

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

+

5181/2-80

3/4-80

P2-80-501

В.М.Дубовик, И.Т.Обуховский

КВАРК-ЯДЕРНЫЙ ПОДХОД  
К ИЗУЧЕНИЮ ЭФФЕКТОВ НАРУШЕНИЯ ЧЕТНОСТИ  
В МАЛОНУКЛОННЫХ СИСТЕМАХ

I. Постановка проблемы и формализм

1980

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Становление кварк-ядерной физики как самостоятельного раздела исследований определяется детальным теоретическим и экспериментальным изучением NN-взаимодействий на малых расстояниях. Из ранних работ в этом направлении можно отметить работу Д.И.Блохинцева о перекрывании волновых функций нуклонов в ядрах<sup>/8/</sup>. Предложенная им гипотеза о флуктонах, флуктуациях ядерной плотности получила конкретное содержание на языке кварков, после того как были обнаружены фундаментальные асимптотические свойства сильных взаимодействий: автомодельность, правила кваркового счета<sup>/2/</sup>. Все это стимулировало открытие, например, такого специфического кварк-ядерного эффекта, как кумулятивный эффект при рассеянии релятивистских ядер<sup>/3/</sup>.

В настоящее время процессы NN- и N-ядерного рассеяния с большими передаваемыми импульсами  $q^2$  /см., например,<sup>/4/</sup> и кумулятивный эффект являются основным источником информации о NN-взаимодействиях на малых расстояниях  $R < R_c$  /где  $R_c$  - радиус так называемого отталкивательного кора в NN-взаимодействиях/. В этой области флуктон в современных моделях рассматривается как мультикварковый объект<sup>/5/</sup>.

Мы хотим здесь подчеркнуть, что не только данные при больших  $q^2$  чувствительны к области  $R < R_c$ . Короткодействующие потенциалы электрослабых теорий, задающие через кварк-кварковые взаимодействия внутри ядер масштаб расстояний  $R_{eff} \approx \frac{1}{M_W} \sim 10^{-3}$  фм, можно рассматривать как "пробные", позволяющие изучать область малых  $R$  в экспериментах почти статических. Как мы подчеркивали<sup>/6/</sup>, в этом отношении весьма перспективны прецизионные измерения эффектов нарушения дискретных симметрий, прежде всего нарушения четности в низкоэнергетических малонуклонных реакциях, таких как  $pp \rightarrow pp$ ,  $pn \rightarrow dy$ ,  $(\frac{n}{p})d \rightarrow (\frac{n}{p})d$ ,  $pd \rightarrow Ty$ , в  $\alpha$ -распаде легких ядер по запрещенным каналам /например,  ${}^6\text{Li} (3,86 \text{ МэВ}; J^P I^G = 0^+ 1^-) \rightarrow \alpha + d$ / и т.п. При этом существенно, что в малонуклонных системах нет близлежащих уровней с одинаковым моментом и противоположной четностью, и поэтому эффект нарушения пространственной симметрии в них, по-видимому, не усилен за счет особенностей строения ядер, а определяется непосредственно гамильтонианом слабого взаимодействия в нуклон-нуклон-

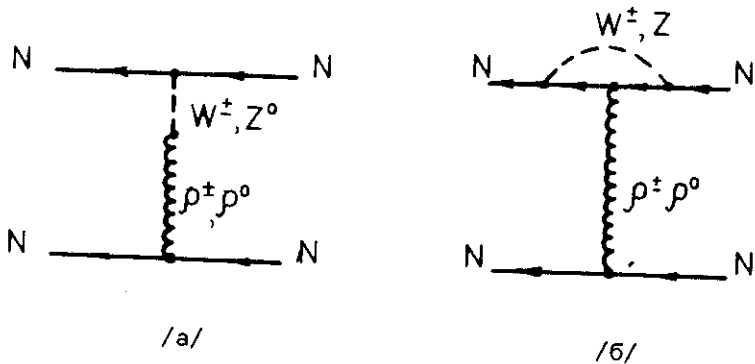


Рис. 1.

ной системе. В общепринятом подходе <sup>/7/</sup> слабое взаимодействие в NN-системе рассматривается как эффективно связанное с  $\pi, \rho, \omega$ -обменами /рис.1/. Однако в эффектах, где правилами отбора запрещен вклад  $\pi$ -обмена /например, в циркулярной поляризации  $\gamma$ -квантов в реакции  $pn \rightarrow d\gamma$ <sup>/8/</sup>/, в слабых взаимодействиях участвует только область малых NN-расстояний и здесь не менее важную роль должен играть прямой обмен  $W^\pm, Z^0$  бозонами /рис.2/. Эта задача требует, естественно микроскопического кваркового рассмотрения, как уже отмечалось в работах <sup>/9,10/</sup> и докладах <sup>/11,12/</sup>. Заметим, в этой связи, что описание слабого взаимодействия на кварковом уровне содержит меньше произвольных допущений, чем в общепринятом подходе, использующем мезоны в качестве "посредников", поскольку единая электрослабая теория Вайнберга-Салама <sup>/13/</sup> в адронном секторе обобщена прямо на кварки <sup>/14/</sup>.

Следует также отметить, что вклад в несохранение четности /НЧ/ прямого обмена  $W^\pm, Z^0$ -бозонами между нуклонами не может быть учтен правильно в терминах нуклон-нуклонной волновой функции  $\Phi_{NN}(R)$  независимо от того, рассматриваются ли нуклоны как точечные частицы, или они "размазаны" введением слабых формфакторов. Действительно, в NN-подходе рассматриваемый вклад пропорционален  $\Phi_{NN}$  или  $d\Phi_{NN}/dR$  в окрестности точки  $R \approx 0$ <sup>/15/</sup>, но именно в этой области ( $R \leq R_c$ ) волновые функции феноменологических моделей NN взаимодействия не имеют определенного физического смысла, что проявляется, в частности, в том, что  $\Phi_{NN}(0)$  и  $d\Phi_{NN}/dR$  при  $R=0$  неустойчивы относительно фазово-эквивалентных преобразований потенциала <sup>/16/</sup>. В результате данный вклад существенно модельно зависим /это же отчасти можно сказать и о  $\rho$ - и  $\omega$ -вкладах в НЧ, пропорциональных некоторому интегралу от  $\Phi_{NN}(R)$  в области  $0 < R \leq 0,7 \text{ Фм}$ <sup>/7/</sup>.

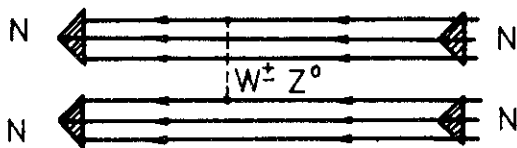


Рис. 2.

Напротив, в кварковом подходе зависимость изучаемого вклада от вида функции  $\Phi_{NN}(R)$  значительно более слабая, т.к. ограничения, которые накладывает принцип Паули, довольно жестко фиксируют вид волновой функции мультикварковой системы.

Поскольку кварк-ядерный подход имеет свои технические и идейные особенности, а его систематических изложений пока нет, мы начнем этот цикл с описания техники генеалогических разложений в мультикварковых системах. В следующем выпуске, используя развитую технику, мы вычислим вероятность различных  $bq$ -состояний в дейтроне. В третьем выпуске вычислим вклад прямого обмена  $W^\pm, Z^0$ -бозонами между кварками в величину  $P_\gamma$  - циркулярной поляризации  $\gamma$ -квантов в реакции радиационного захвата нейтронов протонами ( $np \rightarrow d\gamma$ ). Этот эффект наиболее изучен теоретически, ввиду давнего интригующего расхождения экспериментального результата  $^{17}/ P_\gamma^{\text{эксп.}} = -(13 \pm 4,5) \cdot 10^{-7}$  и теоретических оценок  $P_\gamma^{\text{теор.}} \approx 2 \cdot 10^{-8}$ , полученных в общепринятом подходе  $^{7/}$ . Кварк-ядерный подход, примененный в работе  $^{9/}$ , дал обнадеживающую предварительную оценку  $|P_\gamma| \approx 3 \cdot 10^{-7}$ . /Поэтому представляется весьма интересным тщательное изучение в этом подходе эффектов нарушения четности как в  $np \rightarrow d\gamma$ , так и в других малонуклонных реакциях/. В данном выпуске в разделе 2 задача получения генеалогического разложения в мультикварковой системе решена с помощью коэффициентов Клебша-Гордана /ККГ/ унитарных групп. В разделе 3 дан метод вычисления ККГ унитарной группы произвольного ранга через ККГ группы перестановок. Мы приводим таблицы генеалогических коэффициентов для шести-кварковых конфигураций  $s^6$  и  $s^4 p^2$ .

## 2. КОЭФФИЦИЕНТЫ КЛЕБША-ГОРДАНА УНИТАРНЫХ ГРУПП КАК ГЕНЕАЛОГИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Построение генеалогических разложений для мультикварковых состояний требует знания коэффициентов Клебша-Гордана /ККГ/ унитарных групп для редукции

$$U_{CST}^{(12)} \supset U_{CS} (6) \times U_T (2) \supset U_C (3) \times U_S (2) \times U_T (2) ; \quad /1/$$

$$U_C (3) \supset SU_C (3) \supset O_C (3) , \quad U_S (2) \supset SU_S (2) , \quad U_T (2) \supset SU_T (2) . \quad /1'/$$

Здесь  $SU_C (3)$ ,  $SU_S (2)$ ,  $SU_T (2)$  - группы цветной (C), спиновой (S), и изоспиновой (T) симметрии;  $U_{CS} (6)$  - группа высшей симметрии, в которой объединены цветная и спиновая группы

$$U_{CS} (6) \supset U_C (3) \times U_S (2) , \quad /2/$$

была введена Джаффе /18/ как группа симметрии цветомагнитных сил КХД, пропорциональных оператору  $\sum_{i < j}^N \vec{\lambda}_i \vec{\lambda}_j \vec{\sigma}_i \vec{\sigma}_j$  /  $\vec{\lambda}$  - восемь матриц Гелл-Манна группы  $SU_C (3)$  /.

В редукционной цепочке /1/ несколько раз повторяется редукция вида

$$U_{ab} (n) \supset U_a (n_1) \times U_b (n_2) , \quad n = n_1 n_2 , \quad /3/$$

где индексы a, b /или ab / являются названиями соответствующих пространств: C, S, T, CS, CST и т.д. Поэтому необходимо знать коэффициенты Клебша-Гордана группы  $U(n)$  для системы квантовых чисел, задаваемой редукцией /3/. Удобно использовать схемы Юнга  $[f_{ab}]$ ,  $[f_a]$  и  $[f_b]$ , являющиеся инвариантами групп  $U_{ab} (n)$ ,  $U_a (n_1)$  и  $U_b (n_2)$ , а также индексы повторения  $\omega$ , которые нумеруют эквивалентные представления в ряду Клебша-Гордана

$$[f_a] \circ [f_b] = \sum_f \nu_f [f_{ab}] = \sum_f \sum_{\omega=1}^{\nu_f} [f_{ab}]_{\omega} \quad /4/$$

в тех случаях, когда кратности  $\nu_f > 1$  ( $\omega = 1, 2, \dots, \nu_f$ ).

Можно записать следующее выражение для ККГ группы  $U_{ab} (n)$  :

$$ККГ[U_{ab} (n)] = \left\langle \begin{array}{c} [f'_{ab}] \\ [f'_a] \circ [f'_b] \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_{ab}] \\ [f''_a] \circ [f''_b] \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_{ab}]_{\omega} \\ [f_a] \circ [f_b] \end{array} \right\rangle \times \quad /5/ \\ \times ККГ[U_a (n_1)] \times ККГ[U_b (n_2)] .$$

Первый сомножитель здесь - это так называемый скалярный фактор /СФ/, зависящий только от инвариантов групп  $U_{ab}(n)$ ,  $U_a(n_1)$  и  $U_b(n_2)$ ; последние два сомножителя - коэффициенты Клебша-Гордана для подгрупп  $U_a(n_1)$  и  $U_b(n_2)$ . Символы со штрихом и двумя штрихами относятся к подсистемам из  $N'$  и  $N''$  кварков соответственно, согласно разбиению пространства  $q^N = q \times q \times \dots \times q$ , где заданы представления групп  $U_{ab}(n)$ ,  $U_a(n_1)$  и  $U_b(n_2)$  на подпространства  $q^N \rightarrow q^{N'} \times q^{N''}$ ,  $N = N' + N''$ . /Кварк  $q$  является спинором как группы  $U_{ab}(n)$ , так и группы  $U_a(n_1) \times U_b(n_2)$ ,  $n = n_1 \cdot n_2$  - число компонент у спинора/. Нетрудно увидеть, что генеалогический коэффициент /ГК/ для разложения полностью антисимметричного вектора состояния в  $N$ -кварковой системе

$$|q^N [1^N]^{CSTX} (Q_{CST}, Q_X) \rangle \quad /6/$$

по аналогичным состояниям в подсистемах  $q^{N'}$  и  $q^{N''}$  должен содержать в качестве сомножителя ККГ  $[U_{CST}(12)]$ . В векторе /6/  $Q_{CST}$  обозначает полный набор квантовых чисел в  $CST$ -пространстве:  $[f_C][f_{CS}][f_{CST}]^{CST}$ , где  $C, S, T$  - казимировские инварианты групп  $O_C(3)$ ,  $SU_S(2)$  и  $SU_T(2)$ , которыми оканчиваются редукционные цепочки /1'/ /индексы повторения и проекции моментов  $C_Z, S_Z, T_Z$  опускаем, чтобы не усложнять вида формул там, где соответствующее обобщение очевидно/. Аналогичный смысл имеет обозначение  $Q_X \equiv [f_X]L\omega_X$  - система орбитальных квантовых чисел.  $[1^N]^{CSTX}$  - схема Юнга в полном пространстве  $CSTX$ . Она получена в произведении двух сопряженных схем Юнга  $[f]^{CST} = [\tilde{f}]^X$ :

$$|q^N [1^N]^{CSTX} (Q_{CST}, Q_X) \rangle = \sum_r \frac{\Lambda_r}{\sqrt{n_r}} |q^N [f]^{CST} r Q_{CST} \rangle |q^N [\tilde{f}]^X r Q_X \rangle. \quad /7/$$

Здесь  $r$  - символ Яманучи, характеризующий вектор неприводимого представления  $[f]$  группы перестановок  $S_N$ ,  $\frac{\Lambda_r}{\sqrt{n_r}}$  - ККГ группы  $S_N$  /19/,  $n_r$  - размерность представления  $[f]$ ,  $\Lambda_r$  - фазовый множитель, равный  $\pm 1$ .

Генеалогическое разложение вектора /6/ запишем в виде

$$|q^N [1^N]^{CSTX} (Q_{CST}, Q_X) \rangle = \sum_{Q'_{CST}, Q'_X; Q''_{CST}, Q''_X} \langle q^N (Q_{CST}, Q_X) | q^{N'} (Q'_{CST}, Q'_X), q^{N''} (Q''_{CST}, Q''_X) \rangle \times \quad /8/$$

$$\times |q^{N'} [1^{N'}]^{CSTX} (Q'_{CST}, Q'_X) \rangle |q^{N''} [1^{N''}]^{CSTX} (Q''_{CST}, Q''_X) \rangle |_{CSTL} / 8/$$

где генеалогические коэффициенты  $\langle q^{N'} | q^{N''} \dots, q^{N''} \dots \rangle$  можно выразить через ККГ  $[U_{CST}(12)]$  и орбитальный ГК, используя определения /5/, /7/, /8/:

$$\Gamma_K = \langle q^N [\tilde{r}]^X [f_C] [f_{CS}] [f] \rangle^{CST} LCST |q^{N'} [f']^X [f'_C] [f'_{CS}] [f'] \rangle^{CST} L'C'S'T' \times$$

$$\times q^{N''} [\tilde{r}'']^X [f''_C] [f''_{CS}] [f''] \rangle^{CST} L''C''S''T'' \rangle =$$

$$= \sqrt{\frac{n'_f n''_f}{n_f}} \langle q^N [\tilde{r}]^X L \omega_X | q^{N'} [\tilde{r}']^X L' \omega'_X, q^{N''} [\tilde{r}'']^X L'' \omega''_X \rangle \times$$

$$\times \left\langle \begin{array}{c} [f']^{CST} \\ [f'_{CS}] T' \end{array} \times \begin{array}{c} [f'']^{CST} \\ [f''_{CS}] T'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f]^{CST} \\ [f_{CS}] T \end{array} \right\rangle \times \quad /9/$$

$$\times \left\langle \begin{array}{c} [f'_{CS}] \\ [f'_C] S' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_{CS}] \\ [f''_C] S'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_{CS}] \\ [f_C] S \end{array} \right\rangle \times \left\langle \begin{array}{c} [f'_C] \\ C' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_C] \\ C'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_C] \\ C \end{array} \right\rangle.$$

В правой стороне /9/ второй сомножитель - орбитальный ГК, последующие множители - скалярные факторы для редукций  $U_{CST}(12) \supset U_{CS}(6) \times U_T(2)$ ,  $U_{CS}(6) \supset U_C(3) \times U_S(2)$  и  $U_C(3) \supset O_C(3)$  соответственно /мы их вычислим в § 2/. Фигурные скобки  $\{ \dots \} LCST$  в правой стороне /8/ означают, что для векторов  $|q^N \dots \rangle$  и  $|q^{N'} \dots \rangle$  произведено сложение  $\vec{L} = \vec{L}' + \vec{L}''$ ,  $\vec{C} = \vec{C}' + \vec{C}''$ ,  $\vec{S} = \vec{S}' + \vec{S}''$ ,  $\vec{T} = \vec{T}' + \vec{T}''$  с помощью ККГ групп вращений  $O_L(3)$ ,  $O_C(3)$ ,  $SU_S(2)$  и  $SU_T(2)$ . В формуле /9/ мы для краткости опустили все индексы повторения. /Заметим, что для рассматриваемых в этой работе низших состояний шестикварковой системы в этих индексах нет необходимости/.

Используя определение /5/, ККГ группы  $U_{CST}(12)$  можно записать символически в виде следующего произведения

$$ККГ[U_{CST}(12)] = \left\langle \begin{array}{c} [f']^{CST} \\ [f'_{CS}] T' \end{array} \times \begin{array}{c} [f'']^{CST} \\ [f''_{CS}] T'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f]^{CST} \\ [f_{CS}] T \end{array} \right\rangle \left\langle \begin{array}{c} [f'_{CS}] \\ [f'_C] S' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_{CS}] \\ [f''_C] S'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_{CS}] \\ [f_C] S \end{array} \right\rangle$$

$$\times \left\langle \begin{array}{c} [f'_C] \\ C' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_C] \\ C'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_C] \\ C \end{array} \right\rangle \times ККГ[O_C(3)] \cdot ККГ[SU_S(2)] \cdot ККГ[SU_T(2)]. \quad /10/$$

Связь между ГК и ККГ  $[U(n)]$  ясно видна из сопоставления формул /9/ и /10/. Формально эта связь является прямым следствием того, что ГК и ККГ  $[U(n)]$  мы определили с самого начала как некоторые коэффициенты перехода от одного базиса к другому в одном и том же пространстве представления:

$$q^N \equiv \underbrace{q \times q \times \dots \times q}_{N'} \times \underbrace{q \times q \times \dots \times q}_{N''} = q^{N'} \times q^{N''}. \quad /11/$$

В пространстве /11/ естественным образом можно определить операции групп перестановок  $S_N$ ,  $S_{N'}$  и  $S_{N''}$ , причем схемы Юнга  $[f]$ , которые задавали нам НП унитарных групп, одновременно являются схемами Юнга группы перестановок /свойство дополнительности представлений групп  $U(n)$  и  $S_N$  в пространстве /11/ недавно обсуждалось Мошинским /20/, установление взаимно однозначного соответствия между представлениями групп  $GL(n) \supset U(n) \supset SU(n)$  и симметрической группы является заслугой Шура, Вейля и Картана/. В следующем параграфе, используя это обстоятельство, мы выразим СФ коэффициентов Клебша-Гордана унитарной группы через ККГ групп перестановок.

### 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ККГ УНИТАРНЫХ ГРУПП ЧЕРЕЗ ККГ ГРУППЫ ПЕРЕСТАНОВОК

СФ для редукции  $SU(6) \supset SU(3) \times SU(2)$  вычислялись с помощью аппарата группы перестановок в работах /21/. Здесь мы выведем общую формулу для любой унитарной группы при редукции /3/. Поскольку будет использован только аппарат групп перестановок, окончательный результат не зависит от рангов  $n$ ,  $n_1$  и  $n_2$  унитарных групп. Это обстоятельство позволяет использовать для групп высоких рангов скалярные факторы, известные для групп малого ранга. Тем самым вычисление ГК и ККГ существенно облегчается. В этом отношении наши результаты отличаются от результатов Строттмана /21/.

При выводе искомой формулы для СФ группы /3/ воспользуемся в пространстве /11/ базисными векторами НП группы  $S_N$ . Рассматривая перестановки в пространствах спиноров групп  $U_a(n_1)$  и  $U_b(n_2)$ , построим векторы

$$|q^N [f_a] r_a Q_a \rangle, \quad |q^N [f_b] r_b Q_b \rangle, \quad /12/$$

принадлежащие определенным значениям схем Юнга  $[f]$  и символов Яманучи  $r$ , которые составляют полный набор квантовых чисел группы  $S_N$  для стандартной редукции

$$S_N \supset S_{N-1} \supset \dots \supset S_2. \quad /13/$$



Кроме того,  $[f_a]Q_a$  и  $[f_b]Q_b$  - полные наборы квантовых чисел групп  $U_a(n_1)$  и  $U_b(n_2)$ , причем  $Q_a$  и  $Q_b$  - "внутренние" квантовые числа унитарных групп, которые могут соответствовать своим редукционным цепочкам для унитарных групп. Кронекеровское произведение векторов /12/ можно привести с помощью ККГ группы  $S_N$  /19/ в сумму НП, содержащихся в ряду Клебша-Гордана /4/:

$$|q^N [f_{ab}]_{r_{ab}}(Q_a, Q_b) \omega_{ab} \rangle = \sum_{r_a, r_b} \left[ \begin{array}{c|c} [f_a] & [f_b] \\ r_a & r_b \end{array} \middle| \begin{array}{c} [f_{ab}] \\ r_{ab} \end{array} \right] \omega_{ab} |q^N [f_a]_{r_a} Q_a \rangle |q^N [f_b]_{r_b} Q_b \rangle \quad /14/$$

/квадратные скобки мы используем для обозначения ККГ группы  $S_N$ , причем далее будем опускать индексы повторения  $\omega_{ab}$ /. В подсистемах  $q^{N'}$  и  $q^{N''}$  можно записать аналогичные /14/ формулы приведения. Связь между базисами в подпространствах  $q^{N'}$  и  $q^{N''}$  и в полном пространстве  $q^N$  задают формулы вида

$$|q^N [f_a]_{r_a} Q_a \rangle = \sum_{[f'_a]_{r'_a}, [f''_a]_{r''_a}} \langle [f_a]_{r_a} | [f'_a]_{r'_a}, [f''_a]_{r''_a} \rangle \times \sum_{Q'_a, Q''_a} \left( \begin{array}{c|c} [f'_a] & [f''_a] \\ Q'_a & Q''_a \end{array} \middle| \begin{array}{c} [f_a] \\ Q_a \end{array} \right) |q^{N'} [f'_a]_{r'_a} Q'_a \rangle |q^{N''} [f''_a]_{r''_a} Q''_a \rangle, \quad /15/$$

где круглые скобки использованы для обозначения ККГ унитарной группы, а угловые скобки - для обозначения трансформационной матрицы Каплана /22/, представляющей собой матрицу унитарного преобразования от базиса, заданного стандартной редукцией /13/, к базису с нестандартной редукцией

$$S_N \supset S_{N'} \times S_{N''}, S_{N'} \supset S_{N'-1} \supset \dots \supset S_2, S_{N''} \supset S_{N''-1} \supset \dots \supset S_2. \quad /16/$$

Используя соотношения /14/ и /15/ и определение /5/, получаем после простых, но утомительных выкладок, искомую формулу для СФ:

$$\left\langle \begin{array}{c|c} [f'_{ab}] & [f''_{ab}] \\ [f'_a] \circ [f'_b] & [f''_a] \circ [f''_b] \end{array} \middle| \begin{array}{c} [f_{ab}] \omega_{ab} \\ [f_a] \circ [f_b] \end{array} \right\rangle = \sum_{r'_a, r'_b, r''_a, r''_b} \left\{ \begin{array}{c|c} [f'_a] & [f'_b] \\ r'_a & r'_b \end{array} \middle| \begin{array}{c} [f'_{ab}] \\ r'_{ab} \end{array} \right\} \left\langle [f_{ab}]_{r_{ab}} | [f'_{ab}]_{r'_{ab}}, [f''_{ab}]_{r''_{ab}} \right\rangle^{-1} \times$$

$$\times \left[ \begin{array}{c|c} [f''_a] [f''_b] & [f''_{ab}] \\ \hline r''_a & r''_b \\ & r''_{ab} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c|c} [f_a] [f_b] & [f_{ab}] \omega_{ab} \\ \hline r_a & r_b \\ & r_{ab} \end{array} \right] \quad /17/$$

$$\times \langle [f_a] r_a | [f'_a] r'_a, [f''_a] r''_a \rangle \cdot \langle [f_b] r_b | [f'_b] r'_b, [f''_b] r''_b \rangle,$$

где подразумевается, что  $r_a = (r'_a \rho_a)$ ,  $r_b = (r'_b \rho_b)$ ,  $r_{ab} = (r'_{ab} \rho_{ab})$ .  
 Здесь символы Яманучи  $r_{ab}$ ,  $r'_{ab}$ ,  $r''_{ab}$ ,  $r'_a$ ,  $r'_b$  фиксированы произвольным образом, но так, чтобы стоящие в знаменателе ККГ группы  $S_N$  и трансформационная матрица Каплана были отличны от нуля.

С помощью формулы /17/ мы вычислили все необходимые СФ для ГК /9/ в шестикварковой системе. Мы ограничились рассмотрением двух шестикварковых конфигураций: основного состояния в конфигурации  $s^6[6]^X$  и возбужденного,  $s^4 p^2[42]^X$ , которые, как будет показано в следующих выпусках, играют существенную роль в NN-системе на малых расстояниях. Результаты представлены в табл.1-3 для случаев  $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$  и  $q^6 \rightarrow q^3 \times q^3$  соответственно. Заметим, что генеалогия в конфигурации  $s^6[6]^X$  вычислялась ранее в /9/.

Таблица 1.1

Скалярные факторы ККГ для  $U_{CST}(12) \supset U_{CS}(6) \times U_T(2)$

$$C\Phi_{CST} = \left\langle \begin{array}{c} [f'_{CST}] \\ [f'_{CS}] T' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_{CST}] \\ [f''_{CS}] T'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_{CST}] \\ [f_{CS}] T \end{array} \right\rangle, [f_{CST}] = [1^6], [f_{CS}] = [2^3], T = 0.$$

|   | $S^6[6]^X [2]^3 [1^6]^{CST} S=1 T=0$ |                      |                                  |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| $q^N \rightarrow q^{N'} \times q^{N''}$ | $q^6 \rightarrow q^3 \times q^3$     |                      | $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$ |                      |
| $[f'_{CST}] \times [f''_{CST}]$         | $[1^3] \times [1^3]$                 |                      | $[1^4] \times [1^2]$             |                      |
| $[f'_{CS}] T'$                          | $[1^3] \frac{3}{2}$                  | $[21] \frac{1}{2}$   | $[21^2] 1$                       | $[2^2] 0$            |
| $[f''_{CS}] T''$                        | $[1^3] \frac{3}{2}$                  | $[21] \frac{1}{2}$   | $[1^2] 1$                        | $[2] 0$              |
| $C\Phi_{CST}$                           | $\sqrt{\frac{1}{5}}$                 | $\sqrt{\frac{4}{5}}$ | $\sqrt{\frac{3}{5}}$             | $\sqrt{\frac{2}{5}}$ |
| $\sqrt{\frac{n_{f'} n_{f''}}{n_f}}$     | 1                                    |                      | 1                                |                      |

Таблица 1.2

Скалярные факторы ККГ для  $U_{CS}(6) \supset U_C(3) \times U_S(2)$ .

$$C\Phi_{CS} = \left\langle \begin{array}{c} [f'_{CS}] \\ [f'_C]S' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_{CS}] \\ [f''_C]S'' \end{array} \middle| \begin{array}{c} [f_{CS}] \\ [f_C]S \end{array} \right\rangle, [f_{CS}]=[2^3], [f_C]=[2^3], S=1.$$

|   | $S^6[6]^X [2^3]^{CS} [1^6]^{CS7} C=0 S=1 T=0$ |                      |                       |                       |                       |                       |                       |                                  |                      |                        |                        |                      |                        |                        |
|---|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| $q^6 \rightarrow q^{N'} \times q^{N''}$ | $q^6 \rightarrow q^3 \times q^3$              |                      |                       |                       |                       |                       |                       | $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$ |                      |                        |                        |                      |                        |                        |
| $[f'_{CS}] \times [f''_{CS}]$           | $[1^3] \times [1^3]$                          |                      | $[21] \times [21]$    |                       |                       |                       |                       | $[2^2] \times [2]$               |                      |                        | $[2^2] \times [1^2]$   |                      |                        |                        |
| $[f'_C] S'$                             | $[1^3] \frac{3}{2}$                           | $[21] \frac{1}{2}$   | $[1^3] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{3}{2}$    | $[21] \frac{3}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21^2] 1$                       | $[2^2] 2$            | $[2^2] 0$              | $[21^2] 2$             | $[21^2] 1$           | $[21^2] 0$             | $[2^2] 1$              |
| $[f''_C] S''$                           | $[1^3] \frac{3}{2}$                           | $[21] \frac{1}{2}$   | $[1^3] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{3}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{3}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[1^2] 0$                        | $[2] 1$              | $[2] 1$                | $[1^2] 1$              | $[1^2] 1$            | $[1^2] 1$              | $[2] 0$                |
| $C\Phi_{CS}$                            | $-\sqrt{\frac{4}{9}}$                         | $\sqrt{\frac{5}{9}}$ | $\sqrt{\frac{5}{36}}$ | $\sqrt{\frac{1}{36}}$ | $\sqrt{\frac{5}{18}}$ | $\sqrt{\frac{5}{18}}$ | $\sqrt{\frac{5}{18}}$ | $\sqrt{\frac{5}{12}}$            | $\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $-\sqrt{\frac{5}{12}}$ | $-\sqrt{\frac{2}{27}}$ | $\sqrt{\frac{5}{9}}$ | $-\sqrt{\frac{5}{54}}$ | $-\sqrt{\frac{5}{18}}$ |

Таблица 2.1

Скалярные факторы ККГ для  $U_{CST}(12) \supset U_{CS}(6) \times U_T(2)$ .

$$C\Phi_{CST} = \left\langle \begin{array}{c} [f'_{CST}] \\ [f'_{CS}]T' \end{array} \times \begin{array}{c} [f'_{CST}] \\ [f''_{CS}]T'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_{CST}] \\ [f_{CS}]T \end{array} \right\rangle, [f_{CST}] = [2^2 1^2], [f_{CS}] = [42], T=0.$$

| $S^4 p^2 [42]^x [2^3]^c [42]^{CS} [2^2 1^2]^{CST} \quad C=0 \quad S=1 \quad T=0$ |                                  |                       |                       |                       |                      |                      |                       |                        |                       |                       |                                  |                       |                       |                      |                        |                       |                       |                       |                      |
|--|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$   | $q^6 \rightarrow q^3 \times q^3$ |                       |                       |                       |                      |                      |                       |                        |                       |                       | $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$ |                       |                       |                      |                        |                       |                       |                       |                      |
| $[f'_{CST}] \cdot [f_{CS}]$  | $[1^4] \cdot [1^2]$              | $[1^3] \cdot [21]$    |                       | $[21] \cdot [1^4]$    |                      | $[21] \cdot [21]$    |                       |                        |                       |                       | $[1^4] \cdot [1^2]$              | $[21^2] \cdot [1^2]$  |                       | $[21^2] \cdot [2]$   |                        | $[2^2] \cdot [1^2]$   |                       |                       |                      |
| $[f'_{CS}]T'$  | $[21] \frac{1}{2}$               | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[3] \frac{1}{2}$     | $[21] \frac{1}{2}$   | $[3] \frac{1}{2}$    | $[3] \frac{1}{2}$     | $[21] \frac{1}{2}$     | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{3}{2}$    | $[2^2] 0$                        | $[3] 0$               | $[3] 1$               | $[3] 1$              | $[2^2] 1$              | $[3] 0$               | $[2^2] 0$             | $[3] 1$               | $[4] 0$              |
| $[f''_{CS}]T''$  | $[21] \frac{1}{2}$               | $[3] \frac{1}{2}$     | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$   | $[3] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[3] \frac{1}{2}$      | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{3}{2}$    | $[2] 0$                          | $[2] 0$               | $[1^2] 1$             | $[2] 1$              | $[2] 1$                | $[1^2] 0$             | $[2] 0$               | $[1^2] 1$             | $[2] 0$              |
| $C\Phi_{CST}$  | 1                                | $-\frac{\sqrt{4}}{5}$ | $-\frac{\sqrt{1}}{5}$ | $-\frac{\sqrt{4}}{5}$ | $\frac{\sqrt{1}}{5}$ | $\frac{1}{2}$        | $\frac{\sqrt{1}}{10}$ | $-\frac{\sqrt{1}}{10}$ | $\frac{\sqrt{1}}{10}$ | $\frac{\sqrt{9}}{20}$ | 1                                | $-\frac{\sqrt{2}}{5}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{5}$ | $\frac{\sqrt{3}}{5}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{10}$ | $\frac{\sqrt{1}}{10}$ | $\frac{\sqrt{1}}{20}$ | $\frac{\sqrt{9}}{20}$ | $\frac{\sqrt{1}}{2}$ |
| $\sqrt{\frac{n_f \cdot n_f^*}{n_f}}$   | $\frac{\sqrt{1}}{9}$             | $\frac{\sqrt{2}}{9}$  |                       | $\frac{\sqrt{2}}{9}$  |                      | $\frac{\sqrt{4}}{9}$ |                       |                        |                       |                       | $\frac{\sqrt{1}}{9}$             | $\frac{\sqrt{3}}{9}$  |                       | $\frac{\sqrt{3}}{9}$ |                        | $\frac{\sqrt{2}}{9}$  |                       |                       |                      |

Таблица 2.2

Скалярные факторы ККГ для  $U_{CS}(6) \supset U_C(3) \times U_S(2)$ .

$$C\Phi_{CS} = \left\langle \begin{array}{c} [f'_{CS}] \\ [f'_C]S' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_{CS}] \\ [f''_C]S'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_{CS}] \\ [f_C]S \end{array} \right\rangle, [f_{CS}] = [42], [f_C] = [2^3], S = 1.$$

|                                 |                    | $S'p^2 [42]^x [2^3]^c [42]^{cs} [2^2 1^2]^{cst} C=0 S=1 T=0$ |                       |                      |                      |                    |                        |                       |                       |                       |                                  |                      |                       |                        |                      |                       |                       |                       |                       |           |                    |  |  |
|---------------------------------|--------------------|--|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|--|--|
| $q^6 \rightarrow q^4 \cdot q^2$ |                    | $q^6 \rightarrow q^3 \times q^3$                             |                       |                      |                      |                    |                        |                       |                       |                       | $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$ |                      |                       |                        |                      |                       |                       |                       |                       |           |                    |  |  |
| $[f'_{CS}] \cdot [f''_{CS}]$    | $[3] \times [3]$   | $[3] \times [21]$  |                       |                      | $[21] \times [3]$    |                    |                        | $[21] \times [21]$    |                       |                       |                                  |                      |                       | $[4] \times [2]$       | $[31] \times [2]$    |                       |                       | $[31] \times [1^2]$   |                       |           | $[2^2] \times [2]$ |  |  |
| $[f'_C] S'$                     | $[21] \frac{1}{2}$ | $[21] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{1}{2}$ | $[21] \frac{1}{2}$     | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[1^3] \frac{1}{2}$              | $[2^2] 0$            | $[2^2] 1$             | $[2^2] 1$              | $[2^2] 1$            | $[2^2] 1$             | $[2^2] 0$             | $[2^2] 0$             | $[2^2] 2$             | $[2^2] 1$ |                    |  |  |
| $[f''_C] S''$                   | $[21] \frac{1}{2}$ | $[21] \frac{3}{2}$   | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{1}{2}$   | $[21] \frac{1}{2}$ | $[21] \frac{1}{2}$     | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[21] \frac{1}{2}$    | $[1^3] \frac{1}{2}$              | $[2^2] 1$            | $[2^2] 1$             | $[2^2] 0$              | $[2^2] 0$            | $[2^2] 1$             | $[2^2] 1$             | $[2^2] 1$             | $[2^2] 1$             | $[2^2] 0$ |                    |  |  |
| $C\Phi_{CS}$                    | 1                  | $\sqrt{\frac{4}{5}}$   | $-\frac{\sqrt{1}}{5}$ | $\sqrt{\frac{4}{5}}$ | $\sqrt{\frac{1}{5}}$ | $\frac{1}{2}$      | $-\frac{\sqrt{1}}{10}$ | $\sqrt{\frac{1}{10}}$ | $\sqrt{\frac{1}{10}}$ | $\sqrt{\frac{9}{20}}$ | 1                                | $\sqrt{\frac{2}{5}}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{5}$ | $-\frac{\sqrt{1}}{10}$ | $\sqrt{\frac{3}{5}}$ | $\sqrt{\frac{3}{10}}$ | $\sqrt{\frac{1}{20}}$ | $-\frac{\sqrt{1}}{2}$ | $\sqrt{\frac{9}{20}}$ |           |                    |  |  |

Таблица 3

Скалярные факторы ККГ для  $U_C(3) \supset O_C(3)$ .

$$C\Phi_C = \left\langle \begin{array}{c} [f'_C] \\ C' \end{array} \times \begin{array}{c} [f''_C] \\ C'' \end{array} \parallel \begin{array}{c} [f_C] \\ C \end{array} \right\rangle, [f_C] = [2^3], C=0.$$

|   | $[2^3]^C \ C=0$                  |                       |                      |                                  |                       |                       |
|---|----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $q^N \rightarrow q^{N'} \times q^{N''}$ | $q^6 \rightarrow q^3 \times q^3$ |                       |                      | $q^6 \rightarrow q^4 \times q^2$ |                       |                       |
| $[f'_C] \times [f''_C]$                 | $[1^3] \times [1^3]$             | $[21] \times [21]$    |                      | $[21^2] \times [1^2]$            | $[2^2] \times [2]$    |                       |
| $C', C''$                               | 0,0                              | 1,1                   | 2,2                  | 1,1                              | 0,0                   | 2,2                   |
| $C\Phi_C$                               | 1                                | $-\sqrt{\frac{3}{8}}$ | $\sqrt{\frac{5}{8}}$ | 1                                | $-\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $-\sqrt{\frac{5}{6}}$ |

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохинцев Д.И. ЖЭТФ, 1957, 33, с.1295.
2. Матвеев В.А., Мурадян Р.М., Тавхелидзе А.Н. ЭЧАЯ, 1971, 2, с.5;  
Matveev V.A., Muradyan R.M., Tavkhelidze. Lett.Nuovo Cim., 1973, 7, p.729;  
Brodsky S.J., Farrar G.R. Phys.Rev.Lett., 1973, 31, p.1153.
3. Balzin A.M. In: High Energy Physics and Nuclear Structure, 1975, Nagle D.E. et al. Eds, AIP, N.Y.(1975), p.621;  
Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, 10, с.949;  
Лексин Г.А. Четвертая школа физики ИТЭФ, М., Атомиздат, 1977, вып.2, с.50.
4. Квинихидзе А.Н. и др. ЭЧАЯ, 1977, 8, с.478.
5. Matveev V.A., Sorba P. Nuovo Cim.Lett., 1977, 20, с.433;  
Кобушкин А.П., ЯФ, 1978, 28, с.495;  
Лукьянов В.К., Титов А.И. ЭЧАЯ, 1979, 10, с.815;  
Smirnov Yu.F., Tchuvilsky Yu.M. J.Phys., G, 1978, 4, p.L1.
6. Дубовик В.М. В сб.: "Межд. симп. по проблеме нескольких тел в ядерной физике". ОИЯИ, Д4-12366, Дубна, 1979, с.40.
7. Fischbach E., Tadic D. Phys.Rep., 1973, C6, p.123;  
Gari M., ibid. p.317;

- Dubovik V.M., Zamiralov V.S., Zenkin S.V. Comm. JINR, E2-12381, Dubna, 1979; E2-80-502, Dubna, 1980.
8. Danilov G.S. Phys.Lett., 1975, 28, p.40.  
Dalkarov O.D. Sov.Phys. JETP Lett., 1965, 2, p.124.
  9. Dubovik V.M., Kobushkin A.P. Report ITP-78-85 E, Kiev, 1978.
  10. Dubovik V.M., Obukhovskiy I.T. Extended Contrib.Int.Symp on Few Body Problems in Nuclear Phys., JINR, Dubna, 1979.
  11. Neudatchin V.G. In: Clustering Aspects of Nuclear Structure and Nuclear Reactions, III Int.Conf., Winnipeg 1978, Van Oers W.T.H. et al. Eds. AIP Conf.Proc., No 47, N.Y., 1978, p.469.
  12. Frankfurt L.L., Strikman M.I. Preprint LNPI, No 238, Leningrad, 1976.
  13. Weinberg S. Phys.Rev.Lett., 1967, 19, p.1264.  
Salam A. In: Elementary Particle Theory, N.Svartholm ed., Stockholm, 1968, p.367.
  14. Glashow S.I., Iliopoulos J., Maiani L. Phys.Rev., D, 1970, 2, p.1285.
  15. Leroy J.P., Micheli J., Pignon D. Nucl.Phys., A, 1977, 260, p.377.
  16. Vary J.P. Phys.Rev.Lett., 1977, 38, p.195, *ibid.*, p.617.
  17. Lobashov V.M. et al. Nucl.Phys., A, 1972, 197, p.241.
  18. Jaffe R.L. Phys.Rev.Lett., 1977, 38, p.195.
  19. Хамермеш М. Теория групп и ее применение к физическим проблемам. "Мир", М., 1966.
  20. Moshinsky M., Quesne C. J.Math.Phys., 1970, 11, p.1631.
  21. So S.I., Strottman D. J.Math.Phys., 1979, 20(1), p.153; Strottman D., *ibid.*, 20(8), p.1643.
  22. Каплан И.Г. ЖЭТФ, 1961, 41, с.560, *ibid.* с.790.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 июля 1980 года.