

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Наумова Наталия Александровна

Должность: Ректор

Дата подписания: 24.10.2024 14:21:41

Уникальный программный ключ:

6b5279da4e034bff679172803da587b559fe69e2

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологии  
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДЕН

на заседании кафедры

Протокол от «25» мая 2023 г., №13

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ [Холина С.А.]

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю)

Статистическая физика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Профиль: Теоретическая и математическая физика

Мытищи  
2023

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                         |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1.Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.....                                                                                                            | 3 |
| 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....                                                                                           | 3 |
| 3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы..... | 5 |
| 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....                                                    | 9 |

# 1.Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы<sup>1</sup>

| Код и наименование компетенции                                                                                                                  | Этапы формирования                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. | 1.Работа на учебных занятиях<br>2.Самостоятельная работа |

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

| Оцениваемые компетенции | Уровень сформированности | Этапы формирования                                       | Описание показателей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Критерии оценивания                                              | Шкала оценивания                                                                             |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1                   | Пороговый                | 1.Работа на учебных занятиях<br>2.Самостоятельная работа | Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.<br>Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов статистической физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.                                                                                                   | доклад, решение задач, домашнее задание                          | Шкала оценивания доклада, шкала оценивания решения задач, шкала оценивания домашнего задания |
|                         | Продвинутый              | 1.Работа на учебных занятиях<br>2.Самостоятельная работа | Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.<br>Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов статистической физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.<br>Владеть: методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных | доклад, решение задач, домашнее задание, практическая подготовка | Шкала оценивания доклада, шкала оценивания решения задач, шкала оценивания домашнего задания |

<sup>1</sup> Указывается информация в соответствии с утвержденной РПД

<sup>2</sup> Указывается информация в соответствии с утвержденной РПД

|  |  |  |                                                                                                                                                                 |  |  |
|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  |  | разделов статистической физики для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей. |  |  |
|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

## Описание шкал оценивания

### Шкала оценивания практической подготовки

| Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Баллы |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. практическое задание выполнено в установленный срок с использованием рекомендаций преподавателя;<br>2. показан высокий уровень знания изученного материала по заданной теме,<br>3. умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие практико-ориентированные выводы;<br>4. работа выполнена без ошибок и недочетов или допущено не более одного недочета. | 8-10  |
| 1. практическое задание выполнено в установленный срок с использованием рекомендаций преподавателя;<br>2. показан хороший уровень владения изученным материалом по заданной теме,<br>3. работа выполнена полностью, но допущено в ней:<br>а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета<br>б) или не более двух недочетов.                                      | 5-7   |
| 1. практическое задание выполнено в установленный срок с частичным использованием рекомендаций преподавателя;<br>2. продемонстрированы минимальные знания по основным темам изученного материала.                                                                                                                                                                     | 2-4   |
| 1. число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «удовлетворительно» или если правильно выполнено менее половины задания;<br>2. если обучающийся не приступал к выполнению задания или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.                                                                                  | 0-1   |

### Шкала и критерии оценивания написания доклада

| Уровни оценивания           | Критерии оценивания                                     | Баллы |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| <i>Высокий (отлично)</i>    | Если студент отобразил в докладе 71-90% выбранной темы. | 8-10  |
| <i>Оптимальный (хорошо)</i> | Если студент отобразил в докладе 51-70% выбранной темы  | 5-7   |
| <i>Удовлетворительный</i>   | Если студент отобразил в докладе 31-50% выбранной темы  | 2-4   |
| <i>Неудовлетворительный</i> | Если студент отобразил в докладе 0-30% выбранной темы   | 0-1   |

### Шкала и критерии оценивания решения задач

| Уровни оценивания           | Критерии оценивания                     | Баллы |
|-----------------------------|-----------------------------------------|-------|
| <i>Высокий (отлично)</i>    | Если студент решил 71-90% от всех задач | 8-10  |
| <i>Оптимальный (хорошо)</i> | Если студент решил 51-70% от всех задач | 5-7   |
| <i>Удовлетворительный</i>   | Если студент решил 31-50% от всех задач | 2-4   |
| <i>Неудовлетворительный</i> | Если студент решил 0-30% от всех задач  | 0-1   |

### Шкала и критерии оценивания домашних работ

| Уровни оценивания           | Критерии оценивания                              | Баллы |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|-------|
| <i>Высокий (отлично)</i>    | Если студент решил 71-90% от всех домашних работ | 8-10  |
| <i>Оптимальный (хорошо)</i> | Если студент решил 51-70% от всех домашних работ | 5-7   |
| <i>Удовлетворительный</i>   | Если студент решил 31-50% от всех домашних работ | 2-4   |
| <i>Неудовлетворительный</i> | Если студент решил 0-30% от всех домашних работ  | 0-1   |

3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### Текущий контроль

ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на пороговом уровне

Перечень примерных домашних заданий по дисциплине

1. Частица массы  $m = 1$  движется в потенциале  $V(x) = x^4 - x^2$ . Найти точки равновесия системы ( $\dot{p} = \dot{x} = 0$ ) и исследовать вид фазовых траекторий в окрестности этих точек. Изобразить графически потенциал и фазовые траектории системы.

2. Две одинаковые частицы совершают одномерное движение в «ящике» длиной  $L$ , испытывая абсолютно упругие соударения друг с другом и со стенками. Пусть в начальный момент времени частицы расположены у противоположных стенок, а скорости их  $v_1$  и  $v_2$  направлены навстречу друг другу. Нарисовать фазовую траекторию одной из частиц для нескольких значений отношения  $v_1/v_2$  (1;2;3;...).

3. Для частицы с массой  $m$ , двигающейся в кубе с ребром  $L$ , испытывая упругие соударения на стенках, найти число квантово-механических состояний с энергиями, меньшими  $E$ , и сравнить его с соответствующим объёмом фазового пространства. Показать, что последний является адиабатическим инвариантом, т.е. не меняется при медленном расширении или сжатии куба.

4. Какова вероятность того, что при случайном измерении положения частицы, совершающей гармонические колебания по закону  $x = x_0 \cdot \cos(\omega t)$ , положение частицы окажется в интервале  $(x, x + dx)$ ? Вычислить  $\langle x^2 \rangle$ .

5. В каждом из  $N_0$  узлов решётки может находиться либо 0, либо 1 атом. Пусть  $N$  атомов случайно распределены по узлам. Найти число расположений  $g(N_0, N)$  атомов по узлам, вероятность  $p(R, n)$  того, что в  $R$  узлах решётки адсорбировано  $n$  атомов, среднее значение  $\langle n \rangle$  и среднее значение  $\langle (\Delta n)^2 \rangle$ , где  $\Delta n = n - \langle n \rangle$ . Убедиться, что при  $n$  малых  $p(R, n)$  переходит в распределение Пуассона.

6. Частица, находящаяся в исходный момент в начале координат, делает в следующий момент скачок на единицу либо вправо, либо влево с одинаковой вероятностью. Определить вероятность  $p_n(l)$  того, что через  $n$  шагов частица окажется в точке  $l$  одномерной решётки. Рассмотреть предельный случай больших  $n$ . Полагая средний интервал времени между скачками равным  $t_0$ , переписать результат в виде вероятности попадания частицы в точку  $x$  через время  $t = nt_0$ . Обобщить результаты на случай блуждания по двумерной квадратной и трёхмерной кубической решёткам.

7. Полимерная цепочка состоит из  $N$  элементов длины  $\rho$ , каждый из которых может быть с одинаковой вероятностью направлен вправо или влево, так что два соседних элемента представляются либо так:  $\rightarrow\rightarrow$ , либо так:  $\leftrightarrow$ . Найти вероятность того, что длина полимера (расстояние по прямой от хвоста первого элемента до вершины  $N$ -го элемента) равна  $l\rho$ . Найти среднюю длину полимера.

8. Пусть  $g = CE^N$ , где  $C$  – константа. Найти энергию как функцию температуры.

9. Найти энтропию системы  $N$  линейных осцилляторов с частотой  $\omega$ , температуру как функцию энергии, а также энергию, энтропию и химический потенциал как функцию температуры. Нарисовать соответствующие графики.

10. Большая статсумма системы известна как функция  $\tau$ ,  $V$ ,  $\mu$ . Найти среднюю энергию и среднее число частиц в системе.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на продвинутом уровне

Перечень задач для решения задач по дисциплине

1. Чему равно число степеней свободы  $N$  невзаимодействующих частиц?

- а)  $N$                       б)  $3N$                       в)  $3(N - 1)$

2. Чему равно число обобщённых импульсов твёрдого тела, состоящего из  $N$  частиц?

- а) 3                      б) 6                      в)  $3N$

3. Каким числом переменных характеризуется точка фазового пространства системы из  $N$  микрочастиц?

- а)  $2N$                       б)  $3N$                       в)  $6N$

4. Найти площадь, охватываемую фазовой траекторией, в случае гармонического осциллятора массы  $m$ , колеблющегося с частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ .

а)  $\pi\omega mA^2$

б)  $\frac{1}{2}\pi\omega mA^2$

в)  $\pi\omega^2 mA^2$

5. Чему равна площадь между соседними фазовыми траекториями при движении частицы массы  $m$  в потенциальном ящике со стороной  $a$ ?

а)  $mh$

б)  $h$

в)  $mh/a$

6. Чему равен объем фазовой ячейки для 12-мерного фазового пространства?

а)  $h$

б)  $h^6$

в)  $h^{12}$

7. Чему равно число состояний системы, состоящей из двух независимых подсистем с числами состояний  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  соответственно?

а)  $\Phi_1 + \Phi_2$

б)  $\Phi_1\Phi_2$

в)  $(\Phi_1 + \Phi_2)^2$

8. Как зависит квадратичная флуктуация от числа частиц системы  $N$ ?

а)  $\sim N$

б)  $\sim N^2$

в)  $\sim N^S$

Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов статистической физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на пороговом уровне

Перечень задач для решения задач по дисциплине

1. Как зависит относительная флуктуация от числа частиц системы  $N$ ?

а)  $\sim N$

б)  $\sim N^{-S}$

в)  $\sim N^S$

2. Как связана энтропия системы  $S$  со статистическими весами подсистем  $\Delta\Phi_i$ , входящих в систему?

а)  $S = \sum_i \ln \Delta\Phi_i$

б)  $S = \prod_i \ln \Delta\Phi_i$

в)  $S = \frac{\sum_i \ln \Delta\Phi_i}{\prod_i \ln \Delta\Phi_i}$

3. Чему равно среднее расстояние между уровнями подсистемы?

а)  $e^{-S(\bar{E})}$

б)  $\Delta E e^{S(\bar{E})}$

в)  $\Delta E e^{-S(\bar{E})}$

4. Как зависит функция распределения от температуры  $T$  в случае микроканонического распределения?

а)  $\sim T$

б)  $\sim \exp(-T)$

в) не зависит от  $T$

5. Как зависит функция распределения от энергии  $E$  и температуры  $T$  в случае распределения Гиббса?

а)  $\sim \exp(-E / k_B T)$

б)  $\sim \exp(E / k_B T)$

в)  $\sim \exp(-k_B T / E)$

6. Как зависит функция распределения  $c(v)$  от абсолютного значения скорости  $v$  в случае распределения Максвелла? ( $T$  – температура,  $m_0$  – масса молекулы)

а)  $c(v) \sim \exp(-m_0 v^2 / 2k_B T)$

б)  $c(v) \sim v \exp(-m_0 v^2 / 2k_B T)$

в)  $c(v) \sim v^2 \exp(-m_0 v^2 / 2k_B T)$

7. Чему равно среднее значение кинетической энергии поступательного движения молекулы для системы, состоящей из  $N$  молекул, при температуре  $T$ ?

а)  $3 k_B T / 2$

б)  $3 N k_B T / 2$

в)  $k_B T / 2$

8. В статистике Бозе – Эйнштейна химический потенциал

а) больше нуля

б) меньше нуля

в) равен нулю

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на продвинутом уровне

Перечень тем докладов по дисциплине

1. Бозе – Эйнштейновская конденсация.
2. Смешанные состояния и матрица плотности.
3. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау.
4. Растворы сильных электролитов.
5. Теплоёмкость вырожденного электронного газа.
6. Теплоёмкость твёрдых тел при низких температурах.
7. Вириальное разложение термодинамических потенциалов.
8. Термодинамика классической плазмы.

Владеть: методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных разделов статистической физики для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на продвинутом уровне

Перечень заданий для практической подготовки

1. Выполнение измерений на лабораторном оборудовании.
2. Выступление с докладом по исследуемой тематике.
3. Участие в экспериментальной работе совместно с сотрудниками лабораторий.

### Промежуточная аттестация

ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.

Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов статистической физики, создавать модели типовых



профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

Владеть: методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных разделов статистической физики для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1

Перечень вопросов для экзамена

1. Макросистемы. Статистический и термодинамический способы описания макросистемы.
2. Термодинамические параметры. Равновесные и неравновесные системы.
3. Фазовое пространство. Квазиклассическое приближение.
4. Нормировка и средние значения в статистической физике. Флуктуации.
5. Теорема Лиувилля.
6. Энтропия, её статистический смысл.
7. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация.
8. Распределение Гиббса.
9. Распределение Максвелла как следствие распределения Гиббса.
10. Распределение Больцмана.
11. Распределение Гиббса с переменным числом частиц (классический случай).
12. Статистическая сумма и статистический интеграл.
13. Основные положения квантовой статистики.
14. Распределение Гиббса с переменным числом частиц (квантовый случай).
15. Принцип Паули. Его применение в квантовой статистике.
16. Распределение Ферми.
17. Распределение Бозе.
18. Чёрное излучение. Формула Планка. Формула Рэлея-Джинса
19. Закон Кирхгофа.
20. Вывод термодинамических соотношений из распределения Гиббса.

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

Требования к зачету

Сопоставимость рейтинговых показателей студента по разным дисциплинам и Балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов обеспечивается принятием единого механизма оценки знаний студентов, выраженного в баллах, согласно которому 100 баллов – это полное усвоение знаний по учебной дисциплине, соответствующее требованиям учебной программы.

Максимальный результат, который может быть достигнут студентом по каждому из Блоков рейтинговой оценки – 100 баллов.

Шкала соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам:

100 – 81 баллов – «отлично» (5); 80 – 61 баллов – «хорошо» (4); 60 – 41 баллов – «удовлетворительно» (3); до 40 баллов – «неудовлетворительно».

В зачётно-экзаменационную ведомость и зачётную книжку выставляются оценки по пятибалльной шкале и рейтинговые оценки в баллах.

При получении студентом на экзамене неудовлетворительной оценки в ведомость выставляется рейтинговая оценка в баллах (<40 баллов), соответствующая фактическим знаниям (ответу) студента.

Критерии оценки знаний студентов в рамках каждой учебной дисциплины или групп дисциплин вырабатываются преподавателями согласованно на кафедрах Университета исходя из требований образовательных стандартов.

### Шкала оценивания экзамена

| Уровни оценивания           | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Баллы |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Высокий</i>              | Полные и точные ответы на два вопроса экзаменационного билета. Свободное владение основными терминами и понятиями курса; последовательное и логичное изложение материала курса; законченные выводы и обобщения по теме вопросов; исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче экзамена.                                              | 21-30 |
| <i>Оптимальный</i>          | Полные и точные ответы на два вопроса экзаменационного билета. Знание основных терминов и понятий курса; последовательное изложение материала курса; умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов; достаточно полные ответы на вопросы при сдаче экзамена.                                                           | 14-20 |
| <i>Удовлетворительный</i>   | Полный и точный ответ на один вопрос экзаменационного билета. Удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов. | 8-13  |
| <i>Неудовлетворительный</i> | Полный и точный ответ на один вопрос экзаменационного билета и менее.                                                                                                                                                                                                                                                             | 0 - 7 |

Итоговая шкала выставления оценки по дисциплине.

Ответ обучающегося на экзамене оценивается в баллах с учетом шкалы соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам.

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Оценка по 5-балльной системе | Оценка по 100-балльной системе |
|------------------------------|--------------------------------|

|   |                     |          |
|---|---------------------|----------|
| 5 | Отлично             | 81 – 100 |
| 4 | Хорошо              | 61 – 80  |
| 3 | Удовлетворительно   | 41 – 60  |
| 2 | Неудовлетворительно | 0 – 40   |