

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

5 Семестр

Раздел 1 Основные понятия квантовой механики. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Одномерное движение.

1.1 Контрольная работа (к.р) - 8 Неделя

Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Квантовая механика

Ниже приведен перечень оценочных средств, используемых при проведении текущего контроля успеваемости студентов.

Вариант 1

1. Как связаны собственная функция $f_a(b)$ оператора \hat{A} в b -представлении и собственная функция $g_b(a)$ оператора \hat{B} в a -представлении?
2. Волновая функция осциллятора в момент времени $t=0$ имеет вид $\Psi(x, t=0) = A \exp(-x^4/2)$, где A - постоянная. Найти зависимость средней координаты осциллятора в этом состоянии от времени?
3. Частица движется в некотором потенциале $U(x)$. Известно, что $U(x) \rightarrow +\infty$ при $x \rightarrow +\infty$, и $U(x)$ стремится к некоторой постоянной при $x \rightarrow -\infty$, а в области конечных значений координаты $U(x)$ имеет минимум (см. рисунок). Существуют ли среди стационарных состояний частицы состояния, относящиеся к дискретному спектру?
4. Заданы три волновые функции частицы в импульсном представлении (1) $C(p) = \sin\left(\frac{pa}{\hbar}\right)$, (2) $C(p) = \exp\left(i \frac{pa}{\hbar}\right)$, (3) $C(p) = \delta(p - (\hbar/a))$. В каких из них ее координата имеет определенное значение (здесь $C(p)$ - волновые функции состояний в импульсном представлении, a - число)? Какое? Ответ обосновать.
5. Волновая функция частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме в некоторый момент времени имеет вид $A \left(\sin \frac{\pi x}{a} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi x}{a} \right)$, где a - ширина ямы, A - постоянная. Найти дисперсию энергии частицы в этом состоянии?

Вариант 2

1. Состояние частицы описывается нормированной волновой функцией $\Psi(x, y, z) = A \exp(-r/a)$, где A и a - некоторые действительные числа, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ модуль радиус вектора. Найти наиболее вероятное модуля радиуса-вектора r .
2. Будет ли энергия свободной частицы иметь определенное значение в состояниях с определенным импульсом? А энергия в состояниях с определенным импульсом? Ответ обосновать.

3. Гамильтониан частицы не зависит от времени. Частица находится в таком состоянии, в котором ее энергия может принимать два значения - E_1 и E_2 . Как зависит от времени среднее значение энергии в рассматриваемом состоянии?

А. не зависит Б. как $\cos((E_1 - E_2)t/\hbar)$ В. как $\arccos((E_1 - E_2)t/\hbar)$ Г. как $\operatorname{tg}((E_1 - E_2)t/\hbar)$

4. Волновая функция частицы в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме в некоторый момент времени имеет вид $A\left(\sin\frac{\pi x}{a} + \sin\frac{4\pi x}{a}\right)$, где A - постоянная. Как поток вероятности в центре ямы зависит от времени?

5. Даны три варианта волновой функции осциллятора в момент времени $t=0$: (1) $(1+x)\exp(-x^2/2)$; (2) $(1+x^2)\exp(-x^2/2)$, (3) $(1+x^3)\exp(-x^2/2)$. В каком из них средний импульс осциллятора зависит от времени? Какова эта зависимость?

Методика оценки результатов выполнения контрольной работы

При оценке результатов выполнения контрольной работы, учитывается, прежде всего, количество правильно решенных задач. В задачах решенных неправильно может учитываться ход решения.

Критерии оценки, представлены в следующей таблице:

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Пересчет в соответствии с текущим контролем	Максимальный балл – минимальный балл
КР-1	Контрольная работа №1	выставляется студенту если 90-100% задач выполнено правильно	23-25	25 – 15
		выставляется студенту если 80-89% задач выполнено правильно	17-22	
		выставляется студенту если 60-79% задач выполнено правильно	15-17	
		при ответе студента менее чем на 60% задач задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течении семестра или на зачетной неделе	<15	

Раздел 2 Момент импульса. Движение в центральном поле. Атом водорода. Спин

2.1 Контрольная работа (к.р) - 16 Неделя

Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Квантовая механика

Ниже приведен перечень оценочных средств, используемых при проведении текущего контроля успеваемости студентов.

Вариант 1

1. Потенциальная энергия частицы $U(x)$ отлична от нуля в конечной области. Волновая функция стационарного состояния частицы в некоторый момент времени имеет следующие асимптотики: при $x \rightarrow \infty$ - $e^{-ikx} - 2ie^{ikx}$, при $x \rightarrow -\infty$ - $\sqrt{3}e^{ikx}$ (k - некоторое число). Найти коэффициенты отражения R и прохождения T частицами данного потенциала?

2. Какая из нижеследующих функций является общей собственной функцией операторов \hat{p}_z и \hat{L}_z (здесь k - некоторое действительное число)?

- А. $e^{-i\varphi} e^{-ikz}$ Б. $e^{-i\varphi} e^{-ky}$ В. $e^{-\varphi} e^{-iky}$ Г. такой функции не существует

3. Частица находится в состоянии с одной из нижеследующих волновых функций: (А). $\sin \varphi$, (Б). $\exp(-i\varphi)$, (В). $\exp(-i\vartheta)$, (Г). $\sin \vartheta$. В каких из этих случаев при измерении проекции момента на ось z можно получить два значения?

4. Как затухает волновая функция стационарного состояния электрона в атоме водорода с квантовыми числами $n_r = 2, l = 3, m = 1$ (нумерация n_r начинается с нуля). Ответ обосновать.

5. Сферический осциллятор находится в состоянии с «декартовыми» квантовыми числами $n_x = 2, n_y = 0, n_z = 0$. Какие значения момента импульса можно получить при измерениях?

Вариант 2

1. Потенциальная энергия частицы $U(x)$ отлична от нуля в конечной области. Может ли волновая функция стационарного состояния частицы в некоторый момент времени иметь следующие асимптотики ($k = \sqrt{2mE/\hbar^2}$, m - масса частицы): при $x \rightarrow -\infty$ - e^{ikx} , при $x \rightarrow \infty$ - $(1/2)e^{-ikx} - (i\sqrt{3}/2)e^{ikx}$ и если да, то чему равны коэффициенты отражения R и прохождения T частицами этого потенциала?

2. Частица находится в состоянии с волновой функцией $\Psi = A \cos^2 \varphi$, где φ - азимутальный угол сферической системы координат. Измеряют проекцию момента импульса частицы. Какие значения можно получить и с какими вероятностями?

3. Частица находится в состоянии с определенной проекцией орбитального момента импульса на ось y : $L_y = 4\hbar$. Измеряют квадрат момента. Какое из перечисленных значений не могло быть получено? Ответ обосновать.

А. $49\hbar^2$

Б. $12\hbar^2$

В. $25\hbar^2$

Г. $72\hbar^2$

4. Уровень энергии частицы в центральном поле не вырожден. Какие значения орбитального момента можно обнаружить при измерениях над частицей, находящейся на этом уровне и с какими вероятностями?

5. Сферический осциллятор находится в состоянии, средняя четность которого равна $\overline{P} = -1/2$. Будет ли это состояние стационарным? Ответ обосновать.

Методика оценки результатов выполнения контрольной работы

При оценке результатов выполнения контрольной работы, учитывается, прежде всего, количество правильно решенных задач. В задачах решенных неправильно может учитываться ход решения.

Критерии оценки, представлены в следующей таблице:

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Пересчет в соответствии с текущим контролем	Максимальный балл – минимальный балл
КР-2	Контрольная работа №2	выставляется студенту если 90-100% задач выполнено правильно	23-25	25 – 15
		выставляется студенту если 80-89% задач выполнено правильно	17-22	
		выставляется студенту если 60-79% задач выполнено правильно	15-17	
		при ответе студента менее чем на 60% задач задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течении семестра или на зачетной неделе	<15	

6 Семестр

Раздел 1 Теория возмущений. Квазиклассическое приближение. Тождественность частиц

1.1 Контрольная работа (к.р) - 8 Неделя

Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Квантовая механика

Ниже приведен перечень оценочных средств, используемых при проведении текущего контроля успеваемости студентов.

Вариант 1

1. Найти среднее значение проекции спина на ось x в состоянии со спиновой волновой

функцией $\psi(s_z) = \begin{pmatrix} \sqrt{3}/2 \\ 1/2 \end{pmatrix}$.

2. Установить квазиклассическое правило квантования в потенциале:

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

где $U(x)$ - некоторая известная плавная функция координаты при $0 < x < a$ (бесконечно глубокая потенциальная яма с «неплоским» дном).

3. На частицу, находящуюся в бесконечно глубокой потенциальной яме, наложили возмущение $\alpha\delta(x-a/2)$, где a - размер ямы. Найти поправки первого порядка теории возмущений к энергиям состояний с четными и нечетными квантовыми числами (основное состояние - $n=1$).

4. На одномерный гармонический осциллятор, находящийся в первом возбужденном состоянии, действует зависящее от времени малое возмущение $\hat{V}(x,t) = \alpha x V(t)$. Найти отношение вероятностей перехода осциллятора в основное и второе возбужденное состояния? Ответ дать в первом порядке теории нестационарных возмущений.

Указание: Матричные элементы оператора координаты с осцилляторными функциями равны:

$$x_{nk} = \sqrt{\frac{n\hbar}{2m\omega}}\delta_{k,n-1} + \sqrt{\frac{(n+1)\hbar}{2m\omega}}\delta_{k,n+1}$$

5. На атом водорода, находящийся в основном состоянии действует малое возмущение $\hat{V}(\vec{r}, t) = \alpha Y_{20}(\vartheta, \varphi) \cos \omega t$, где Y_{20} - сферическая функция. При какой минимальной частоте возмущения возможен переход? Ответ дать в первом порядке теории нестационарных возмущений

Указание. Кратность вырождения уровней энергии электрона в атоме равна n^2 , энергии - $-e^2 / 2n^2 a$, $n = 1, 2, \dots$

Вариант 2

1. В каком (каких) из четырех состояний, спиновые волновые функции которых приведены ниже, частица имеет определенный квадрат проекции спина на ось z ? Ответ обосновать.

$$\text{А. } \psi(s_z) = \begin{pmatrix} -1/\sqrt{2} \\ 0 \\ -1/\sqrt{2} \end{pmatrix} \quad \text{б. } \psi(s_z) = \begin{pmatrix} -i/\sqrt{3} \\ i/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} \end{pmatrix} \quad \text{в. } \psi(s_z) = \begin{pmatrix} 0 \\ i \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{г. } \psi(s_z) = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} \end{pmatrix}$$

2. Частица движется в потенциале $U(x) = \frac{A}{x^2}$. Уравнение Шредингера решается при нулевой энергии. При каких значениях параметра A можно использовать квазиклассическое приближение?

3. На частицу, находящуюся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a , расположенную между точками $x=0$ и $x=a$ наложим малое возмущение $V(x) = V_0 x$. Найти поправку первого порядка теории возмущений к энергии 10-го уровня энергии (основное состояние – первое).

4. Заряженная частица находится в центральном поле со случайным вырождением. Имеется уровень энергии с вырождением состояний с $l=0$ и $l=2$. На частицу накладывают однородное электрическое поле. Произойдет ли расщепление этого вырожденного уровня энергии в первом порядке теории возмущений и если да, то на какие подуровни он расщепится?

5. Трехмерный осциллятор находится в основном состоянии. Внезапно на осциллятор накладывается возмущение, зависящее от модуля радиус-вектора. Может ли осциллятор совершить переход на второй возбужденный уровень энергии?

Методика оценки результатов выполнения контрольной работы

При оценке результатов выполнения контрольной работы, учитывается, прежде всего, количество правильно решенных задач. В задачах решенных неправильно может учитываться ход решения.

Критерии оценки, представлены в следующей таблице:

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Пересчет в соответствии с текущим контролем	Максимальный балл – минимальный балл
КР-3	Контрольная работа №3	выставляется студенту если 90-100% задач выполнено правильно	23-25	25 – 15
		выставляется студенту если 80-89% задач выполнено правильно	17-22	
		выставляется студенту если 60-79% задач выполнено правильно	15-17	
		при ответе студента менее чем на 60% задач задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течении семестра или на зачетной неделе	<15	

Раздел 2 Атомы и молекулы. Теория рассеяния

2.1 Контрольная работа (к.р) - 15 Неделя

Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Квантовая механика

Ниже приведен перечень оценочных средств, используемых при проведении текущего контроля успеваемости студентов.

Вариант 1

1. На одномерный гармонический осциллятор, находящийся в основном состоянии, действует малое, зависящее от времени возмущение $\hat{V}(x, t) = V_0 \cos(x/a) e^{-t^2/\tau^2}$, где V_0 , a и τ - некоторые постоянные. Найти вероятность перехода осциллятора в первое возбужденное состояние?
2. Два тождественных бозона со спином $s=0$ каждый связаны потенциалом, зависящим только от модуля относительного радиуса-вектора: $U(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = U(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|)$. Какие значения может принимать орбитальный момент относительного движения?
3. Два тождественных фермиона со спином $s=3/2$ каждый находятся в состоянии с определенным суммарным спином S . Будет ли пространственная часть волновой функции системы обладать определенной симметрией по отношению к перестановкам, и если да, то при каких значениях суммарного спина S ?
4. Частицы рассеиваются на некотором потенциале $U(\vec{r})$, радиус действия которого равен a . Частицы медленные $ka \ll 1$, и выполнены условия применимости борновского приближения. Найти зависимость амплитуды рассеяния от угла рассеяния?
5. Частицы рассеиваются на некотором потенциале. Известно, что фазы рассеяния δ_0 и δ_1 не равны нулю, все остальные фазы рассеяния нулевые. Найти зависимость дифференциального сечения рассеяния от угла рассеяния.

Вариант 2

1. Осциллятор находится в основном состоянии. В некоторый момент времени осцилляторная частота ω мгновенно меняется до некоторого значения ω_1 . Найти вероятность перехода осциллятора в первое возбужденное состояние равна

2. Десять тождественных невзаимодействующих фермионов со спином $s = 1/2$ находятся в потенциале одномерного гармонического осциллятора с частотой ω . Какова энергия основного состояния системы?

3. Система шести тождественных невзаимодействующих фермионов находится в состоянии, в котором числа заполнения состояний одночастичного гамильтониана имеют следующие определенные значения: $n_1 = 3$, $n_2 = 2$, $n_3 = 1$ (квантовые числа одночастичных состояний 1, 2, 3 включают в себя и спиновые квантовые числа). Будет ли это состояние собственным для оператора $\hat{a}_1^+ \hat{a}_1$ и если да, то какому собственному значению оно будет отвечать?

4. Частицы рассеиваются на некотором потенциале $U(\vec{r})$, радиус действия которого равен a . Частицы быстрые $ka \gg 1$. На какие углы в основном происходит рассеяние?

А. вперед, в узкий конус с углом раствора $\Delta\vartheta = 1/ka$

Б. назад, в узкий конус с углом раствора $\Delta\vartheta = 1/ka$

В. вперед, в узкий конус с углом раствора $\Delta\vartheta = 1/(ka)^2$

Г. рассеяние является изотропным

5. Частицы массой m с энергией E рассеиваются на некотором потенциале $U(\vec{r})$, радиус действия которого равен a , а для его характерного значения U_0 выполнено условие

$$U_0 \gg \frac{\hbar^2}{ma^2}$$

Частицы медленные $ka \ll 1$. Найти зависимость амплитуды рассеяния от энергии частиц E .

Методика оценки результатов выполнения контрольной работы

При оценке результатов выполнения контрольной работы, учитывается, прежде всего, количество правильно решенных задач. В задачах решенных неправильно может учитываться ход решения.

Критерии оценки, представлены в следующей таблице:

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Пересчет в соответствии с текущим контролем	Максимальный балл – минимальный балл
КР-4	Контрольная работа №4	выставляется студенту если 90-100% задач выполнено правильно	23-25	25 – 15
		выставляется студенту если 80-89% задач выполнено правильно	17-22	
		выставляется студенту если 60-79% задач выполнено правильно	15-17	
		при ответе студента менее чем на 60% задач задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течении семестра или на зачетной неделе	<15	

5 Семестр

Экзамен

Вопросы по курсу «Квантовая механика»

1. Постулаты квантовой механики. Волновая функция, принцип суперпозиции, операторы, уравнение Шредингера.
2. Квантовомеханическая формула для средних.
3. Свойства собственных функций и собственных значений эрмитовых операторов: действительность, ортогональность, полнота. Условие полноты.
4. Операторы координаты и импульса. Собственные значения и собственные функции. Разложения по собственным функциям оператора координаты и оператора импульса.
5. Коммутация операторов. Существование общих собственных функций у коммутирующих операторов.
6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.
7. Координатное и импульсное представления волновой функции. Операторы координаты и импульса в координатном и импульсном представлениях.
8. Оператор производной физической величины по времени. Оператор скорости. Интегралы движения в квантовой механике. Сохранение энергии.
9. Закон сохранения вероятности. Плотность потока вероятности. Уравнение непрерывности.
10. Общее решение уравнения Шредингера в стационарном случае. Стационарные состояния.
11. Общие свойства стационарных состояний одномерного движения: существование решений, дискретный и непрерывный спектр, вырождение. Осцилляционная теорема. Четность решений.
12. Существование уровня в мелкой одномерной потенциальной яме.
13. Бесконечно глубокая потенциальная яма. Энергетический спектр и стационарные состояния. Примеры разложений по собственным функциям гамильтониана, вероятности и средние.

14. Одномерный гармонический осциллятор (решение в виде ряда). Энергетический спектр и стационарные состояния. Примеры разложений по собственным функциям гамильтониана, вероятности и средние.
15. Вычисление интегралов $\int f_n(x) \hat{x} f_k(x) dx$ и $\int f_n(x) \hat{p} f_k(x) dx$ с осцилляторными функциями (на основе рекуррентных соотношений для полиномов Эрмита).
16. Одномерный гармонический осциллятор. Операторы уничтожения и рождения. Коммутационные соотношения, гамильтониан, спектр, собственные функции.
17. Свойства собственных значений и собственных функций, отвечающих непрерывному спектру: условие нормировки, полнота, разложения по собственным функциям, вероятности и средние.
18. Стационарные состояния непрерывного спектра. Сохранение потока. Отражение и прохождение частицы через одномерный потенциальный барьер. Коэффициенты отражения и прохождения.
19. Доказательство одинаковости коэффициентов отражения и прохождения через барьер при падении частиц из «плюс» и «минус бесконечности».
20. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Общие свойства собственных функций. Вырождение собственных значений оператора квадрата момента.
21. Оператор проекции момента импульса частицы на ось z . Решение уравнения на собственные значения. Собственные значения и собственные функции.
22. Оператор момента импульса частицы. Решение уравнений на собственные значения операторов квадрата момента и проекции на ось z . Сферические функции.
23. Свойства сферических функций: ортогональность, полнота, четность.
24. Оператор момента импульса частицы. Повышающий и понижающий операторы. Матричная теория момента.
25. Классификация состояний дискретного спектра в центральном поле. Уравнение для радиальной волновой функции. Радиальное квантовое число. Вырождение по проекции и «случайное» вырождение.

26. Водородоподобный атом (решение в сферических координатах). Уровни энергии и волновые функции состояний дискретного спектра в кулоновском поле. «Случайное» вырождение. Кратность вырождения уровней.

27. Энергии и волновые функции стационарных состояний сферического осциллятора (решение в декартовых координатах). Спектр, кратность вырождения. Классификация «нижних» состояний по моменту.

28. Энергии и волновые функции стационарных состояний сферического осциллятора (решение в сферических координатах).

БИЛЕТ № 1

1. Постулаты квантовой механики. Волновая функция, принцип суперпозиции, операторы, уравнение Шредингера.
2. Энергии и волновые функции стационарных состояний сферического осциллятора (решение в сферических координатах).

БИЛЕТ № 2

1. Квантовомеханическая формула для средних.
2. Энергии и волновые функции стационарных состояний сферического осциллятора (решение в декартовых координатах). Спектр, кратность вырождения. Классификация «нижних» состояний по моменту.

БИЛЕТ № 3

1. Свойства собственных функций и собственных значений эрмитовых операторов: действительность, ортогональность, полнота. Условие полноты.
2. Водородоподобный атом (решение в сферических координатах). Уровни энергии и волновые функции состояний дискретного спектра в кулоновском поле. «Случайное» вырождение. Кратность вырождения уровней.

БИЛЕТ № 4

1. Операторы координаты и импульса. Собственные значения и собственные функции. Разложения по собственным функциям оператора координаты и оператора импульса.
2. Классификация состояний дискретного спектра в центральном поле. Уравнение для радиальной волновой функции. Радиальное квантовое число. Вырождение по проекции и «случайное» вырождение.

БИЛЕТ № 5

1. Коммутация операторов. Существование общих собственных функций у коммутирующих операторов.
2. Вычисление интегралов $\int f_n(x) \hat{x} f_k(x) dx$ и $\int f_n(x) \hat{p} f_k(x) dx$ с осцилляторными функциями (на основе рекуррентных соотношений для полиномов Эрмита).

БИЛЕТ № 6

1. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.
2. Свойства сферических функций: ортогональность, полнота, четность.

БИЛЕТ № 7

1. Координатное и импульсное представления волновой функции. Операторы координаты и импульса в координатном и импульсном представлениях.
2. Оператор момента импульса частицы. Решение уравнений на собственные значения операторов квадрата момента и проекции на ось z . Сферические функции.

БИЛЕТ № 8

1. Оператор производной физической величины по времени. Оператор скорости. Интегралы движения в квантовой механике. Сохранение энергии.
2. Оператор проекции момента импульса частицы на ось z . Решение уравнения на собственные значения. Собственные значения и собственные функции.

БИЛЕТ № 9

1. Закон сохранения вероятности. Плотность потока вероятности. Уравнение непрерывности.
2. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Общие свойства собственных функций. Вырождение собственных значений оператора квадрата момента.

БИЛЕТ № 10

1. Общее решение уравнения Шредингера в стационарном случае. Стационарные состояния.
2. Доказательство одинаковости коэффициентов отражения и прохождения через барьер при падении частиц из «плюс» и «минус бесконечности».

БИЛЕТ № 11

1. Общие свойства стационарных состояний одномерного движения: существование решений, дискретный и непрерывный спектр, вырождение. Осцилляционная теорема. Четность решений.
2. Стационарные состояния непрерывного спектра. Сохранение потока. Отражение и прохождение частицы через одномерный потенциальный барьер. Коэффициенты отражения и прохождения.

БИЛЕТ № 12

1. Существование уровня в мелкой одномерной потенциальной яме.
2. Свойства собственных значений и собственных функций, отвечающих непрерывному спектру: условие нормировки, полнота, разложения по собственным функциям, вероятности и средние.

БИЛЕТ № 13

1. Бесконечно глубокая потенциальная яма. Энергетический спектр и стационарные состояния. Примеры разложений по собственным функциям гамильтониана, вероятности и средние.
2. Одномерный гармонический осциллятор. Операторы уничтожения и рождения. Коммутационные соотношения, гамильтониан, спектр, собственные функции.

БИЛЕТ № 14

1. Одномерный гармонический осциллятор (решение в виде ряда). Энергетический спектр и стационарные состояния. Примеры разложений по собственным функциям гамильтониана, вероятности и средние.
2. Оператор момента импульса частицы. Повышающий и понижающий операторы. Матричная теория момента.

Методика оценки результатов сдачи экзамена

Критерии оценки знаний устанавливаются в соответствии с требованиями к профессиональной подготовке, исходя из действующих учебных планов и программ, с учётом характера будущей практической деятельности выпускника.

«ОТЛИЧНО» (45-50 баллов) - студент владеет знаниями предмета в соответствии с рабочей программой, достаточно глубоко осмысливает дисциплину; самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на вопрос билета, четко формулирует ответ.

«ХОРОШО» (35-44 баллов) - студент владеет знаниями дисциплины почти в полном объеме программы (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценный ответ на вопрос билета.

«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» (30-34 баллов) - студент владеет основным объемом знаний по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов.

«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» (ниже 30 баллов) - студент не освоил обязательного минимума знаний предмета; не способен ответить на вопрос билета даже при дополнительных наводящих вопросах экзаменатора.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе в соответствии со следующей шкалой:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B
	75-84	C
	70-74	D
	65-69	
3 – «удовлетворительно»	60-64	E
2 – «неудовлетворительно»	Ниже 60	F

Расшифровка уровня знаний, соответствующего полученным баллам, дается в таблице указанной ниже

Оценка по 5-балльной шкале – оценка по ECTS	Сумма баллов за разделы	Требования к знаниям на устном зачёте
«отлично» – A	90 ÷ 100	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
«хорошо» – D, C, B	70 ÷ 89	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
«удовлетворительно» – E, D	60 ÷ 69	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно

		правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
«неудовлетворительно» — F	менее 60	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

6 Семестр

Экзамен

Вопросы по курсу «Квантовая механика»

1. Спин элементарных частиц. Спиновые операторы и спиновые функции. Коммутационные соотношения. Собственные функции операторов спина. Операторы спина.
2. Волновая функция частицы со спином $\frac{1}{2}$. Матрицы спина $\frac{1}{2}$. Свойства матриц Паули.
3. Спиновая функция системы двух частиц со спином $\frac{1}{2}$. Суммарный спин. Симметрия спиновой функции системы относительно перестановок спиновых координат.
4. Спиновая функция системы двух частиц с произвольным спином. Суммарный спин. Симметрия спиновой функции системы относительно перестановок спиновых координат.
5. Квазиклассическое приближение. Волновые функции, условия применимости, параметр квазиклассичности.
6. Квазиклассическое приближение. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Пример нахождения спектра связанных состояний с помощью правила квантования.
7. Квазиклассическое приближение. Вычисление коэффициента прохождения потенциального барьера в квазиклассическом приближении.
8. Теория стационарных возмущений для состояний дискретного спектра без вырождения. Получение формул для поправок первого и второго порядка к энергиям и поправки первого порядка к собственным функциям.

9. Теория стационарных возмущений для состояний дискретного спектра с вырождением. Основная идея. Правильные функции нулевого приближения. Секулярное уравнение.
10. Атом водорода в постоянном электрическом поле, эффект Штарка.
11. Расщепление уровней в магнитном поле. Эффект Зеемана.
12. Переходы между стационарными состояниями под влиянием зависящих от времени возмущений. Теория нестационарных возмущений.
13. Теория нестационарных возмущений. Адиабатические и внезапные возмущения. Примеры.
14. Примеры применения теории нестационарных возмущений к простейшим квантовомеханическим системам: яме, осциллятору, атому водорода. Правила отбора.
15. Переходы под действием мгновенно включающихся возмущений.
16. Переходы под действием периодических возмущений.
17. Переходы между двумя дискретными состояниями под действием периодических возмущений. Резонансное приближение.
18. Вероятность перехода из состояния дискретного спектра в состояния непрерывного спектра под действием периодического возмущения.
19. Принцип неразличимости тождественных частиц, бозоны и фермионы. Симметрия волновой функции относительно перестановок. Принцип Паули.
20. Обменное взаимодействие. Обменный интеграл, его зависимость от суммарного спина системы частиц.
21. Вторичное квантование. Бозоны, операторы уничтожения и рождения, коммутационные соотношения.
22. Вторичное квантование. Фермионы, операторы уничтожения и рождения, коммутационные соотношения.
23. Задача рассеяния. Квантовомеханическая постановка и принципы решения. Амплитуда и сечение рассеяния.
24. Борновское приближение в задаче рассеяния. Условия применимости борновского приближения. Предельные случаи медленных и быстрых частиц.

25. Борновское приближение в задаче рассеяния. Пример вычисления сечения в борновском приближении.

26. Фазовая теория рассеяния. Фазы рассеяния. Амплитуда и полное сечение рассеяния. Иерархия слагаемых разложения амплитуды по состояниям с определенным моментом для медленных частиц.

27. Полное сечение рассеяния в фазовой теории. Оптическая теорема.

28. Связь оптической теоремы с сохранением числа частиц.

БИЛЕТ № 1

1. Спин элементарных частиц. Спиновые операторы и спиновые функции. Коммутационные соотношения. Собственные функции операторов спина. Операторы спина.

2. Переходы под действием мгновенно включающихся возмущений.

БИЛЕТ № 2

1. Волновая функция частицы со спином $\frac{1}{2}$. Матрицы спина $\frac{1}{2}$. Свойства матриц Паули.

2. Задача рассеяния. Квантовомеханическая постановка и принципы решения. Амплитуда и сечение рассеяния.

БИЛЕТ № 3

1. Спиновая функция системы двух частиц со спином $\frac{1}{2}$. Суммарный спин. Симметрия спиновой функции системы относительно перестановок спиновых координат.

2. Переходы между двумя дискретными состояниями под действием периодических возмущений. Резонансное приближение.

БИЛЕТ № 4

1. Спиновая функция системы двух частиц с произвольным спином. Суммарный спин. Симметрия спиновой функции системы относительно перестановок спиновых координат.
2. Борновское приближение в задаче рассеяния. Условия применимости борновского приближения. Предельные случаи медленных и быстрых частиц.

БИЛЕТ № 5

1. Квазиклассическое приближение. Волновые функции, условия применимости, параметр квазиклассичности.
2. Вторичное квантование. Бозоны, операторы уничтожения и рождения, коммутационные соотношения.

БИЛЕТ № 6

1. Квазиклассическое приближение. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Пример нахождения спектра связанных состояний с помощью правила квантования.
2. Вероятность перехода из состояния дискретного спектра в состояния непрерывного спектра под действием периодического возмущения.

БИЛЕТ № 7

1. Квазиклассическое приближение. Вычисление коэффициента прохождения потенциального барьера в квазиклассическом приближении.
2. Принцип неразличимости тождественных частиц, бозоны и фермионы. Симметрия волновой функции относительно перестановок. Принцип Паули.

БИЛЕТ № 8

1. Теория стационарных возмущений для состояний дискретного спектра без вырождения. Получение формул для поправок первого и второго порядка к энергиям и поправки первого порядка к собственным функциям.

2. Борновское приближение в задаче рассеяния. Пример вычисления сечения в борновском приближении.

БИЛЕТ № 9

1. Теория стационарных возмущений для состояний дискретного спектра с вырождением. Основная идея. Правильные функции нулевого приближения. Секулярное уравнение.

2. Обменное взаимодействие. Обменный интеграл, его зависимость от суммарного спина системы частиц.

БИЛЕТ № 10

1. Атом водорода в постоянном электрическом поле, эффект Штарка.

2. Переходы под действием периодических возмущений.

БИЛЕТ № 11

1. Расщепление уровней в магнитном поле. Эффект Зеемана.

2. Фазовая теория рассеяния. Фазы рассеяния. Амплитуда и полное сечение рассеяния. Иерархия слагаемых разложения амплитуды по состояниям с определенным моментом для медленных частиц.

БИЛЕТ № 12

1. Переходы между стационарными состояниями под влиянием зависящих от времени возмущений. Теория нестационарных возмущений.

2. Полное сечение рассеяния в фазовой теории. Оптическая теорема.

БИЛЕТ № 13

1. Теория нестационарных возмущений. Адиабатические и внезапные возмущения. Примеры.
2. Связь оптической теоремы с сохранением числа частиц.

БИЛЕТ № 14

1. Примеры применения теории нестационарных возмущений к простейшим квантовомеханическим системам: яме, осциллятору, атому водорода. Правила отбора.
2. Вторичное квантование. Фермионы, операторы уничтожения и рождения, коммутационные соотношения.

Методика оценки результатов сдачи экзамена

Критерии оценки знаний устанавливаются в соответствии с требованиями к профессиональной подготовке, исходя из действующих учебных планов и программ, с учётом характера будущей практической деятельности выпускника.

«ОТЛИЧНО» (45-50 баллов) - студент владеет знаниями предмета в соответствии с рабочей программой, достаточно глубоко осмысливает дисциплину; самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на вопрос билета, четко формулирует ответ.

«ХОРОШО» (35-44 баллов) - студент владеет знаниями дисциплины почти в полном объеме программы (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценный ответ на вопрос билета.

«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» (30-34 баллов) - студент владеет основным объемом знаний по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов.

«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» (ниже 30 баллов) - студент не освоил обязательного минимума знаний предмета; не способен ответить на вопрос билета даже при дополнительных наводящих вопросах экзаменатора.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе в соответствии со следующей шкалой:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B
	75-84	C
	70-74	D
	65-69	
3 – «удовлетворительно»	60-64	E
2 – «неудовлетворительно»	Ниже 60	F

Расшифровка уровня знаний, соответствующего полученным баллам, дается в таблице указанной ниже

Оценка по 5-балльной шкале – оценка по ECTS	Сумма баллов за разделы	Требования к знаниям на устном зачёте
«отлично» – A	90 ÷ 100	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
«хорошо» – D, C, B	70 ÷ 89	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
«удовлетворительно» – E, D	60 ÷ 69	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно

		правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
«неудовлетворительно» — F	менее 60	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.