

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный педагогический университет
имени Максима Танка»

О. М. Бояркин

**ФИЗИКА
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

Учебное пособие

Минск 2005

УДК 539.12(075.8)
ББК 22.382я73
Б869

Печатается по решению редакционно-издательского совета БГПУ,
рекомендовано секцией физико-математических и технических наук
(протокол № 8 от 12.04.05)

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор Гомельского технического
университета *А. А. Панков;*

доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института
физики НАН Беларуси *М. И. Левчук*

Бояркин, О. М.

Физика элементарных частиц : учеб. пособие / О. М. Бояркин. – Мн. :
Б869 БГПУ, 2005. – 248 с.

ISBN 985-435-913-1.

В пособии рассматриваются известные типы фундаментальных взаимодействий, излагаются главные направления их объединения. Обсуждаются основные теоретические предположения и эксперименты, позволившие установить кварк-лептонный уровень строения материи. Приводится общая схема построения теории взаимодействующих полей с помощью принципа локальной калибровочной инвариантности, применяемой при изложении квантовой хромодинамики и теории электрослабых взаимодействий Глэшоу – Вайнберга – Салама.

Адресовано студентам БГПУ, научным работникам, аспирантам, преподавателям, а также всем интересующимся проблемами современной фундаментальной науки.

УДК 539.12(075.8)
ББК 22.382я73

ISBN 985-435-913-1

© Бояркин, О. М., 2005
© УИЦ БГПУ, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Обозначения	7
1. Взаимодействия и пути их объединения	9
1.1. Сильное взаимодействие	9
1.2. Электромагнитное взаимодействие	14
1.3. Слабое взаимодействие	16
1.4. Гравитационное взаимодействие	19
1.5. Теория великого объединения	27
1.6. Суперсимметрия	32
1.7. Супергравитация	33
1.8. Теория Калуцы—Клейна	34
1.9. Теория суперструн	37
2. Три ступени квантовой лестницы	43
2.1. Атомарная теория вещества	43
2.2. Ядерная модель атома	45
2.3. Протон-нейтронная модель ядра атома	57
3. Лептоны и адроны	61
4. Периодическая таблица адронов	67
4.1. Гипотеза Юкавы	67
4.2. Диаграммы Фейнмана	74
4.3. Элементы теории групп	78
4.4. Изотопические мультиплеты	92
4.5. Резонансы	103
4.6. Унитарные мультиплеты	111
4.7. $SU(3)$ -симметрия	119
5. Кварк-лептонный уровень строения материи	135
5.1. Кварковые "атомы"	135
5.2. Упругие формфакторы нуклонов	142
5.3. Скейлинг Бьёркена	162
5.4. Партоновая модель	170
5.5. Цвет	174
5.6. s -кварк и $SU(4)$ -симметрия	187

5.7. b и t -кварки	191
5.8. Поиски свободных кварков	198
6. Стандартная модель	203
6.1. Абелева калибровочная инвариантность и КЭД	203
6.2. Неабелева калибровочная инвариантность и КХД	208
6.3. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса	212
6.4. Теория Глэшоу—Вайнберга—Салама	217
7. Фундаментальные частицы	235
Литература	244

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы элементарные частицы, их взаимодействия и свойства постоянно оказываются в центре внимания как физиков теоретиков, так и физиков экспериментаторов. В настоящее время к последовательности *молекулы — атомы — ядра — нуклоны* целым рядом важных экспериментальных открытий добавлен следующий слой структуры материи — кварк-лептонный уровень. При этом оказалось, что динамика кварков и лептонов может быть описана квантовыми теориями, обладающими локальной калибровочной симметрией. Они представляют собой некое обобщение квантовой электродинамики (КЭД) — теории электромагнитных взаимодействий заряженных лептонов. Использование калибровочной группы

$$SU(2)_{EW} \otimes U(1)_{EW}$$

совместно с гипотезой спонтанного нарушения симметрии позволило объединить электромагнитные и слабые взаимодействия. Включение в эту схему теории сильных взаимодействий, основанную на цветовой калибровочной группе $SU(3)_c$, привело к созданию стандартной модели (СМ). Совокупность существующих экспериментов говорит о том, что СМ является первой общей теорией взаимодействия частиц, которая дает полное и правильное описание всей негравитационной физики. Таким образом, структура СМ и её экспериментальный статус дают нам основания утверждать, что СМ удовлетворяет критерию Эйнштейна: "Главнейшая цель всякой теории состоит в том, чтобы добиться предельной простоты и предельной немногочисленности своих фундаментальных постулатов, не отказываясь от адекватного представления каждого экспериментального факта." Однако быть современником бурного прогресса в исследовании фундаментальной структуры материи еще не значит находиться на уровне соответствующих ему знаний или, по крайней мере, правильно понимать его тенденции. А такое понимание, вне всяких сомнений, необходимо в настоящее время как будущему педагогу, так и будущему научному сотруднику, какой бы областью науки он не занимался. Более того, поскольку СМ сама по себе уже является элементом общечеловеческой культуры, то знакомство с ней необходимо всем образованным людям.

Цель настоящей книги — ознакомить читателя с основными положениями современной физики частиц. Книга рассчитана на студентов и аспиран-

тов физических факультетов университетов. Она может быть полезной для специалистов смежных областей, желающих ознакомиться с современным состоянием физики частиц. Для того чтобы понять содержание книги, читателю необходимо быть знакомым с основами квантовой механики, электродинамики, специальной теорией относительности, а также свободно владеть классическими разделами математики. При чтении книги полезно обращаться и к другим руководствам по физике частиц, список которых дается в конце книги.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахиезер А. И., Берестецкий В. В. Квантовая электродинамика. М., 1969.
2. Барашенков В. С. Кварки, протоны, Вселенная. М., 1987.
3. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М., 1980.
4. Весс Ю., БеггерДж. Суперсимметрия и супергравитация. М., 1986.
5. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т.1 – 2. М., 2003.
6. Введение в супергравитацию / Под ред. С. Феррара, Г. Тэйлор. М., 1985.
7. Greiner W., Muller V. Gauge Theory of Weak Interactions. Springer-Verlag, 2000.
8. Готтфрид К., Вайскопф В. Концепции физики элементарных частиц.
9. Газиорович С. Физика элементарных частиц. М., 1969.
10. Грин М., Шварц Дж., Витен Э. Теория суперструн. М., 1990.
11. Давыдов А. С. Квантовая механика. М., 1973.
12. Дэвис П. Суперсила. М., 1989.
13. Лейзер Д. Создавая картину Вселенной. М., 1988.
14. Индурайн Ф. Квантовая хромодинамика. М., 1986.
15. Калибровочные поля / А. А. Соколов, И. М. Тернов, В. Ч. Жуковский, А. В. Борисов. М., 1986.
16. Кройц М. Кварки, глюоны и решетки. М., 1987
17. Кладпор-Клайннротхаус Г. В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц. М., 2000.
18. Намбу Е. Кварки. М., 1984.
19. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М., 1984.
20. Огава С., Савада С., Накагава М. Составные модели элементарных частиц. М., 1983.
21. Пилькун Х. Физика релятивистских частиц. М., 1983.

22. Peskin M. E., Schroeder D.V. An Introduction to Quantum Field Theory. Addison-Wesley Publishing Company, 1997.
23. Pokorski S. Gauge Field Theories. Cambridge University Press, 2000.
24. Райдер Л. Элементарные частицы и симметрии. М., 1983.
25. Райдер Л. Квантовая теория поля. М., 1987.
26. Фритш Г. Основы нашего мира. М., 1985.
27. Хелзен Ф., Мартин А. Кварки и лептоны. М., 1987.
28. Швебер С. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. М., 1963.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ