

БАКАЛАВР • МАГИСТР



С. Н. Вергелес

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

УЧЕБНИК

4-е издание



СООТВЕТСТВУЕТ
ПРОГРАММАМ
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ

УМО ВО рекомендует

 **Юрайт**
издательство
biblio-online.ru

С. Н. Вергелес

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

УЧЕБНИК ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА И МАГИСТРАТУРЫ

4-е издание, исправленное и дополненное

Рекомендовано Учебно–методическим отделом высшего образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным направлениям

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва • Юрайт • 2017

УДК 530.1(075.8)

ББК 22.31я73

В31

Автор:

Вергелес Сергей Никитович — доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики Московского физико-технического института (государственного университета), научный сотрудник Института теоретической физики имени Л. Д. Ландау Российской академии наук.

Вергелес, С. Н.

В31 Теоретическая физика. Квантовая электродинамика : учебник для бакалавриата и магистратуры / С. Н. Вергелес. — 4-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 262 с. — Серия : Бакалавр и магистр. Академический курс.

ISBN 978-5-534-01663-5

В учебнике самодостаточно и компактно представлен курс лекций по дисциплине — от квантования скалярного поля до вычисления однопетлевых поправок, лэмбовского сдвига и квантовых аномалий. Основной текст существенно дополняется упражнениями и задачами, приведенными в конце каждой лекции.

Работа автора над предлагаемым курсом лекций поддержана РФФ грант № 16-12-10151.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Учебник может быть полезен студентам и аспирантам, приступающим к изучению квантовой теории поля, а также преподавателям и научным работникам в области теоретической физики.

УДК 530.1(075.8)

ББК 22.31я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-01663-5

© Вергелес С. Н., 2014

© Вергелес С. Н., 2016, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

Оглавление

Предисловие к четвертому изданию.....	6
Предисловие к третьему изданию	7
Обозначения	8

Часть I. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КВАНТОВАНИЯ ПОЛЕЙ

Лекция 1. Континуальный интеграл для конечномерных систем	10
1.1. Одномерный случай	10
1.2. Хронологические средние	14
1.3. Доопределение операторов при вычислении гауссовых функциональных интегралов в квантовой механике	16
1.4. Теорема Вика	18
1.5. Поворот Вика	19
Лекция 2. Голоморфное представление континуального интеграла	22
2.1. Операторы рождения и уничтожения	22
2.2. Операторы общего вида	24
2.3. Функциональный интеграл в голоморфном представлении	25
2.4. Определение S -матрицы	28
Лекция 3. S-Матрица в скалярной теории поля	31
3.1. Квантование скалярного поля	31
3.2. S -матрица в теории поля со взаимодействием	37
Лекция 4. Диаграммная техника Фейнмана	40
4.1. Разложение по константе связи	40
4.2. Диаграммы Фейнмана и правила Фейнмана	44
4.3. О физической интерпретации пропагаторов и проблема причинности в квантовой теории поля	52
Лекция 5. Ультрафиолетовые расходимости и регуляризация.....	56
5.1. Размерностная регуляризация расходимостей.....	56
5.2. Индекс расходимости диаграмм	59
5.3. Диаграмма с четырьмя внешними линиями	60
5.4. Устранение расходимостей.....	62
5.5. Инвариантные переменные Манделъстама	63
Лекция 6. Общая схема перенормировок	67
6.1. Спектральное представление Челлена – Лемана двухточечной функции	67

6.2. Перенормировки.....	72
6.3. Условие унитарности.....	76
Лекция 7. Ренормализационная группа.....	79
7.1. Подход Вильсона к теории перенормировок.....	79
7.2. Уравнение Каллана – Симанчика.....	86
7.3. Эволюция бегущей константы связи.....	88
Часть II. Квантовая электродинамика	
Лекция 8. Квантование электромагнитного поля.....	92
8.1. Континуальный интеграл для вырожденных систем.....	92
8.2. Электромагнитное поле как динамическая система.....	95
8.3. Ковариантные правила квантования и трюк Фаддеева – Попова.....	101
Лекция 9. Уравнение Дирака.....	106
9.1. Уравнение Дирака.....	106
9.2. Нерелятивистский предел.....	110
9.3. Алгебра матриц Дирака.....	111
9.4. Дискретные симметрии уравнения Дирака.....	111
9.5. Уравнение Вейля.....	114
Лекция 10. Каноническое квантование дираковского поля.....	117
Лекция 11. Квантование фермионов при помощи функционального интеграла и общая формула для S-матрицы в КЭД.....	130
11.1. Фермионный осциллятор.....	130
11.2. Представление фермионных амплитуд при помощи функциональных интегралов.....	131
11.3. Функциональный интеграл в теории Дирака.....	137
11.4. Общая формула для S-матрицы в КЭД.....	140
Лекция 12. Правила Фейнмана для КЭД, теорема Фарри и тождества Уорда – Такахаша.....	144
12.1. Простейшие амплитуды в КЭД.....	144
12.2. Правила Фейнмана для КЭД.....	146
12.3. Теорема Фарри.....	148
12.4. Тождество Уорда – Такахаша.....	149
Лекция 13. Индекс расходимости диаграмм и условия перенормировки в КЭД.....	153
13.1. Индекс расходимости диаграмм.....	153
13.2. Условия перенормировки в КЭД.....	157
Лекция 14. I. Однопетлевая структура КЭД. Электронный и фотонный пропагаторы.....	164
14.1. Массовый оператор.....	164

14.2. Поляризационный оператор	169
14.3. Радиационные поправки к закону Кулона.....	174
Лекция 15. II. Однопетлевая структура КЭД. Вершинный оператор и аномальный магнитный момент электрона	177
15.1. Формфакторы электрона	177
15.2. Вычисление формфакторов	179
15.3. Аналитические свойства формфакторов и завершение их вычисления	183
15.4. Аномальный магнитный момент электрона.....	188
Лекция 16. Инфракрасная проблема.....	190
16.1. Массивное векторное поле	190
16.2. Излучение мягких фотонов.....	191
16.3. Сокращение инфракрасных расходимостей.....	197
Лекция 17. Лэмбовский сдвиг уровней.....	200
17.1. Низкочастотный вклад.....	200
17.2. Высокочастотный вклад	203
17.3. Полный сдвиг уровней.....	205
Часть III. Дополнительные вопросы	
Лекция 18. Квантовые аномалии.....	210
18.1. Введение	210
18.2. Диаграммный метод вычисления аксиальной аномалии.....	214
18.3. Неинвариантность функциональной меры как источник аномалии	219
Лекция 19. Спонтанное нарушение симметрии.....	226
19.1. Спонтанное нарушение симметрии в классической теории.....	226
19.2. Теорема Голдстоуна	228
19.3. Производящий функционал гриновских функций	230
19.4. Эффективное действие	233
<i>Приложение А. Выражение вероятностей процессов через амплитуды</i>	<i>240</i>
<i>Приложение Б. Спиновые матрицы плотности</i>	<i>245</i>
<i>Приложение В. Тензор энергии-импульса.....</i>	<i>249</i>
<i>Приложение Г. S-матрица в представлении взаимодействия.....</i>	<i>254</i>
Предметный указатель.....	259
Список литературы.....	261
Новые издания по дисциплине «Теоретическая физика» и смежным дисциплинам	262