

452
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи

И.Ф.ГИНЗБУРГ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

Автореферат диссертации,
представленной на соискание
ученой степени кандидата
физико-математических наук

Научный руководитель
член-корреспондент АН СССР Д.В.Ширков

ДУБНА, 1964 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи

И.Ф.ГИНЗБУРГ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
И ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

Автореферат диссертации,
представленной на соискание
ученой степени кандидата
физико-математических наук

Научный руководитель
член-корреспондент АН СССР Д.В.Ширков

ДУБНА . 1964 г.

Диссертация выполнена в Институте Математики
Сибирского отделения Академии наук СССР

За последние годы возрос интерес к возмущениям элементарных частиц при асимптотически больших энергиях $S \gg m_i^2$ (m_i — массы элементарных частиц). Помимо чисто теоретического интереса, изучение таких взаимодействий стимулируется успехами эксперимента на новых мощных ускорителях и в космических лучах. Среди многих различных формулировок релятивистской квантовой теории поля, по-видимому, только в ренормируемой теории возмущений (т.в.) можно регулярным образом подойти к изучению явлений при сверхвысоких энергиях. (Модели, типа "реджистики" или периферической модели, сами нуждаются в обосновании их с точки зрения теории поля).

Настоящая диссертация посвящена исследованию некоторых результатов, которые можно получить для высокоэнергетических взаимодействий с помощью т.в.

Известно, что даже в ренормируемых теориях со слабой связью $g^2 \ll 1$ т.в. в стандартном виде применима лишь в области не слишком больших значений импульсов p частиц. В асимптотической ультрафиолетовой области ряды т.в. оказываются расположенными не только по степени константы связи g , но и по степени произведения $g^2 \ln \frac{p^2}{m^2}$, то есть с увеличением $\frac{p^2}{m^2}$ последующие члены убывают все медленнее. Поэтому, естественно, возникает задача улучшения этого ряда. Нередко такое улучшение удается произвести с помощью метода ренормализационной группы (р.г.) [1, 2, 3]. Используя этот метод, можно переразложить ряды т.в. в простые функции от рядов по инвариантному заряду ρ , такому, что обычно $\rho(p^2) \sim g^2 \ln \frac{p^2}{m^2}$.

На основании уравнений р.г. [1, 2, 3] и их общих решений [4] в первой главе диссертации изучаются некоторые асимптотические свойства функций Грина и амплитуд в ультрафиолетовой области.

При некоторых условиях на свойства членов ряда т.в. с помощью метода р.г. можно улучшить сходимость рядов т.в. Анализ этих условий показал, что она по существу совпадает с условиями, в которых Ландау, Абрикосов и Халатников [5] написали приближенные интегральные уравнения для основных функций Грина в электродинамике. Поэтому не удивительно, что результат решения этих уравнений совпадает с результатами, полученными методом р.г. [12]. Точно так же совпадают полученные одновременно и независимо решения интегральных уравнений [6,7] и уравнений р.г. [3,8] в мезонной теории. Результаты автора [8] в двухзарядной мезонной теории совместно с аналогичными результатами в электродинамике [1,2] и в других ренормируемых теориях [9] приводят к выводу о незамкнутости приближения слабой связи во всех разумных ренормируемых теориях. Это связано с тем, что инвариантный заряд ρ так же, как и величина $g^2 \ln \frac{p^2}{m^2}$ при достаточно больших $\frac{p^2}{m^2}$, перестает быть малым.

Далее изучается вопрос, при каких условиях возможно с помощью метода р.г. улучшить сходимость ряда т.в. для высших функций Грина. Такое улучшение реально удается выполнить только в некоторых случаях — для симметричных асимптотик высших функций Грина (когда все их скалярные аргументы устремлены к одному большому значению p^2) и для одномерных спектральных функций Π, Π' . В последнем параграфе первой главы на базе предложения о том, что амплитуда упругого рассеяния при больших энергиях ведет себя реджевским образом, формулируется некоторая гипотеза о свойствах амплитуд поля (справедливость этой гипотезы для амплитуды упругого рассеяния — необходимое условие того, чтобы амплитуда вела себя реджевским образом). Комбинируя эту гипотезу с методом р.г. можно показать, что все (в том числе неупругие) амплитуды при больших энергиях s должны иметь квазиреджевское поведение:

$$R(s, a_\alpha, g) \sim r(a_\alpha, \rho) \exp[\nu(a_\alpha, \rho) \ln s] \quad [I]$$

Здесь a_α — параметры, конечные при $s \rightarrow \infty$, g — заряд (или заряды) теории. Частным случаем [I] являются известные результаты Тер-Мартirosяна [12] для асимптотик неупругих процессов и результаты Дрёмкина и Чернавского [13] для амплитуды как функции виртуальности.

За последние годы появилось много работ, посвященных описанию неупругих взаимодействий при больших энергиях (в последнем обзоре [14] дана обширная библиография). Для описания этих процессов часто используют периферическую модель, согласно которой наиболее существенный вклад в матричный элемент вносится

диаграммами с обменом минимальным числом частиц [I4, I5, I6]. Экспериментальные данные, по видимому, не противоречат такой модели (например, [I4, I7] и др.) Однако в целом ряде случаев возникают сомнения в справедливости этой модели и области ее применимости. Это связано с тем, что теоретические обоснования, обычно кладущиеся в ее основу, не очень убедительны, а эксперимент пока еще не слишком точен.

Во второй главе диссертации предлагается метод анализа сильных взаимодействий при высоких энергиях, результаты которого в ряде случаев дают обоснование периферической модели, расширяя область ее применимости.

Сначала рассматривается функция Грина вне массовой поверхности, когда импульсы частиц, участвующих в процессе, можно разбить на две группы: быстрые (скалярные произведения этих импульсов друг с другом, включая квадраты импульсов, велики и одного порядка p^2) и медленные (скалярные произведения этих импульсов друг с другом невелики). Для этого случая доказывается ([I8, I9]), что асимптотически наиболее существенный вклад в функцию Грина вносят диаграммы, в которых группы быстрых и медленных частиц обмениваются одним мезоном или нуклоном, или двумя мезонами с фиксированными импульсами (в зависимости от состава групп быстрых и медленных частиц). Иначе говоря, вдали от массовой поверхности в т.в. дано строгое обоснование периферической модели. При этом все другие диаграммы порядка $o(\frac{1}{p^2})$ от главных, соответствующих периферической модели.

Далее изучается амплитуда неупругого рассеяния на массовой поверхности, когда импульсы частиц, участвующих в процессе, разбиваются на группы так, что скалярные произведения импульсов частиц разных групп между собой порядка s ($s(p_i + k_i)^2$, p_i и k_i — импульсы сталкивающихся частиц); в то же время скалярные произведения импульсов частиц одной группы $\sim o(s)$ для всех групп, кроме может быть, одной из них. В этом случае анализ диаграмм т.в. приводит к построению модели, которую мы называем обобщенной периферической моделью (ОПМ 20). В целом ряде случаев выводы ОПМ совпадают с результатами обычной периферической модели. Такими являются, например, случаи процессов $(\gamma) \bar{n} + n \rightarrow 2\bar{n} + n$, когда нуклоны и бозоны принадлежат разным группам, $n + \bar{n} \rightarrow k_1 \bar{n} + k_2 \bar{n}$, $n + n \rightarrow k + n + n$ и т.д. Оказывается, что во многих случаях достаточным условием применимости обычной периферической модели является отсутствие рождения нуклонов в процессе. Редкость процессов с рождением нуклонов и явилась основой успеха периферической модели при ускорительных

($2 + 30$ Гэв) и умеренно высоких космических энергиях ($10 + 1000$ Гэв). ОПМ применима также и к таким двухцентровым взаимодействиям, которые связаны с выходом далеко за пределы применимости обычной периферической модели [1]. Область применимости ОПМ определяется малостью величины типа $\frac{m^2}{s}$, т.е. раслет с энергией и значительно превосходит область применимости обычной периферической модели. Это обстоятельство позволяет объяснить и наблюдаемое увеличение роли двухцентровых взаимодействий с ростом энергии.

Данные эксперимента при сверхвысоких энергиях (≥ 1000 Гэв) говорят о том, что - по видимому нередко - частицы, образовавшиеся при взаимодействиях могут быть разбиты не на две, а на большее число групп сколлапсированных друг с другом так, как об этом говорилось выше (ср. [22]). В рамках ОПМ такое образование большого количества групп может быть объяснено либо как процесс, сопутствующий рождению большого числа цуклонов (такое объяснение до сих пор не выдвигалось), либо как мультипериферический процесс (14, 16, 2). В настоящее время из-за того, что эксперимент слишком груб, выбор между этими возможностями сделать не удается. Весьма вероятно, что реально осуществляются обе эти схемы.

В самое последнее время большой интерес вызывает перенесение их идей Редже в квантовую теорию поля для анализа упругих взаимодействий при высоких энергиях. Для того чтобы понять, насколько законен такой перенос суммирует некоторые классы "лестничных" диаграмм теории поля ([16, 23, 24, 25] и т.д.). Хотя аргументы в пользу выбора только этих диаграмм не очень ясны, есть надежда, что анализ этих диаграмм действительно позволяет составить представление о ситуации, реально имеющей место в теории поля. В работах этого направления обычно суммируется какой-нибудь определенный тип диаграмм и удается получить амплитуду $\varphi(s, t)$ ($t = -\rho \cdot \rho^2$ квадрат импульса передачи в системе центра масс) только в главном приближении $\varphi(s, t) \approx \varphi(s)$.

В третьей главе диссертации предлагается новый метод суммирования широкого класса лестничных диаграмм. Для большого класса потенциалов задача сводится к решению простого дифференциального уравнения. В области $s \gg t \gg m^2$ амплитуда $\varphi(s, t)$ находится с точностью до слагаемого, зависящего только от t .

Основное содержание диссертации опубликовано в работах [8, 10, II, 18, 19, 20]. Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на семинарах в Москве, Дубне и Новосибирске.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков ДАН СССР, 103, 203, 391 (1955); ЖЭТФ, 30, 77 (1956); Nuov. Cim., 3, 845 (1956).
2. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков Введение в теорию квантованных полей, М. ГИИТТИ (1957).
3. Д.В. Ширков ДАН СССР, 105, 972 (1955).
4. Л.В. Овсянников ДАН СССР, 109, 1112 (1956).
5. Л.Д. Ландау, А.А. Абрикосов, И.М. Халатников ДАН СССР, 95, 773, 1177; 96, 261 (1954).
6. И.Т. Дятлов, Я.А. Тер-Мартirosян ЖЭТФ, 30, 416 (1956).
7. И.Т. Дятлов, В.В. Судаков, Я.А. Тер-Мартirosян ЖЭТФ, 32, 767 (1957).
8. И.Ф. Гинзбург ДАН СССР, 110, 535 (1956).
9. В.А. Шахбазян Диссертация. МИАН (1961); Г. Вжецкено. ЖЭТФ, 37, 98 (1959).
10. И.Ф. Гинзбург, Д.В. Ширков Доклады Высшей школы, 1, 143 (1958).
11. И.Ф. Гинзбург, Д.В. Ширков. Nuov. Cim., 8, 773 (1958).
12. Я.А. Тер-Мартirosян ЖЭТФ, 44, 341 (1963).
13. И.М. Дремин ЖЭТФ, 41, 821 (1961); И.М. Дремин, Д.С. Чернавский. ЖЭТФ, 43, 551 (1962).
14. Е.Л. Феинберг, Д.С. Чернавский УФН, 82, 3 (1964).
15. Я.Б. Окунь, И.Я. Померанчук ЖЭТФ, 36, 300 (1959); G.F. Chew, F.E. Low. Phys. Rev., 113, 1640 (1959); F. Salzman, G. Salzman, Phys. Rev., 120, 598 (1960); 121, 1541 (1961); 125, 1703 (1962).
16. D. Amati, S. Fubini, A. Stanghellini, M. Tonin., 22, 569 (1961).
17. E. Ferrari, F. Selleri. Suppl. Nuovo Cim., 26, 453 (1962).
18. И.Ф. Гинзбург Доклады Высшей школы, 1, 152 (1958).
19. И.Ф. Гинзбург ЖЭТФ, 44, 500 (1963).
20. И.Ф. Гинзбург ЖЭТФ, 44, 894 (1963).
21. Reports in Proc. Int. Conf. of theor. aspects of very high-energy phenomena. CERN (1961): M. Miesowicz (p. 166); J. Gierula (p. 171); I. Koba (p. 296).
22. Г.Т. Зацепин изв. АН СССР, сер. физ., 26, 674 (1962); S. Hasegawa. Progr. Theor. Phys., 29, 128 (1963).
23. T.C. Polkinghorn. J. Math. Phys., 4, 503 (1963), Phys. Lett., 4, 24 (1963). P.G. Federbush, M.T. Grisaru. Ann. of Phys., 22, 263, 299 (1963); I.G. Halliday. Nuovo Cim., 30, 177 (1963).
24. Б.А. Арбузов, А.А. Логунов, А.Н. Тахелидзе, Р.Н. Фаустов. Phys. Lett., 2, 150 (1962).
25. П. Мураньян. Phys. Lett., 6, 59 (1963). B. Sawyer. Phys. Rev., 131, 1384 (1963).