

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ЛЕПТОННОГО РАСПАДА Z -БОЗОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ATLAS НА LHC

*О. Федин**

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

Представлены результаты измерения, полученные в эксперименте ATLAS в протон-протонных столкновениях с энергией $\sqrt{s} = 8$ ТэВ, для полного набора поляризационных угловых коэффициентов A_{0-7} , которые описывают угловые распределения лептонов при распаде Z -бозонов. Теоретические расчеты для разности коэффициентов A_0-A_2 , выполненные в фиксированном порядке КХД теории возмущения $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$, демонстрируют значительное отклонение от результатов измерений, что указывает на необходимость учета поправок КХД более высокого порядка. Впервые продемонстрировано отличие коэффициентов $A_{5,6,7}$ от нуля, как это и ожидалось в соответствии с теоретическими расчетами, выполненными в приближении $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$. Измерение поляризационных угловых коэффициентов A_i является важным элементом для последующих шагов в проведении прецизионных измерений параметров электрослабой модели на LHC: синуса электрослабого угла смешивания Вайнберга $\sin^2 \theta_W$ и массы W -бозона.

This paper presents a measurement of the complete set of angular coefficients A_{0-7} describing distributions of Drell–Yan charged lepton pairs from the Z -boson decays. The data analyzed correspond to 20.3 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$, collected by the ATLAS detector at the CERN LHC. The measurements are compared to the most precise fixed-order calculations currently available $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$, and with theoretical predictions embedded in Monte Carlo generators. A significant deviation from the $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$ predictions is observed for A_0-A_2 . Evidence is found for nonzero $A_{5,6,7}$, consistent with expectations. The measurements of the A_i coefficients are an important ingredient to the next steps in precision measurements of electroweak parameters at the LHC, both for the effective weak mixing angle $\sin^2 \theta_W$ and for the W -boson mass.

PACS: 13.38.Dg; 13.85.Hd; 13.88.+e; 29.20.db

*E-mail: Oleg.Fedin@pnpi.spb.ru

ВВЕДЕНИЕ

Измерение угловых распределений лептонов, образующихся в распадах калибровочных бозонов $Z \rightarrow \ell\ell$, которые рождаются в протон-протонных столкновениях в процессе Дрелла–Яна, позволяет детально изучить механизм его рождения, а также эффекты лептон-адронных корреляций. На практике эти корреляции описываются набором девяти адронных «структурных функций», или поляризационных угловых коэффициентов, которые могут быть вычислены в рамках партонной модели с использованием пертурбативной теории КХД. Теоретический формализм этих вычислений наиболее полно изложен в работе [1]. Выражение для дифференциального сечения такого процесса можно записать в следующем виде:

$$\frac{d\sigma}{dp_T^Z dy^Z d\cos\theta d\phi} = \frac{3}{16\pi} \frac{d\sigma^{U+L}}{dp_T^Z dy^Z} \left\{ (1 + \cos^2\theta) + \frac{1}{2}A_0(1 - 3\cos^2\theta) + \right. \\ \left. + A_1 \sin 2\theta \cos\phi + 1/2A_2 \sin^2\theta \cos 2\phi + \right. \\ \left. + A_3 \sin\theta \cos\phi + A_4 \cos\theta + A_5 \sin^2\theta \sin 2\phi + \right. \\ \left. + A_6 \sin 2\theta \sin\phi + A_7 \sin\theta \sin\phi \right\}, \quad (1)$$

где $A_i = A_i(p_T^Z, y^Z, m^Z)$ — угловые поляризационные коэффициенты, которые представляют собой отношение сечений с определенной поляризацией Z -бозона к неполяризованному сечению и являются функциями кинематических переменных Z -бозона — поперечного импульса p_T^Z , быстроты y^Z и массы m^Z . Зависимость угловых коэффициентов от p_T^Z и y^Z определяется выбором оси квантования, т. е. оси z системы покоя лептонной пары. В данной работе применялась наиболее часто используемая для измерений система покоя Коллинза–Сопера [2].

1. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Поляризационные угловые коэффициенты извлекались [3] из данных путем подгонки измеренных двумерных угловых распределений в пространстве $(\cos\theta_{CS}, \phi_{CS})$ девятью шаблонными распределениями, которые соответствуют полиномам в формуле (1). Каждое шаблонное распределение имело один свободный параметр, который определял измеряемый коэффициент A_i . Дополнительно вводился еще один (общий для всех шаблонных распределений) параметр подгонки σ , который соответствует величине неполяризованного дифференциального сечения, проинтегрированного по переменным $\cos\theta_{CS}$ и ϕ_{CS} . Подгонка осуществлялась путем минимизации функции правдоподобия, которая определялась как произведение плотностей вероятности

Пуассона наблюдать N_{obs}^n при ожидаемом числе событий $N_{\text{exp}}^n(A, \sigma)$ по всем измеряемым бинам p_T^Z :

$$\mathcal{L}(A, \sigma | N_{\text{obs}}) = \prod_n^{N_{\text{bins}}} \{P(N_{\text{obs}}^n | N_{\text{exp}}^n(A, \sigma))\}. \quad (2)$$

Число ожидаемых событий в измеряемом бине j по поперечному импульсу Z -бозона определялось суммированием шаблонных распределений для сигнальных t_{ij} и фоновых T_B^n событий следующим образом:

$$N_{\text{exp}}^n(A, \sigma) = \left\{ \sum_{j=1}^{23} \sigma_j \times L \times \sum_{i=0}^8 A_{ij} \times t_{ij}^n + \sum_B^{\text{bkg}} T_B^n \right\}, \quad (3)$$

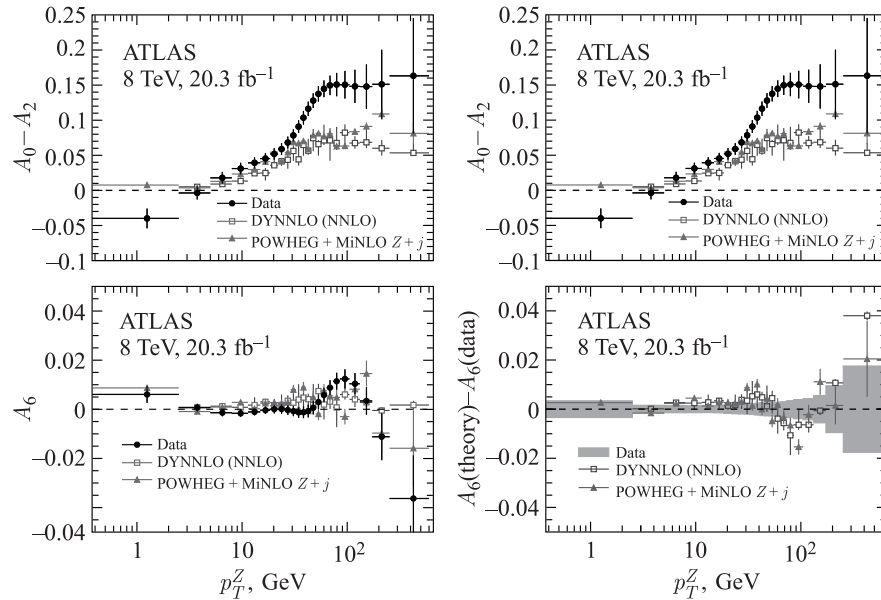
где $i = 0, \dots, 8$ — индекс углового коэффициента A_i .

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения угловых коэффициентов использовались данные, набранные в эксперименте ATLAS в 2012 г. при столкновении протонов с энергией в системе центра масс 8 ТэВ, которые соответствуют интегральной светимости $20,3 \text{ фб}^{-1}$. Измерения выполнялись в электронном и мюонном каналах распада Z -бозона. С целью уменьшения вклада виртуальных фотонов отбирались лептонные пары с инвариантной массой, находящейся внутри узкого диапазона масс вблизи полюса массы Z -бозона $80 < m_{\ell\ell} < 100$ ГэВ. Измерения коэффициентов выполнялись в зависимости от поперечного импульса Z -бозона p_T^Z интегрально по всему диапазону быстрот Z -бозона y^Z и в нескольких бинах по y^Z [3].

В области полюса массы Z -бозона вклад фона составляет меньше 0,5%. Основной вклад в фон дают лептонные пары, образующиеся в процессах парного рождения топ-кварков, в процессах рождения дибозонов и распадах Z -бозонов в τ -лептоны. Другой источник фона, так называемый КХД-фон, возникает тогда, когда по крайней мере один из лептонов рождается в распадах адронов, содержащих тяжелые кварки (b, c). Вклад КХД-фона оценивался из данных эксперимента.

На графиках на рисунке показаны измеренные зависимости разности угловых поляризационных коэффициентов $A_0 - A_2$ и (в качестве примера) одного коэффициента A_6 от p_T^Z . Теоретические расчеты угловых коэффициентов, также показанные на графиках, были выполнены в фиксированных порядках теории возмущения КХД в приближении NNLO с помощью программы DYNLO и генератора Монте-Карло POWHEG + MiNLO. Из графиков видно, что теоретические расчеты для $A_0 - A_2$ демонстрируют значительное отклонение от результатов измерений, что указывает на необходимость



Измеренная зависимость разности коэффициентов $A_0 - A_2$ и коэффициента A_6 от p_T^Z . Теоретические расчеты, представленные на графиках, выполнены с помощью программы DYNNLO в NNLO-приближении и с помощью генератора Монте-Карло POWHEG + MiNLO. Заштрихованная область около нуля на графике справа соответствует полной экспериментальной ошибке

учета поправок КХД более высокого порядка. На уровне трех стандартных отклонений продемонстрировано отличие коэффициентов $A_{5,6,7}$ от нуля, как это и ожидалось в соответствии с теоретическими расчетами, выполненными в приближении $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mirkes E.* Angular Distributions of Drell-Yan Lepton Pairs at the Tevatron: Order α_s^2 Corrections and Monte Carlo Studies // *Nucl. Phys.* 1992. V. 387. P. 3.
2. *Collins J. C., Soper D. E.* Angular Distribution of Dileptons in High-Energy Hadron Collisions // *Phys. Rev. D.* 1977. V. 16. P. 2219.
3. *Aad A. et al. (ATLAS Collab.)* Measurement of the Angular Coefficients in Z -Boson Events Using Electron and Muon Pairs from Data Taken at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector. arXiv:1577164.