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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики
_____/ Титова Л.В./
13.06.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.03.01 Системы многих частиц

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.03.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: бакалавр

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 №6 от 13.06.2025

8. Учебный год: 2028/2029 **Семестр(ы):** 7

9.Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными методами и подходами, используемыми для описания свойств систем многих частиц.

Задачи учебной дисциплины:

- научить студента пользоваться методом вторичного квантования, а также основными методами квантовой теории поля для описания физических свойств систем Ферми- и Бозе-частиц.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной частиц цикла Б1.В.ДВ. (Дисциплины по выбору).

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 использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области.	ПК-1.2	Использует основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора.	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: базовыми формализмами квантовой теории поля, используемых в современных теориях сверхтекучести жидкого гелия и сверхпроводимости металлов, а также в теориях бесконечных и конечных Ферми-систем, 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-1.3	Проводит изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —4/144.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			7 семестр
Аудиторные занятия		36	36
в том числе:	лекции	36	36
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		72	72
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль		36	36
Форма промежуточной аттестации		Экзамен	Экзамен
Итого:		144	144

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	Сверхпроводимость, Эффект Мейснера. Теория Лондонов. Феномен Купера и образование	-

	металлов	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 Ферми- и Бозе-систем	Представления Шредингера, Гейзенберга и взаимодействие в квантовой механике. S-матрица. Одночастичные функции Грина в представлении вторичного квантования для Ферми- и Бозе-частиц. 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	Контроль	Всего
1	Метод вторичного квантования для систем тождественных Бозе- и Ферми-частиц	6			14	6	26
2	Системы свободных и слабовзаимодействующих Бозе- и Ферми-частиц.	6			14	6	26
3	Теории сверхтекучести жидкого гелия.	8			14	8	30
4	Теория сверхпроводимости металлов	8			15	8	31
5	Методы квантовой теории поля для описания характеристик взаимодействующих Ферми- и Бозе-систем	8			15	8	31
	Итого:	36			72	36	144

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.

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	Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : [в 3 т.] / К.Н. Мухин .— Санкт-Петербург ; 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.
2	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. (30)

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	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
7	Боголюбов Н. Н. Избранные труды по математике / Н.Н. Боголюбов .— М. : Физматлит, 2006 .— 559 с.
8	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.
9	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.
10	Пайерлс П.Е. Квантовая теория твердых тел / П.Е. Пайерлс.– М. : Изд.-во иностр. лит., 1956. – 258 с.
11	Киржниц Л.А. Полевые методы теории многих частиц / Л.А. Киржниц.– М.: Госатомиздат, 1986.– 341 с.
12	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.

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

№ п/п	Ресурс
	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, задачники, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.03.02. Ядерные физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

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:

Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-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/about-us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/ legal/licenses)	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.I, ауд. 428
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.I, ауд. 31
Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.I, ауд. 313а

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.	Метод вторичного квантования для систем тождественных Бозе- и Ферми-частиц	ПК-1	ПК-1.2 ПК-1.3	Устный вопрос, собеседование по билетам к экзамену
2.	Системы свободных и слабовзаимодействую			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	щих Бозе- и Ферми-частиц.			
3.	Теории сверхтекучести жидкого гелия.			
4.	Теория сверхпроводимости металлов			
5.	Методы квантовой теории поля для описания характеристик взаимодействующих Ферми- и Бозе-систем			
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

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:

Устный опрос

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	*Уровень сформированности компетенций*	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Повышенный уровень*	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Базовый уровень*	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	*Пороговый уровень*	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к экзамену

20.2.1. Перечень вопросов к экзамену:

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 слабовзаимодействующих 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 слабовзаимодействующих 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.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	*Уровень сформированности компетенций*	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Повышенный уровень*	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Базовый уровень*	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	*Пороговый уровень*	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно