

«

»

“ ”

“ ”

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Статистическая физика**

: 28.03.01

, :

: 2, : 4

		4
1	()	3
2		108
3	, .	61
4	, .	36
5	, .	18
6	, .	0
7	, .	18
8	, .	2
9	, .	5
10	, .	47
11	(, ,)	.
12		

(): 28.03.01

177 06.03.2015 ., : 31.03.2015 .

: 1, ,

(): 28.03.01

, 5 20.06.2017

, 6 21.06.2017

:

,

:

. . . ., . -

:

. . . .

1.

1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; в части следующих результатов обучения:

12.	,
13.	
13.	
14.	

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:

18.

2.

2.1

(
---	--

.1. 12	,
1. Основы теории вероятностей	; ;
.1. 13	
2. Основы термодинамики	; ;
.1. 13	
3. Распределения микросостояний системы по фазовому пространству	; ;
.1. 14	
4. Описание систем с переменным числом частиц	; ;
.1. 18	
5. Основы квантовой механики и статистической физики	; ;

3.

3.1

	,	.		
: 4				
	:			
1.	0	5	1	
	:			
2.	8	21	2, 3, 5	
	:			

: 4		
<i>Лекция:</i>	10	20
<i>Практические занятия:</i>	10	20
<i>Контрольные работы:</i>	10	20
<i>РГЗ:</i>	10	20
<i>Зачет:</i>	10	20

6.2

.1	12.	+	+	+
	13.	+	+	+
	13.	+	+	+
	14.	+	+	+
.1	18.	+	+	+

1

7.

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

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.

8.1

1. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.

8.2

1 Microsoft Office

2 Microsoft Windows

9.

-

1	(- , ,)	

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. Хрусталева
“ ____ ” _____ ____ г.

ФОНД ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Статистическая физика

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 **Статистическая физика** 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)
ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	з12. иметь представление о методах статистической физики и термодинамики, используемых для описания классических явлений в газах и твердых телах	Вероятность	Контрольные работы РГЗ	Зачет, вопросы 1-2
ОПК.1	з13. знать основные законы термодинамики и статистические распределения	Распределения Химический потенциал	Контрольные работы РГЗ	Зачет, вопросы 1-4
ОПК.1	у13. уметь использовать фазовое пространство для статистического описания системы частиц	Распределения	Контрольные работы	Зачет, вопросы 6
ОПК.1	у14. уметь применять теорему о распределении энергии по степеням свободы	Распределения Системы с переменным числом частиц Химический потенциал	Контрольные работы РГЗ	Зачет, вопросы 3
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	Распределения Системы с переменным числом частиц	Контрольные работы РГЗ	Зачет, вопросы 6

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 4 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.1, ПК.1/НИ.

Зачет проводится в устной форме, по билетам.

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

В 4 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 компетенции ОПК.1, 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 зачета

по дисциплине «Статистическая физика», 4 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Список вопросов приведен ниже. В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

Вопрос 1. Фазовое пространство для идеального газа. Микросостояние и макросостояние. Фазовый ансамбль. Число степеней свободы. Число микросостояний. Плотность микросостояний фазового ансамбля. Теорема Лиувилля.

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

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 2

к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

Вопрос 1. Каноническое распределение. Условие применимости. Статистический интеграл. Свободная энергия. Применение к идеальному газу. Статистический интеграл поступательного движения частицы

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

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 3

к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

Вопрос 1. Распределение энергии частицы по степеням свободы для гамильтониана со степенными зависимостями. Неустраняемая погрешность измерительного прибора с упругой силой.

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

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 4
к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

Вопрос 1. Распределение Максвелла по модулю скорости и по энергии для концентрации частиц газа при температуре T . Наиболее вероятные и средние значения.

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

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 5
к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

Вопрос 1. Распределение Больцмана по координатам для числа частиц газа при температуре T во внешнем поле с потенциальной энергией $u(\mathbf{r})$. Формула Больцмана для концентрации частиц в однородном поле тяжести.

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

Билет № 6
к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

Вопрос 1. Термодинамические потенциалы. Внутренняя энергия. Химический и электрохимический потенциал. Условие равновесия системы. Химический потенциал и статистический интеграл. Зависимости химического потенциала.

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

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 10 *баллов*.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 10-12 *баллов*.
- Ответ на билет для зачета 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, оценка составляет 13-17 *баллов*.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики процессов, приводит конкретные примеры, не допускает ошибок, способен обосновать выбор метода решения, оценка составляет 18-20 *баллов*.

3. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 10 баллов из 20 возможных.

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

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Статистическая физика»

- 1. Фазовое пространство** для идеального газа. Микросостояние и макросостояние. Фазовый ансамбль. Число степеней свободы. Число микросостояний. Плотность микросостояний фазового ансамбля. Теорема Лиувилля.
- 2. Каноническое распределение.** Условие применимости. Статистический интеграл. Свободная энергия. Применение к идеальному газу. Статистический интеграл поступательного движения частицы.
- 3. Распределение энергии частицы по степеням свободы** для гамильтониана со степенными зависимостями. Неустраняемая погрешность измерительного прибора с упругой силой.
- 4. Распределение Максвелла** по модулю скорости и по энергии для концентрации частиц газа при температуре T . Наиболее вероятные и средние значения.
- 5. Распределение Больцмана** по координатам для числа частиц газа при температуре T во внешнем поле с потенциальной энергией $u(\mathbf{r})$. Формула Больцмана для концентрации частиц в однородном поле тяжести.
- 6. Термодинамические потенциалы.** Внутренняя энергия. Химический и электрохимический потенциал. Условие равновесия системы. Химический потенциал и статистический интеграл. Зависимости химического потенциала.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Статистическая физика», 4 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по теме Статистические распределения, включает 10 заданий. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

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

Контрольная работа считается **невыполненной**, если нет решения задач. Оценка составляет менее 10 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если есть ошибки в расчете и нет анализа решения. Оценка составляет 10-12 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если нет анализа решения. Оценка составляет 13-17 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если есть анализ решения. 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. Для распределения Максвелла $w(x) = \frac{4\pi}{(2\pi a)^3} x^2 e^{-x^2/2a^2}$, где $0 \leq x < \infty$; $a > 0$,

доказать его нормированность и

$$\bar{x} = \sqrt{8/\pi} a, \quad \overline{x^2} = \sqrt{3} a^2.$$

2. Доказать, что угловое распределение математического маятника имеет вид $w(\varphi) = (\pi \sqrt{\varphi_0^2 - \varphi^2})^{-1}$, нормировано, и имеет дисперсию $\overline{(\Delta\varphi)^2} = \frac{1}{2} \varphi_0^2$.

3. Доказать, что флуктуация углового положения математического маятника

$$\delta\varphi = \sqrt{\frac{kT}{mgl}}.$$

4. Доказать, что энергетическая плотность состояний релятивистской частицы с энергией $\varepsilon^2 = c^2 p^2 + c^4 m^2$

$$g(\varepsilon, V) = \frac{4\pi V}{(hc)^3} \varepsilon \sqrt{\varepsilon^2 - c^4 m^2}.$$

5. Для трехмерного газа с $H_1(X) = c|p|$ доказать, что энергетическая плотность состояний

$$g(\varepsilon, V) = \frac{4\pi V}{(ch)^3} \varepsilon^2.$$

6. Для одномерного и двухмерного газа с $H_1(X) = p^2/2m$ доказать, что энергетическая плотность состояний

$$g(\varepsilon, L) = \frac{L\sqrt{2m}}{h} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad g(\varepsilon, S) = \frac{2\pi m S}{h^2}.$$

7. Доказать, что для одномерного газа с $H_1(X) = p^2/2m$ статистический интеграл

$$Z_1(L, T) = \frac{L}{h} (2\pi mkT)^{1/2}, \quad \text{для двухмерного газа} - Z_1(S, T) = \frac{S}{h^2} 2\pi mkT.$$

8. Для трехмерного газа с $H_1(X) = a|p|^n$, где $a, n > 0$, доказать, что статистический

интеграл $Z_1(T, V) = \frac{4\pi V}{nh^3} \Gamma\left(\frac{3}{n}\right) \left(\frac{kT}{a}\right)^{3/n}$. Найти давление газа из N частиц.

Рассмотреть случай $n = 2$.

9. Для атомов трехмерного газа доказать

$$\overline{\varepsilon^n} = \frac{(2n+1)(2n)!}{4^n n!} (kT)^n.$$

10. Для атомов трехмерного газа доказать

$$\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \equiv \frac{1}{\varepsilon} (\overline{\varepsilon^2} - \overline{\varepsilon}^2)^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Статистическая физика», 4 семестр

1. Методика оценки

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

При выполнении расчетно-графического задания студенты должны провести анализ объекта исследования, выбрать для него метод описания и параметры.

Структурные части РГЗ: Выбор метода описания и характеристик объекта, количественное описание на основе известных законов, анализ результата.

Оцениваемые позиции: степень реализации структурных частей.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ, отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, оценка составляет менее 10 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ выполнены формально, диагностические признаки недостаточно обоснованы, оценка составляет 10-12 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры обоснованы, алгоритмы разработаны, но не оптимизированы, оценка составляет 13-17 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры обоснованы, алгоритмы разработаны и оптимизированы, оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

РГЗ выполнено, если набрано не менее 10 баллов из 20 возможных.

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

4. Примерный перечень тем РГЗ

1. Частицы газа находятся на уровнях энергии $\varepsilon_1 = 1,9$ эВ и $\varepsilon_2 = 2,1$ эВ. Найти относительное число возбужденных частиц N_2 / N_1 при $T = 1500$ К.
2. Доказать, что химический потенциал одномерного атомарного газа из N частиц при температуре T , находящегося в канале длиной L , равен
$$\mu = -kT \ln \left[\frac{L}{hN} (2\pi mkT)^{1/2} \right].$$
3. Доказать, что химический потенциал двумерного атомарного газа из N частиц при температуре T , находящегося на площадке S , равен
$$\mu = -kT \ln \left(\frac{S}{h^2 N} 2\pi mkT \right).$$

4. Используя закон Стефана–Больцмана для энергии единицы объема фотонного газа $u = \sigma' T^4$ и уравнение Гиббса–Гельмгольца, получить свободную энергию $F = -\frac{1}{3}uV$, давление $P = \frac{1}{3}u$, термодинамический потенциал Гиббса $\Phi = 0$ и химический потенциал фотонного газа $\mu = 0$.
5. Для двухуровневой системы с энергиями ε_1 и $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \Delta\varepsilon$, содержащей N частиц, доказать, что при температуре T на уровне 1 среднее число частиц $\bar{n}_1 = \frac{N}{1 + e^{-\Delta\varepsilon/kT}}$.
Рассмотреть высокие и низкие температуры.
6. Для двухуровневой системы с энергиями ε_1 и $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \Delta\varepsilon$, содержащей N частиц, доказать, что при температуре T на уровне 2 среднее число частиц $\bar{n}_2 = \frac{N e^{-\Delta\varepsilon/kT}}{1 + e^{-\Delta\varepsilon/kT}}$.
Рассмотреть высокие и низкие температуры.
7. Для двухуровневой системы из N частиц с энергиями ε_1 и ε_2 доказать, что при температуре T химический потенциал
- $$\mu = kT \ln[N / (e^{-\varepsilon_1/kT} + e^{-\varepsilon_2/kT})].$$
8. Для N частиц, распределенных по эквидистантным уровням энергии $\varepsilon_n = \Delta\varepsilon n$, где $n = 0, 1, 2, \dots$, доказать, что при температуре T вероятность пребывания частицы на уровне n равна $w_n = (1 - e^{-a}) e^{-an}$, где $a = \Delta\varepsilon/kT$.
9. Для N частиц, распределенных по эквидистантным уровням энергии $\varepsilon_n = \Delta\varepsilon n$, где $n = 0, 1, 2, \dots$, доказать, что при температуре T средняя энергия частицы $\bar{\varepsilon} = \frac{\Delta\varepsilon}{e^a - 1}$, где $a = \Delta\varepsilon/kT$, и при $kT \gg \Delta\varepsilon$ выполняется $\bar{\varepsilon} = kT$.
10. Для N частиц, распределенных по эквидистантным уровням энергии $\varepsilon_n = \Delta\varepsilon n$, где $n = 0, 1, 2, \dots$, доказать, что при температуре T химический потенциал $\mu = kT \ln[N(1 - e^{-a})]$ и при $kT \gg \Delta\varepsilon$ выполняется $\mu = kT \ln(aN)$, где $a = \Delta\varepsilon/kT$.