

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»  
(НГТУ)**

**Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики  
им. академика Ф.М. Митенкова**

Выпускающая кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки»

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор института  
Хробостов А.Е.  
«01» июня 2020 г.



**Оценочные материалы по дисциплине  
«Квантовая механика и статистическая физика»  
ОП ВО**

**по специальности: 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы  
Направленность (специализация): Ядерные реакторы**

**Квалификация выпускника: инженер-физик**

**Очная форма обучения**

г. Нижний Новгород  
2020 г

**Описание шкал оценивания на этапах промежуточной аттестации по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика»**

Таблица 1. – Этап промежуточной аттестации

	Критерии (критерии пишутся с учетом таблицы 7.2, в зависимости от конкретного критерия подготовки)
Неудовлетворительно	Не способен излагать материал последовательно, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания. Не способен продолжить обучение без дополнительных занятий.
Удовлетворительно	Способен применить знания только основного материала, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки. Допускает нарушения логической последовательности в изложении программного материала. Имеются затруднения с выводами. Способен к решению конкретных практических задач из числа предусмотренных рабочей программой
хорошо	Способен логично мыслить, системно излагать материал, излагает его, не допуская существенных неточностей. Способен эффективно применять теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Допускает единичные ошибки в решении проблем.
отлично	Свободно и уверенно оперирует предоставленной информацией, отлично владеет навыками анализа и синтеза информации, знает все основные методы решения проблем, предусмотренные учебной программой, знает типичные ошибки и возможные сложности при решении той или иной проблемы и способен выбрать и эффективно применить адекватный метод решения конкретной проблемы. Способен легко ориентироваться при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Таблица 2. – Шкала оценивания для зачета.

	зачет производится по результатам освоения лекционного курса, лабораторного практикума и практических занятий на физическом практикуме
Не зачтено	Не выполнен учебный план лабораторного практикума
зачтено	Учебные планы лабораторного практикума выполнены в полном объеме с минимальной оценкой «удовлетворительно» по одному из них

Вопросы к зачету по курсу «Квантовая механика и статистическая физика»

1. Понятие функции распределения в фазовом пространстве и ее свойства.
2. Эргодическая гипотеза.
3. Большой канонический ансамбль. Большое каноническое распределение Гиббса.
4. Условие нормировки для большого канонического распределения Гиббса.
5. Канонический ансамбль. Каноническое распределение Гиббса.
6. Условие нормировки для канонического распределения Гиббса.
7. Микроканонический ансамбль. Постулат о равновероятности микросостояний.
8. Микроканоническое распределение Гиббса. Смысл величины  $\Omega(E)$  в микроканоническом распределении.
9. Распределение Максвелла (уметь переходить от одной формы распределения к другой).
10. Распределение Больцмана.
11. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.
12. Средняя энергия классического осциллятора (находящегося в тепловом равновесии с термостатом).
13. Абсолютно черное тело. Формула Рэлея-Джинса.
14. Понятие о волновой функции. Вид операторов координаты, импульса и полной энергии (Гамильтона).
15. Стационарное уравнение Шредингера.
16. Соотношение неопределенностей.
17. Средняя энергия квантового осциллятора (находящегося в тепловом равновесии с термостатом).
18. Теплоемкость твердого тела (графическая зависимость). Закон Дюлонга-Пти.
19. Понятие о бозонах и фермионах.
20. Принцип Паули.
21. Распределение Бозе-Эйнштейна.
22. Формула Планка.
23. Распределение Ферми-Дирака. Нарисовать зависимость среднего числа частиц от энергии при  $T = 0$  и при  $T \ll T_F$
24. Понятие вырожденного бозе- и ферми-газа.
25. Бозе-конденсация.



Примеры тестовых заданий на зачете.

1. Микроканоническое распределение Гиббса. Смысл величины  $\Omega(E)$  в микроканоническом распределении.
2. Распределение Максвелла по скоростям имеет вид 
$$f(\vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi T}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2T}\right).$$
 Записать функцию распределения по модулю скорости.
3. Принцип Паули.
4. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.

1. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.
2. Распределение Максвелла по скоростям имеет вид 
$$f(\vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi T}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2T}\right).$$
 Записать функцию распределения по импульсу.
3. Теплоемкость твердого тела (графическая зависимость). Закон Дюлонга-Пти.
4. Формула Планка.

1. Распределение Максвелла. Распределение Максвелла по скоростям имеет вид 
$$f(\vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi T}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2T}\right).$$
 Записать функцию распределения по энергии.
2. Средняя энергия классического осциллятора.
3. Распределение Ферми-Дирака. Нарисовать зависимость среднего числа частиц от энергии при  $T = 0$  и при  $T \ll T_F$ .
4. Понятие вырожденного бозе- и ферми-газа.

1. Записать функцию Гамильтона и уравнения Гамильтона-Якоби для идеального газа из  $N$  частиц в объеме  $V$ .
2. Большой канонический ансамбль. Большое каноническое распределение Гиббса.
3. Понятие о волновой функции. Вид операторов координаты, импульса и полной энергии (Гамильтона).
4. Распределение Бозе-Эйнштейна.

1. Записать функцию Гамильтона и уравнения Гамильтона-Якоби для осциллятора.
2. Условие нормировки для большого канонического распределения Гиббса.
3. Стационарное уравнение Шредингера.
4. Бозе-конденсация.

1. Записать функцию Гамильтона и уравнения Гамильтона-Якоби для двух невзаимодействующих частиц в поле силы тяжести.
2. Канонический ансамбль. Каноническое распределение Гиббса.
3. Распределение Больцмана.
4. Средняя энергия квантового осциллятора, взаимодействующего с термостатом.

1. Понятие функции распределения в фазовом пространстве и ее свойства.
2. Условие нормировки для канонического распределения Гиббса.
3. Соотношение неопределенностей.
4. Абсолютно черное тело. Формула Рэлея-Джинса.

Задачи к зачету. Курс «Квантовая механика и статистическая физика»

#### Тема 1. Статистическая механика

1. Нарисовать фазовые траектории для свободной мат. точки, для одномерного гармонического осциллятора
2. Используя формулу Стирлинга показать, что при  $N \gg 1$  выражение для  $N!$  можно записать в виде  $N! \approx N^N e^{-N}$
3. Записать и решить уравнения Гамильтона для гармонического осциллятора, задав произвольные начальные условия.
4. Изобразить фазовые траектории для частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками.
5. Записать уравнение Лиувилля, используя скобку Пуассона (стр. 17, №1)
6. В закрытом сосуде объема  $V$  в отсутствие силовых полей находится  $N$  молекул идеального газа. Оценить среднее число молекул в малой части объема  $V_1$ . Домашние задачи

7. Показать, что для статистически независимых случайных величин среднее значение их произведения равно произведению их средних значений
8. В закрытом сосуде объема  $V$  в отсутствие силовых полей находится  $N$  молекул идеального газа. Оценить среднеквадратичную флуктуацию числа молекул в малой части объема  $V_1$
9. Воспользовавшись условиями равновесия фаз при фазовых переходах, вывести уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Удельную теплоту парообразования считать независимой от температуры, удельным объемом жидкости пренебречь по сравнению с удельным объемом пара.
10. Показать, что теплоемкость при постоянном давлении в случае системы с постоянным числом части можно найти по формуле

$$c_p = - \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

11. Показать, что энтальпия  $H$  удовлетворяет соотношению
 
$$\left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T = V - T \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$$
12. Используя уравнение Клапейрона-Клаузиуса, найти зависимость давления насыщенного пара от температуры. Оценить удельную скрытую теплоту перехода.
13. Для идеального газа с концентрацией  $n$  и массой молекулы  $m$ , находящегося при температуре  $T$ , рассчитать число ударов молекулы об единичную площадку стенки сосуда в единицу времени
14. Оценить высоту однородной атмосферы.
15. Вычислить среднее значение модуля скорости идеального одноатомного газа
16. Вывести зависимость поляризации полярных диэлектриков от температуры
17. Получить выражение для радиуса Дебая.
18. Вычислить число микросостояний и записать микроканоническое распределение Гиббса для идеального газа, состоящего из  $N$  частиц имеющего энергию  $E$  и занимающего объем  $V$ .
19. Используя микроканоническое распределение Гиббса, получить формулу для канонического распределения для подсистемы, находящейся в тепловом контакте с термостатом.
20. Найти фазовый объем, занимаемый двумя невзаимодействующими частицами одинаковой массы  $m$ , движущимися прямолинейно вдоль отрезка длины  $l$ . Энергия всей системы равна  $E$ .

20. Вычислить число микросостояний и записать микроканоническое распределение Гиббса для изолированной системы, состоящей из  $N$  независимых тождественных гармонических осцилляторов (масса осциллятора равна  $m$ , собственная частота  $\omega_0$ , энергия всей системы  $E$ )
21. Вывести формулу Сакура-Тетроде для идеального одноатомного газа из формулы Больцмана
22. Вычислить термодинамические величины равновесного излучения абсолютно черного тела

## Тема 2.. Элементы квантовой механики

23. Проверить эрмитовость операторов координаты, проекций импульса и импульса, кинетической энергии и гамильтониана
24. Найти волновую функцию электрона, который может двигаться вдоль оси  $X$  на интервале от 0 до  $l$ . Вычислить число состояний этого электрона, приходящихся на интервал энергии от  $E$  до  $E + dE$
25. Найти нормировочный множитель для собственных функций оператора импульса в бесконечном пространстве
26. Доказать, что собственные функции эрмитовского оператора, соответствующие различным собственным значениям, ортогональны.
27. Проверить эрмитовость операторов кинетической энергии и гамильтониана
28. Найти волновую функцию электрона в ограниченной части пространства (в кубе со сторонами  $L_x$ ,  $L_y$  и  $L_z$ ) Вычислить число состояний этого электрона, приходящихся на интервал энергии от  $E$  до  $E + dE$

## Тема 3. Основа квантовой статистики

29. Используя уравнение Шредингера, показать, что
 
$$i\hbar \frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\rho H - H \rho)$$
 (теорема Лиувилля в квантовой статистике)
30. Получить зависимость для объемной энергии равновесного теплового излучения
  - а.  $u = \frac{\bar{E}}{V} = aT^4$
31. Вывести закон смещения Вина
32. Вывести формулу распределения Бозе-Эйнштейна
33. Вывести формулу распределения Ферми-Дирака