

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ТГПУ)

Утверждаю»
декан физико-математического факультета
Г.И. Пьяных
«16» Февраля 2015г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.2 «МЕТОДЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ»

ТРУДОЕМКОСТЬ (В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ) 5

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Теоретическая физика

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

1. Цели изучения учебной дисциплины.

Курс «Методы квантовой механики» является важной частью цикла курсов теоретической физики магистерской программы подготовки и представляет собой существенный элемент как современного профессионального физического образования так и современного научного мировоззрения.

Целью курса «Методы квантовой механики» является:

- формирование у магистрантов представлений о квантовых свойствах материи, проявляющих себя на микроскопических пространственных масштабах;
- дополнение и углубление уже имеющихся у обучающихся знаний об отдельных разделах квантовой механики, полученных в ходе предшествующего обучения в ВУЗе;
- выяснение физического смысла законов и понятий, дальнейшее развитие у обучающихся навыков физического мышления, умения решать конкретные задачи, используя имеющиеся теоретические знания;
- расширение фундаментальной базы физических знаний, дающей основу для дальнейшего более глубокого и детализированного изучения всех разделов теоретической физики;
- формирование теоретической и практической профессиональной подготовки к преподаванию физики в общеобразовательных учреждениях, средних специальных и высших учебных заведениях;
- вооружение магистранта конкретными знаниями, дополняющими уже полученную в курсе квантовой механики информацию и позволяющими впоследствии использовать их для дальнейшей специализации.

2. Место учебной дисциплины в структуре основной образовательной программы.

Курс «Методы квантовой механики» входит в Блок-1 ---дисциплины, вариативная часть, «дисциплины по выбору студента» программы магистратуры. Преподается предмет во втором семестре. Программа подготовлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Областью профессиональной деятельности магистров, на которую ориентирует дисциплина «Методы квантовой механики», является образование и научная деятельность.

Дисциплина готовит к решению следующих задач профессиональной деятельности в педагогической и научной деятельности магистров:

- обучение школьников или студентов с использованием конкретных знаний из области общей и теоретической физики;
- привитие им навыков физического мышления;
- тренировка умения школьников или студентов ставить и решать конкретные задачи;
- участие в формировании научного мировоззрения учащихся путем обогащения его современными представлениями о структуре материи;
- использование полученных в курсе изучения «Методов квантовой механики» навыков и умений в научной деятельности.

Для освоения дисциплины «Методы квантовой механики» обучающиеся используют знания, умения, способы деятельности и установки, сформированные в ходе изучения курсов магистерской программы:

- Теория групп Ли,
- Классическая механика/ Современная электродинамика,
- Специальный физический практикум,
- Методы математической физики,
- Классическая электродинамика/ Дифференциальная геометрия,
- Современные проблемы физики (2 семестр),
- Классические поля (2,3 семестры).

Освоение данной дисциплины является необходимой основой для изучения параллельно читаемых курсов магистерской программы:

- Квантовая теория поля,
- Электродинамика твердых тел/ Квантовая теория излучения,
- Общая теория относительности,
- Космология.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП.

Процесс изучения дисциплины «Методы квантовой механики» направлен на формирование у магистрантов следующих компетенций:

Общекультурными (ОК): ОК-1, ОК-2, ОК-3.

Обще-профессиональными (ОПК): ОПК-5, ОПК-6.

Профессиональными (ПК): ПК-1.

В результате освоения материала курса обучающийся должен:

- знать границы применимости классической механики и её связь с квантовой теорией, физическое содержание фундаментальных принципов квантовой механики, основные уравнения и основные модели квантовой механики, свойства уравнения Шредингера, свойства оператора углового момента, иметь представление о методах теории групп, применяемых для изучения симметрий квантовых состояний;

- уметь показать преемственность ключевых тем классической и квантовой механики, связь симметрий с законами сохранения; уметь применять теоретический материал к решению задач, используя математический аппарат квантовой механики, применять уравнение Шредингера для исследования состояний частицы в сферически симметричном поле, квантового гармонического осциллятора, электрона в атоме водорода;

- владеть навыками решения задач, основанных на практическом применении изучаемого материала, в особенности на применении уравнения Шредингера (основного уравнения квантовой механики) к изучаемым системам, владеть общетеоретической культурой, необходимой современному преподавателю и научному работнику.

4. Общая трудоемкость дисциплины _5_ зачетных единиц и виды учебной работы.

Объем дисциплины и виды учебной работы:

Таблица 1

Вид учебной работы	Трудоемкость	Распределение по семестрам
	Всего 180	2 семестр
Аудиторные занятия	50	50
Лекции (Л)	30	30
Практические занятия (ПЗ)	20	20
Семинары (С)		
Лабораторные работы (ЛР)		
Другие виды аудиторных работ	14	14
Другие виды работ		
Самостоятельная работа (СР)	103	103
Курсовой проект (работа)		
Реферат		
Расчетно-графические работы		
Формы текущего контроля		Выполнение учебных заданий в ходе практических занятий. Домашние задания. Устный опрос. Контрольная работа (см. раздел 8.7 Программы)
Формы промежуточной аттестации в соответствии с учебным планом	27	экзамен

5. Содержание программы учебной дисциплины.

5.1. Содержание учебной дисциплины.

Таблица 2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Аудиторные часы				Самост. работа (час)
		Всего	лекция	практические занятия	Интерактивные формы обучения	
1	Предпосылки и принципы квантовой механики	4	4		2	14
2	Математический аппарат квантовой механики	8	4	4	2	15
3	Уравнение Шредингера для простейших одномерных задач	10	6	4	2	16
4	Теория оператора углового момента. Сложение моментов	7	4	3	2	14
5	Сферически симметричный потенциал	7	4	3	2	14
6	Системы тождественных частиц	7	4	3	2	14
7	Методы расчета атомных и молекулярных систем	7	4	3	2	16
	Итого	50 час./1,4 зачет.ед.	30 часа	20 часов	14 часов	103 часа

5.2. Содержание разделов дисциплины

Таблица 3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
1	Предпосылки и принципы квантовой механики	Понятие состояния. Принцип суперпозиции. Эксперимент с двумя щелями. Эксперимент Штерна-Герлаха. Волновая функция, ее физический смысл. Уравнение Шредингера
2	Математический аппарат квантовой механики	Векторное пространство. Линейные операторы. Классы операторов. Коммутаторы. Собственные векторы и собственные значения операторов. Матричные элементы операторов. Наблюдаемые. Полные наборы наблюдаемых. Примеры Гильбертовых пространств: конечномерное пространство, пространство функций. Непрерывные наблюдаемые. Свойства и представления дельта-функции Дирака
3	Уравнение Шредингера для простейших одномерных задач	Одномерная свободная частица. Одномерный потенциальный ящик, потенциальный барьер. Квантовый линейный гармонический осциллятор. Повышающие и понижающие операторы a и a^+ , оператор чисел заполнения. Волновые функции одномерного гармонического осциллятора

4	Теория оператора углового момента. Сложение моментов	Оператор орбитального углового момента как дифференциальный оператор. Алгебра коммутаторов углового момента. Собственные состояния операторов J^2 и J_z . Операторы J_+ и J_- и их матричные элементы. Алгебра операторов J_+ и J_-
5	Сферически симметричный потенциал	Энергетический спектр для трёхмерной частицы в сферически симметричном потенциале. Сферические координаты и сферические гармоники. Атом водорода и водородоподобные ионы. Энергетический спектр. Радиальные волновые функции. Расчёт первых радиальных волновых функции атома водорода
6	Системы тождественных частиц	Принцип тождественности. Фермионы и бозоны. Система из двух фермионов. Обменное взаимодействие. Антисимметризация волновой функции. Одночастичные волновые функции. Детерминант Слэтера
7	Методы расчета атомных и молекулярных систем	Теория возмущений. Вариационный метод Ритца. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Метод Томаса-Ферми

5.3. Лабораторный практикум

не предусмотрен учебным планом.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы по дисциплине.

6.1. Основная литература по дисциплине:

1. Ермаков, А.И. Квантовая механика и квантовая химия /А.И. Ермаков.– М.: Юрайт, 2010.– 555 с.
2. Давыдов, А.С. Квантовая механика /А.С Давыдов. – Изд. БХВ- Петербург, 2011.– 703 с.

6.2. Дополнительная литература:

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие для вузов. В 10 т. Т. 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория) /Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.– 799 с. (ЭБС «КнигаФонд»)
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов. В 10 т. Т. 5. Статистическая физика. Ч.1 /Л.Д.Ландау, Е.М. Лифшиц.– М.:ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 615 с. (ЭБС «КнигаФонд»)
3. Бороненко, Т.С. Задачи по классической механике/ Т.С. Бороненко, И.Л. Бухбиндер, В.В. Кругликов; МО РФ, ТГПУ.– Томск:Изд-во ТГПУ, 2003.– 150 с.
4. Азоркина, О.Д. Квантовая физика: сборник задач. Учебное пособие для вузов: для бакалавров /О.Д. Азоркина.– Томск: Изд-во ТГПУ, 2013.– 43 с.
5. Полянин, А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики/ А.Д. Полянин.– М.: ФИЗМАТЛИТ.– 2011.– 429 с. (ЭБС «КнигаФонд»)

6.3. Перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины.

При изучении дисциплины полезно при необходимости использовать Интернет-ресурсы:

1. <http://libserv.tspu.edu.ru/> – Научная библиотека Томского государственного педагогического университета
2. <http://www.knigafund.ru/> – электронная библиотечная система «КнигаФонд»
3. <http://e.lanbook.com/> – электронная библиотечная система «Лань»
4. <http://arxiv.org/> – open access to e-prints in Physics, Mathematics, Computer Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance and Statistics (открытый доступ к препринтам по физике, математике, компьютерным и другим наукам)
5. <http://publish.aps.org/> – Journals of the American Physical Society (APS)

6. <http://inspirehep.net/help/easy-search> – the High Energy Physics information system (информационная система физики высоких энергий)
7. <http://www.elementy.ru/> – сайт «Элементы большой науки»
8. <http://www.dxdy.ru/> – научный форум
9. <http://www.math-net.ru/> – общероссийский математический сайт
10. <http://www.femto.com.ua/index1.html> – энциклопедия физики и техники

6.4. Рекомендации по использованию информационных технологий, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Таблица 4

№ п/п	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование материалов обучения, пакетов программного обеспечения	Наименование технических и аудиовизуальных средств, используемых с целью демонстрации материалов
6	Системы тождественных частиц	Интернет-источники № 1-3 п. 6.3 программы: http://libserv.tspu.edu.ru/ , http://www.knigafund.ru/ , http://e.lanbook.com/	Компьютеры (в количестве пять) к.261 (КТФ), 1 корпус, и МФУ к.261. На компьютерах установлено лицензионное программное обеспечение
7	Методы расчета атомных и молекулярных систем	Доклады магистрантов «Вариационный метод Ритца. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Метод Томаса-Ферми»	Мультимедийный проектор

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

7.1. Методические рекомендации для студентов.

Необходимой базой для прочного усвоения материала курса «Методы квантовой механики» является основательное изучение магистрантами курсов Теоретической физики в процессе предшествующего обучения в ВУЗе (полностью), в частности, курса «Квантовая механика».

В данном курсе немалая роль отводится самостоятельной работе. Поэтому для более прочного усвоения учебного материала, изложенного на лекциях, обучающимся рекомендуется использовать студенческие конспекты лекций по квантовой механике, а также рекомендуемую учебную литературу (раздел 6 данной программы «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины»).

Данная литература, как основная, так и дополнительная, имеется в библиотеке ТГПУ в достаточном количестве экземпляров. При изучении отдельных вопросов и подготовке тем, предложенных к самостоятельному изучению, студенты могут использовать также предложенные и найденные самостоятельно Интернет-ресурсы.

При изучении теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, магистранты могут работать совместно, разбив материал на части для индивидуального сбора информации, а затем обмениваясь найденными сведениями. Следует приступать к работе сразу же после получения задания, иначе на неё не остаётся времени в период подготовки к экзамену.

Задания, полученные на лекциях, подобные уже разобранным задачам, являются обязательными и должны выполняться по ходу курса для закрепления пройденного. Невыполнение заданий учитывается при сдаче магистрантом экзамена: он получает дополнительные задачи того же типа, что были вынесены на самостоятельную работу. Большое количество дополнительных заданий затрудняет сдачу экзамена.

Для усвоения магистрантами материала преподаватель проводит промежуточные опросы, результаты которых учитываются на экзамене. Готовясь к ним, учащиеся должны регулярно изучать лекционный материал. Игнорирование промежуточных опросов приводит к неудовлетворительному баллу «контрольной точки» и трудностям в понимании текущих лекций.

Кроме того, от учащегося требуется умение проводить расчёты по изучаемому материалу, следовательно, он должен решать вместе с преподавателем на лекции предлагаемые задачи и обязательно выполнять однотипные задачи, предложенные для внеаудиторной работы, поскольку вопросы билетов по данному курсу включают задачи.

Для проверки своих знаний и тренировки можно использовать задания и вопросы для самостоятельной работы, приведённые в п. 8.2 и 8.3 данной Программы.

Наконец, нужно сказать, что от магистранта требуется более ясное понимание курса и умение самостоятельно разобраться в отдельных темах курса, чем от студента, поэтому на последних занятиях предусмотрены доклады магистрантов реферативного типа и их обсуждение. В данном случае, отвечая на вопросы товарищей, докладчик может проверить, насколько хорошо он разобрался в вопросе. А в другой раз он сам может выяснить детали темы, задавая вопросы другому докладчику. Этим достигается ясное понимание основных вопросов и умение самостоятельно проводить требуемые вычисления.

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

8.1. Тематика рефератов (докладов, эссе)

Темы докладов определяются, исходя из конкретного материала лекций и возможностей и желаний магистрантов. Обычно это последние темы курса. В данном случае для докладов магистрантов предложены темы из разделов «Системы тождественных частиц» и «Методы расчета атомных и молекулярных систем».

8.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы, в том числе групповой самостоятельной работы обучающихся:

1. Записать решение уравнения Шредингера для свободной частицы
2. Какой из операторов: $Af=af$ или $Bf=f^2$ является линейным?
3. Какой из операторов: $id^2/dx^2+d/dx$ или $d^2/dx^2-id/dx$ является эрмитовым?
4. Найти собственное значение оператора $d^2/dx^2-id/dx$, если собственная функция есть $f=exp(ikx)$
5. Вывести правило эрмитова сопряжения произведения операторов
6. Записать уравнение Шредингера для стационарных состояний
7. Записать выражение для плотности вероятности нормированной волновой функции N частиц
8. Найти собственные функции и собственные значения операторов проекции спина на оси x, y, z
9. Записать в декартовых координатах выражение для расчета среднего значения радиус-вектора электрона, описываемого волновой функцией ψ
10. Записать в декартовых координатах выражение для расчета среднего значения кинетической энергии электрона, описываемого волновой функцией ψ
11. Записать условия непрерывности волновой функции частицы, падающей на одномерный потенциальный барьер
12. Рассчитать нормирующий множитель волновой функции $A exp(-3/2 r)$ электрона в центральном поле
13. Рассчитать энергию кванта излучения при возвращении электрона с 3-го возбужденного состояния атома водорода в основное

14. Выразить повышающие и понижающие операторы a и a^+ через операторы координаты и импульса.
15. Найти коммутаторы операторов a и a^+ с оператором Гамильтона.
16. Зная действие повышающих и понижающих операторов на вектора состояний, а также связь оператора координаты с a и a^+ , найти среднее значение квадрата оператора координаты в любом состоянии
17. Какие значения могут принимать собственные значения z-проекции углового момента?
18. Вычислить коммутаторы компонент оператора импульса с компонентами оператора момента импульса. Результат записать одной формулой.
19. Получить в сферических координатах соотношение, связывающее квадрат оператора импульса с квадратом оператора момента импульса.
20. Вычислить коммутаторы различных компонент оператора момента импульса.
21. Вычислить коммутаторы и антикоммутаторы матриц Паули.
22. Рассчитать нормирующий множитель N для однодетерминантной функции

$$\varphi = N \begin{pmatrix} \psi_1(1) & \psi_1(2) \\ \psi_2(1) & \psi_2(2) \end{pmatrix} \quad \text{в базисе ортонормированных} \quad \psi_m(k) \quad \text{функций}$$

8.3. Вопросы для самопроверки, диалогов, обсуждений, дискуссий, экспертиз:

1. Основной принцип квантовой механики?
2. В чем состоит физический смысл волновой функции?
3. Дать определение Гильбертова пространства
4. Понятие оператора
5. Что означает полнота системы собственных функций оператора
6. Свойства собственных значений операторов физических величин
7. Как понимается степень оператора?
8. Записать соотношение неопределенности для двух произвольных операторов
9. Записать соотношение неопределенности для канонически сопряженных величин, привести примеры
10. Как действует на волновую функцию оператор инверсии?
11. Что такое «одномерный потенциальный ящик»?
12. Записать классический гамильтониан одномерного гармонического осциллятора.
13. Записать оператор Гамильтона одномерного гармонического осциллятора в терминах повышающих и понижающих операторов a и a^+ .
14. Являются ли операторы a и a^+ эрмитовыми?
15. Какова энергия основного состояния одномерного гармонического осциллятора?
16. Как выглядит оператор орбитального углового момента?
17. Другое название сферических гармоник.
18. Как выглядит гамильтониан атома водорода?
19. По каким квантовым числам имеет место вырождение в кулоновском поле?
20. Сохраняется ли орбитальный угловой момент для произвольной частицы?
21. Что такое «детерминант Слэтера»?
22. В какой модели используется «грубое приближение Борна-Оппенгеймера»?

8.4. Примеры тестов:

не предусмотрены учебным планом.

8.5. Перечень вопросов для промежуточной аттестации (экзамен):

1. Понятие состояния в квантовой механике. Принцип суперпозиции. Эксперимент с двумя щелями
2. Принцип суперпозиции. Эксперимент Штерна-Герлаха
3. Волновая функция, ее физический смысл. Уравнение Шредингера

4. Векторное пространство. Скалярное произведение. Полнота векторного пространства. Гильбертово пространство
5. Линейные операторы. Классы операторов. Коммутаторы
6. Собственные векторы и собственные значения операторов. Матричные элементы операторов
7. Наблюдаемые. Полные наборы наблюдаемых. Ожидаемое значение наблюдаемой
8. Примеры Гильбертовых пространств: конечномерное пространство
9. Примеры Гильбертовых пространств: пространство функций
10. Непрерывные наблюдаемые. Свойства и представления дельта-функции Дирака
11. Одномерные задачи квантовой механики. Одномерная свободная частица. Одномерный потенциальный ящик
12. Одномерные задачи квантовой механики. Одномерный потенциальный барьер
13. Квантовый гармонический осциллятор. Повышающие и понижающие операторы, оператор чисел заполнения
14. Квантовый линейный гармонический осциллятор. Повышающие и понижающие операторы a и a^+ . Основное состояние. Оператор чисел заполнения.
15. Матричные элементы a и a^+ . Волновые функции одномерного гармонического осциллятора
16. Сферически симметричный потенциал. Сферическая симметрия. Оператор орбитального углового момента как дифференциальный оператор
17. Алгебра коммутаторов углового момента
18. Собственные состояния операторов J^2 и J_z
19. Операторы J_+ и J_- и их матричные элементы
20. Энергетический спектр для трёхмерной частицы в сферически симметричном поле
21. Алгебра операторов J_+ и J_-
22. Сложение угловых моментов
23. Сферические координаты и сферические гармоники.
24. Радиальные волновые функции частицы в центральном поле
25. Радиальные волновые функции свободной частицы
26. Атом водорода. Симметрии. Энергетический спектр.
27. Радиальные волновые функции атома водорода
28. Операторы спина. Собственные функции и собственные значения операторов спина. Волновые функции для частиц со спином
29. Системы тождественных частиц. Принцип тождественности. Фермионы и бозоны
30. Система из двух частиц со спином $1/2$
31. Симметризация волновой функции. Обменное взаимодействие. Антисимметризация волновой функции
32. Одночастичные волновые функции. Детерминантный вид антисимметризованной волновой функции
33. Методы расчета атомных систем
34. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени
35. Теория возмущений. Случай двух близких уровней
36. Теория возмущений. Возмущения, зависящие от времени
37. Вариационный метод Ритца
38. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока
39. Метод Томаса-Ферми
40. Теория молекул в адиабатическом приближении

8.6. Темы для написания курсовой работы:

не предусмотрены учебным планом.

8.7. Формы контроля самостоятельной работы:

№п/п	Наименование раздела дисциплины	Средства текущего контроля
1	Предпосылки и принципы квантовой механики	Устный опрос
2	Математический аппарат квантовой механики	Проверка домашних работ. Выполнение учебных заданий в ходе практических занятий
3	Уравнение Шредингера для простейших одномерных задач	Проверка домашних работ. Выполнение вычислений в ходе практических занятий. Устный опрос
4	Теория оператора углового момента. Сложение моментов	Контрольная работа
5	Сферически симметричный потенциал	Проверка домашних работ. Выполнение учебных расчётов в ходе лекционных и практических занятий. Устный опрос
6	Системы тождественных частиц	Проверка домашних работ. Устный опрос. Проведение доказательств и вычислений в ходе лекционных занятий. Представление докладов
7	Методы расчета атомных и молекулярных систем	Проверка домашних работ. Проведение доказательств в ходе лекционных занятий. Представление докладов

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки: 03.04.02 Физика

Рабочая программа учебной дисциплины составлена: доцентом кафедры теоретической физики, кандидатом физ.-мат. наук

 Е. Н. Кирилловой

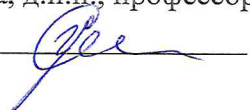
Рабочая программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики ТГПУ, протокол № 9 от «15» октября 2015 г.

Заведующий кафедрой теоретической физики, д. ф.-м.н., профессор

 И. Л. Бухбиндер

Рабочая программа учебной дисциплины одобрена УМК физико-математического факультета ТГПУ, протокол № 3 от «16» октября 2015 г.

Председатель УМК физико-математического факультета, д.п.н., профессор

 З. А. Скрипко