

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено на заседании

Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ

Протокол от 24.04.2023 № 23.4

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

Теоретическая физика

*название дисциплины*

для направления подготовки

14.03.02 Ядерные физика и технологии

*код и направления подготовки*

образовательная программа

Инновационные ядерные технологии

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

## **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Теоретическая физика» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

## 1.1. В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<i>Код компетенций</i>	<i>Наименование компетенции</i>	<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i>
ПК-3	Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций	З-ПК-3 Знать: основные физические законы и методы обработки данных У-ПК-3 Уметь: работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций В-ПК-3 Владеть: навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией.

## 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

## 1.3. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущая аттестация, 6 семестр</b>			
1.	1.1. Формализм квантовой механики	З-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР1
2.	1.2. Квантовые системы в одном измерении		

3.	1.3. Движение в центральном поле	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР2
4.	1.4. Теория возмущений в квантовой механике		
5.	1.5. Спин		
6.	1.6. Тожественные частицы в квантовой механике		
<b>Промежуточная аттестация, 6 семестр</b>			
	Экзамен	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Экзаменационный билет
<b>Текущая аттестация, 7 семестр</b>			
1.	2.1. Начала термодинамики	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР3
2.	2.2. Методы термодинамики		
3.	2.3. Статистические распределения	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР4
4.	2.4. Квантовая статистика		
5.	2.5. Статистическая теория идеальных систем		
<b>Промежуточная аттестация, 7 семестр</b>			
	Экзамен	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Экзаменационный билет

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
<b>Высокий</b> <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
<b>Продвинутый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
<b>Пороговый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно /Зачтено
<b>Ниже порогового</b>	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Незачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	<b>высокий</b>	<b>высокий</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	<b>продвинутый</b>	<b>продвинутый</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	<b>пороговый</b>	<b>пороговый</b>
ниже порогового	<b>пороговый</b>	<b>ниже порогового</b>
	<b>ниже порогового</b>	-

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

– Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

– Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

– Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

– Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

○ контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.

○ контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

– Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

#### 6 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
Текущая аттестация	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
Контрольная точка № 1	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР1	8	18	30
Контрольная точка № 2	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР2	15	18	30

<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

#### 7 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР3	8	18	30
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР4	15	18	30
<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

**4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

## Форма экзаменационного билета

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

### Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

## ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Направление **14.03.02 «Ядерные физика и технологии»**

подготовки

Образовательная **«Инновационные ядерные технологии»**

программа

Дисциплина **Теоретическая физика**

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №\_\_

1. Вопрос для проверки уровня обученности **ЗНАТЬ**

.....

2. Вопрос для проверки уровня обученности **УМЕТЬ и ВЛАДЕТЬ**

.....

Составитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

**В.Л. Шаблов**

Начальник отделения

\_\_\_\_\_

(подпись)

**Д.С. Самохин**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.



### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление **14.03.02 «Ядерные физика и технологии»**

подготовки

Образовательная **«Инновационные ядерные технологии»**

программа

Дисциплина **Теоретическая физика**

**ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

**6 семестр**

1. Наблюдаемые в квантовой механике. Операторы наблюдаемых. Измерение физических величин в квантовой механике.
2. Эволюция квантовой системы. Уравнение Шредингера. Построение гамильтониана квантовой системы по принципу соответствия.
3. Уравнения движения в квантовой механике. Сохраняющиеся величины в квантовой механике.
4. Уравнения Эренфеста.
5. Измерения в квантовой механике. Совместные и несовместные наблюдаемые.
6. Обобщенное соотношение неопределенностей. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
7. Вероятностная интерпретация волновой функции. Квантовомеханический поток. Квантовомеханическое уравнение непрерывности.
8. Уравнение Шредингера. Стационарное и нестационарное уравнения Шредингера.
9. Квантовые системы в одном измерении. Барьеры. Коэффициенты отражения и прохождения.
10. Туннельный эффект.
11. Одномерный квантовый гармонический осциллятор.
12. Движение в центральном поле. Момент импульса квантовой частицы. Свойства операторов квадрата момента и его компонент.
13. Сферические гармоники и их свойства.
14. Движение в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Граничные условия для решений радиального уравнения.
15. Стационарная теория возмущений. Возмущение невырожденного уровня.
16. Спин. Оператор спина.
17. Сложение спинов. Коэффициенты векторного сложения.
18. Тожественные частицы в квантовой механике. Постулат симметризации. Фермионы и бозоны.
19. Определитель Слэтера.
20. Постулаты квантовой механики.

## 7 семестр

1. Термодинамическая система. Макроскопические и микроскопические параметры. Первоначальные представления о средних по времени и средних по ансамблю. Требования к термодинамическим системам.
2. Термодинамическое равновесие. «Нулевой» закон термодинамики. Термодинамическая транзитивность. Эмпирическая температура. Газовый термометр.
3. Задание термодинамической системы и ее состояния. Адиабатически изолированная система. Система в термостате. Система с воображаемыми стенками. Система под поршнем. Несущественность граничных условий. «Внешние» и «внутренние» параметры.
4. Реакция системы на внешнее воздействие. Процессы. Квазистатические (равновесные) процессы. Работа. Примеры – работа идеального газа. Принцип максимальной работы. Теплота. Принцип максимального поглощения теплоты.
5. Первое начало термодинамики. Однозначность внутренней энергии. Преобразование механической работы в теплоту и теплоты в механическую работу. Теплоемкости и скрытые теплоты. Калорическое уравнение состояния.
6. Циклические процессы. Цикл Карно. Работа в циклическом процессе. Тепловая машина. Холодильная машина. Коэффициент полезного действия цикла Карно. Теоремы Карно.
7. Второе начало термодинамики, его различные формулировки для равновесной термодинамической системы, их эквивалентность.
8. Третье начало термодинамики. Поведение калорических величин вблизи абсолютного нуля. Недостижимость абсолютного нуля.
9. Вычисление энтропии идеального газа. Выражение для химического потенциала, теплоемкости процессов, теплового эффекта.
10. Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы - характеристические функции. Энергия, свободная энергия, энтальпия, потенциал Гиббса, большой термодинамический потенциал. Энтропия как термодинамический потенциал.
11. Получение уравнений состояния из термодинамических потенциалов. Аддитивные свойства термодинамических потенциалов. Проблемы перевода одних переменных в другие.
12. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Фазовые переходы  $\lambda$ -типа.
13. Представление чисел заполнения. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.
14. Микроканоническое распределение Гиббса. Эргодическая гипотеза.
15. Связь статистического веса с термодинамическими характеристиками равновесной системы. Асимптотика статистического веса.
16. Каноническое распределение Гиббса. Связь с термодинамическим описанием системы.
17. Большое каноническое распределение Гиббса.
18. Статистическая сумма и статистический вес.
19. Распределение Максвелла и распределение Больцмана.
20. Каноническое распределение по микросостояниям и распределение по энергиям.
21. Статистический интеграл для идеального классического газа.
22. Каноническая и большая каноническая статсуммы в представлении чисел заполнения.
23. Принцип тождественности частиц и числа заполнения Бозе-систем и Ферми-систем.

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки **14.03.02 «Ядерная физика и технологии»**

Образовательная программа **«Инновационные ядерные технологии»**

Дисциплина **Теоретическая физика**

**Комплект заданий для контрольной работы**

**Раздел «Квантовая механика»**

**Контрольная работа №1 (6 семестр)**

**Вариант 1.**

1. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найти ширину ямы, если разность энергий уровней с  $n_2=3$  и  $n_1=2$  составляет  $\Delta E = 0,3 \text{ эВ}$ . Масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 0,511 \cdot \text{МэВ}/c^2$ ,  $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ,  $c = 0,659 \cdot 10^{15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$ ,  $\hbar c = 197,3 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$ .
2. В условиях предыдущей задачи найти для указанных уровней средние значения координаты и импульса. Считать, что яма расположена симметрично относительно начала координат, т.е.  $V(x) = V(-x)$ .
3. При каких энергиях электрона коэффициент надбарьерного отражения от прямоугольного потенциального барьера высотой  $10 \text{ эВ}$  и шириной  $1 \text{ нм}$  равен 0?

**Вариант 2.**

1. Электрон находится в прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Энергия первого возбужденного состояния равна  $0,4 \text{ эВ}$ . Чему равна энергия второго возбужденного состояния? Чему равна ширина ямы? Масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 0,511 \text{ МэВ}/c^2$ ,  $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ,  $c = 0,659 \cdot 10^{15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$ ,  $\hbar c = 197,3 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$ .
2. Частица находится в состоянии  $\psi(x) = N \exp(-\frac{x^2}{a^2} + ikx)$ , где  $a$  и  $k$  – заданные постоянные. Чему равны средние значения координаты, импульса и кинетической энергии в этом состоянии?

3.Какая доля электронов с энергией 1 эВ пройдет через прямоугольный потенциальный барьер высотой 8 эВ и шириной 0,5 Нм?

### Контрольная работа №2 (6 семестр)

#### Вариант 1.

1.Найдите уровни энергии и волновые функции трехмерного гармонического осциллятора, гамильтониан которого имеет вид  $\hat{H} = \hat{H}_x + \hat{H}_y + H_z$ , где  $\hat{H}_x = \frac{\hat{P}_x^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$ , аналогично для  $\hat{H}_y$  и  $H_z$ . Какова кратность вырождения второго возбужденного состояния?

Указание: воспользуйтесь методом разделения переменных.

2. Как изменится энергия основного состояния атома водорода при включении дополнительного малого взаимодействия между протоном и электроном вида  $W(r) = -\frac{\alpha e^2}{r}$ ? Получите ответ двумя способами: путем точного решения и по теории возмущений.

3. Чему равно наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $2p$ ? Заряд ядра  $Z$ . Система предполагается водородоподобной.

#### Вариант 2.

1.Как изменится энергия основного состояния атома водорода при включении дополнительного малого взаимодействия между протоном и электроном вида  $W(r) = kr^2$ ?

2.Чему равно наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $2s$ ? Заряд ядра  $Z$ . Система предполагается водородоподобной.

3. Найдите уровни энергии и волновые функции двухмерного гармонического осциллятора, гамильтониан которого имеет вид  $\hat{H} = \hat{H}_x + \hat{H}_y$ , где  $\hat{H}_x = \frac{\hat{P}_x^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$ , аналогично для  $\hat{H}_y$ .

Какова кратность вырождения первого возбужденного состояния?

Указание: воспользуйтесь методом разделения переменных.

### Раздел «Статистическая физика» Контрольная работа №3 (7 семестр)

1. Вычислить свободную энергию  $F$ , энтропию  $S$  и энтальпию  $H$  для одного литра гелия при температуре 1500К и давлении 1 мбар.

Ответ:  $F = -2,46$  Дж,  $S = 0,0017$  Дж/К,  $H = 0,25$  Дж.

2. Два одинаковых теплоизолированных сосуда, соединенные краном с трубкой, содержат по одному молю одного и того же газа. Температура газа в одном сосуде  $T_1$ , в другом  $T_2$ . Молярная теплоемкость газа  $C_v$  известна. После открывания крана газ пришел в новое состояние равновесия. Чему равно приращение энтропии газа?

Ответ:  $S_2 - S_1 = C_v \ln(T_1 + T_2)^2 / 4T_1 T_2 > 0$ .

3. Чему равен к.п.д. цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление изменяется в  $n$  раз. Рабочее вещество - идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$ .

### Контрольная работа №4 (7 семестр)

1. Найти функцию распределения молекул идеального газа по кинетическим энергиям и наиболее вероятное значение кинетической энергии молекулы.

Ответ:  $f(E) = A E^{1/2} \exp(-E/kT)$ ,  $E_{\text{вер.}} = kT/2$ .

2. Гелий находится в очень высоком сосуде в однородном поле силы тяжести при температуре  $T$ . Температуру увеличили в  $n$  раз. На какой высоте  $h$  концентрация молекул не изменится?

Ответ:  $h = (kT/mg) n \ln n / (n-1)$ .

3. Найти массу моля коллоидных частиц, если при вращении центрифуги с угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикальной оси концентрация этих частиц на расстоянии  $r_1$  от оси вращения в  $n$  раз больше, чем на расстоянии  $r_2$ . Плотности частиц и растворителя равны  $\rho$  и  $\rho_0$  соответственно.

Ответ:  $M = 2RT \rho \ln n / (\rho - \rho_0)(r_1^2 - r_2^2) \omega^2$ .

#### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично с 26 до 30 баллов	- задания контрольной работы выполнены более чем на 80%; - продемонстрировано уверенное знание теоретических положений; - допустимо наличие в решениях несущественных неточностей.
Хорошо с 22 до 25 баллов	- задания контрольной работы выполнены более чем на 2/3; - продемонстрированы прочные знания учебного материала; - решения содержат определенные (несущественные) неточности.
Удовлетворительно с 18 до 21 баллов	- задания контрольной работы выполнены более чем на 50%; - знание учебного материала - посредственное.
Неудовлетворительно с 0 до 18 баллов	- решено менее 50% заданий; - в решении задач имеются существенные ошибки; - продемонстрировано незнание значительной части учебного материала.