

Е.С. Тимошин, С.И. Тимошин

**УО «Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь**

СПИНОВАЯ СТРУКТУРА НУКЛОНА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Первые эксперименты по глубоконеупругому рассеянию (ГНР) поляризованных электронов с $E_e = 10 - 16$ ГэВ на поляризованных протонах были проведены в SLAC (E80 и E130) [1, 2] во второй половине 70-х годов прошлого века. Результаты измерений спиновой структурной функции (СФ) g_1^P в области $0,1 < x < 0,5$ удовлетворительно согласовывались с правилом сумм (ПС) Эллиса-Джаффе

$$\Gamma_1^P = \int_0^1 g_1(x, Q^2) dx = 0,17 \pm 0,05$$

и с представлениями кварк-партонной модели (КПМ) о спиновой структуре нуклона: вклад кварков и антикварков $\Delta\Sigma=1$ ($\Delta\Sigma \approx 0,6$ с учетом релятивистских эффектов), поляризация странных кварков $\Delta S=0$.

Эксперимент EMC [3] по μp -ГНР с $E_\mu = 120 - 200$ ГэВ измерял g_1^P в более широком диапазоне переменной x от 0,01 до 0,7 с продвижением в область малых x . Результаты оказались парадоксальными: $\Delta\Sigma$ мало (в пределах погрешности ~ 0), $\Delta S \sim -0,2$ и, как следствие, ПС Эллиса-

Джаффе сильно нарушено. Так возник «спиновой кризис». Сразу были предприняты усилия по объяснению данной ситуации, которые отличались достаточным разнообразием. Основными были две версии.

1. Аксиальная глюонная аномалия. Измеряемый аксиальный заряд протона a_0 действительно мал из-за вклада глюонной аномалии

$$a_0(Q^2) = \Delta\Sigma - n_f \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \Delta g(x, Q^2).$$

При этом глюонная поляризация Δg должна иметь большое положительное значение $\Delta g \sim 2$ при $Q^2 = 5 \text{ ГэВ}^2$.

2. В $\Delta\Sigma$ происходит компенсация вклада валентных кварков большой по величине отрицательной поляризацией ΔS странного моря.

Были и другие подходы. Например, в модели Скирма $\Delta\Sigma = 0$ всегда, поскольку спин целиком имеет орбитальную природу [4].

Перед новым поколением экспериментов в SLAC (E142, 143, 154, 155), CERN (SMC), DESY (HERMES) стояли следующие задачи:

подтвердить (или опровергнуть) результаты EMC;

измерить g_1^n, g_1^d и проверить ПС Бьеркена;

измерить Δg .

Результаты всех этих экспериментов согласуются между собой, и современное состояние проблемы спина нуклона [5, 6, 7] состоит в следующем.

Кварки и антикварки ($\Delta\Sigma$) несут не более трети спина нуклона; $\Delta u > 0$, $\Delta d < 0$; $\Delta \bar{u} \sim 0$, $\Delta \bar{d} < 0$ и, следовательно, ароматовая симметрия моря нарушается ($\Delta \bar{u} \neq \Delta \bar{d}$). Характер поведения $\Delta S(x)$ меняется ($\Delta S(x) > 0$ и $\Delta S(x) < 0$ в определенной части кинематической области), но первый момент ΔS все-таки отрицательный, хотя значение существенно меньше ($\sim -8\% \div -10\%$), чем в EMC. Правило сумм Эллиса-Джаффе нарушено, а ПС Бьеркена выполняется с точностью 8–10%.

Поляризация глюонов Δg измерялась COMPASS, SMC, HERMES, в экспериментах PHENIX и STAR на pp -коллайдере RHIC. Данные имеют неоднозначный характер из-за больших погрешностей. В то же время можно сказать определенно, что поляризация глюонов не является столь большой, как предполагалось, и $|\Delta g| \leq 0,3$.

Поэтому гипотеза аксиальной аномалии экспериментально не подтверждается.

Где остальная часть спина нуклона? Правило сумм для нуклонного спина имеет вид

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta g + L_q + L_g.$$

Если $\Delta\Sigma \sim \frac{1}{3}$ и Δg имеет достаточно малое значение, то оставшаяся

часть спина нуклона должна приходиться на орбитальные угловые моменты кварков (L_q) и глюонов (L_g). Информацию о них можно получить из Generalized Parton Distributions (GPD) в эксклюзивных процессах глубоко виртуального комптоновского рассеяния (DVCS) и глубоко виртуального электророждения векторных мезонов (DVMP).

Это планируется на COMPASS-II [8]. Новые данные, главным образом из полуинклюзивных спиновых асимметрий от COMPASS, позволят определить вклады различных кварковых ароматов.

Программа исследований на Electron-Ion Collider (EIC) [9] включает измерения $\Delta g(x, Q^2)$ для $x \leq 0,05$, распределения морских кварков. Экспериментальные программы, подобные COMPASS, RHIC, JLab, EIC и теоретические успехи позволят значительно продвинуться к полному пониманию спиновой структуры нуклона.

Литература

1. Alguard M.J. et al. // Phys. Rev. Lett. – 1976. – Vol. 37. – P. 1261.
2. Baum G. et al. // Phys. Rev. Lett. – 1983. – Vol. 51. – P. 1135.
3. Ashman J. et al. // Nucl. Phys. – 1989. – Vol. B328. – P. 1.
4. Brodsky S.J. et al. // Phys. Lett. – 1988. – Vol. B206. – P. 311.
5. Сисакян А.Н. и др. // ЭИЯЯ. – 2008. – Т. 39. – Вып. 5. – С. 1309.
6. Kuhn S.E. et al. // Prog. Nucl. Part. Phys. – 2009. – Vol. 63. – P. 1.
7. Burkardt M. // Rep. Progr. Phys. – 2010. – Vol. 73. – P. 016201.
8. Schill C. // ArXiv: 1110.4845 [hep-ex].
9. Accardi A. et al. // ArXiv: 1110.1031 [hep-ph].