

Таким образом, разработан подход к определению кварковых вкладов в спин нуклона на основе первых моментов СФ  $g_1$ ,  $g_6$  протона и нейтрона в нейтринных процессах ГНР с заряженным током без использования каких-либо других измеряемых величин, например,  $a_3$  и  $a_8$ .

#### Литература

1. The Electron-Ion Collider: Assessing the Energy Dependence of Key Measurements / E. C. Aschenauer [et al.]. – ArXiv: 1708.01527 [nucl-ex].
2. Ball, R. D. The Proton Spin, Semi-inclusive processes, and a future Electron-Ion Collider / R. D. Ball, A. Deshpande. – ArXiv: 1801.04842 [hep-ph].
3. Leader, E. New analysis concerning the strong quark polarization puzzle / E. Leader, A. V. Sidorov, D. B. Stamenov // Phys. Rev. – 2015. – Vol. D91. – P. 054017.
4. Forte, S. Polarized parton distribution from charged – current deep-inelastic scattering and future neutrino factories / S. Forte, M. L. Mangano, G. Ridolfi // Nucl. Phys. – 2001. – Vol. B602. – P. 585–621.
5. King, B. J. High rate neutrino detectors for neutrino factories / B. J. King // Nucl. Instrum. Meth. – 2000. – Vol. A451. – P. 198–206.
6. Kaur, J. Spin distribution in the quark-parton model / J. Kaur // Nucl. Phys. – 1977. – Vol. B128. – P. 219–251.
7. Schwienhorst, R. Colliding neutrino beams / R. Schwienhorst // Mod. Phys. Lett. – 2008. – Vol. A23. – P. 2751–2761.
8. Kaplan, D. M. Muon collider / neutrino factory: status and prospects / D. M. Kaplan // Nucl. Instrum. Meth. – 2000. – Vol. A453. – P. 37–48.
9. Mezzetto, M. Beta beams / M. Mezzetto // Nucl. Phys. Proc. Suppl. – 2005. – Vol. 143. – P. 309–316.
10. Neutron spin structure with polarized deuterons and spectator proton tagging at EIC / W. Cosyn [et al.] // J. Phys. Conf. Ser. – 2014. – Vol. 543. – P. 012007.
11. Максименко, Н. В. Спиновые структуры нуклона в нейтринных процессах / Н. В. Максименко, Е. С. Тимошин // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2006. – № 4. – С. 67–72.

УДК 539.12

### ПОЛЯРИЗАЦИЯ СТРАННЫХ КВАРКОВ В НЕЙТРИННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Е. С. Тимошин, С. И. Тимошин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Предложен способ получения вкладов странных кварков и антикварков в спин нуклона на основе измеряемых поляризационных асимметрий глубоконеупругого рассеяния нейтрино и антинейтрино на поляризованных нейтронах.*

**Ключевые слова:** нейтрино, спин, нуклон, асимметрия, кварк.

### THE POLARIZATION OF THE STRANGE QUARKS IN THE NEUTRINO EXPERIMENTS

E. S. Timoshin, S. I. Timoshin

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The approach were proposed for the extraction of contributions the strange quarks and anti-quarks in nucleon spin from the polarization asymmetries deep inelastic scattering neutrino and antineutrino off polarized neutrons.*

**Keywords:** neutrino, spin, nucleon, asymmetry, quark.

Важное место в изучении спиновой структуры нуклона занимает поляризация странных кварков и антикварков  $\Delta s$  и  $\Delta \bar{s}$  (см., например, [1] и цитируемую там литературу). КХД-анализы инклюзивных поляризационных данных для извлечения  $(\Delta s + \Delta \bar{s})$  применяют измеряемую величину – октетный аксиальный заряд  $a_8$  (фактически предположение о SU (3) ароматовой симметрии), который содержит существенные неопределенности. Данные из полуинклюзивных экспериментов имеют сильную зависимость от выбора функций фрагментации.

В работе [2] предложен подход по определению поляризации странного моря, свободный от указанных недостатков. Здесь на основе наблюдаемых асимметрий глубокоэластического рассеяния (ГНР) нейтрино и антинейтрино на поляризованных протонах  $A_{vp}$ ,  $A_{\bar{v}p}$  и дейтронах  $A_{vd}$ ,  $A_{\bar{v}d}$  получены выражения для  $\Delta s$ ,  $\Delta \bar{s}$ ,  $\Delta s + \Delta \bar{s}$ . В дополнение к ним представляется возможность проверить, имеет ли место ненулевая величина разности  $\Delta s(x) - \Delta \bar{s}(x)$ . Несмотря на то, что в большинстве анализов партонных функций распределения предполагается  $\Delta s = \Delta \bar{s}$ , ненулевая асимметрия  $(\Delta s - \Delta \bar{s}) \neq 0$  ожидается в некоторых непертурбативных моделях. В принципе, соответствующая точность может быть обеспечена, в том числе в экспериментах на ЕИС. Однако погрешности в текущих экспериментах извлечение ненулевой величины  $(\Delta s - \Delta \bar{s})$  делают пока невозможным. Тем не менее с учетом будущих измерений рассмотрим извлечение  $(\Delta s - \Delta \bar{s})$  в подходе [2].

Для изучения спиновой структуры нуклона важное значение имеют данные по нейтрону [3].

Рассмотрим ГНР (анти) нейтрино на поляризованных нейтронах:

$$\nu(\bar{\nu}) + n \rightarrow l^-(l^+) + X; \quad (1)$$

$$\nu(\bar{\nu}) + n \rightarrow l^-(l^+) + \pi + X. \quad (2)$$

Сечения инклюзивных процессов (1) получены в виде

$$d\sigma_{\nu(\bar{\nu})n} = 2\sigma_0 x [d\sigma_{\nu(\bar{\nu})n}^a + p_N d\sigma_{\nu(\bar{\nu})n}^p], \quad (3)$$

где

$$d\sigma_{\nu n}^a = u(x) + s(x) + y_1^2 \bar{d}(x),$$

$$d\sigma_{\nu n}^p = \Delta u(x) + \Delta s(x) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x),$$

$$d\sigma_{\bar{\nu} n}^a = y_1^2 d(x) + \bar{u}(x) + \bar{s}(x),$$

$$d\sigma_{\bar{\nu} n}^p = y_1 \Delta d(x) - \Delta \bar{u}(x) - \Delta \bar{s}(x).$$

Поляризационные асимметрии

$$A_{\nu, \bar{\nu} n} = \frac{(d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\uparrow, \uparrow\uparrow} - d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\downarrow, \uparrow\downarrow})}{(d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\uparrow, \uparrow\uparrow} + d\sigma_{\nu, \bar{\nu} n}^{\downarrow\downarrow, \uparrow\downarrow})} \quad (4)$$

с учетом (3) получаем в виде

$$A_{\nu n} = \frac{d\sigma_{\nu n}^p}{d\sigma_{\nu n}^a} = \frac{\Delta u(x) + \Delta s(x) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)}{u(x) + s(x) + y_1^2 \bar{d}(x)}, \quad (5)$$

$$A_{\bar{\nu} n} = \frac{y_1^2 \Delta d(x) - \Delta \bar{u}(x) - \Delta \bar{s}(x)}{y_1^2 d(x) + \bar{u}(x) + \bar{s}(x)}. \quad (6)$$

Для сечений полуинклюзивных процессов (2) получены выражения

$$\begin{aligned} d\sigma_{\nu n}^{a\pi} &= u(x)D_u^\pi(z) + y_1^2 \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^\pi(z), \\ d\sigma_{\nu n}^{p\pi} &= \Delta u(x)D_u^\pi(z) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^\pi(z), \\ d\sigma_{\bar{\nu} n}^{a\pi} &= y_1^2 d(x)D_d^\pi(z) + \bar{u}(x)D_{\bar{u}}^\pi(z), \\ d\sigma_{\bar{\nu} n}^{p\pi} &= y_1^2 \Delta d(x)D_d^\pi(z) - \Delta \bar{u}(x)D_{\bar{u}}^\pi(z). \end{aligned} \quad (6a)$$

Полуинклюзивные асимметрии  $A_{\nu n}^{\pi^+ - \pi^-}$  и  $A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}$  имеют структуру, аналогичную (4), с заменой  $\Delta\sigma \rightarrow \Delta\sigma^{\pi^+ - \pi^-} = d\sigma^{\pi^+} - d\sigma^{\pi^-}$ .

В результате получаем:

$$A_{\nu n}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{\Delta u(x)D_u^{\pi^+ - \pi^-} - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^{\pi^+ - \pi^-}}{u(x)D_u^{\pi^+ - \pi^-} + y_1^2 \bar{d}(x)D_{\bar{d}}^{\pi^+ - \pi^-}} = \frac{\Delta u(x) - y_1^2 \Delta \bar{d}(x)}{u(x) + y_1^2 \bar{d}(x)}, \quad (7)$$

$$A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{y_1^2 \Delta d(x) - \Delta \bar{u}(x)}{y_1^2 d(x) + \bar{u}(x)}. \quad (8)$$

Совместное применение инклюзивных и полуинклюзивных асимметрий позволяет определить вклады странных кварков  $\Delta s$  и антикварков  $\Delta \bar{s}$ . Так, из асимметрий  $A_{\nu n}$  (5) и  $A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}$  (7) получаем:

$$\Delta s = \int_0^1 \Delta s(x) dx = \int_0^1 \left[ (A_{\nu n} - A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}) (u(x) + y_1^2 \bar{d}(x)) + s(x) A_{\nu n} \right] dx,$$

а из  $A_{\bar{\nu} n}$  (6) и  $A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-}$  (8)

$$\Delta \bar{s} = \int_0^1 \left[ (A_{\bar{\nu} n}^{\pi^+ - \pi^-} - A_{\bar{\nu} n}) (y_1^2 d(x) + \bar{u}(x)) - \bar{s}(x) A_{\bar{\nu} n} \right] dx.$$

Рассмотрим асимметрии

$$A_{\pm} = \frac{(d\sigma_v^{\downarrow\uparrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\uparrow}) - (d\sigma_v^{\downarrow\downarrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\downarrow})}{(d\sigma_v^{\downarrow\uparrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\uparrow}) + (d\sigma_v^{\downarrow\downarrow} \pm d\sigma_v^{\uparrow\downarrow})}. \quad (9)$$

С помощью (3) из (9) получаем для инклюзивной асимметрии  $A_{-n}$ :

$$A_{-n} = \frac{\Delta u(x) + \Delta \bar{u}(x) + \Delta s(x) + \Delta \bar{s}(x) - y_1^2(\Delta d(x) + \Delta \bar{d}(x))}{u_V(x) - y_1^2 d_V(x)}. \quad (10)$$

Для полуинклюзивной асимметрии на основе (9) и (6а) получаем:

$$A_{+n}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{\Delta u(x) + \Delta \bar{u}(x) - y_1^2(\Delta d(x) + \Delta \bar{d}(x))}{u_V(x) - y_1^2 d_V(x)}. \quad (11)$$

Из асимметрий  $A_{-n}$  (10) и  $A_{+n}^{\pi^+ - \pi^-}$  (11) можно определить поляризацию странного моря:

$$\Delta s + \Delta \bar{s} = \int_0^1 (A_{-n} - A_{+n}^{\pi^+ - \pi^-}) [u_V(x) - y_1^2 d_V(x)] dx.$$

Рассмотрим рассеяние на протонах. Из (9) получаем асимметрию

$$A_{+p} = \frac{\Delta d_V(x) + y_1^2 \Delta u_V(x) + \Delta s(x) - \Delta \bar{s}(x)}{d(x) + \bar{d}(x) + y_1^2 [u(x) + \bar{u}(x)] + s(x) + \bar{s}(x)}. \quad (12)$$

Для полуинклюзивной асимметрии получаем выражение

$$A_{-p}^{\pi^+ - \pi^-} = \frac{y_1^2 \Delta u_V(x) + \Delta d_V(x)}{d(x) + \bar{d}(x) + y_1^2 [u(x) + \bar{u}(x)]}. \quad (13)$$

Тогда из асимметрий  $A_{+p}$  (12) и  $A_{-p}^{\pi^+ - \pi^-}$  (13) можно получить  $(\Delta s - \Delta \bar{s})$ :

$$\Delta s(x) - \Delta \bar{s}(x) = (A_{+p} - A_{-p}^{\pi^+ - \pi^-}) [d(x) + \bar{d}(x) + y_1^2 (u(x) + \bar{u}(x))] + A_{+p} [s(x) + \bar{s}(x)].$$

Таким образом, получены выражения для вкладов странных кварков и антикварков  $\Delta s$ ,  $\Delta \bar{s}$ ,  $(\Delta s + \Delta \bar{s})$  в спин нуклона, не содержащие функций фрагментации, на основе поляризационных асимметрий инклюзивного и полуинклюзивного ГНР (анти) нейтрино на поляризованных нейтронах.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ethier, J. J. First simultaneous extraction of spin-dependent parton distribution and fragmentation functions from a global QCD analysis / J. J. Ethier, N. Sato, W. Melnitchouk // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 119, N 13. – P. 132801.
2. Timoshin, E. S. Polarized strange sea in the nucleon / E. S. Timoshin, S. I. Timoshin // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – 2011. – Vol. 14, N 2. – P. 196–201.
3. Strikman, M. Electron-deuteron deep-inelastic scattering with spectator nucleon tagging and final-state interactions at intermediate  $x$  / M. Strikman, C. Weiss // Phys. Rev. – 2018. – Vol. C97, N 3. – P. 035209.