

4578

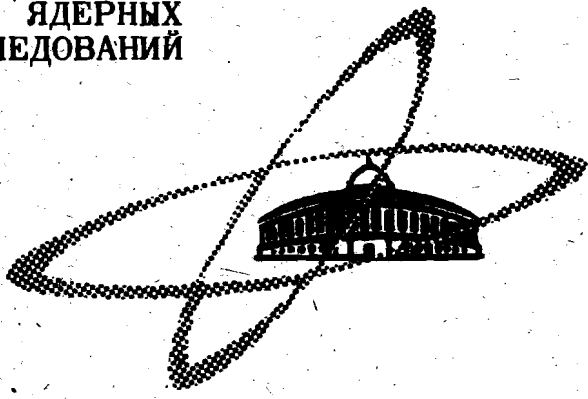
Экз. чит. зала

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ЗНА

Дубна

P2 - 4578



В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян, А.Н.Тавхелидзе

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОБ АВТОМОДЕЛЬНОМ ХАРАКТЕРЕ  
АСИМПТОТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФОРМФАКТОРОВ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И СЛАБЫХ ПРОЦЕССОВ

1969

I. В последнее время становится ясным, что изучение глубоко неупругих процессов с участием лептонов может дать важную информацию о структуре адронов на малых расстояниях. При этом большой интерес представляет проверка идеи о том, что при высоких энергиях, когда во взаимодействии лептонов с адронами открыто значительное число каналов, асимптотическое поведение полных сечений этих процессов имеет "точечный" характер<sup>/1-3, I2/</sup>.

В настоящее время имеются как экспериментальные<sup>/4/</sup>, так и теоретические<sup>/5/</sup> указания о том, что асимптотическое поведение формфакторов неупругих процессов с участием лептонов определяется функциями, зависящими лишь от безразмерных отношений инвариантных переменных.

Мы хотели бы обратить внимание на тот факт, что подобное асимптотическое поведение формфакторов неупругих слабых и электромагнитных процессов имеет характер весьма близкий так называемому автомодельному характеру поведения решений ряда классических задач гидродинамики, например, задачи сильного точечного взрыва<sup>/6-7/</sup>. Как известно, при нахождении автомодельных решений задач гидродинамики большую пользу оказывают методы теории подобия и размерности в сочетании с некоторыми качественными соображениями о характере физических процессов (см., например, <sup>/6/</sup>).

I. В последнее время становится ясным, что изучение глубоко неупругих процессов с участием лептонов может дать важную информацию о структуре адронов на малых расстояниях. При этом большой интерес представляет проверка идеи о том, что при высоких энергиях, когда во взаимодействии лептонов с адронами открыто значительное число каналов, асимптотическое поведение полных сечений этих процессов имеет "точечный" характер<sup>/1-3, 12/</sup>.

В настоящее время имеются как экспериментальные<sup>/4/</sup>, так и теоретические<sup>/5/</sup> указания о том, что асимптотическое поведение формфакторов неупругих процессов с участием лептонов определяется функциями, зависящими лишь от безразмерных отношений инвариантных переменных.

Мы хотели бы обратить внимание на тот факт, что подобное асимптотическое поведение формфакторов неупругих слабых и электромагнитных процессов имеет характер весьма близкий так называемому автомодельному характеру поведения решений ряда классических задач гидродинамики, например, задачи сильного точечного взрыва<sup>/6-7/</sup>. Как известно, при нахождении автомодельных решений задач гидродинамики большую пользу оказывают методы теории подобия и размерности в сочетании с некоторыми качественными соображениями о характере физических процессов (см., например,<sup>/6/</sup>).

В настоящей заметке мы попытаемся обсудить принцип приближенной автомодельности в применении к процессам слабого и электромагнитного взаимодействий при больших энергиях и переданных импульсах и выведем ряд следствий, которые могут быть проверены экспериментально.

Будем считать, что асимптотическое поведение формфакторов процессов с участием лептонов при высоких энергиях и больших переданных импульсах диктуется соображениями размерности и требованием приближенной инвариантности при масштабных преобразованиях

$$q \rightarrow \lambda q$$

$$p_i \rightarrow \lambda p_i,$$

где  $q$  - импульс, переданный от лептонов к адронам,

$p_i$  - импульсы адронов, участвующих в реакции.

Подобное предположение по существу означает, что в рассматриваемом асимптотическом пределе, когда

$$q^2 \rightarrow \infty \quad q \cdot p_i \rightarrow \infty,$$

формфакторы процессов с участием лептонов определяются функциями безразмерных отношений  $\omega_i = \frac{q^2}{q \cdot p_i}$  и приближенно не зависят от масс частиц и других размерных параметров, таких, как радиус взаимодействия и т.п. Подчеркнем, что этот принцип неприменим к процессам чисто сильных взаимодействий, так как в этом случае процессы, по-видимому, существенно зависят от постоянных размерных величин.

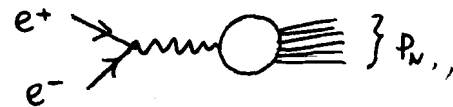
Ниже будет выведен ряд следствий принципа автомодель-

ности для процессов аннигиляции электрон-позитронных пар в адроны, электророждения и процесса образования лептонных пар при столкновении двух адронов.

2. Рассмотрим вначале простейший глубоко неупругий процесс с участием лептонов - аннигиляцию лептонной пары в адроны

$$e^+ e^- \longrightarrow \text{адроны.}$$

В однофотонном приближении этот процесс протекает согласно диаграмме:



а полное сечение имеет вид (при  $m_e \approx 0$ ):

$$\sigma_{\text{tot}}(q^2) = \frac{8\pi^2 \alpha^2}{q^2} \rho(q^2).$$

Вся информация о динамике процесса содержится в неизвестной спектральной функции (формфакторе)  $\rho(q^2)$ , которая по определению связана с тензором  $\rho_{\mu\nu}(q)$  соотношением:

$$\begin{aligned} \rho_{\mu\nu}(q) &= \int dx e^{iqx} \langle 0 | J_\mu(x) J_\nu(0) | 0 \rangle = \\ &= \sum_N (2\pi)^4 \delta(q - p_N) \langle 0 | J_\mu(0) | N \rangle \langle N | J_\nu(0) | 0 \rangle = \\ &= (-g_{\mu\nu} q^2 + q_\mu q_\nu) \rho(q^2). \end{aligned}$$

Легко подсчитать размерность тензора  $\rho_{\mu\nu}(q)$  <sup>x)</sup>:

$$[\rho_{\mu\nu}(q)] = [m^2],$$

откуда видно, что  $\rho(q^2)$ , как и следовало ожидать, безразмерно:

$$[\rho(q^2)] = 1.$$

При масштабных преобразованиях шкалы импульсов

$$q \rightarrow \lambda q,$$

с учетом принципа автомодельности следует, что

$$\rho_{\mu\nu}(\lambda q) = \lambda^2 \rho_{\mu\nu}(q)$$

$$\rho(\lambda^2 q^2) = \rho(q^2) = \text{const}.$$

Таким образом, при больших  $q^2$  полное сечение должно асимптотически вести себя "точечным" образом, аналогичным с результатом теории возмущений для аннигиляции в  $\mu^+ \mu^-$  пару:

x) Мы используем систему единиц, где действие и скорость безразмерны и  $\hbar = c = 1$ , а в качестве размерной величины выбрана масса. Напомним, что в этой системе размерность тока равна  $[j_\mu] = [m^3]$ , а  $n$ -частичный вектор состояния при релятивистски-инвариантной нормировке имеет размерность  $[|n\rangle] = [m^{-n}]$ ,

$$\rho_1(p, p', q, q') = \frac{1}{q^2} F_1\left(\frac{p \cdot q}{p \cdot p'}, \frac{p' \cdot q}{p' \cdot p'}, \frac{q^2}{p \cdot p'}\right)$$

$$\rho_i(p, p', q, q') = \frac{1}{q^2} F_i\left(\frac{p \cdot q}{p \cdot p'}, \frac{p' \cdot q}{p' \cdot p'}, \frac{q^2}{p \cdot p'}\right) \quad i=2,3,4,5,$$

т.е. в асимптотической области формфакторы эффективно должны зависеть только от трех безразмерных переменных. Это предсказание может быть экспериментально проверено в ближайшем будущем.

5. Принцип автомодельности также может быть использован при анализе поведения формфакторов слабых процессов. Большой интерес представляет экспериментальная проверка следствий принципа приближенной автомодельности для процесса глубоко неупругого рассеяния нейтрино на нуклонах (см., например, /2, 12/).

6. В заключение отметим, что автомодельный или самоподобный характер формфакторов электромагнитных и слабых процессов позволяет в асимптотической области, во-первых, уменьшить на единицу число независимых переменных, во-вторых, зная формфакторы при одном наборе инвариантов, предвидеть их значение при другом, при условии, что определенные отношения при этом остаются фиксированными. Наибольший интерес вызвало бы экспериментальное подтверждение предсказываемого принципом автомодельности поведения до определенных больших значений инвариантов. Отклонение от этих предсказаний означало бы, что в игру вступает некий размерный фактор, например, "элементарная длина" и т.п., который

существенно влияет на динамику процесса при сверхмалых расстояниях.

Для обоснования рассмотренного здесь принципа автомодельности важную роль могут сыграть соотношения дисперсионного типа, полученные в работе /13/.

Мы выражаем глубокую благодарность Н.Н.Боголюбову, который обратил наше внимание на возможность применения идеи автомодельности к рассмотренным выше задачам, а также Д.И.Блохинцеву, А.А.Логунову, М.А.Маркову, М.А.Мествиришвили, В.И.Огиевскому и Р.Н.Фаустову за полезные обсуждения.

#### Литература

1. М.А.Марков. Нейтрино, Изд-во "Наука", Москва (1964);  
Препринт ОИЯИ Е2-4370, Дубна (1969).
2. S.Adler. *Phys.Rev.*, 143, 1144 (1966).
3. J.D.Bjorken, *Varena School, course 41. Varena, Italy* (1967).
4. W.K.H.Panofsky. *Rapporteur talk at 14th International Conference on High Energy Physics, Vienna* (1968).
5. J.D.Bjorken. *Preprints SLAC-PUB 510* (1968);  
*SLAC-PUB 571* (1969).
6. Л.И.Седов. *Методы подобия и размерности в механике*, ГИТТЛ, Москва (1957).
7. К.П.Станюкович. *Неустановившиеся движения сплошной среды*, ГИТТЛ, Москва (1958).
8. J.D.Bjorken. *Phys. Rev.*, 148, 1467 (1966).
9. I.Schwinger. *Phys. Rev. Lett.*, 3, 296 (1959).
10. S.Drell, I.Walecka. *Ann. of Phys.*, 28, 18 (1964).
11. В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян, А.Н.Тавхелидзе.  
*Сообщение ОИЯИ, P2-4543, Дубна* (1969).
12. Р.М.Мурадян. *Труды Международного семинара по теории элементарных частиц. Варна, Болгария* (1968).
13. А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили. *Препринт ИФВЭ СФ-69-34, Серпухов* (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

1 июля 1969 года.

Матвеев В.А., Мурадян Р.М., Тавхелидзе А.Н.

P2-4578

Об автомодельном характере асимптотического поведения  
формфакторов электромагнитных и слабых процессов

Показано, что асимптотическое поведение формфакторов электромагнит-  
ных и слабых процессов имеет автомодельный характер.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований

**Дубна, 1969**

Matveev V.A., Muradyan R.M., Tavkhelidze A.N.

P2-4578

On the Automodel Character of Asymptotic Behaviour of  
Form Factors of Electromagnetic and Weak Processes

It has been shown that the asymptotic behaviour of form fac-  
tors of electromagnetic and weak processes has automodel character.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.

**Dubna, 1969**