

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Квантовая механика

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Нанотехнология

Курс: 3, семестр : 5

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	5
2	Всего часов	180
3	Всего занятий в контактной форме, час.	128
4	Лекции, час.	72
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	18
10	Самостоятельная работа, час.	52
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №177 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 31.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.т.н. Краснопевцев Е. А.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий; в части следующих результатов обучения:
з18. Знать основные положения квантовой механики и статистической физики
у12. Владеть навыками оценки и возможных способов измерения квантовомеханических величин
у14. владеть навыками работы с математическим аппаратом квантовой механики
у16. Уметь использовать квантовомеханическую сущность процессов при изучении и исследовании работы элементов нано и микросистемной техники

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
---	---------------------------

Квантовая механика

ПК.1.з18 Знать основные положения квантовой механики и статистической физики	
1. Основные положения квантовой механики и статистической физики	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.у12 Владеть навыками оценки и возможных способов измерения квантовомеханических величин	
2. Решать уравнение Шредингера точными и приближенными методами	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.у14 владеть навыками работы с математическим аппаратом квантовой механики	
3. Математическое моделирование физических явлений и процессов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.у16 Уметь использовать квантовомеханическую сущность процессов при изучении и исследовании работы элементов нано и микросистемной техники	
4. Описывать явления и процессы в газах и твердых телах	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Полуклассическая квантовая механика				
1. Введение	0	4	1	Усвоение материала
Дидактическая единица: Математические основы квантовой механики				
2. Математические основы	0	8	2	Усвоение материала
Дидактическая единица: Одномерные стационарные задачи				
3. Одномерные стационарные задачи	0	12	1, 2	Усвоение материала
Дидактическая единица: Центральные- и осесимметричные движения				
4. Центральные- и осесимметричные движения	0	8	2, 3	Усвоение материала
Дидактическая единица: Теория возмущений и спин				

5. Теория возмущений и спин	0	10	2, 3	Усвоение материала
Дидактическая единица: Распределения квантового газа				
6. Распределения квантового газа	0	30	3, 4	Усвоение материала

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Полуклассическая квантовая механика				
1. Полуклассическая теория	2	2	1	Решение задач
Дидактическая единица: Математические основы квантовой механики				
2. Математические основы	4	4	1	Решение задач
Дидактическая единица: Одномерные стационарные задачи				
3. Одномерные стационарные задачи	8	8	2	решение задач
Дидактическая единица: Центральные- и осесимметричные движения				
4. Центральные- и осесимметричные движения	2	6	2	решение задач
Дидактическая единица: Теория возмущений и спин				
5. Теория возмущений и спин	0	4	3	задачи
Дидактическая единица: Распределения квантового газа				
6. Распределения квантового газа	2	12	3, 4	решение задач

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Контрольные работы	4	16	8
Индивидуальное задание: Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf				
2	РГЗ	2, 3	20	2
Индивидуальные задания: Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf				
3	Подготовка к занятиям	1, 2, 3	0	0
: Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf				
4	Подготовка к аттестации	1, 2, 3	16	8
Коллоквиум, экзамен: Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 5		
<i>Лекция:</i>	5	10
<i>Практические занятия:</i>	5	10
<i>Контрольные работы:</i>	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил., - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf "		
<i>РГЗ:</i>	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил., - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf "		
<i>Экзамен:</i>	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил., - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf "		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля		
		Контр. раб.	Защита РГЗ	Экзамен
ПК.1	з18. Знать основные положения квантовой механики и статистической физики		+	+
	y12. Владеть навыками оценки и возможных способов измерения квантовомеханических величин	+	+	+
	y14. владеть навыками работы с математическим аппаратом квантовой механики		+	+
	y16. Уметь использовать квантовомеханическую сущность процессов при изучении и исследовании работы элементов нано и микросистемной техники		+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Краснопевцев Е. А. Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем : [учебное пособие] / Е. А. Краснопевцев. - Новосибирск, 2014. - 385, [1] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213264
2. Краснопевцев Е. А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела : [учебное пособие] / Е. А. Краснопевцев. - Новосибирск, 2010. - 354 с. : ил. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/krasnopev.pdf>
3. Краснопевцев Е. А. Статистическая физика равновесных систем (в приложении к микро- и наносистемам) : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 274, [1] с. : графики. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/krasnopevcev.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

Дополнительная литература

1. Гридчин В. А. Спецглавы физики: задачи с примерами решений : учебное пособие / В. А. Гридчин, Р. П. Дикарева, Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 103 с. : ил. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2004/2004_gridchin.rar

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf>

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Office
- 2 Microsoft Windows

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	используется мультимедиа для проекции лекций на экран

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая механика

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Нанотехнология

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Квантовая механика приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.1/НИ способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	з18. Знать основные положения квантовой механики и статистической физики	Математические основы. Полуклассическая теория	Контрольные работы, РГЗ	Экзамен, вопросы 1-2
ПК.1/НИ	у12. Владеть навыками оценки и возможных способов измерения квантовомеханических величин	Одномерные стационарные задачи.	Контрольные работы, РГЗ	Экзамен, вопросы 3-5
ПК.1/НИ	у14. владеть навыками работы с математическим аппаратом квантовой механики	Теория возмущений	Контрольные работы, РГЗ	Экзамен, вопросы 6-7
ПК.1/НИ	у16. Уметь использовать квантовомеханическую сущность процессов при изучении и исследовании работы элементов нано и микросистемной техники	Распределения квантового газа	Контрольные работы, РГЗ	Экзамен, вопросы 8-10

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1/НИ.

Экзамен проводится в устной форме.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по дисциплине «Квантовая механика», 5 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Вопрос. Уравнение Шредингера для стационарного и нестационарного состояния. Краевые условия для прямоугольных потенциалов. Пример применения.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 2

к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Квазиклассическое квантование ВКБ. Туннельный эффект.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 3

к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Модель Кронига–Пенни кристаллической решетки.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 4

к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Уравнение Шредингера в сферической и цилиндрической системах координат. Примеры применения.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 5

к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Заряд в однородном магнитном поле. Уровни Ландау.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 6
к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Теория возмущений стационарных состояний невырожденного спектра.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 7
к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Теория зависящих от времени возмущений. Периодические возмущения

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 8
к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Электронный газ в металле и полупроводнике. Химический потенциал, внутренняя энергия.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 9
к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Фононный газ. Теплоемкость кристалла.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

Билет № 10
к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Конденсация Бозе–Эйнштейна.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 20 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 20-29 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 30-35 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 36-40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Квантовая механика»

1. Уравнение Шредингера для стационарного и нестационарного состояния. Краевые условия для прямоугольных потенциалов. Пример применения.
2. Квазиклассическое квантование ВКБ. Туннельный эффект.
3. Модель Кронига–Пенни кристаллической решетки.
4. Уравнение Шредингера в сферической и цилиндрической системах координат. Примеры применения.
5. Заряд в однородном магнитном поле. Уровни Ландау.
6. Теория возмущений стационарных состояний невырожденного спектра.
7. Теория зависящих от времени возмущений. Периодические возмущения.
8. Электронный газ в металле и полупроводнике. Химический потенциал, внутренняя энергия.
9. Фононный газ. Теплоемкость кристалла.
10. Конденсация Бозе–Эйнштейна.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Квантовая механика», 5 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам: 1. Одномерные стационарные системы; 2. Трехмерные системы, спин; 3. Статистическая физика фермионов и бозонов. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если задача не решена. Оценка составляет менее 10 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если решение не осмысленно. Оценка составляет 10-12 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если решение правильно и осмысленно. Оценка составляет 13-17 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если проведен анализ решений. Оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

1. Найти собственные функции и собственные значения оператора $\hat{A} = \frac{\hbar}{i} \frac{d}{dx} + 2\beta \hbar x$.
2. Доказать, что если $\hat{A}\psi_a = a\psi_a$, то $(\hat{A})^n \psi_a = a^n \psi_a$ и $f(\hat{A})\psi_a = f(a)\psi_a$, где $f(a)$ разлагается в ряд Маклорена.
3. Доказать, что для оператора радиального импульса $\hat{p}_r = \frac{\hbar}{i} \left(\frac{d}{dr} + \frac{1}{r} \right)$ собственные функции $\psi_{\pm p}(r) = \frac{c}{r} \exp\left(\pm \frac{i}{\hbar} pr\right)$.
4. Исследовать формы оператора кинетической энергии с переменной массой $\mu = \mu(x)$. Доказать неэрмитовость $\hat{A} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2}{dx^2}$ и эрмитовость

$$\hat{K} = -\frac{\hbar^2}{2} \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\mu} \frac{d}{dx} \right) \quad \text{и} \quad \hat{K}_1 = -\frac{\hbar^2}{4} \left\{ \mu^\alpha \frac{d}{dx} \mu^\beta \frac{d}{dx} \mu^\gamma + \mu^\gamma \frac{d}{dx} \mu^\beta \frac{d}{dx} \mu^\alpha \right\}, \quad \text{где} \\ \alpha + \beta + \gamma = -1.$$

5. Доказать эрмитовость оператора проекции момента импульса $\hat{L}_z = \frac{\hbar}{i} \frac{d}{d\varphi}$ в пространстве периодических функций $\psi_k(\varphi + 2\pi) = \psi_k(\varphi)$.

$$6. \text{ Доказать } \left(\frac{d}{dx} + \frac{a}{x} \right)^+ = \left(-\frac{d}{dx} + \frac{a^*}{x} \right), \quad \left(\frac{d}{dx} + \frac{a}{x} \right) \left(\frac{d}{dx} - \frac{a}{x} \right) = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{a(1-a)}{x^2}.$$

$$7. \text{ Доказать, что если } [\hat{n}_-, \hat{n}_+] = 1, \quad \text{то} \quad [\hat{n}_-, (\hat{n}_+)^m] = m (\hat{n}_+)^{m-1}, \\ [(\hat{n}_-)^m, \hat{n}_+] = m (\hat{n}_-)^{m-1}.$$

$$8. \text{ Доказать } \hat{p}_x x = x \hat{p}_x + \frac{\hbar}{i}, \quad [\hat{p}_x, x^n] = \frac{\hbar}{i} n x^{n-1}, \quad [\hat{p}_x^n, x] = \frac{\hbar}{i} n \hat{p}_x^{n-1},$$

$$[\hat{H}, x] = \frac{\hbar}{i\mu} \hat{p}_x.$$

$$9. \text{ Доказать } \left[\frac{d^2}{dx^2}, \frac{d}{dx} x \right] = 2 \frac{d^2}{dx^2}, \quad \left[\frac{d^2}{dx^2}, x \frac{d}{dx} \right] = 2 \frac{d^2}{dx^2}, \\ \left(\frac{1}{x} \frac{d}{dx} x \right)^2 = \frac{2}{x} \frac{d}{dx} + \frac{d^2}{dx^2}.$$

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Квантовая механика», 5 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны рассчитать параметры системы в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ объекта, выбрать параметры, обосновать метод решения, провести вычисления, понять физический смысл результата, оценить погрешность.

Обязательные структурные части РГЗ: Введение, расчетная часть, заключение.

Оцениваемые позиции: правильность выбора основных характеристик объекта, количественных вычислений, физических выводов.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, теоретическая модель не выбрана или не соответствуют современным требованиям, оценка составляет менее 10 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, теоретическая модель не соответствуют современным требованиям, оценка составляет 10-12 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны, но не оптимизированы, теоретическая модель выбрана без достаточного обоснования, оценка составляет 13-17 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, теоретическая модель обоснована, алгоритмы разработаны и оптимизированы, оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

1. Доказать, что для одномерной частицы с энергией $\varepsilon = a |p|^n$ на отрезке длиной L

$$\text{плотность состояний } g(\varepsilon, n) = \frac{N_S}{h} \frac{2L}{na^{1/n}} \varepsilon^{(1-n)/n}.$$

2. Доказать, что для двухмерной частицы с энергией $\varepsilon = a |p|^n$ на площади S плотность

$$\text{состояний } g(\varepsilon, n) = \frac{N_S}{h^2} \frac{2\pi S}{na^{2/n}} \varepsilon^{(2-n)/n}.$$

3. Доказать, что для трехмерной частицы с энергией $\varepsilon = a |p|^n$ в объеме V плотность состояний $g(\varepsilon, n) = \frac{N_S}{h^3} \frac{4\pi V}{na^{3/n}} \varepsilon^{(3-n)/n}$.

4. Доказать, что для двухмерной частицы с энергией $\varepsilon = p^2 / 2m + u(\mathbf{r})$, где $u(\mathbf{r}) = q_1 |x|^a + q_2 |y|^b$, плотность состояний $g(\varepsilon, a, b) = \frac{8\pi N_S m}{h^2 q_1^{1/a} q_2^{1/b}} \frac{\Gamma(1/a) \Gamma(1/b)}{ab \Gamma(1+\eta)} \varepsilon^\eta$, где $\eta = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$.

5. В одномерной цепочке из N атомов, находящихся на расстоянии d друг от друга, энергия, частота и импульс фонона связаны соотношением $\varepsilon = \hbar\omega = v p$, где v – скорость продольной акустической волны. Доказать, что частотная плотность состояний $g = Nd / (\pi v)$ и частота Дебая $\omega_D = \pi v / d$.

6. В двухмерной решетке площадью S , содержащей N атомов, энергия, частота и импульс фонона связаны соотношением $\varepsilon = \hbar\omega = v_i p_i$, где $i = 1, 2$ – продольная, поперечная поляризации. Доказать, что плотность состояний $g(\omega) = S\omega / (\pi v^2)$, где $v^{-2} \equiv (v_1^{-2} + v_2^{-2}) / 2$, и частота Дебая $\omega_D = 2v\sqrt{\pi N / S}$.

7. Газ состоит из линейных гармонических осцилляторов с частотой ω при температуре T . Используя каноническое распределение доказать, что среднее число квантов энергии

$$\bar{n} \equiv \sum_n n w_n = \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}. \text{ Учесть } \varepsilon_n = \hbar\omega(n + 1/2), g_n = 1, n = 0, 1, 2, \dots$$

8. Газ состоит из линейных гармонических осцилляторов с частотой ω при температуре T . Используя каноническое распределение, для среднего квадратичного импульса доказать

$$\overline{p^2} \equiv \sum_n \overline{(p^2)_n} w_n = \frac{1}{2} \hbar\omega m \frac{e^a + 1}{e^a - 1}, \text{ где } a = \frac{\hbar\omega}{kT}. \text{ Учесть } \overline{(p^2)_n} = \hbar\omega m(n + 1/2),$$

$$\varepsilon_n = \hbar\omega(n + 1/2), g_n = 1, n = 0, 1, 2, \dots$$

9. Газ состоит из линейных гармонических осцилляторов с частотой ω при температуре T . Используя каноническое распределение, для среднего квадратичного смещения осциллятора доказать

$$\overline{x^2} \equiv \sum_n \overline{(x^2)_n} w_n = \frac{1}{2} x_0^2 \frac{e^a + 1}{e^a - 1}, \text{ где } x_0^2 = \frac{\hbar}{m\omega}, a = \frac{\hbar\omega}{kT}. \text{ Учесть } \overline{(x^2)_n} = x_0^2(n + 1/2), \varepsilon_n = \hbar\omega(n + 1/2), g_n = 1, n = 0, 1, 2, \dots$$