

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ БОЛЬШИХ ПЕРЕДАННЫХ ИМПУЛЬСАХ И КВАРКОВАЯ СТРУКТУРА ЯДРА ${}^4\text{He}$

В.В.Буров, В.К.Лукьянов, Р.Мартинес*

Исследован формфактор ядра ${}^4\text{He}$ в рамках модели, в которой волновая функция содержит как обычные нуклонные, так и многокварковые примеси. Показано, что для описания экспериментальных данных в волновой функции ${}^4\text{He}$ необходимы 18% 6q-примеси и 1% 9q-примеси. Оценен вклад 12q-примеси, который составляет $\sim 0,02\%$. При этом вклады формфакторов с 6q-, 9q-, 12q-примесью из-за интерференции нуклонных и кварковых каналов составляют 7, 0,8, 0,01% соответственно.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Elastic Electron Scattering at High Momentum Transfer and the Quark Structure of ${}^4\text{He}$

V.V.Burov, V.K.Lukyanov, R.Martines

The ${}^4\text{He}$ form factor is investigated within the model where the wave function includes both the nucleon and multiquark admixtures. It is shown that to explain experimental data, one needs 18% of the 6q-admixture and 1% of the 9q one. An estimation is done for the 12q-admixture of the level 0,02%. Contributions of the 6q-, 9q- and 12q-form factors are smaller because of interference of the nucleon and quark channels and their values are 7, 0.8 and 0.01%, respectively.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Ранее ^{1-3/} исследовались формфакторы трехнуклонных ядер ${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$, и было установлено, что в области переданных импульсов $0,5 \leq q^2 \leq 3$ /ГэВ/с² шести- и девятикварковые примеси в ядерной волновой функции играют решающую роль. При этом важное значение имеет интерференция нуклонного и многокварковых каналов, учет которой приводит к тому,

* Гаванский университет

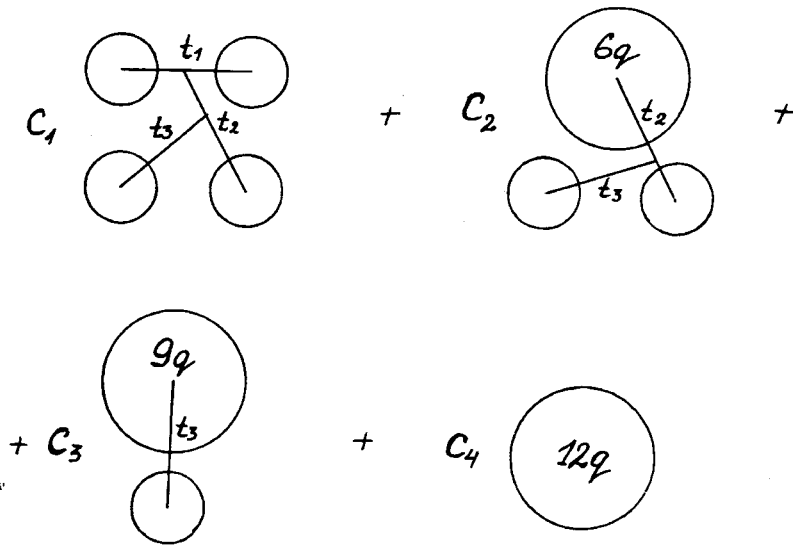


Рис. 1. Волновая функция ядра ${}^4\text{He}$.

что эффективный вклад $6q$ - и $9q$ -каналов в указанные форм-факторы составляет 2 и 0,01% соответственно.

В настоящей работе проведено аналогичное исследование формфактора ${}^4\text{He}$ с учетом $6q$ -, $9q$ - и $12q$ -примесей.

Запишем волновую функцию ядра ${}^4\text{He}$ с учетом вклада многокварковых примесей с амплитудами C_k в виде

$$\psi = \sum_{k=1}^4 C_k \psi_k. \quad /1/$$

Здесь ψ_1 - ядерная волновая функция /нуклонный канал/, ψ_2 - ядерная функция с выделенным $6q$ - кластером с вероятностью C_2^2 , ψ_3 - с выделенным $9q$ - кластером с вероятностью C_3^2 и т.д. Их конкретный вклад записывается по аналогии с данными в работах /3/ выражениями для ядра ${}^3\text{He}$. Схематический вид волновой функции ядра ${}^4\text{He}$ с выделенными многокварковыми кластерами показан на рис.1.

Используя стандартное определение формфактора и выделение движения центра масс ядра, можно получить формфактор в виде суммы:

$$F_{\text{CH}}^{4\text{He}} = C_1^2 F_{11}^{4\text{He}} + F_{6qT}^{4\text{He}} + F_{9qT}^{4\text{He}} + F_{12qT}^{4\text{He}}, \quad /2/$$

где

$$F_{6qT}^{4\text{He}} = C_2^2 F_{22}^{4\text{He}} + 2C_1 C_2 F_{12}^{4\text{He}}, \quad /3/$$

$$F_{9qT}^{4\text{He}} = C_3^2 F_{33}^{4\text{He}} + 2C_1 C_3 F_{13}^{4\text{He}} + 2C_2 C_3 F_{23}^{4\text{He}}, \quad /4/$$

$$F_{12qT}^{4\text{He}} = C_4^2 F_{44}^{4\text{He}} + 2C_2 C_4 F_{24}^{4\text{He}} + 2C_1 C_4 F_{14}^{4\text{He}} + 2C_3 C_4 F_{34}^{4\text{He}} \quad /5/$$

Здесь $F_{11}^{4\text{He}}$ представляет собой формфактор в нуклонном канале. Мы берем его из работ^{/4/}, где он вычислялся с NN-потенциалом Хамады - Джонстона с включением трехчастичных сил. Мы не приводим конкретных выражений для отдельных частей F_{ij} - они получаются по аналогии с тем, что давалось ранее для ${}^3\text{He}$ ^{/3/}, и имеют весьма громоздкий вид. Отметим лишь, что для тех частей формфактора, которые связаны с движением кварков в нуклонных и многокварковых мешках, мы использовали расчеты в рамках модели релятивистского гармонического осциллятора^{/5/} /обоснование см. в^{/6/}.

На рис.2 приведены методические расчеты, показывающие отдельно вклады в формфактор компонент $F_{6qT}^{4\text{He}}$, $F_{9qT}^{4\text{He}}$ и $F_{12qT}^{4\text{He}}$ /кривые 1,2,3 соответственно/. Оказалось, что амплитуду $6q$ -примеси C_2 необходимо выбирать отрицательной, как и для ${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$ ^{/1-3/}, так как только в этом случае можно получить согласие с экспериментальными данными в области минимума $|F_{\text{CH}}^{3\text{He}}|$ при $q^2 \sim 0,4$ /ГэВ/с². Тогда при выбранных параметрах формфакторы $F_{6qT}^{4\text{He}}$ и $F_{9qT}^{4\text{He}}$ оказываются отрицательными при $q^2 < 2,5$ /ГэВ/с². Вклад $F_{11}^{4\text{He}}$ будет определяющим при $q^2 < 0,4$ /ГэВ/с², $F_{6qT}^{4\text{He}}$ - при $0,4 < q^2 < 1,1$ /ГэВ/с² и $F_{9qT}^{4\text{He}}$ - при $1,1 < q^2 <$

$< 2,5$ /ГэВ/с². Вклад $F_{12qT}^{4\text{He}}$ в области $q^2 < 2,5$ /ГэВ/с² пренебрежимо мал, причем $F_{12qT}^{4\text{He}} < 0$. Для выяснения роли $F_{9qT}^{4\text{He}}$ необходимы экспериментальные данные при $q^2 > 2,5$ /ГэВ/с².

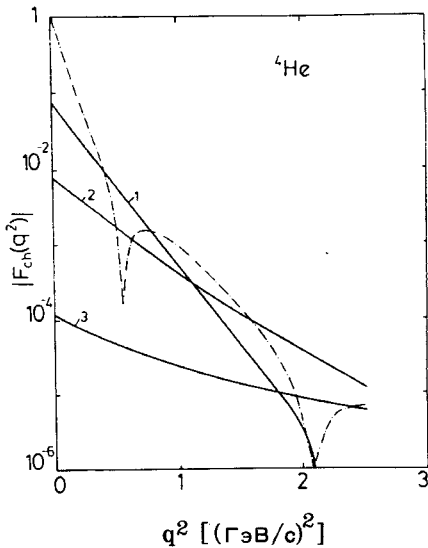


Рис.2. Формфактор ${}^4\text{He}$: штрихпунктир - вклад $F_{11}^{4\text{He}}$ /4/; 1,2,3 - вклады $F_{6qT}^{4\text{He}}$ /3/ - шестикварковой примеси; $F_{9qT}^{4\text{He}}$ /4/ - девятикварковой примеси; $F_{12qT}^{4\text{He}}$ /5/ - двенадцатикварковой примеси соответственно.

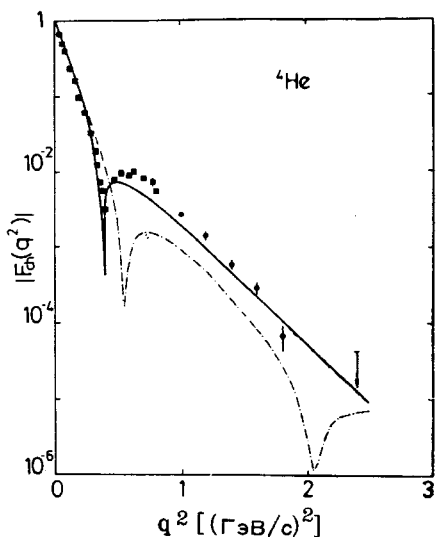


Рис. 3. Формфактор ${}^4\text{He}$: штрих-пунктир - вклад $F_{11}^{4\text{He}}/4$, сплошная линия - формфактор ${}^4\text{He}$ с учетом многокварковых примесей / $C_1 = 1,04$, $C_2 = -0,42$, $C_3 = 0,112$, $C_4 = -0,015$, $\gamma_1 = 0,66 \text{ фм}^{-1}$, $\gamma_2 = 1,34 \text{ фм}^{-1}$, $\gamma_3 = 3,58 \text{ фм}^{-1}$ /. Экспериментальные данные взяты из работ /8/.

Согласие с экспериментальными данными /8/ получается /рис. 3/ при выборе следующих амплитуд многокварковых примесей: $C_2 = -0,42$, $C_3 = 0,112$, $C_4 = -0,015$. Параметры γ ясторовских волновых функций, используемых в расчете для опи-

сания относительного движения на малых расстояниях многокварковых кластеров и остальной части ядра /см. /3//, оказались равными $\gamma_1 = 0,66 \text{ фм}^{-1}$, $\gamma_2 = 1,34 \text{ фм}^{-1}$, $\gamma_3 = 3,58 \text{ фм}^{-1}$. При этом значение γ_1 примерно соответствует величине $\gamma_1 \approx \gamma_2$ для случая ядра ${}^3\text{He}$ /3/ / $\gamma_1 \approx \gamma_2 = 0,63 \text{ фм}^{-1}$ /, тогда как γ_2 для ${}^4\text{He}$ существенно отличается от γ_1 , что вызвано влиянием четвертого нуклона на конфигурацию типа ${}^3\text{He}$ в ядре ${}^4\text{He}$. Следует отметить, что в тех работах, где не учитывается интерференция каналов /4/, приходилось для имитации их вклада выбирать отрицательные вероятности многокварковых примесей $C_2^2 < 0$, $C_3^2 < 0$, $C_4^2 < 0$, что исключает физическую интерпретацию полученной параметризации данных эксперимента.

Итак, наш анализ показывает, что вклад $6q$ -примеси $C_2^2 = 17,64\%$, $9q$ -примеси $C_3^2 = 1,25\%$, $12q$ -примеси $C_4^2 = 0,02\%$. Эффективный вклад $6q$ -, $9q$ -, $12q$ -каналов вследствие частичной компенсации интерференционных и "прямых" формфакторов оказался значительно меньше: $F_{6qT}^{4\text{He}}(0) = 7,3 \cdot 10^{-2}$, $F_{9qT}^{4\text{He}}(0) = 8,2 \cdot 10^{-3}$, $F_{12qT}^{4\text{He}}(0) = 10^{-4}$. Отметим, что в настоящее время имеются модели /7/, предполагающие существование в ядре ${}^4\text{He}$ только $12q$ -системы с очень большой вероятностью $10 \div 15\%$, получающейся вследствие пренебрежения вкладами $6q$ - и $9q$ -примесей и интерференцией нуклонного и кваркового каналов.

Итак, приходим к следующим выводам:

1. Формфактор ${}^4\text{He}$, рассчитанный с помощью уравнений Фадеева - Якубовского, не описывает экспериментальные данные.

2. Предположение о существовании многокварковых систем в легчайших ядрах позволяет с хорошей точностью объяснить эксперимент. При этом вероятность $6q$ -примеси составляет $C_2^2 = 17,64\%$, $9q$ -примеси - $C_3^2 = 1,25\%$, $12q$ -примеси - $C_4^2 = 0,02\%$.

3. Интерференция нуклонного и кваркового каналов вносит определяющий вклад в формфакторы легчайших ядер при больших переданных импульсах.

4. Учет интерференции приводит к частичной компенсации прямых и интерференционных членов, что дает уменьшение эффективного вклада многокварковых примесей в формфактор ${}^4\text{He}$, который оказывается равным $7,3\%$ / $6q$ /, $0,82\%$ / $9q$ /, $0,01\%$ / $12q$ /.

5. Имеющиеся экспериментальные данные для формфактора ${}^4\text{He}$ пока не позволяют надежно оценить вклад $12q$ -примеси. Для этого требуются измерения $F_{\text{CH}}^{4\text{He}}$ при $q^2 > 1,5$ /ГэВ/с².

Литература

1. Burov V.V., Lukyanov V.K., Titov A.I. Z.Phys.A: Atoms and Nuclei, 1984, v.318, p.67.
2. Буров В.В., Лукьянов В.К., Титов А.И. ЭЧАЯ, 1984, т.15, с.1249.
3. Буров В.В., Лукьянов В.К. ОИЯИ, P2-85-196, Дубна, 1985. Burov V.V., Lukyanov V.K., Martines R. JINR Rapid Comm. 15-86, Dubna, 1986, p.13. Буров В.В., Лукьянов В.К. ОИЯИ, P2-86-337, Дубна, 1986.
4. Namiki M., Okano K., Oskimo N. Phys.Rev., 1982, C25, p.2157; Namiki M. In.: Proc. of the VII Int.Seminar on High Energy Physics Problems. JINR, D1,2-84-599. Dubna, 1984, p.397.
5. Kizukuri J., Namiki M., Okano K. Prog.Theor.Phys., 1976, v.61, p.559.
6. Марков М.А. Мезоны и К-гипероны. Физматгиз, М., 1958; Jukawa H. Phys.Rev., 1953, v.91, p.416; Takabayasi T. Phys.Rev., 1965, v.139, p.1381.
7. Kondratyuk I.L. Preprint ITEP-122, Moscow, 1984; Dakhno L.G., Nikolaev N.N. Preprint LNPI, Leningrad, 1984.
8. McCarthy J.S., Sick I., Whitney R.R. Phys.Rev., 1977, C15, p.1396. Frosch R.F. et al. Phys.Rev., 1967, v.160, p.874. Arnold R.G. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 40, p.1429.