

**Quantum Theory of Fields**

**С. ВАЙНБЕРГ**

**КВАНТОВАЯ  
ТЕОРИЯ ПОЛЯ**



**2**

**С. ВАЙНБЕРГ**

**КВАНТОВАЯ  
ТЕОРИЯ ПОЛЯ**

**Том 2  
Современные  
приложения**

*Перевод с английского*

ПОД РЕДАКЦИЕЙ В.Ч. ЖУКОВСКОГО



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2015

УДК 530.1  
ББК 22.31  
В 14

Вайнберг С. **Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения** / Пер. с англ. под ред. В.Ч. Жуковского. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. — 528 с. — ISBN 978-5-9221-1621-3.

Книга выдающегося американского ученого, лауреата Нобелевской премии С. Вайнберга «Квантовая теория поля» представляет собой современный курс квантовой теории поля, охватывающий как основные положения этой области теоретической физики, так и многочисленные новые идеи и современные методы, разработанные в последние годы. Во втором томе дается современное изложение методов квантовой теории поля, показывается, как применение этих методов привело к пониманию слабых, сильных и электромагнитных взаимодействий элементарных частиц. Современные математические методы преподносятся в сочетании с их применениями в теории элементарных частиц и теории конденсированного состояния вещества. При этом большое внимание уделяется таким вопросам, как обобщенная BRST-симметрия, метод фонового поля, метод эффективного поля в приложении к теории спонтанного нарушения симметрии, метод операторного разложения, сверхпроводимость, теория критических явлений и др. Изложение сопровождается многочисленными задачами, помещенными в конце каждой главы.

Книга рассчитана на научных работников, аспирантов, студентов старших курсов, занимающихся проблемами квантовой теории поля и физики элементарных частиц.

ISBN 978-5-9221-1621-3 (русск.)

ISBN 0-521-55002-5 (англ.)

© Cambridge University Press, 2001

© ФИЗМАТЛИТ, 2003, 2004, 2015

## Содержание

<b>Глава 15. Неабелевы калибровочные теории . . . . .</b>	<b>7</b>
§ 15.1. Калибровочная инвариантность . . . . .	8
§ 15.2. Лагранжианы калибровочной теории и простые группы Ли . . . . .	14
§ 15.3. Уравнения поля и законы сохранения . . . . .	20
§ 15.4. Квантование . . . . .	22
§ 15.5. Метод Фаддеева–Попова–де Витта . . . . .	27
§ 15.6. Духи . . . . .	33
§ 15.7. БРСТ-симметрия . . . . .	36
§ 15.8. Обобщения БРСТ-симметрии . . . . .	46
§ 15.9. Формализм Баталина–Вильковьского . . . . .	51
Приложение А. Теорема об алгебрах Ли . . . . .	60
Приложение В. Классификация Каргана . . . . .	65
Задачи . . . . .	69
Литература . . . . .	70
<b>Глава 16. Метод внешнего поля . . . . .</b>	<b>74</b>
§ 16.1. Квантовое эффективное действие . . . . .	74
§ 16.2. Вычисление эффективного потенциала . . . . .	80
§ 16.3. Энергетическая интерпретация . . . . .	83
§ 16.4. Симметрии эффективного действия . . . . .	86
Задачи . . . . .	89
Литература . . . . .	90
<b>Глава 17. Перенормировки калибровочных теорий . . . . .</b>	<b>91</b>
§ 17.1. Уравнение Зинн–Жюстена . . . . .	91
§ 17.2. Перенормировка: прямой анализ . . . . .	93
§ 17.3. Перенормировка: общие калибровочные теории . . . . .	103
§ 17.4. Калибровка фонового поля . . . . .	108

§ 17.5. Однопетлевое вычисление в калибровке фонового поля	113
Задачи	122
Литература	122
<b>Глава 18. Метод ренормализационной группы</b>	<b>124</b>
§ 18.1. Как возникают большие логарифмы?	126
§ 18.2. Плавающий масштаб	132
§ 18.3. Типы асимптотического поведения	144
§ 18.4. Случай нескольких констант связи и массовые эффекты	154
§ 18.5. Критические явления	160
§ 18.6. Минимальное вычитание	164
§ 18.7. Квантовая хромодинамика	167
§ 18.8. Усовершенствованная теория возмущений	173
Задачи	175
Литература	175
<b>Глава 19. Спонтанно нарушенные глобальные симметрии</b>	<b>178</b>
§ 19.1. Вырожденные вакуумы	178
§ 19.2. Голдстоуновские бозоны	183
§ 19.3. Спонтанное нарушение приближенных симметрий	193
§ 19.4. Пионы как голдстоуновские бозоны	198
§ 19.5. Эффективные теории поля: пионы и нуклоны	209
§ 19.6. Эффективные теории поля: нарушенные симметрии общего вида	229
§ 19.7. Эффективные теории поля: $SU(3) \times SU(3)$	245
§ 19.8. Аномальные члены в эффективных теориях поля	254
§ 19.9. Ненарушенные симметрии	259
§ 19.10. $U(1)$ -проблема	265
Задачи	268
Литература	269
<b>Глава 20. Операторные разложения</b>	<b>273</b>
§ 20.1. Разложение: описание и вывод	274
§ 20.2. Поток импульса	277
§ 20.3. Уравнения ренормгруппы для коэффициентных функций	284
§ 20.4. Свойства симметрии коэффициентных функций	286
§ 20.5. Правила сумм спектральных функций	288

§ 20.6. Глубоко неупругое рассеяние . . . . .	294
§ 20.7. Ренормалоны . . . . .	306
Приложение А. Общий случай асимптотики больших импульсов . . . . .	311
Задачи . . . . .	315
Литература . . . . .	316
<b>Глава 21. Спонтанно нарушенные калибровочные симметрии . . . . .</b>	<b>318</b>
§ 21.1. Унитарная калибровка . . . . .	318
§ 21.2. Перенормируемые $\xi$ -калибровки . . . . .	324
§ 21.3. Теория электрослабых взаимодействий . . . . .	328
§ 21.4. Динамически нарушенные локальные симметрии . . . . .	343
§ 21.5. Объединенная теория сильных и электрослабых взаимодействий . . . . .	353
§ 21.6. Сверхпроводимость . . . . .	357
Приложение. Общий случай унитарной калибровки . . . . .	379
Задачи . . . . .	380
Литература . . . . .	381
<b>Глава 22. Аномалии . . . . .</b>	<b>386</b>
§ 22.1. Задача о распаде $\pi^0$ . . . . .	386
§ 22.2. Преобразование меры: абелева аномалия . . . . .	389
§ 22.3. Прямое вычисление аномалий: общий случай . . . . .	398
§ 22.4. Калибровочные теории, не содержащие аномалий . . . . .	412
§ 22.5. Связанные состояния с нулевой массой . . . . .	417
§ 22.6. Условия непротиворечивости . . . . .	425
§ 22.7. Аномалии и голдстоуновские бозоны . . . . .	437
Задачи . . . . .	446
Литература . . . . .	447
<b>Глава 23. Нелокальные полевые конфигурации . . . . .</b>	<b>450</b>
§ 23.1. Применение топологических методов . . . . .	451
§ 23.2. Гомотопические группы . . . . .	460
§ 23.3. Монополи . . . . .	467
§ 23.4. Интегральный инвариант Картана–Маурера . . . . .	478
§ 23.5. Инстантоны . . . . .	483
§ 23.6. $\theta$ -угол . . . . .	490

---

§ 23.7. Квантовые флуктуации около протяженных полевых конфигураций . . . . .	497
§ 23.8. Распад ложного вакуума . . . . .	500
Приложение А. Евклидовы интегралы по траекториям	505
Приложение В. Список гомотопических групп различных многообразий . . . . .	509
Задачи . . . . .	510
Литература . . . . .	511
Предметный указатель . . . . .	514
Именной указатель . . . . .	521