




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП
«Теоретическая физика»

 Белоконов В. И.
(подпись) (Ф.И.О.)
«08»_сентября_2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой
Теоретической и ядерной физики

 Ширмовский С.Э.
(подпись) (Ф.И.О.)
«08»_сентября_2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая хромодинамика

Направление подготовки *03.06.01 Физика и астрономия*

Профиль «*Теоретическая физика*»

Форма подготовки (очная)

курс 2 семестр 4
лекции 18 час.
практические занятия 18 час.
лабораторные работы не предусмотрены
с использованием МАО лек. 6 /пр. 6 час.
всего часов контактной работы 18 час.
в том числе с использованием МАО 12 час., в электронной форме час.
самостоятельная работа 72 час.
в том числе на подготовку к экзамену час.
курсовая работа / курсовой проект семестр
зачет 4 семестр
экзамен семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 № 867

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики ШЕН ДВФУ, протокол № 19 от «08»_сентября_2018 г.

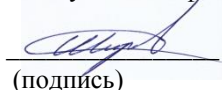
Заведующий (ая) кафедрой теоретической и ядерной физики Ширмовский С.Э.
Составитель (ли): д-р физ.- мат. наук, профессор, профессор кафедры теоретической и ядерной физики А.В. Молочков

Оборотная сторона титульного листа

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики:

Протокол от «07» июня 2019 г. № 16

Заведующий кафедрой /директор академического департамента



(подпись)

Ширмовский С.Э.

(И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/ академического департамента:

Протокол от « 10 » января 2020 г. № 4

Заведующий кафедрой теоретической и ядерной физики



(подпись)

Ширмовский С.Э.

(И.О. Фамилия)

Аннотация рабочей программы учебной дисциплины «Квантовая хромодинамика»

Дисциплина «Квантовая хромодинамика» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе направления подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», профиль «Теоретическая физика», форма подготовки очная и входит в вариативную часть, обязательная дисциплина учебного плана: Б1.В.ОД.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 часов, из них 6 часов занятий с применением методов активного обучения (МАО)), практические занятия (18 часов, из них 6 часов занятий с применением МАО), самостоятельная работа (72 часа). Дисциплина реализуется на 2 курсе в 4-ом семестре. Форма контроля - зачет (4 семестр)

Дисциплина «Квантовая хромодинамика» логически и содержательно связана с другими дисциплинами образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре: «Теоретическая физика», «Квантовая теория поля», «Теория фазовых переходов».

Освоение дисциплины необходимо для последующей научной работы в области физики сильных взаимодействий.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 г. № 867 и учебным планом подготовки аспирантов по профилю «Теоретическая физика».

Цель изучения дисциплины – дать представление об адронной структуре вещества, неабелевых калибровочных полях и аномалиях, присутствующих в теории возмущения.

Задачи:

- дать представление об адронной структуре материи;
- дать представление о квантовании не абелевых калибровочных теорий.
- изложить аномалии теории возмущений;
- дать представление о квантовании спонтанно нарушенных калибровочных теорий;
- изложить квантование на основе функциональных интегралов.

Для успешного изучения дисциплины «Квантовая хромодинамика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области физики и астрономии с использованием современных методов исследования и информационных технологий;

- Способность самостоятельно осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных;
- Знание основных понятий квантовой теории поля
- Владение математическим аппаратом квантовой теории поля

В результате изучения дисциплины у аспирантов формируются следующие профессиональные компетенции:

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 Владение методами математического описания физических полей	Знает	основные методы математического описания глюонных и кварковых полей
	Умеет	выделять математические методы, необходимые для описания физических процессов, протекающих на уровне кварков и глюонов
	Владеет	методами математического описания глюонных и кварковых полей
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования различных состояний вещества и физических явлений в них	Знает	основные методы компьютерного моделирования
	Умеет	критически оценивать область применимости выбранных математических методов
	Владеет	основными методами компьютерного моделирования взаимодействия кварков и глюонов
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает	основные методы математического описания полей и процессов, протекающих в конденсированных средах, находящие применение в квантовой хромодинамике; основные методы исследования полей и физических свойств конденсированных сред, находящие применение в квантовой хромодинамике
	Умеет	определять рамки применимости математического метода описания процессов, протекающих в конденсированных средах для решения конкретной задачи в квантовой хромодинамике; выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред в квантовой хромодинамике
	Владеет	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред, применяемых в квантовой хромодинамике

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Квантовая хромодинамика» применяются следующие методы активного / интерактивного обучения: «лекции визуализации» и технологии групповой работы: Аквариум, Технология открытого пространства.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

(**_18 час. в том числе _6_ час. с использованием методов активного обучения**)

Раздел 1. Введение в квантовую хромодинамику. Неабелевы калибровочные поля (6 час.)

Тема 1. Партонная модель структуры адронов. Адроны, партоны, кварки, глюоны. Структура адронов (2 час.)

Адроны, партоны, кварки, глюоны.

Тема 2. Неабелевы калибровочные поля (2 час.)

Интерактивная форма: технология активного пространства

Геометрия калибровочной инвариантности. Лагранжиан Янга-Миллса. Калибровочно-инвариантная вильсоновская петля. Основные положения из теории алгебр Ли.

Тема 3. Квантование неабелевых калибровочных теорий (2 час.)

Взаимодействия неабелевых калибровочных бозонов. Лагранжиан Фадеева-Попова. Души и унитарность. Однопетлевые расходимости в неабелевой калибровочной теории. Асимптотическая свобода: метод фонового поля. Асимптотическая свобода: качественное объяснение.

Раздел 2. Квантовая хромодинамика (8 час.)

Тема 1. Квантовая хромодинамика (2 час.)

Интерактивная форма: технология активного пространства

От кварков к КХД. Аннигиляция e^+e^- в адроны. Глубоконеупругое рассеяние. Процессы жесткого рассеяния при столкновениях адронов. Эволюция партонов. Измерения α_s .

Тема 2. Операторные произведения и эффективные вершины (4 час)

Интерактивная форма: технология групповой работы «Аквариум»

Перенормировка массы кварка. КХД перенормировка слабых взаимодействий. Операторное разложение. Операторный анализ e^+e^- - аннигиляции. Операторный анализ глубоконеупругого рассеяния.

Тема 3. Аномалии теории возмущений (2 час.)

Интерактивная форма: технология активного пространства

Аксиальный ток в двух измерениях. Аксиальный ток в четырех измерениях. Голдстоуновские бозоны и киральные симметрии в КХД. Киральные аномалии и киральные калибровочные теории. Аномальное нарушение масштабной инвариантности.

Раздел 3. Теории со спонтанно нарушенными симметриями (4 час.)

Тема 1. Калибровочные теории со спонтанным нарушением симметрии (2 час.)

Механизм Хиггса. Теория слабых взаимодействий Глэшоу-Вайнберга-Салама. Симметрии теории кварков и лептонов.

Тема 2. Квантование спонтанно нарушенных калибровочных теорий R_ξ калибровки (2 час.)

Интерактивная форма: технология активного пространства

Теорема эквивалентности голдстоуновских бозонов. Однопетлевые поправки к калибровочной теории слабого взаимодействия.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

(18 час., в том числе 6 час. с использованием методов активного обучения)

Практические занятия (18/6 час.)

Занятие 1. Распад Q -шаров (2 час.)

Интерактивная форма : технология активного пространства

Рассмотрим модель комплексного скалярного поля ϕ в $(3 + 1)$ измерениях,

$$\mathcal{L}_\phi = |\partial_\mu \phi|^2 - V(|\phi|),$$

Где $V(\phi) \approx m^2 |\phi|^2$ при $\phi \rightarrow 0$, $V(\phi) \rightarrow M^4$ при $|\phi| \rightarrow \infty$. Из-за сохранения заряда Q , связанного с глобальной симметрией $\phi \rightarrow e^{ia} \phi$, эта теория допускает существование устойчивых Q -шаров. Включение других полей, преобразующихся одновременно с полем ϕ , может повлиять на устойчивость этих решений.

1. Введем в модель дополнительное скалярное поле χ , преобразующееся как $\chi \rightarrow e^{ia} \chi$ (с тем же параметром a , что и ϕ), и взаимодействующее с ϕ :

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_\phi + |\partial_\mu \chi|^2 - m_\chi^2 |\chi|^2 - g |\phi \chi|^2,$$

где g – константа. Как изменится условие устойчивости Q -шара в зависимости от массы $m_\chi \rightarrow 0$.

2. Рассмотрим теперь взаимодействие поля ϕ с безмассовыми фермионами ψ (преобразующимися как $\psi \rightarrow e^{ia} \psi$) и η (не преобразующимися при преобразовании ϕ, ψ):

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_\phi + i\bar{\psi}\gamma_\mu\partial_\mu\psi + i\bar{\eta}\gamma_\mu\partial_\mu\eta - h\phi\bar{\psi}\eta,$$

где — константа. Что можно сказать об устойчивости Q -шара в это случае? Оценить максимальную скорость распада Q -шара в зависимости от его заряда. Если $M \approx 1$ ТэВ, то какой заряд должен иметь Q -шар, чтобы его время жизни было гарантированно дольше времени жизни Вселенной (15 миллиардов лет)?

Занятие 2. Солитоны в модели нескольких полей (2 час.)

Рассмотрим теорию N действительных скалярных полей ϕ_a , $a = 1, \dots, N$, в $(1+1)$ – мерном пространстве-времени. Пусть потенциал имеет вид

$$V = \frac{1}{2} \sum_a \left(\frac{\partial U}{\partial \phi_a} \right)^2,$$

где $U(\phi_1, \dots, \phi_N)$ – функциональное поле ϕ_a , называемый суперпотенциалом.

1. Показывать, что экстремумы суперпотенциала соответствуют минимумам потенциала.

2. Пусть суперпотенциал выбран так, что имеется дискретное множество вырожденных вакуумов, $\phi^{(1)}, \phi^{(2)}, \dots$. Тогда могут существовать статические топологические солитоны, интерполирующие между различными вакуумами (аналоги кинка). Используя вспомогательное неравенство

$$\int_{-\infty}^{+\infty} dz \sum_i \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial z} - \frac{\partial U}{\partial \phi_i} \right)^2 \geq 0,$$

показалось, что энергия $E_{\alpha\beta}$ солитона, интерполирующего между вакуумом $\phi^{(a)}$ и $\phi^{(b)}$, ограничена снизу, $E_{\alpha\beta} \geq \Sigma_{\alpha\beta} = |U[\phi^{(a)}] - U[\phi^{(b)}]|$, и минимум энергии достигается на решениях уравнений первого порядка. Показать, используя гидродинамическую аналогию, что решения этих уравнений существуют. Показать, что эти решения удовлетворяют решениям поля, полученным из исходного лагранжиана, то есть в модели существуют стабильные статические солитоны с энергией $\Sigma_{\alpha\beta}$, интерполирующие между вакуумами $\phi^{(a)}$ и $\phi^{(b)}$.

3. Пусть $N = 2$,

$$U = \frac{m^2}{\lambda} \phi^1 - \frac{\lambda}{3} \phi_1^3 - a \phi_1 \phi_2^2$$

Найти множество вакуумов в модели. Используя результаты пункта 2, показать, что имеется непрерывное семейство вырожденных по энергии солитонов, интерполирующих между вакуумами с наибольшей разницей $\Sigma_{\alpha\beta}$. Найти эти солитоны – явно при $\rho \equiv \lambda/a = 1$ и $\rho = 4$, в квадратурах при остальных значениях ρ . Построить графики, изображающие различные солитоны из этого семейства при $\rho = 4$. Найти солитоны, интерполирующие между остальными вакуумами.

Занятие 3. Рассеяние в поле вихря (2 час.)

Интерактивная форма: технология активного пространства

Рассмотрим вихрь – статический солитон в абелевой модели Хиггса в $(2+1)$ -мерном пространстве-времени. Обозначим конфигурацию вихря $A_\mu^C(x)$, $\varphi^C(x)$. Добавим в модель ещё одно комплексное скалярное поле ξ с зарядом q и лагранжианом

$$\mathcal{L}_\xi = (D_\mu \xi)^* (D_\mu \xi) - m_\xi^2 \xi^* \xi,$$

где

$$D_\mu \xi = \partial_\mu \xi - ieq A_\mu \xi.$$

Будем считать поля A_μ^C , φ^C внешними.

1. Записать уравнение для поля ξ во внешнем поле вихря. Найти разложение его решений по собственным функциям энергии E и углового момента $L = -i \frac{\partial}{\partial \theta}$, где θ – полярный угол на плоскости (x^1, x^2) . Найти соответствующие радиальные уравнения и их решения вдали от центра вихря при низких энергиях $E \ll m_V, m_H, m_\xi$.

2. В унитарной калибровке, где $\varphi^C(x)$ действительное, поле $\xi(x,t)$ вдали от вихря можно интерпретировать (по крайней мере при низких энергиях) как волновую функцию частицы. Найти сечение рассеяния этой частицы на вихре на фиксированный угол θ при низких энергиях и при произвольных q .

Занятие 4. V – потенциал (2 час.)

Интерактивная форма : технология активного пространства

Рассмотрим теорию одного комплексного скалярного поля ϕ в $(d+1)$ -мерном пространстве-времени с лагранжианом

$$\mathcal{L} = |\partial_\mu \phi|^2 - \lambda |\phi|^4,$$

где $\lambda > 0$.

1. Найти размерность параметра λ .
2. Найти глобальную симметрию и сохраняющийся заряд Q .
3. Описать множество вакуумов. Что можно сказать о малых возмущениях около вакуума в модели (1)? В модели (1) с добавленным массовым членом $m^2 |\phi|^2$?
4. Показать, что в модели имеются солитонные решения с конечным зарядом Q и конечной энергией E , то есть Q -шары. Найти зависимость $E(Q)$ для таких решений, обсудить устойчивость.
5. Для $d = 1, 2, 3$ найти Q -шары в явном виде. Изучить поведение поля вдали от центра Q -шара.

Занятие 5. Космические струны со сверхпроводимостью (2 час.)

Рассмотрим абелеву модель Хиггса в $(3+1)$ -мерном пространстве-времени:

$$\mathcal{L}_1 = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F_{\mu\nu} + |D_\mu \phi|^2 - \frac{\lambda}{2} (|\phi|^2 - v^2)^2,$$

где $B_{\mu\nu} = \partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu$, $D_\mu \phi = (\partial_\mu - ieB_\mu)\phi$. Пусть имеется бесконечно длинные «космическая струна» - не зависящее от координат x_3 статистическое решение в виде вихря Абрикосова-Нильсена-Олесена в плоскости (x_1, x_2) . Рассмотрим теорию скалярного поля χ , взаимодействующего с полем ϕ и с электромагнитным полем A_μ :

$$\mathcal{L}_2 = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F_{\mu\nu} + |D_\mu \chi|^2 - \frac{k}{2} (|\chi|^2 - \mu^2)^2 - h |\phi|^2 |\chi|^2,$$

где $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$, $D_\mu \chi = (\partial_\mu - iqA_\mu) \chi$, $\hbar > 0$.

1. Рассмотрим систему с лагранжианом $\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2$. Показать, что при некоторых значениях параметра потенциала (λ, k, v, μ) решение с наименьшей энергией соответствует нулевому полю $\chi=$, локализованному по координатам (x_1, x_2) в сердцевине струны.

2. Поле χ несёт электрический заряд, поэтому при включении внешнего электрического поля E , направленного вдоль струны, по струне потечёт электрический ток, то есть будет отлична от нуля компонента J_3 вектора плотности тока

$$J_\mu = i (\chi^* D_\mu \chi - \chi D_\mu \chi^*).$$

Показать, что при постоянном E ток растёт линейно со временем, то есть струна представляет собой сверхпроводящую проволоку.

3. Показать, что имеется критическое значение J^c тока через струну, выше которого сверхпроводимость нарушается. Оценить J^c (в системе единиц $\hbar = c = 1$ и в амперах m^2), если m_χ и q – масса и заряд электрона.

Занятие 6. E – шары (2 час.)

Интерактивная форма : технология активного пространства

Рассмотрим в (3+1) измерениях теорию комплексного скалярного поля ϕ с потенциалом $V(\phi)$, допускающим существование Q-шаров:

$$V(\phi) \rightarrow M^4 \quad \text{при } |\phi| \rightarrow \infty,$$

$$V(\phi) \sim m^2 |\phi|^2 \quad \text{при } |\phi| \rightarrow 0.$$

Пусть поле ϕ взаимодействует с абелевым калибровочным полем (электромагнитным), заряд поля e . Изучить вопрос о существовании Q-шаров в такой теории. Описать соответствующие решения. При каких зарядах они устойчивы?

Занятие 7. Глобальные вихри (2 час.)

Рассмотрим теорию одного комплексного скалярного поля в (2+1)-мерном пространстве-времени:

$$\mathcal{L} = |\partial_\mu \phi|^2 - \frac{\lambda}{2} (|\phi|^2 - v^2)^2.$$

1. Показать, что в теории имеются топологические дефекты – классические статистические решения с нейтральной асимптотикой.

2. Показать, что энергия такого дефекта — глобального вихря — бесконечна и расходится логарифмически с увеличением расстояния от центра вихря.

3. Рассмотреть систему из глобальных вихря и антивихря, расположенных, расположенных на большом расстоянии R друг от друга. Найти поле вдали от центра вихря и антивихря и энергию их взаимодействия.

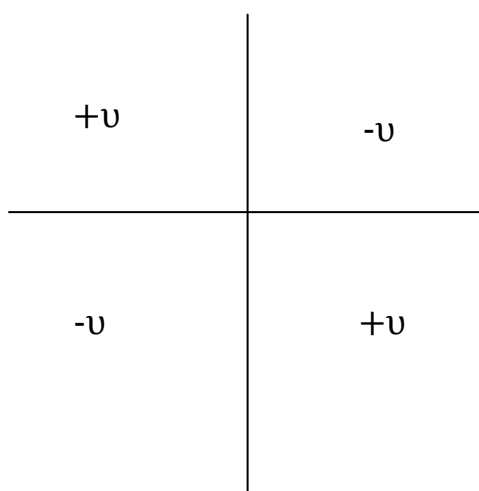
Занятие 8. Пересечение доменных стенок (2 час.)

Интерактивная форма: технология активного пространства

Рассмотрим модель одного действительного скалярного поля с потенциалом

$$V = \frac{\lambda}{4} (|\phi|^2 - v^2)^2.$$

В (1+1)-мерном пространстве-времени в этой модели существует топологический солитон — кинк — устойчивое решение уравнений поля, зависящее только от x_1 . В (2+1)-мерном пространстве-времени в той же модели существуют доменные стенки — решения с бесконечной энергией, имеющие профиль килка вдоль оси x_1 и не зависящие от x_0, x_2 . Стенка разделяет области (домены), в которых поле принимает различные вакуумные значения $\phi = \pm v$. Предположим, что создана конфигурация, отвечающая двум пересекающимся доменным стенкам, так что имеются четыре домена (см. рис.). Устойчиво ли такое пересечение?



Занятие 9. Пересечение уровней в (3+1) – мерной модели (2 час.)

Интерактивная форма : технология активного пространства

Рассмотрим заряженные безмассовые фермионы в кубическом ящике большого размера L в (3+1)-мерном пространстве во внешнем постоянном магнитном поле \mathbf{H} , направленном вдоль оси z . Пусть на некоторое время t на систему накладываются однородные электрическое поле \mathbf{E} , направленное вдоль оси z . Найти изменение чисел правых и левых фермионов. Связать это с

$$\int F_{\mu\nu} \tilde{F}_{\mu\nu} d^4x \propto \int \mathbf{E} \cdot \mathbf{H} d^4x,$$

где $\tilde{F}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \epsilon_{\mu\nu\rho\lambda} F_{\rho\lambda}$. Считать, что включение и выключение поля производится адиабатически, но время переключений много меньше t .

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Название дисциплины» представлено в приложении 1 и включает в себя:

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды, наименование и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Введение в квантовую хромодинамику. Неабелевы калибровочные поля	ПК-1, ПК-2	Знает	УО-1 (собеседование)	Вопросы к зачету 1-10
			Умеет		
			Владеет		
2	Раздел 2. Квантовая хромодинамика	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Знает	УО-1 (собеседование)	Вопросы к зачету 11-20
			Умеет		
			Владеет		
3	Раздел 3. Теории со спонтанно нарушенными симметриями	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Знает	УО-3 (доклад) УО-1 (собеседование)	Вопросы к зачету 21-25
			Умеет		
			Владеет		

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Окунь, Л.Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц / Л.Б. Окунь - М.: Физматлит, 2009. – 128 с. – режим доступа : http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2274

2. Боголюбов Н.Н, Логунов А.А., Оксак А.И., Тодоров И.Т. Общие принципы квантовой теории поля / Суханов А.Д. – М.: Физматлит, 2006. – 657 с. – режим доступа : http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48239

3. Рубаков, В.А. Классические калибровочные поля / В.А. Рубаков – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 336 с. – режим доступа : <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:363072&theme=FEFU>

4. Индурайн, Ф. Квантовая хромодинамика: Введение в теорию кварков и глюонов / Ф. Индурайн ; под ред. И.М. Дремина ; пер. с англ. А.А. Быкова. – М.: Мир, 1986. – 284 с. – режим доступа : <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:52858&theme=FEFU>

5. Поляков, А.М. Калибровочные поля и струны / А.М. Поляков. – Ижевск : Изд.дом«Удмурт.ун-т», 1999. – 314 с. – режим доступа : <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:365886&theme=FEFU>

Дополнительная литература

1. Высоцкий, М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий / М.И. Высоцкий - М.: Физматлит, 2011. - 152 с. – режим доступа : <http://e.lanbook.com/view/book/2712>

2. Пескин, М.Е. Введение в квантовую теорию поля / М.Е. Пескин, Д.В. Шредер ; под ред. А.В. Беркова ; пер. с англ. А.А. Белавина. – Москва Ижевск : Регулярная и хаотичная динамика, 2001 – 784 с. – режим доступа : <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:396442&theme=FEFU>

3. Райдер, Л. Квантовая теория поля / Л. Райдер ; пер. с англ. С.И. Азакова. – М. : Мир, 1987 – 512 с. – режим доступа : <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:664720&theme=FEFU>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. НЭБ : eLIBRARY.RU
2. НЭБ : Scopus
3. НЭБ : Web Of Science
4. Обучающий ресурс: [MIT. Strong interactions. Effective field theories of QCD](http://MIT.Strong interactions. Effective field theories of QCD)
5. Обучающий ресурс: MIT. Relativistic quantum field theory I

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. База данных полнотекстовых академических журналов Китая <http://oversea.cnki.net/>
4. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://diss.rsl.ru/>

5. Электронные базы данных EBSCO <http://search.ebscohost.com/>

**Перечень информационных технологий
и программного обеспечения**

№ п/п	Место расположения компьютерной техники, на которой установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
1.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L560. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
2.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L556. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
3.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L557. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
4.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус А, ауд. А1017. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30. Родительская программа Campus 3 49231495. Торговый посредник: JSC "Softline Trade" Номер заказа торгового посредника: Tr000270647-18. Photoshop CC for teams All Apps ALL Multiple Platforms Multi European Languages Team Licensing Subscription Renewal №ЭА-667-17 от 08.02.2018. 07, Adobe Creative Cloud for teams All Apps ALL Multiple Platforms Multi European Languages Team Licensing Subscription New Контракт №ЭА-667-17 от 08.02.2018. ESET NOD32 Secure Enterprise Контракт №ЭА-091-18 от 24.04.2018. AutoCAD Electrical 2015. Срок действия лицензии 10.09.2020. № договора 110002048940 в личном кабинете Autodesk. +2 Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012

**VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

В процессе изучения дисциплины «Квантовая хромодинамика» предлагаются разнообразные методы и средства освоения учебного материала: лекции, лабораторные работы, коллоквиумы, тестирование, самостоятельная работа аспирантов.

Лекции

Лекция – основная активная форма аудиторных занятий, необходимая для разъяснения основополагающих теоретических разделов. Предполагает интенсивную умственную деятельность аспиранта. Лекция носит познавательный, развивающий, воспитательный и организующий характер. Конспект лекций помогает усвоить теоретический материал дисциплины. При слушании лекции надо конспектировать ее рубрикацию, терминологию, ключевые слова, определения, формулы, графические схемы. Конспект является полезным, когда он пишется самим аспирантом. Можно разработать собственную схему сокращения слов. Название тем, параграфов можно выделять цветными маркерами.

При домашней работе с конспектом лекций необходимо использовать основной учебник и дополнительную литературу, которые рекомендованы по данной дисциплине. Именно такая серьезная работа аспиранта с лекционным материалом позволяет достичь ему успехов в овладении новыми знаниями.

При изложении лекционного курса по дисциплине «Современные методы и технологии клеточной биологии» в качестве форм интерактивного обучения используются: лекция-беседа, лекция-визуализация, лекция-консультация, которые строятся на базе предшествующих знаний и знаний смежных дисциплин. Для иллюстрации словесной информации применяются презентации, интерактивная доска, таблицы, схемы. По ходу изложения лекционного материала ставятся проблемные и провоцирующие вопросы, включаются элементы дискуссии.

Лекция-визуализация. Чтение лекции сопровождается компьютерной презентацией с базовыми текстами (заголовки, формулировки, ключевые слова и термины), иллюстрациями микроскопических и ультрамикроскопических изображений клеток и тканей, рисованием схем и написанием формул на интерактивной доске, производится демонстрация наглядных таблиц и слайдов, что способствует лучшему восприятию излагаемого материала. Лекция - визуализации требует определенных навыков: словесное изложение материала должно сопровождаться и сочетаться с визуальной формой. Информация, изложенная в виде схем, таблиц, слайдов, позволяет формировать проблемные вопросы и способствует развитию профессионального мышления будущих специалистов.

Лекция-консультация. Преподаватель делает краткое (тезисное) сообщение. Аспиранты задают вопросы, на которые отвечает преподаватель и другие аспиранты. На основе вопросов и ответов разворачивается творческая дискуссия.

Практические (семинарские) занятия

Лабораторные работы. Лабораторные работы повышают качество обучения, способствуют развитию познавательной активности у аспирантов, их логического мышления и творческой самостоятельности. В процессе выполнения лабораторных работ углубляются и конкретизируются теоретические знания, вырабатывается умение применять их на практике. Приобретаются навыки работы с современными методами молекулярной биологии. Аспирант учится правильно использовать методы, видеть их достоинства и недостатки, получает неоценимый опыт по использованию данных методов. Все это позволяет глубже понять теоретические основы молекулярной биологии клетки. Формируются навыки научно-исследовательской работы и профессиональные компетенции.

Коллоквиумы. Коллоквиум – коллективная форма рассмотрения и закрепления учебного материала. Коллоквиумы являются одним из видов практических занятий, предназначенных для углубленного изучения дисциплины, проводятся в интерактивном режиме. На занятиях по теме коллоквиума разбираются вопросы, и затем вместе с преподавателем проводится их обсуждение, которое направлено на закрепление материала, формирование навыков вести полемику, развитие самостоятельности и критичности мышления, на способность аспирантов ориентироваться в больших информационных потоках, вырабатывать и отстаивать собственную позицию по проблемным вопросам учебной дисциплины.

В качестве методов интерактивного обучения на коллоквиумах используются: развернутая беседа, диспут, пресс-конференция.

Развернутая беседа предполагает подготовку аспирантов по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы. Доклады готовятся аспирантами по заранее предложенной тематике.

Контрольные тесты. Используется бланковое или компьютерное тестирование в режиме выбора правильных ответов, установления соответствия понятий, обозначения деталей на схемах и прочее.

Возможны также письменные контрольные работы в форме традиционных письменных ответов на ряд вопросов по пройденной теме, изложенной в лекциях и обсужденной на коллоквиумах. Несмотря на произвольность формы, в ответах обязательно использование терминов, ключевых слов и понятий, а при необходимости схем и формул. По некоторым темам предлагается решение задач.

Методические указания по работе с литературой

Надо составить первоначальный список источников. Основой может стать список литературы, рекомендованный в рабочей программе курса. Для удобства работы можно составить собственную картотеку отобранных источников (фамилия авторов, заглавие, характеристики издания) в виде рабочего файла в компьютере. Такая картотека имеет преимущество, т.к. она

позволяет добавлять источники, заменять по необходимости одни на другие, Первоначальный список литературы можно дополнить, используя электронный каталог библиотеки ДВФУ, при этом не стесняйтесь обращаться за помощью к сотрудникам библиотеки.

Работая с литературой по той или другой теме, надо не только прочитать, но и усвоить метод ее изучения: сделать краткий конспект, алгоритм, схему прочитанного материала, что позволяет быстрее его понять, запомнить. Не рекомендуется дословно переписывать текст.

Методические рекомендации к самостоятельной работе аспиранта

Текущий контроль результатов самостоятельной работы осуществляется в ходе проведения лабораторных работ (устный опрос), коллоквиумов и тестирования. На основании этих результатов аспирант получает текущие и зачетные оценки, по которым выводится итоговая оценка. Промежуточная (семестровая) аттестация проводится в форме устного зачета (в 3-м семестре) и устного экзамена (в 4-м семестре).

Методические указания по подготовке к лабораторным работам и их выполнению

К лабораторным работам аспирант должен подготовиться: повторить лекционный материал, прочитать нужный раздел по теме в учебнике.

Занятие начинается с краткого устного опроса по заданной теме. Далее аспиранты работают с конкретными методами.

Для занятий необходимо иметь халат и сменную обувь. Необходимо освоить технику безопасности при работе со всеми используемыми на занятии методами, правильно оценить, сколько необходимо реактивов и расходных материалов для работы. Только после этого аспирант может начинать непосредственно работать с поставленной задачей. В конце занятия аспирант предоставляет преподавателю отчет по результатам проделанной работы с выводами.

Ответы на вопросы, выступления и активность аспирантов на занятии оцениваются текущей оценкой.

Методические указания по подготовке к коллоквиумам

Поскольку коллоквиум является коллективной формой рассмотрения и закрепления учебного материала, к нему должны готовиться все аспиранты. Коллоквиум обычно проводится в форме развернутой беседы, диспута, пресс-конференции. На каждый коллоквиум заранее объявляется тема и перечень вопросов для устных сообщений. По всем вопросам надо проработать соответствующий материал из учебника, конспекта лекций, дополнительной литературы и соответствующей лабораторной работы. Преподаватель объявляет вопрос и предлагает сделать сообщение на 5-7 минут одному из аспирантов – либо по их желанию, либо по своему выбору. После сообщения преподаватель и аспиранты задают вопросы и выступают с дополнениями и комментариями.

Ответы на вопросы, выступления и активность аспирантов на занятии оцениваются текущей оценкой.

Методические указания по подготовке доклада

По отдельным темам на коллоквиумах могут делаться более емкие и глубокие доклады – до 15-20 минут. Тема доклада может быть предложена преподавателем или выбрана аспирантом самостоятельно.

При подготовке к докладу проводится подбор литературных источников по теме из рекомендуемой основной и дополнительной литературы, а также работа с ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», указанными в рабочей программе.

Работа с текстом научных книг и учебников состоит не только в прочтении материала, необходимо провести анализ, сравнить изложение материала в разных источниках, подобрать материал таким образом, чтобы он раскрывал тему доклада. Проанализированный материал конспектируют, при этом надо избегать простого переписывания текстов без каких либо комментариев и анализа. Прямое заимствование текстов других авторов в науке не допускается, оно определяется как плагиат и является наказуемым. Цитирование небольших фрагментов (со ссылкой на автора) допускается, если надо подчеркнуть стиль или сущность авторского определения, но злоупотреблять чужими текстами нельзя. Доклад должен быть выстроен логично, материал излагается цельно, связно и последовательно, делаются выводы. Желательно, чтобы аспирант мог выразить своё мнение по обсуждаемой проблеме. Необходимо заранее продумать схемы для иллюстрации на доске или приготовить их в форме компьютерной презентации. В докладе обязательно необходимо использовать термины и ключевые слова по данной теме. После доклада проводится обсуждение с дополнениями и поправками. Оценивается как качество доклада, так и активность участников дискуссии.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Место расположения компьютерной техники, на которой установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
1.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L560. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Парты и стулья, экран проекционный SENSSCREEN ES-431150 150* настенно-потолочный моторизированный, покрытие Matte White, 4:3, размер рабочей поверхности 305*229 , проектор BenQ MW 526 E.
2.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс,	Парты и стулья, экран проекционный SENSSCREEN ES-431150 150* настенно-потолочный моторизированный, покрытие Matte

	10, корпус L, ауд. L556. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	White, 4:3, размер рабочей поверхности 305*229 , проектор BenQ MW 526 E.
3.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L557. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Парты и стулья, экран проекционный SENSSCREEN ES-431150 150* настенно-потолочный моторизированный, покрытие Matte White, 4:3, размер рабочей поверхности 305*229 , проектор BenQ MW 526 E.
4.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус А , ауд. А1017. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов.	Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.
5.	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L539a помещение для хранения и профилактического обслуживания оборудования	



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

По дисциплине «Квантовая хромодинамика»
Направление подготовки *03.06.01 Физика и астрономия*
Профиль *«Теоретическая физика»*
Форма подготовки (очная)

Владивосток
2015

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	2 – 17 недели	Подготовка к семинарским занятиям	28 часов	УО-1 - собеседование
2	2 – 17 недели	Подготовка к тестам	10 часов	ПР-1 - тест
3	1 – 2 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
4	3 – 4 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
5	5 – 6 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
6	7 – 8 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
7	9 – 10 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
8	11 – 12 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	4 часа	УО-1 - собеседование
9	12 – 17 недели	Подготовка доклада	4 часа	УО-3 - доклад
10	13 – 14 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
11	15 – 16 недели	Изучение тем, запланированных для самостоятельного изучения	2 часа	УО-1 - собеседование
12	17 – 18 недели	Подготовка к зачету	30 часов	Зачет

Методические указания к выполнению самостоятельной работы

Проработка учебного материала с использованием конспектов лекций, учебной и научной литературы должна осуществляться регулярно, последовательно на протяжении всего семестра. Для закрепления полученных знаний необходимо выполнять практические упражнения по

каждой теме. По одной из тем для самостоятельного изучения на выбор обучающийся должен подготовить доклад.

Список тем для самостоятельного изучения

1. Операторы Казимира.
2. Используя функциональный интеграл, вычислить вакуумное среднее вильсоновской петли в квантовой электродинамике без фермионов.
3. Калибровка Арновитта-Финклера.
4. Скалярное поле с неабелевым зарядом. Рассмотрим неабелеву калибровочную теорию с калибровочной группой G . Добавим в теорию комплексное скалярное поле в представлении \mathfrak{g} . Покажите, что фейнмановские правила для скалярного поля являются простой модификацией фейнмановских правил для скалярной КЭД.
5. Рассеяние кварка на глюоны и глюона на глюоне.
6. Глюонная функция расщепления.
7. Поведение партонных функций распределения при малых x .
8. Несохранение числа фермионов в параллельных полях E и B .
9. Слабый распад пиона.
10. Пределы большой фермионной массы.
11. Моды распада W - и Z -бозонов.
12. Модель с двумя полями Хиггса.
13. Зависимость радиационных поправок от массы бозона Хиггса.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине «Квантовая хромодинамика»

Направление подготовки *03.06.01 Физика и астрономия*

Профиль *«Теоретическая физика»*

Форма подготовки (очная/заочная)

Владивосток
2015

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 Владение методами математического описания физических полей	Знает	Основные методы математического описания глюонных и кварковых полей
	Умеет	Выделять математические методы, необходимые для описания физических процессов, протекающих на уровне кварков и глюонов
	Владеет	Методами математического описания глюонных и кварковых полей
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования различных состояний вещества и физических явлений в них	Знает	Основные методы компьютерного моделирования
	Умеет	Критически оценивать область применимости выбранных математических методов
	Владеет	Основными методами компьютерного моделирования взаимодействия кварков и глюонов
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает	Основные методы математического описания полей и процессов, протекающих в конденсированных средах, находящие применение в квантовой хромодинамике; Основные методы исследования полей и физических свойств конденсированных сред, находящие применение в квантовой хромодинамике
	Умеет	Определять рамки применимости математического метода описания процессов, протекающих в конденсированных средах для решения конкретной задачи в квантовой хромодинамике; Выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред в квантовой хромодинамике
	Владеет	Основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред, применяемых в квантовой хромодинамике

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды, наименование и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
1	Раздел 1. Введение в квантовую хромодинамику. Неабелевы	ПК-1, ПК-2	Знает	УО-1, (собеседование)	Вопросы к зачету 1-10
			Умеет		
			Владеет	ПР-1(тест)	

	калибровочные поля				
2	Раздел 2. Квантовая хромодинамика	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Знает	УО-1, (собеседование) ПР-1(тест)	Вопросы к зачету 11-20
			Умеет		
			Владеет		
3	Раздел 3. Теории со спонтанно нарушенными симметриями	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Знает	УО-3, (доклад) УО-1, (собеседование) ПР-1(тест)	Вопросы к зачету 21-25
			Умеет		
			Владеет		

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		Критерии	Показатели
ПК-1 Владение методами математического описания физических полей	Знает (пороговый уровень)	Знание основных методов математического описания глюонных и кварковых полей	Понимание основной терминологии и законов	Умение использовать знания в области КХД для объяснения физических процессов
	Умеет (продвинутый)	Умение пользоваться математическим аппаратом квантовой хромодинамики	Уверенное использование математического аппарата, возможность произвести главные принципы и законы	Умение выявлять различия и математические ошибки
	Владеет (высокий)	Умение читать и анализировать феноменологию в области КХД	Умение использовать терминологию, научно излагать свои мысли, идеи	Способность самостоятельно предоставлять результаты работы
ПК-2 Владение основным и методами компьютерного моделирования различных состояний вещества	Знает (пороговый уровень)	Знание основных языков программирования	Способность различать основные языки программирования	Знание базовых функций отдельных языков программирования
	Умеет (продвинутый)	Знание основных алгоритмов программирования физических процессов	Умение подсчитать вычислительные требования для поставленной задачи	Владение навыками параллельного программирования
	Владеет (высокий)	Владение методами анализа	Умение пользоваться	Способность объяснять природу возникновения

и физических явлений в них		результатов, полученных при помощи компьютерного моделирования	графическими средствами для визуализации своих результатов	ошибок
ПК-3 Владение основным и методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает (пороговый уровень)	Знание основных методов математического описания полей и процессов, протекающих в конденсированных средах, находящие применение в квантовой хромодинамике; основных методов исследования полей и физических свойств конденсированных сред, находящих применение в квантовой хромодинамике	Знает основные законы и рамки их применимости	Количество самостоятельно организованных и проведенных исследований
	Умеет (продвинутый)	Умение определять рамки применимости математического метода описания процессов, протекающих в конденсированных средах для решения конкретной задачи в квантовой хромодинамике; Выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред в квантовой хромодинамике	Умение самостоятельно пользоваться математическим аппаратом для описания результатов исследования	Самостоятельно полученные и обработанные результаты исследования, представленные руководителю
	Владеет	Владение	Способность	Исследования, которые

	(высокий)	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред, применяемых в квантовой хромодинимике	принимать чужой опыт исследований и грамотно излагать свой	можно представить в виде доклада или иной публикации
--	-----------	--	--	--

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Методические указания по сдаче зачета

На зачете в качестве оценочного средства применяется собеседование по вопросам, составленным ведущим преподавателем. Зачет принимается ведущим преподавателем или его ассистентом.

Во время проведения зачета аспиранты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины. В случае использования аспирантом средств для списывания, преподаватель имеет право удалить аспиранта с зачета, а в экзаменационную ведомость поставить незачет.

При явке на зачет аспиранты обязаны иметь при себе зачетную книжку. Преподаватель заполняет соответствующие графы зачетной книжки аспиранта: название дисциплины в соответствии с учебным планом, ее трудоемкость, фамилия преподавателя, оценка, дата, подпись.

Для сдачи устного зачета аспирант приглашается в специализированную аудиторию. Выходить из аудитории во время подготовки к ответам без разрешения преподавателя аспирантам запрещается. Время, предоставляемое аспиранту на подготовку к ответу на устном зачете – 30 минут.

При сдаче устного зачета преподаватель может задавать дополнительные вопросы. Если аспирант затрудняется ответить на один вопрос, то ему можно предложить ответить на другой, но не более одного раза.

При промежуточной аттестации установлены оценки на зачете: «зачтено» и «не зачтено».

При неявке аспиранта на зачет без уважительной причины в ведомости делается запись «не явился».

Оценки, выставленные преподавателем по итогам зачета, не подлежат пересмотру. Аспирант, не согласный с выставленной оценкой, имеет право подать заявление на имя директора Школы. В случае обоснованности поданного заявления директор Школы создает комиссию в составе трех преподавателей по соответствующей кафедре. Оценка, полученная аспирантом во время пересдачи зачета комиссии, является окончательной.

Критерии выставления оценки на зачете

«зачтено»	ставится тогда, когда аспирант свободно владеет теоретическим материалом изучаемой дисциплины, не допускает ошибок при ответах на задаваемые вопросы, используя наглядные таблицы, или допускает некоторые неточности в ответах, но быстро исправляет ошибки при задании ему наводящих вопросов. Кроме того, аспирант ориентируется в современных методах и вопросах квантовой хромодинамики
«не зачтено»	ставится тогда, когда аспирант не владеет материалом изучаемой дисциплины, не отвечает на дополнительные вопросы преподавателя и не ориентируется в современных вопросах квантовой хромодинамики

Вопросы к зачету:

1. Адроны, партоны, кварки, глюоны. Структура адронов.
2. Геометрия калибровочной инвариантности.
3. Лагранжиан Янга-Миллса.
4. Калибровочно-инвариантная вильсоновская петля.
5. Основные положения из теории алгебр Ли.
6. Взаимодействия неабелевых калибровочных бозонов.
7. Лагранжиан Фадеева-Попова.
8. Души и унитарность.
9. Однопетлевые расходимости в неабелевой калибровочной теории.
10. Асимптотическая свобода: метод фонового поля.
11. Аннигиляция кварков в адроны.
12. Процессы жесткого рассеяния при столкновениях адронов.
13. Перенормировка массы кварка.
14. КХД перенормировка слабых взаимодействий.
15. Операторное разложение. Операторный анализ аннигиляции. Операторный анализ глубоконеупругого рассеяния.
16. Аксиальный ток в двух измерениях.
17. Аксиальный ток в четырех измерениях.
18. Голдстоуновские бозоны и киральные симметрии в КХД.
19. Киральные аномалии и киральные калибровочные теории.
20. Аномальное нарушение масштабной инвариантности.
21. Механизм Хиггса.
22. Теория слабых взаимодействий Глэшоу-Вайнберга-Салама.
23. Симметрии теории кварков и лептонов.
24. Калибровки.
25. Однопетлевые поправки к калибровочной теории слабого взаимодействия.

Критерии оценки к зачету:

Оценка «Зачтено»

1. Знание и понимание основного теоретического материала.
2. Верное решение задания, допускаются небольшие неточности и незначительные ошибки.

5. Собственные значения и отвечающие им нормированные собственные функции оператора некоторой физической величины A равны: $a_1 = 1$ и $f_1(x) = B \sin(x/a)$ (первое собственное значение и отвечающая ему собственная функция), $a_2 = 2$ и $f_2(x) = B \sin(2x/a)$, $a_3 = 3$ и $f_3(x) = B \sin(3x/a)$, (где a и B - некоторые числа, одинаковые для всех функций). Волновая функция частицы в некоторый момент времени равна $\Psi(x) = C \sin(2x/a) \cos(5x/a)$. Чему равно среднее значение величины A в этот момент времени?

- а. 5 б. 6 в. 7 г. 8

Тест 2

1. Какой формулой определяются собственные функции гамильтониана гармонического осциллятора массой m и частотой ω ($x = \sqrt{\hbar/m\omega}$ - безразмерная координата осциллятора)?

- А. $P_n(x) \exp(-x^2/2)$ (P_n - полиномы Лежандра) б. $L_n(x) \exp(-x^2/2)$ (L_n - полиномы Лагерра)
 в. $P_n^{|m|}(x) \exp(-x^2/2)$ ($P_n^{|m|}$ - присоединенные полиномы Лежандра) г. $H_n(x) \exp(-x^2/2)$ (H_n - полиномы Эрмита), ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$).

2. Какой формулой определяются собственные функции гамильтониана гармонического осциллятора массой m и частотой ω ($x = \sqrt{\hbar/m\omega}$ - безразмерная координата осциллятора)?

- А. $H_n(x) \exp(-x^2/2)$ б. $H_n(x) \exp(-x^4/2)$ в. $H_n(x) \exp(-x/2)$
 г. $H_n(x) \exp(-x^2)$ (H_n - полиномы Эрмита, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$).

3. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени имеет вид $(1+2x) \exp(-x^2/2)$ ($x = \sqrt{\hbar/m\omega}$ - безразмерная координата осциллятора). Какие значения энергии осциллятора могут быть обнаружены при измерениях?

- А. $\hbar\omega/2$ и $3\hbar\omega/2$ б. $3\hbar\omega/2$ и $5\hbar\omega/2$ в. только $3\hbar\omega/2$ г. только $\hbar\omega/2$

4. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени является четной функцией координаты. Можно ли при измерениях энергии осциллятора в этом состоянии обнаружить значение $3\hbar\omega/2$?

- А. да б. нет в. зависит от способа измерения г. зависит от волновой функции

5. При измерении энергии осциллятора были обнаружены два значения $\hbar\omega/2$ с вероятностью $1/4$ и $3\hbar\omega/2$ с вероятностью $3/4$. Средняя энергия осциллятора в этом состоянии равна

- а. $\bar{E} = 5\hbar\omega/2$ б. $\bar{E} = 5\hbar\omega/4$ в. $\bar{E} = 5\hbar\omega/3$ г. $\bar{E} = 5\hbar\omega/6$

Тест 3

1. Будет ли гамильтониан частицы, движущейся в центральном поле, коммутировать с оператором проекции момента на ось x ?

А. да б. нет в. зависит от поля г. зависит от состояния, в котором находится частица

2. Что можно сказать о зависимости волновой функции стационарных состояний частицы от полярного ϑ и азимутального φ углов в некотором центрально-симметричном поле.

А. не зависят от углов ϑ и φ

б. зависимость от углов ϑ и φ всегда сводится к некоторой сферической функции

в. эти функции можно выбрать так, что их зависимость от углов ϑ и φ сводится к некоторой сферической функции

г. это зависит от вида поля

3. Что можно сказать об интеграле $\int_0^{\infty} \chi_1(r)\chi_2(r)dr$, где $\chi_1(r)$ и $\chi_2(r)$ -

радиальные волновые функции ($\chi(r) = rR(r)$) стационарных состояний дискретного спектра

а. он равен нулю, если эти функции отвечают разным радиальным квантовым числам и разным моментам

б. он равен нулю, если эти функции отвечают разным радиальным квантовым числам, но одинаковому моменту

в. он равен нулю, если эти функции отвечают одинаковым радиальным квантовым числам, но разным моментам

г. он равен нулю, если эти функции отвечают одинаковым радиальным квантовым числам и одинаковым моментам

4. Что такое вырождение уровней энергии частицы в центрально-симметричном поле по проекции момента?

А. совпадение проекций момента у состояний с разными энергиями

б. совпадение проекций у состояний с разными моментами

в. совпадение моментов у состояний с разными проекциями

г. совпадение энергий у состояний с разными проекциями момента

5. Что такое «случайное» вырождение уровней энергии в центрально-симметричном поле?

А. Совпадение энергий у частиц, движущихся в разных потенциалах

б. совпадение энергий у состояний с разными моментами

в. случайное столкновение частиц, имеющих одинаковые энергии

г. совпадение моментов у состояний с разными энергиями

Тест 4

1. Теория возмущений позволяет вычислить:

а. оператор возмущения, если известно классическое выражение для возмущающего систему потенциала

б. поправки к энергиям

стационарных состояний непрерывного спектра

в. поправки к энергиям стационарных состояний дискретного спектра

г. поправки к волновым функциям стационарных состояний дискретного спектра

2. Какая из двух формул $\Delta E_i^{(2)} = \sum_{k(k \neq i)} \frac{|V_{ik}|^2}{\varepsilon_i - \varepsilon_k}$ или $\Delta E_i^{(2)} = \sum_{k(k \neq i)} \frac{|V_{ki}|^2}{\varepsilon_i - \varepsilon_k}$ для поправки к энергии i -го стационарного состояния правильна?

А. первая б. вторая в. обе, поскольку приводят к одинаковому результату

г. зависит от невозмущенной системы

3. На некоторую квантовую систему накладывают малое возмущение \hat{V} , причем известно, что диагональный матричный элемент оператора возмущения с невозмущенными функциями основного состояния равен нулю. Увеличится или уменьшится при этом энергия основного состояния системы?

А. увеличится б. уменьшится в. не изменится г. мало информации для ответа

4. Какой формулой – а, б, в или г - определяется условие применимости теории возмущений?

а. $\left| \frac{V_{ki}}{\varepsilon_i - \varepsilon_k} \right| \ll 1$ б. $\left| \frac{V_{ki}^2}{\varepsilon_i - \varepsilon_k} \right| \ll 1$

в. $V_{ki} \ll 1$ г. $\left| \frac{V_{ki}}{(\varepsilon_i - \varepsilon_k)^2} \right| \ll 1$

5. На частицу, находящуюся в бесконечно глубокой потенциальной яме, наложили возмущение $\alpha \delta(x - a/2)$, где a - размер ямы. Какой формулой определяются поправки первого порядка к энергиям состояний с нечетными квантовыми числами (основное состояние - $n = 1$)

а. $\Delta E_i^{(1)} = \frac{\alpha}{2a}$ б. $\Delta E_i^{(1)} = -\frac{2\alpha}{a}$ в. $\Delta E_i^{(1)} = \frac{2\alpha}{a}$ г. $\Delta E_i^{(1)} = -\frac{\alpha}{2a}$

Тест 5

1. На одномерный гармонический осциллятор, находящийся в первом возбужденном состоянии, действует зависящее от времени малое возмущение $\hat{V}(x, t) = \alpha x V(t)$. Чему равно отношение вероятностей перехода осциллятора в основное и второе возбужденное состояния? Ответ дать в первом порядке теории нестационарных возмущений.

А. $\frac{w_{1 \rightarrow 0}}{w_{1 \rightarrow 2}} = 2$, б. $\frac{w_{1 \rightarrow 0}}{w_{1 \rightarrow 2}} = \frac{1}{2}$ в. $\frac{w_{1 \rightarrow 0}}{w_{1 \rightarrow 2}} = 1$ г. $\frac{w_{1 \rightarrow 0}}{w_{1 \rightarrow 2}} = \frac{2}{3}$

Указание: Матричные элементы оператора координаты с осцилляторными функциями равны:

$$x_{nk} = \sqrt{\frac{n\hbar}{2m\omega}} \delta_{k,n-1} + \sqrt{\frac{(n+1)\hbar}{2m\omega}} \delta_{k,n+1}$$

2. На заряженный трехмерный гармонический осциллятор, находящийся в основном состоянии, действует малое однородное периодическое электрическое поле $\vec{E}(t) = \vec{E}_0 \cos \omega t$. Частота поля равна частоте осциллятора. В какие состояния осциллятор будет совершать переходы? Ответ дать в первом порядке теории нестационарных возмущений

А. в первое возбужденное б. во второе возбужденное в. в третье возбужденное г. ни в какие

Указание. Кратность вырождения первого возбужденного состояния осциллятора равна 3, второго возбужденного – 6.

3. На трехмерный гармонический осциллятор, находящийся в основном состоянии, действует малое возмущение $\hat{V}(r,t) = \hat{V}(r)\cos\omega t$, где оператор $\hat{V}(r)$ зависит только от модуля радиус-вектора, а частота возмущения равна частоте осциллятора. Может ли осциллятор совершить переход в первое возбужденное состояние?

А. да б. нет в. зависит от оператора $\hat{V}(r)$ г. это зависит от массы осциллятора

Указание. Кратность вырождения первого возбужденного состояния осциллятора равна 3.

4. На атом водорода, находящийся в основном состоянии действует малое возмущение $\hat{V}(\vec{r},t) = \alpha Y_{20}(\vartheta, \varphi)\cos\omega t$, где Y_{20} - сферическая функция. При какой минимальной частоте возмущения возможен переход? Ответ дать в первом порядке теории нестационарных возмущений

а. $\omega = \frac{e^2}{8a\hbar}$ б. $\omega = \frac{2e^2}{8a\hbar}$ в. $\omega = \frac{3e^2}{8a\hbar}$ г. $\omega = \frac{4e^2}{8a\hbar}$

здесь e - заряд электрона, a - боровский радиус. Указание. Кратность вырождения уровней энергии электрона в атоме равна n^2 , энергии - $-e^2/2n^2a$, $n = 1, 2, \dots$

5. На одномерную квантовую систему с гамильтонианом \hat{H}_0 внезапно накладывают возмущение $\hat{V}(x)$. Какой формулой описываются вероятности переходов из n -ого состояния в k -ое?

А. $w_{n \rightarrow k} = \left| \int \varphi_n^*(x)\hat{V}(x)\varphi_k(x)dx \right|^2$ б. $w_{n \rightarrow k} = \left| \int \psi_n^*(x)\hat{V}(x)\psi_k(x)dx \right|^2$ в.

$w_{n \rightarrow k} = \left| \int \varphi_n^*(x)\hat{V}(x)\psi_k(x)dx \right|^2$

г. $w_{n \rightarrow k} = \left| \int \varphi_n^*(x)\psi_k(x)dx \right|^2$, где φ и ψ - собственные функции гамильтониана \hat{H}_0 и $\hat{H}_0 + \hat{V}$

Тест 6

1. Какова кратность вырождения собственных состояний свободного трехмерного уравнения Шредингера?

а. 1 б. 2 в. $2l+1$ г. ∞

2. Потенциальная энергия частицы равна нулю. Какие из перечисленных функций будут решениями стационарного уравнения Шредингера при энергии E ($k = \sqrt{2mE/\hbar^2}$, m - масса частицы)

а. e^{ikr} б. e^{-ikr} в. e^{ikr}/r , $r \neq 0$ г. e^{-ikr}/r^2 , $r \neq 0$

3. Потенциальная энергия частицы равна нулю. Какие из нижеперечисленных функций будут приближенными решениями стационарного уравнения Шредингера при $r \rightarrow \infty$?

- а. $\sin \vartheta r e^{ikr}$ б. $\cos \vartheta \sin \varphi \sin kr / r$ в. $e^{i\varphi} e^{kr} / r$ г. никакая из перечисленных

4. Потенциальная энергия частицы не равна нулю, но обращается в нуль при $r \rightarrow \infty$. На $-\infty$ по оси z расположен источник частиц, который излучает частицы с определенной энергией E в направлении начала координат. Какой волновой функцией описывается поток этих частиц в области $r \rightarrow \infty$ ($k = \sqrt{2mE/\hbar^2}$, $f(\vartheta)$ - некоторая функция ϑ)?

- а. e^{ikz} б. $e^{ikz} + f(\vartheta)e^{ikr} / r$ в. $e^{ikz} + f(\vartheta)e^{-ikr} / r$ г. $e^{-ikz} + f(\vartheta)e^{ikr} / r$

5. Потенциальная энергия частицы не равна нулю, но обращается в нуль при $r \rightarrow \infty$. Рассмотрим решение стационарного уравнения Шредингера, которое имеет асимптотику $Ae^{ikz} + Be^{ikx} + f(\vartheta, \varphi)e^{ikr} / r$ (A , B и k - числа, $f(\vartheta, \varphi)$ - некоторая функция углов). Что в этом выражении есть амплитуда рассеяния?

- а. A б. B в. $f(\vartheta, \varphi)$ г. ничего

Критерии оценки тестов для текущей аттестации

За каждый верный ответ начисляется 1 балл.

Оценка «Зачтено» – 3-5 баллов

Оценка «Не зачтено» - менее 3 баллов.

Тесты для допуска к зачету

Тест 1

Задача 1. Нормированная волновая функция частицы имеет вид

$$\psi(x, y, z) = \frac{1}{a^{3/2} \pi^{3/4}} e^{-(x^2+y^2+z^2)/2a^2}$$

где a - некоторое число. Найти среднее и наиболее вероятное значение модуля радиус-вектора.

- а. нуль б. a в. Недостаточно данных г. затрудняюсь ответить

Задача 2. Найти связь между собственными функциями оператора \hat{A} в B -представлении и оператора \hat{B} в \hat{A} -представлении. Проверить справедливость этого соотношения для координаты и импульса.

Задача 3. Частица находится в состоянии с нормированной волновой функцией $\psi(x) = Ax \exp(-x^2/2a^2)$, где A и a - некоторые числа. Средний импульс частицы в этом состоянии равен

- а. нулю б. $\bar{p} = \hbar/a$ в. $\bar{p} = \hbar/2a$ г. $\bar{p} = \hbar/4a$

Задача 4. Какова размерность нормированных на δ -функцию от координаты собственных функций оператора координаты в координатном представлении

- а. длина б. $\frac{1}{\text{длина}}$ в. длина^2 г. $\frac{1}{\text{длина}^2}$

Задача 5. Какая из нижеперечисленных функций является общей собственной функцией операторов \hat{p}_x , \hat{p}_y и \hat{p}_z ?

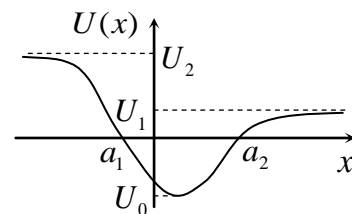
- А. $\sin ax \sin by \sin cz$ б. такой функции не существует в. $\exp(iax) \exp(iby) \exp(icz)$

г. $\exp(ax) \exp(by) \exp(cz)$ (здесь a, b, c - произвольные действительные числа)

Задача 6. Гамильтониан квантовой системы не зависит от времени. Среднее значение физической величины в некотором состоянии зависит от времени. Какое из нижеприведенных утверждений является верным?

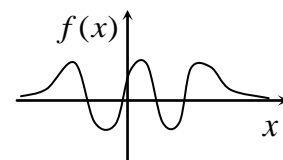
- а. энергия системы имеет определенное значение б. оператор этой физической величины не коммутирует с оператором Гамильтона
 в. оператор этой физической величины коммутирует с оператором Гамильтона г. такого быть не может

Задача 7. Частица движется в потенциале $U(x)$, который стремится к некоторым постоянным при $x \rightarrow \pm\infty$ (см. рисунок). Как ведут себя волновые функции невырожденных состояний непрерывного спектра при $x \rightarrow \pm\infty$?



- А. растут б. затухают в. осциллируют
 г. на одной бесконечности затухают, на другой осциллируют

Задача 8. Собственная функция одномерного оператора Гамильтона имеет вид (см. рисунок). Какому собственному состоянию отвечает эта функция?



- А. второму состоянию дискретного спектра (в порядке возрастания энергии). б. третьему состоянию дискретного спектра
 в. четвертому состоянию дискретного спектра г. пятому состоянию дискретного спектра

Задача 9. Какой формулой определяются энергии стационарных состояний частицы массой m в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a ?

- А. $\frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ б. $\frac{\pi^2 \hbar^2 (n+1/2)^2}{2ma^2}$ в. $\frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ г. $\frac{\pi^2 \hbar^2 (n^2 + 1/2)}{2ma^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

Задача 10. Волновая функция частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме в некоторый момент времени имеет вид

$A \left(\sin \frac{\pi x}{a} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi x}{a} \right)$, где a - ширина ямы, A - постоянная. Чему равна средняя энергия частицы в этом состоянии?

- А. $\bar{E} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{5ma^2}$ б. $\bar{E} = \frac{2\pi^2 \hbar^2}{5ma^2}$ в. $\bar{E} = \frac{3\pi^2 \hbar^2}{5ma^2}$ г. $\bar{E} = \frac{4\pi^2 \hbar^2}{5ma^2}$

Тест 2

1. Для частицы со спином $s = 1/2$ найти собственные значения и нормированные собственные функции оператора \hat{s}_y . Используя эти функции найти вероятности различных значений проекции спина на ось y в состоянии

$$\psi(s_z) = \begin{pmatrix} \sqrt{3}/2 \\ 1/2 \end{pmatrix}$$

Задача 2. На трехмерный гармонический осциллятор наложено малое возмущение $\hat{V}(\vec{r}) = \alpha xz$. Найти поправки первого и второго порядка к энергии основного состояния. Каковы условия применимости теории возмущений?

Задача 3. Спин частицы равен $s = 99/2$. Какова размерность линейного пространства спиновых функций частицы?

А. 97 б. 98 в. 99 г. 100

Задача 4. В каком из перечисленных состояний частица имеет определенную проекцию спина на ось z ?

а. $\psi(s_z) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ б. $\psi(s_z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ в. $\psi(s_z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i \\ i \end{pmatrix}$ г. ни в

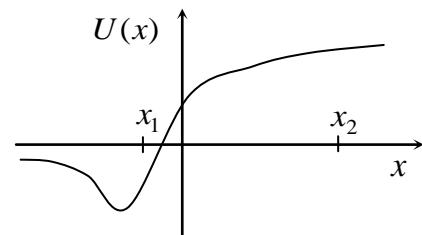
одном

Задача 5. Чему равно среднее значение проекции спина на ось z в состоянии

$$\psi(s_z) = \begin{pmatrix} -i/2 \\ \sqrt{3}/2 \end{pmatrix}?$$

а. $\bar{s}_z = -1/4$ б. $\bar{s}_z = 1/4$ в. $\bar{s}_z = 1/2$ г. $\bar{s}_z = -1/8$

Задача 6. График зависимости потенциальной энергии от координаты приведен на рисунке. В какой точке - x_1 или x_2 лучше работает квазиклассическое приближение?



а. в точке x_1 б. в точке x_2 в. по рисунку это определить невозможно

г. это зависит от энергии, при которой решается уравнение Шредингера

Задача 7. Частица движется в потенциале $U(x) = \frac{\alpha}{x^2}$ ($\alpha < 0$). Каким является

параметр квазиклассичности при нулевой энергии частицы?

А. $\sqrt{\frac{\hbar^2}{2m\alpha}}$ б. $\sqrt{\frac{2m\alpha}{\hbar^2}}$ в. $\left| \frac{\hbar^2}{2m\alpha} \right|$ г. $\left| \frac{2m\alpha}{\hbar^2} \right|$

Задача 8. На одномерный гармонический осциллятор накладывают малое возмущение $\hat{V}(x) = a \sin(x/b)$. Увеличится или уменьшится при этом энергия основного состояния осциллятора?

А. увеличится б. уменьшится в. не измениться г. в это зависит от a и b

Задача 9. На атом водорода накладывают малое возмущение $\hat{V} = a \cos^2 \varphi$.

Какие значения проекции орбитального момента импульса электрона на ось z можно обнаружить в возмущенном основном состоянии атома? Ответ дать в первом порядке теории возмущений для волновой функции.

А. $l_z = 0$

Б. $l_z = 0, \pm 1$

В. $l_z = 0, \pm 2$

Г.

$l_z = 0, \pm 1, \pm 2$

Задача 10. Некоторая квантовая система имеет вырожденный уровень, которому отвечают собственные функции $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_s$. На систему накладывают возмущение, недиагональные матричные элементы которого с функциями φ_i равны нулю, диагональные – все различны. Какие утверждения относительно свойств правильных функций нулевого приближения будут верными?

а. каждая из них будет совпадать с одной из функций φ_i б. ими будут любые линейные комбинации функций φ_i

в. ни одна из правильных функций не будет совпадать ни с одной из функций φ_i

г. только определенные комбинации функций φ_i (с ненулевыми коэффициентами) будут правильными функциями

Критерии оценки тестов для допуска к зачету

За каждый верный ответ начисляется 1 балл.

Оценка «Зачтено» – 6-10 баллов

Оценка «Не зачтено» - менее 6 баллов.