

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра физики

Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки

03.03.02 «Физика»

Направленность (профиль):

Физические исследования природных процессов

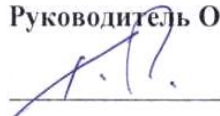
Уровень:

Бакалавриат

Форма обучения

Очная

Согласовано
Руководитель ОПОП

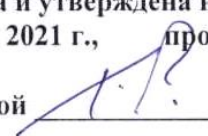
 Бобровский А.П.

Председатель УМС
 И.И. Палкин

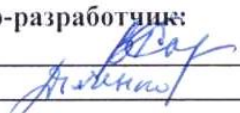
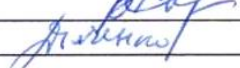
Рекомендована решением
Учебно-методического совета

19 апреля 2021 г., протокол № 8

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
13 апреля 2021 г., протокол № 8

Зав. кафедрой  Бобровский А.П.

Автор-разработчик:

 Сыромятников В.Г.
 Дьяченко Н.В.

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на ____/____
учебный год без изменений*

Протокол заседания кафедры _____ от __.__.20__ №__

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на
_____/____ учебный год с изменениями (см. лист изменений)**

Протокол заседания кафедры _____ от __.__.20__ №__

*Заполняется при ежегодном пересмотре программы, если в неё не внесены
изменения

** Заполняется при ежегодном пересмотре программы, если в неё внесены изменения

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью дисциплины «Физика конденсированного состояния» является формирование у студентов углубленных теоретических знаний о строении и свойствах конденсированного состояния вещества, о явлениях, протекающих в твердых телах.

Основная задача дисциплины «Физика конденсированного состояния» - освоение студентами теоретических подходов к описанию квантовых явлений в рамках физики конденсированного состояния в природе и технике, способов решения основных задач физики конденсированного состояния, анализа физического смысла полученных решений

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» для направления 030302 – Физика является обязательной дисциплиной цикла Б1, изучается в 7 семестре, поэтому обучающиеся предварительно должны освоить разделы дисциплин «Математика» «Общая физика», «Общий физический практикум», Теоретическая механика», «Механика сплошных сред», «Электродинамика», «Квантовая теория», «Термодинамика, статистическая физика. Физическая кинетика».

«Физика конденсированного состояния» является основой для изучения дисциплин «Физические проблемы экологии», «Теория переноса электромагнитного излучения в газах», «Математическое моделирование антропогенных воздействий на атмосферу», для выполнения выпускной квалификационной работы.

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенции ОПК-1.

Таблица 2.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Применяет основные законы математических и естественных наук для решения задач профессиональной деятельности. ОПК-1.2 Выявляет взаимосвязь основных законов естественных наук, общие подходы и концепции	Знать: основные явления и основные законы физики конденсированного состояния и границы их применимости; основные величины и константы физики конденсированного состояния, их определение, смысл, способы и единицы измерения; фундаментальные опыты физики конденсированного состояния и их роль в развитии науки; Уметь: - объяснить наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций физики конденсированного состояния и указать, какими законами описывается данное явление или эффект; - истолковывать смысл

		величин и понятий, используемых в физике конденсированного состояния; • собирать необходимую научную информацию, структурировать и оформлять ее для представления слушателям; Владеть: • навыками проведения математических преобразований с физическими величинами для теоретического решения задач физики конденсированного состояния; • основными подходами к решению задач в рамках физики конденсированного состояния;
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 академических часов

Таблица 3.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах

Объём дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения
Объем дисциплины	216
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	70
в том числе:	
лекции	28
занятия семинарского типа:	
практические занятия	42
лабораторные занятия	
Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:	146
в том числе:	
курсовая работа	
контрольная работа	
Вид промежуточной аттестации	Экзамен (7 семестр)

4.1. Структура дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения
		Лекции	Практические занятия	Самостоятель ная работа			
1	Кристаллическая решетка	4	6	16	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2
2	Теория теплоемкости твердых тел	4	6	16	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2
3	Зонная теория твердых тел. Статистика носителей заряда	6	10	16	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2
4	Квазичастицы. Поглощение света кристаллами	4	6	16	устный опрос, проверка домашнего задания, реферат	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2
5	Полупроводники	6	8	16	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2
6	Магнитные свойства вещества. Сверхпроводимос- ть.	4	6	12	устный опрос, проверка домашнего задания, тестовое задание	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2
	Итого:	28	42	110			

4.2. Лекционные занятия, их содержание

Наименование разделов и тем	Содержание
Кристаллическая решетка	Кристаллические и аморфные тела. Анизотропия кристаллов. Кристаллическая решетка. Операции и элементы симметрии. Решетки Браве. Обозначение плоскостей и направлений в кристалле. Обратная решетка. Первая зона Бриллюэна. Дифракция волн на кристаллической решетке. Экспериментальные дифракционные методы. Классификация кристаллов по типам связи. Дефекты кристаллов. Упругие свойства твердых тел. Деформация и ее виды.
Теория теплоемкости твердых тел.	Закон Дюлонга и Пти. Теория теплоемкости твердого тела Эйнштейна. Понятие о функции распределения частот в твердом теле. Волны в твердом теле. Расчет функции распределения частот в одномерном, двумерном и трехмерном кристаллах в приближении Дебая. Основы теории Дебая теплоемкости твердых тел. Определение дебаевской температуры. Упругие волны в цепочке атомов. Упругие волны в трехмерном кристалле. Основы теории Борна – Кармана расчета частот в кристаллической решетке на примере одномерного кристалла. Понятие об оптических и акустических ветвях частот. Общее представление об основах применения теории Борна – Кармана к трехмерному кристаллу.
Зонная теория твердых тел. Статистика носителей заряда	Уравнение Шредингера для твердого тела. Квантовая теория свободных электронов. Энергетические зоны кристалла. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса электрона. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна. Распределение квантовых состояний электронов внутри энергетической зоны. Основы зонной теории твердых тел. Различие проводников, изоляторов и полупроводников с точки зрения зонной теории. Классическая электронная теория металлов. Импульс и энергия Ферми. Распределение Ферми-Дирака. Применение распределения Ферми – Дирака к электронам в металле при температуре равной и неравной нулю. Электронная теплоемкость и ее вклад в общую теплоемкость кристалла. Электропроводность металлов.
Квазичастицы. Поглощение света кристаллами	Квазичастицы. Представления о фононах. Квантовая теория упругих волн в кристалле. Акустические и оптические фононы. Статистика фононов. Взаимодействие фононов. Анггармонизм колебаний решетки. Теплопроводность. Тепловое расширение. Оптические константы. Взаимодействие света с кристаллической решеткой. Оптические свойства полупроводников. Вынужденное излучение. Оптические квантовые генераторы.

Наименование разделов и тем	Содержание
Полупроводники	Электроны и дырки. Собственная проводимость полупроводников. Примесная проводимость полупроводников. Работа выхода. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрические явления.
Магнитные свойства вещества. Сверхпроводимость	Магнетики. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Явление сверхпроводимости. Особенности сверхпроводящего состояния, эффект Мейсснера. Переход в сверхпроводящее состояние в магнитном поле. Сущность теории Бардина – Купера – Шриффера.

4.3 Практические занятия и их содержание

п/п	№ раздела дисциплины	Количество часов	Наименование темы практического занятия
1-3	1	6	Решение задач на расчет кристаллических решеток, объем ячеек, коэффициент компактности.
4-6	2	6	Решение задач на расчет удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности, механических свойств твердых тел.
7-11	3	10	Нахождение концентраций носителей заряда, расчет энергии Ферми. Нахождение распределения электронов по скоростям, кинетических энергий и теплоемкости электронного газа в металлах.
12-14	4	6	Расчет частот оптических и акустических фононов в кристаллической решетке на примере одномерного кристалла на основе теории Борна – Кармана.
15-18	5	8	Решение задач по расчету энергии образования электронно-дырочных пар, положений дна зон проводимости, концентраций носителей в полупроводниках. Нахождение удельных проводимостей, сопротивлений полупроводников, подвижностей носителей.
19-21	6	6	Расчеты температура фазового перехода при бозе – конденсации. Расчет теплоты фазового перехода в сверхпроводящее состояние в магнитном поле.

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубления полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, экзаменам.

Самостоятельная работа предусматривает, как правило, выполнение вычислительных работ, графических заданий к лабораторным работам, подготовку к практическим заданиям, контрольных работ.

Работа с литературой предусматривает самостоятельное изучение теоретического материала, разработку рефератов и других творческих заданий.

При самостоятельной работе над разделами дисциплины, при выполнении практических работ, при подготовке к тестам, опросам и к промежуточному контролю студент должен изучить соответствующие разделы основной и вспомогательной литературы по дисциплине, а также использовать указанные в перечне интернет-ресурсы.

В процессе самостоятельной учебной деятельности формируются умения: анализировать свои познавательные возможности и планировать свою познавательную деятельность; работать с источниками информации: текстами, таблицами, схемами; анализировать полученную учебную информацию, делать выводы; анализировать и контролировать свои учебные действия; самостоятельно контролировать полученные знания.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале.

Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр – 100:

- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля - 60;
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 10;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 30;

6.1. Текущий контроль

Типовые задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6.2. Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – **Экзамен после 6-го семестра.**

Форма проведения экзамена: устно по билетам

а). Образцы тестовых заданий текущего контроля

1. Раздел

Кристаллическая решетка

Задание 1.01 В ЧЕМ ОСНОВНОЕ ОТЛИЧИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ ОТ АМОРФНЫХ?

- А. в наличии дальнего порядка;
- В. в электронной структуре;
- С. в температуре плавления.

Правильный ответ: _____

2. Раздел

Теория теплоемкости твердых тел

Задание 2.01 КАКОВА ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ В ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР?

A. $C = \frac{3\pi^4 NkT^3}{5\theta^3};$

B. $C = \frac{3N(\hbar\omega)^2}{kT^2} \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{kT}\right);$

C. $C = \frac{3N\hbar\omega}{T} \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{kT}\right).$

Правильный ответ: _____

3. Раздел

Зонная теория твердых тел. Статистика носителей заряда.

Задание 3.01 КАКОВА СРЕДНЯЯ ПО ВСЕМ МЕТАЛЛАМ ВЕЛИЧИНА ЭНЕРГИИ ФЕРМИ ПРИ НУЛЕВОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ?

- A. 5 эв;
- B. 0.1 эв;
- C. 1 кэв.

Правильный ответ: _____

4. Раздел

Квазичастицы. Поглощение света кристаллами.

Задание 4.01 ФОНОНЫ – ЭТО ...

- A. квазичастицы, подчиняющиеся статистике Бозе-Эйнштейна, соответствующие

- упругим колебаниям кристаллической решетки;
- В. фермионы;
- С. волны зарядовой плотности в кристалле.

Правильный ответ: _____

5. Раздел *Полупроводники.*

Задание 5.01 ЧЕМ ОТЛИЧАЮТСЯ ИЗОЛЯТОРЫ И ПОЛУПРОВОДНИКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЗОННОЙ ТЕОРИИ?

- А. шириной запрещенной зоны;
- В. степенью заполнения электронами валентной зоны;
- С. длиной свободного пробега электрона.

Правильный ответ: _____

6. Раздел *Магнитные свойства вещества. Сверхпроводимость.*

Задание 6.01 КАКОВА ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПАРАМАГНИТНОГО ВЕЩЕСТВА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ?

- А. $\chi = \frac{C}{T^2}$;
- В. $\chi = \frac{C}{T}$;
- С. $\chi = \frac{C}{\sqrt{T}}$.

Правильный ответ: _____

б) Примерный перечень вопросов для опроса на лекциях и практических занятиях

Кристаллическая решетка.

1. Кристаллические и аморфные тела. Анизотропия кристаллов.

2. Кристаллическая решетка.
3. Операции и элементы симметрии.
4. Решетки Браве.
5. Обозначение плоскостей и направлений в кристалле.
6. Обратная решетка. Первая зона Бриллюэна.
7. Дифракция волн на кристаллической решетке. Экспериментальные дифракционные методы.
8. Классификация кристаллов по типам связи.
9. Дефекты кристаллов.
10. Упругие свойства твердых тел. Деформация и ее виды.

Теория теплоемкости твердых тел.

11. Закон Дюлонга и Пти.
12. Теория теплоемкости твердого тела Эйнштейна.
13. Понятие о функции распределения частот в твердом теле. Волны в твердом теле.
14. Расчет функции распределения частот в одномерном, двумерном и трехмерном кристаллах в приближении Дебая.
15. Основы теории Дебая теплоемкости твердых тел. Определение дебаевской температуры.
16. Упругие волны в цепочке атомов.
17. Упругие волны в трехмерном кристалле.
18. Основы теории Борна – Кармана расчета частот в кристаллической решетке на примере одномерного кристалла.
19. Понятие об оптических и акустических ветвях частот. Общее представление об основах применения теории Борна – Кармана к трехмерному кристаллу.

Зонная теория твердых тел. Статистика носителей заряда.

20. Уравнение Шредингера для твердого тела.
21. Квантовая теория свободных электронов.
22. Энергетические зоны кристалла.
23. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса электрона.
24. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.
25. Распределение квантовых состояний электронов внутри энергетической зоны.
26. Основы зонной теории твердых тел.
27. Различие проводников, изоляторов и полупроводников с точки зрения зонной теории.
28. Классическая электронная теория металлов.
29. Импульс и энергия Ферми.
30. Распределение Ферми-Дирака.
31. Применение распределения Ферми – Дирака к электронам в металле при температуре равной и неравной нулю.
32. Электронная теплоемкость и ее вклад в общую теплоемкость кристалла.
33. Электропроводность металлов.

Квазичастицы. Поглощение света кристаллами.

34. Квазичастицы. Представления о фононах.
35. Квантовая теория упругих волн в кристалле.
36. Акустические и оптические фононы. Статистика фононов.
37. Взаимодействие фононов.

38. Ангармонизм колебаний решетки. Теплопроводность. Тепловое расширение.
39. Оптические константы.
40. Взаимодействие света с кристаллической решеткой.
41. Оптические свойства полупроводников.
42. Вынужденное излучение.
43. Оптические квантовые генераторы.

Полупроводники.

44. Электроны и дырки.
45. Собственная проводимость полупроводников
46. Примесная проводимость полупроводников.
47. Работа выхода.
48. Контактная разность потенциалов.
49. Термоэлектрические явления.

Магнитные свойства вещества. Сверхпроводимость.

50. Магнетики.
51. Диамагнетизм.
52. Парамагнетизм.
53. Ферромагнетизм
54. Явление сверхпроводимости.
55. Особенности сверхпроводящего состояния, эффект Мейсснера.
56. Переход в сверхпроводящее состояние в магнитном поле.
57. Сущность теории Бардина – Купера - Шриффера.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 7.

Распределение баллов по видам учебной работы (7 семестр)

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Посещение лекционных занятий	0-10
Устный опрос	0-3
Тест	0-5
Реферат	0-7
Выполнение домашнего задания № 1-6 Задание не выполнено -0 Выполнено менее половины заданий -1 Выполнено все, но с ошибками – 2 Выполнено в полном объеме без значимых ошибок - 3	0-3 за каждое задание
Промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

Минимальное количество баллов для допуска до промежуточной аттестации составляет 40 баллов при условии выполнения всех видов текущего контроля.

Таблица 8.

Балльная шкала итоговой оценки на экзамене (7 семестр)

Оценка	Баллы
---------------	--------------

отлично	85-100
хорошо	65-84
удовлетворительно	40-64
Не удовлетворительно	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «Физика конденсированного состояния».

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекции	В ходе лекционных занятий необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на формулировки основных дефиниций, законов, процессов, явлений. Подробно записывать математические выводы формул. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.
Внеаудиторная работа	Представляет собой вид занятий, которые каждый студент организует и планирует самостоятельно. Самостоятельная работа студентов включает: – самостоятельное изучение разделов дисциплины; выполнение вычислительных и графических заданий подготовку к практическим занятиям, решение индивидуальных задач; – выполнение дополнительных индивидуальных творческих заданий; – подготовку рефератов, сообщений и докладов.
Подготовка к экзамену	Экзамен имеет целью проверить и оценить уровень теоретических знаний, умение применять их к решению практических задач, а также степень овладения практическими умениями и навыками в объеме требований учебных программ. Подготовка к экзамену предполагает изучение конспектов лекций, рекомендуемой литературы и других источников, повторение материалов практических занятий. К экзамену допускаются студенты, выполнившие все требования учебной программы

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

а) основная литература:

1. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 1977.
2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела, М.: Высшая школа, 1985.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
4. Гуревич А.Г. Физика твердого тела. Санкт-Петербург: Невский Диалект, 2004.
4. Голдсмит Г.Дж. Задачи по физике твердого тела, М.: Наука, 1976.
5. Переломова Н.В., Тагиева М.М. Задачник по кристаллофизике, М.: Наука, 1972.

б) дополнительная литература:

1. В.Я. Демиховский, Г.А. Вугальтер. Физика квантовых низкоразмерных структур, М.: Логос, 2000.
2. Блейкмор Дж. Физика твердого тела, М.: Мир, 1988.

3. Займан Дж. Принципы теории твердого тела, М.: Наука, 1978.
4. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников, М.: Наука, 1978.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Пакет MS Office, образовательные ресурсы Интернета.

1. <http://pskgu.ru/ebooks/okphysikc.html> Учебные пособия по общей физике.
2. <http://lectoriy.mipt.ru/lecture?category=Physics&lecturer> Видеолекции и открытые образовательные материалы ФизТеха. Лекции по Физике.
3. <http://feynmanlectures.caltech.edu/> - The Feynman Lectures on Physics
4. <http://pskgu.ru/ebooks/tf.html> . Теоретическая Физика.
5. <http://physics.nad.ru/> - физика в анимациях
6. <http://dmitryukts.narod.ru/kopilka/video.html> - опыты по физике.
7. <https://sites.google.com/site/rggmustud/> Актуальная информация для студентов, проходящих обучение физике в РГГМУ.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

Помещение для самостоятельной работы – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.