояния, в котором окажется система, если после измерения ее энергии получено значение $-\mathcal{E}_0$?	Получен правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $ \psi\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$		
19	Пусть система находится в состоянии $ \psi\rangle = \begin{pmatrix} 4-i \\ -2+5i \\ 3+2i \end{pmatrix}.$ Оператор Гамильтона имеет вид $\hat{H} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 3 & 3 \\ 0 & 3 & 0 \end{pmatrix}$ Чему равно среднее значение энергии в состоянии $ \psi\rangle$?	Получен правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $\frac{147}{108}\sqrt{2}$		
20	На частицу, находящуюся в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a	Получен правильный ответ – 1 балл

	$U(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a, \\ \infty, & x \leq 0, x \geq a, \end{cases}$ <p>наложили малое возмущение $V(x) = V_0 \cos(\pi x/a)$. Чему равна поправка второго порядка к энергии основного состояния?</p>	
Правильный ответ (ключ) $-\frac{V_0^2 m a^2}{6\pi^2 \hbar^2}$		
21	<p>В момент времени $t = 0$ частица со спином $1/2$ находится в состоянии, в котором проекция спина на ось z равна $+1/2$.</p> <p>Гамильтониан частицы в магнитном поле имеет вид $H = A\sqrt{2}(\sigma_x + \sigma_y)$.</p> <p>Здесь A – постоянная, σ_x, σ_y – матрицы Паули.</p> <p>Найдите, через какое время проекция спина будет равна $-1/2$.</p>	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $t = \frac{\pi \hbar}{2A}$		
22	<p>Пусть частица в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a в начальном состоянии находится в суперпозиции двух стационарных состояний</p> $\psi(x, 0) = A(\psi_1(x) + \psi_2(x)).$ <p>Рассчитайте среднее значение координаты $\langle x \rangle$ в этом состоянии.</p>	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $\langle x \rangle = \frac{a}{2} - \left(\frac{16a}{9\pi} \right) \cos \left(3 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2a^2 m} t \right)$		