

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 / Титова Л.В./
20.06.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФТД.01 Теория систем многих частиц

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.04.02 Ядерная физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

д.ф.м.н., профессор Кадменский Станислав Георгиевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025г.

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование творческого мышления, объединение фундаментальных знаний основных законов и методов проведения исследований многочастичных систем; *Задачи учебной дисциплины:*
- ознакомиться с общими свойствами многочастичных систем;
- научиться использовать методы квантовой теории поля, используемые для описания систем Бозе-частиц и Ферми-частиц;
- овладеть представлением о новейшем развитии Теории Ферми-жидкости и ее применений для физики ферромагнетиков, сегнетоэлектриков и металлов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом.	ПК-1.4	Знает современные представления в области физики атомного ядра необходимых для описания процессов, протекающих в ядерноэнергетических установках.	знать: фундаментальные понятия и представления методов вторичного квантования для Бозе- и Ферми-частиц, а также границы их применимости; уметь: выделить конкретное «физическое» содержание в задачах описания характеристик различных систем тождественных Бозе- и Ферми-частиц, ставить и решать конкретные задачи по описанию систем различных элементарных частиц с включением лептонов, нуклонов, кварков, гамма-квантов и мезонов; владеть (иметь навык(и)): базовыми формализмами квантовой теории поля, используемых в современных теориях сверхтекучести жидкого гелия и сверхпроводимости металлов, а также в теориях бесконечных и конечных Фермисистем, базирующихся на представлениях Общей физики, Высшей математики, Информатики, Математической статистики, Классической и Квантовой механики, Электродинамики с приложениями к решению типовых задач по описанию характеристик систем многих частиц.
		ПК-1.5	Применяет знания теории атомного ядра на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной ядерной физики.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		18	18
в том числе:	лекции	18	18
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		54	54
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Зачет	Зачет
Итого:		72	72

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Метод вторичного квантования для систем тождественных Бозе- и Ферми-частиц	Принцип тождественности частиц в квантовой механике. Оператор перестановки координат частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции и статистика бозонов и фермионов. Представление чисел заполнения. Аддитивные и бинарные операторы в квантовой механике. Операторы рождения и уничтожения частиц для бозонов и фермионов и их коммутационные соотношения. Операторы чисел заполнения и его свойства. Вакуумная волновая функция. Представление вторичного квантования для аддитивных и бинарных операторов Бозе- и Ферми-частиц.	-
1.2	Системы свободных и слабовзаимодействующих Бозе- и Ферми-частиц.	Волновые функции и энергии основных и возбужденных состояний системы свободных бозонов. Основное состояние системы свободных бозонов и Бозе-конденсация. Система слабовзаимодействующих бозонов. Параметр малости. Волновые функции и энергии основных и возбужденных состояний системы свободных фермионов. Основное состояние системы свободных фермионов, поверхность Ферми и импульс Ферми. Система слабовзаимодействующих фермионов. Приближение Хартри-Фока.	-

1.3	Теории сверхтекучести жидкого гелия.	Сверхтекучесть жидкого гелия при низких температурах. Эксперименты Капицы. Теория двухкомпонентной Бозе-жидкости Ландау. Спектр квази-частиц и условия сверхтекучести. Метод v -, u - преобразования Боголюбова для сверхтекучей Бозе-системы. Спектр квазичастиц. Условия справедливости приближения Боголюбова. Работы Беляева по сверхтекучести жидкого гелия.	-
1.4	Теория сверхпроводимости металлов	Сверхпроводимость, Эффект Мейснера. Теория Лондонов. Феномен Купера и образование куперовских пар. Теория сверхпроводимости металлов Бардина-Купера-Шриффера. Метод u -, v -преобразования Боголюбова. Спектр квазичастиц и условие сверхтекучести куперовских пар в сверхпроводниках. Связь явлений сверхпроводимости и сверхтекучести в природе. Сверхтекучая модель атомного ядра.	-
1.5	Методы квантовой теории поля для описания характеристик взаимодействующих	Представления Шредингера, Гейзенберга и взаимодействие в квантовой механике. S-матрица. Одночастичные функции Грина в представлении вторичного квантования для Ферми- и Бозе-частиц.	-
	Ферми- и Бозе-систем	Лемановское разложение точных одночастичных функций Грина и их аналитические свойства. Полюса и квазичастицы. Физически наблюдаемые величины и функции Грина. Диаграммная техника для расчета точных одночастичных фермионных и бозонных функций Грина. Теорема Вика. Диаграммы Фейнмана в координатном и импульсном представлениях. Правила расчета диаграмм. Уравнение Дайсона для точных одночастичных функций Грина Ферми- и Бозе- частиц. Уравнение для точной двухчастичной функции Грина Ферми-частиц. Эффективные взаимодействия фермионов в канале частица-частица и частица-дырка. Расчеты массового оператора, спектра квазичастиц и распределения частиц по импульсам для системы взаимодействующих Ферми-частиц. Теория Ферми-жидкости Ландау и теории конечных Ферми-систем Мигдала для атомных ядер.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Метод вторичного квантования для систем тождественных Бозе- и Ферми-частиц	3			10	13
2	Системы свободных и слабозадействующих Бозе- и Ферми-частиц.	4			11	15
3	Теории сверхтекучести жидкого гелия.	4			11	15

4	Теория сверхпроводимости металлов	4			11	15
5	Методы квантовой теории поля для описания характеристик взаимодействующих Ферми- и Бозе-систем	3			11	14
	Итого:	18			54	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников) а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Давыдов, А. С. Квантовая механика : [учебное пособие для студентов ун-тов и техн. вузов] / А.С. Давыдов .— 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011 .— 703 с.
2	Савельев И.В. Основы теоретической физики (в 2 тт.). Том 2. Квантовая механика/ И.В.Савельев.— Издательство "Лань", ISBN: 978-5-8114-0620-3, 2016.— 432 с. // Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система.— URL: https://e.lanbook.com/book/71765#book_name . ц:
3	Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : [в 3 т.] / К.Н. Мухин .— СанктПетербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009- .— (Классическая учебная литература по физике / ред. совет: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.]) .— Т.2: Физика ядерных реакций .— Изд. 7-е, стер. — 2009 .— 318 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Ландау Л. Д. Теоретическая физика : Учеб. пособие для студентов физических специальностей университетов: В 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; Под ред. Л.П. Питаевского .— М. : Физматлит, 2002-.Т. 5, ч. 1: Статистическая физика .— 5-е изд., стер. — 2002 .— 616 с.
5	Боголюбов Н. Н. Избранные труды по математике / Н.Н. Боголюбов .— М. : Физматлит, 2006 .— 559 с.

6	Абрикосов А. А. Методы квантовой теории поля в статистической физике / А.А.Абрикосов, Л.П. Горьков, И.В. Дзялошинский. – М. : Добросвет: КДУ, 2006.– 512 с.
7	Мигдал А. Б. Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер / А.Б. Мигдал .— 2-е изд., перераб. и допол. — М. : Наука, 1983 .— 429, с.
8	Пайерлс П.Е. Квантовая теория твердых тел / П.Е. Пайерлс.— М. : Изд.-во иностр. лит., 1956. – 258 с.
9	Киржниц Л.А. Полевые методы теории многих частиц / Л.А. Киржниц.— М.: Госатомиздат, 1986.— 341 с.
10	Ландау Л. Д. Теоретическая физика : В 10 т.: Учеб. пособие для студ. физ. специальностей ун-тов / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; Под ред. Л.П. Питаевского .— М. : Физматлит, 2001 -. Т. 3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория .— 5-е изд., стер. — 2001 .— 803 с.
11	Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт./ К.Н.Мухин.— Лань, 2009 // Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система.— URL: https://e.lanbook.com/book/277#authors
12	Леденев, А.Н. Физика : учебное пособие / А.Н. Леденев. - Москва : Физматлит, 2005. - Кн. 5. Основы квантовой физики. - 248 с. - ISBN 5-9221-0465-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69236 (19.12.2017).
13	Киржниц Л.А. Полевые методы теории многих частиц / Л.А. Киржниц.— М.: Госатомиздат, 1986.— 341 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
17	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Кондратьев, А.С. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории / А.С. Кондратьев, П.А. Райгородский. - Москва : Физматлит, 2007. - 254 с. - ISBN 978-5-9221-0876-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68400

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий; – компьютерные технологии при проведении занятий:
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

<p>Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 428</p>	<p>Специализированная мебель, ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)</p>
<p>Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31</p>	<p>Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)</p>
<p>Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 40/5</p>	<p>Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационнообразовательную среду университета Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/about-</p>
	<p>us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses) Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО) (лицензия: https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/)</p>

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Темы 1-5	ПК-1	ПК-1.4 ПК-1.5	Собеседование, контрольные работы
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Лабораторные работы, коллоквиум

Перечень вопросов к коллоквиуму

1. Метод вторичного квантования для систем тождественных Бозе- и Ферми-частиц
2. Системы свободных и слабо взаимодействующих Бозе- и Ферми-частиц
3. Теория сверхтекучести жидкого гелия,
4. Теория сверхпроводимости металлов,
5. Методы квантовой теории поля для описания характеристик

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<i>Незачтено</i>

20.2 Промежуточная аттестация Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

1. Операторы перестановок и тождественность частиц в квантовой механике.
2. Теория конечных Ферми-систем Мигдала для атомного ядра.
3. Квазичастицы и их свойства. Статистика квазичастиц.
4. Лемановское разложение точной одночастичной функции Грина.
5. Открытие П.Л. Капицей сверхтекучести жидкого гелия-4. Теория сверхтекучести Ландау
6. Массовый оператор, Расчет массового оператора.
7. Метод v - u - преобразования Боголюбова для сверхтекучего жидкого гелия. Спектр квазичастиц.
8. Уравнение Дайсона.
9. Свободный Ферми газ. Импульс Ферми.
10. Применение теории Ферми-жидкости Ландау для описания Ферми-систем.
11. Теория Ферми- жидкости Ландау.
12. Массовые операторы и квазичастицы.
13. Метод вторичного квантования для Бозе-систем.
14. Диаграммы Фейнмана.
15. Система свободных Бозе-частиц. Бозе конденсация.
16. Теорема Вика.
17. Система слабозаимодействующих Бозе-частиц. Параметр малости.
18. Лемановское разложение и аналитические свойства точной одночастичной функции Грина.
19. Спектр квазичастиц и критерий сверхтекучести жидкого гелия Ландау.
20. Диаграммная техника в координатном представлении.
21. Диаграммная техника в импульсном представлении..
22. Теория Бардина-Купера-Шриффера сверхпроводимости металлов.
23. Система слабозаимодействующих Ферми-частиц. Метод Хартри-Фока.
24. Эффект Мейснера и его объяснение в теории сверхпроводимости.
25. Приближение Хартри-Фока для системы Ферми-частиц.
26. Феномен Купера.
- 27.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<i>Незачтено</i>

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.