

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

обеспечение связи между курсами общепрофессиональных дисциплин и последующими специальными техническими дисциплинами; приобретение студентами основополагающих знаний физических процессов и принципов явлений, протекающих в твердых и жидких телах в условиях криогенных температур, при этом особое внимание уделяется физической интерпретации явлений.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- изучение особенностей строения твердых тел;
- изучение механических, тепловых и электрических свойств твердых тел при низких температурах;
- получение основных сведений о методах получения низких и криогенных температур.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика низких температур» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика низких температур» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 - способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

ПК-1 - способностью к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик

ПКВ-7 - готовностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способен привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-2	Знать внутреннюю структуру твердых тел; силы связи в кристаллических твердых телах, типы кристаллов; механические, тепловые и электрические свойства твердых тел при низких температурах; основные свойства достижения низких и сверхнизких температур
	Уметь использовать базовые знания физики низких температур для выполнения расчет-

	но-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности
	Владеть навыками использования базовых знаний физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности.
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик
ПКВ-7	Знать физико-математический аппарат физики твердого тела
	Уметь использовать для решения задач связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах, и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат физики твердого тела
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата физики твердого тела для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика низких температур» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	5
Аудиторные занятия (всего)	72	36	36
В том числе:			
Лекции	36	18	18

Практические занятия (ПЗ)	36	18	18
Самостоятельная работа	72	18	54
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	54 1.5	126 3.5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Элементы физической статистики	Способы описания состояния коллектива. Невырожденные и вырожденные коллективы. Микрочастицы и коллектив. Классическая и квантовые статистики. Функция распределения. Число состояний для микрочастиц. Квантование фазового пространства. Плотность состояний. Критерий невырожденности идеального газа. Функция распределения для невырожденного газа. Функция распределения для вырожденного газа фермионов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов	6	6	6	18
2	Внутренняя структура твердых тел. Силы Связи	Кристаллические твердые тела. Типы кристаллов. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Атомные кристаллы. Металлические кристаллы. Сопоставление различных видов связи. Силы отталкивания	6	6	6	18
3	Механические свойства твердых тел при низких температурах	Упругая и пластическая деформации. Влияние низких температур на механические свойства твердых тел	6	6	6	18
4	Тепловые свойства твердых тел при низких температурах	Нормальные колебания решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Понятие о фононах. Теплоемкость твердого тела. Решеточная теплоемкость. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность твердых тел. Теплопроводность диэлектриков. Теплопроводность металлов	6	6	18	30
5	Электрические свойства твердых тел при низких температурах	Дрейф электронов под действием внешнего поля. Время релаксации и длина свободного пробега. Удельная электропроводность проводника. Электропроводность невырожденного и вырожденного газов. Закон Видемана - Франца - Лоренца. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Влияние температуры на электропроводность чистых металлов. Электропроводность сплавов	6	6	18	30
6	Физические способы получения низких и сверхнизких температур	Физические основы охлаждения. Изоэнтальпное расширение. Дросселирование сжатого газа. Расширение из постоянного объема. Десорбционное охлаждение. Откачка паров кипящей жидкости. Метод адиабатического размагничивания. Метод ядерного размагничивания. Метод растворения гелия ^3He в ^4He . Метод Померанчука	6	6	18	30

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-2	Знать внутреннюю структуру твердых тел; силы связи в кристаллических твердых телах, типы кристаллов; механические, тепловые и электрические свойства твердых тел при низких температурах; основные свойства достижения низких и сверхнизких температур	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать базовые знания физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования базовых знаний физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

ПКВ-7	Знать физико-математический аппарат физики твердого тела	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать для решения задач связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах, и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат физики твердого тела	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата физики твердого тела для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4, 5 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-2	Знать внутреннюю структуру твердых тел; силы связи в кристаллических твердых телах, типы кристаллов; механические, тепловые и электрические свойства твердых тел при низких температурах; основные свойства достижения низких и сверхнизких температур	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь использовать базовые знания физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками использования базовых знаний физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности.	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками расчета количе-	Тест	Выполнение теста	В тесте менее 60%

	ственных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик		на 60-100%	правильных ответов
ПКВ-7	Знать физико-математический аппарат физики твердого тела	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь использовать для решения задач связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах, и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат физики твердого тела	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата физики твердого тела для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах.	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов

ИЛИ

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-2	Знать внутреннюю структуру твердых тел; силы связи в кристаллических твердых телах, типы кристаллов; механические, тепловые и электрические свойства твердых тел при низких температурах; основные свойства достижения низких и сверхнизких температур	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь использовать базовые знания физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками использования базовых знаний физики низких температур для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в профессиональной деятельности.	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе су-	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов

	существующих методик					
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
ПКВ-7	Знать физико-математический аппарат физики твердого тела	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь использовать для решения задач связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах, и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат физики твердого тела	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата физики твердого тела для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с описанием процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах.	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Способы описания состояния коллектива.
2. Невырожденные и вырожденные коллективы.
3. Микрочастицы и коллектив.
4. Классическая и квантовые статистики.
5. Функция распределения.
6. Число состояний для микрочастиц.
7. Квантование фазового пространства.
8. Плотность состояний.
9. Критерий невырожденности идеального газа.

10. Функция распределения для невырожденного газа.
11. Функция распределения для вырожденного газа фермионов.
12. Функция распределения для вырожденного газа бозонов
13. Кристаллические твердые тела.
14. Типы кристаллов.
15. Молекулярные кристаллы.
16. Ионные кристаллы.
17. Атомные кристаллы.
18. Металлические кристаллы.
19. Сопоставление различных видов связи.
20. Силы отталкивания
21. Упругая и пластическая деформации.
22. Влияние низких температур на механические свойства твердых тел
23. Нормальные колебания решетки.
24. Спектр нормальных колебаний решетки.
25. Понятие о фононах.
26. Теплоемкость твердого тела.
27. Решеточная теплоемкость.
28. Теплоемкость электронного газа.
29. Тепловое расширение твердых тел.
30. Теплопроводность твердых тел.
31. Теплопроводность диэлектриков.
32. Теплопроводность металлов
33. Дрейф электронов под действием внешнего поля.
34. Время релаксации и длина свободного пробега.
35. Удельная электропроводность проводника.
36. Электропроводность невырожденного и вырожденного газов.
37. Закон Видемана - Франца - Лоренца.
38. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.
39. Влияние температуры на электропроводность чистых металлов.
40. Электропроводность сплавов
41. Физические основы охлаждения.
42. Изэнтропное расширение.
43. Дросселирование сжатого газа.
44. Расширение из постоянного объема Десорбционное охлаждение.
45. Откачка паров кипящей жидкости.
46. Метод адиабатического размагничивания.
47. Метод ядерного размагничивания.
48. Метод растворения гелия ^3He в ^4He .
49. Метод Померанчука

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач
Укажите вопросы для экзамена

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 5 стандартных задач и 5 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, правильно решенная задача оценивается в 2 балла. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 15 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 20 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Элементы физической статистики	ОПК-2, ПК-1, ПКВ -7	Тест, устный опрос, зачет
2	Внутренняя структура твердых тел. Силы Связи	ОПК-2, ПК-1, ПКВ -7	Тест, устный опрос, зачет
3	Механические свойства твердых тел при низких температурах	ОПК-2, ПК-1, ПКВ -7	Тест, устный опрос, зачет
4	Тепловые свойства твердых тел при низких температурах	ОПК-2, ПК-1, ПКВ -7	Тест, устный опрос, зачет
5	Электрические свойства твердых тел при низких температурах	ОПК-2, ПК-1, ПКВ -7	Тест, устный опрос, зачет
6	Физические способы получения низких и сверхнизких температур	ОПК-2, ПК-1, ПКВ -7	Тест, устный опрос, зачет

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компь-

ютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

- Калядин О.В. Элементы физики твердого тела. Низкие температуры: Учеб. пособие. - Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 94 с.

- Милошенко В.Е. Криофизика: Учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 207 с.

- Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учебное пособие. - 3-е изд., испр. - СПб.: Лань, 2010. - 288 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- SMath Studio
- Mathcad
- Advanced Grapher
- Microsoft Windows 10
- Microsoft Office 2013/2007
- Refprop 8.0
- <https://elibrary.ru>
- <https://cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Учебная лаборатория физики низких температур, включающая: стенды для выполнения лабораторных работ; оборудование, инструменты, материалы необходимые для осуществления операции развития практических навыков; датчики для работы и проведения измерений.

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения практических занятий

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физика низких температур» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета количественных характеристик процессов, протекающих в твердых телах при низких температурах. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.