

Указание на существование нового экзотического чармония $\widetilde{X}(3872)$ получено в эксперименте COMPASS

А. В. Гуськов

Квантовая хромодинамика - теория, описывающая сильные взаимодействия, не налагает прямого запрета на существование связанных состояний, отличных от образованных тремя кварками (барионы) или парой кварк-антикварк (мезоны). Однако, до недавнего времени не существовало убедительных и бесспорных экспериментальных свидетельств в пользу мультикварковых состояний. Ситуация изменилась лишь в последние пятнадцать лет в связи с открытием "экзотических" адронов, содержащих тяжёлые кварки, таких как $X(3872)$ (Belle, 2003), $Z_c^\pm(3900)$ (BESIII, 2013), $P_c^+(4380)$ и $P_c^+(4450)$ (LHCb, 2015), чьи свойства и структуру затруднительно или даже невозможно интерпретировать в рамках привычной модели адронов. Несмотря на то, что на протяжении последних лет такие чармоний-подобные состояния являются предметом пристального внимания экспериментаторов и теоретиков, их природа и свойства до конца не ясны. Были предложены модели, описывающие экзотические чармонии как тетракварки, мезонные молекулы, глюболы, гибридные мезоны и т. д.

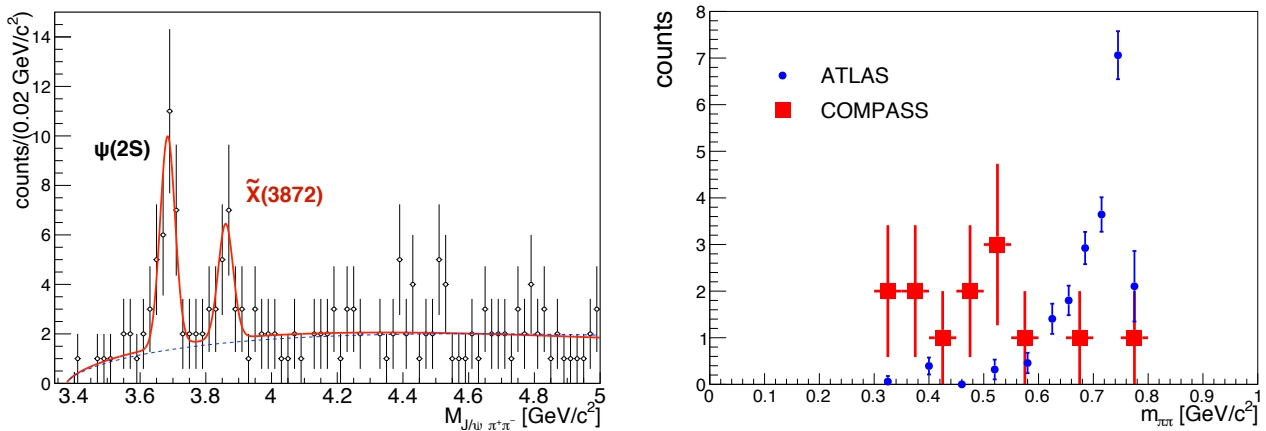
В настоящее время известно несколько механизмов рождения экзотических чармониев: распады более тяжёлых адронов (прежде всего, B-мезонов), резонансное рождение в электрон-позитронной аннигиляции, рождение в двухфотонном взаимодействии, а также инклюзивное рождение в адронных соударениях при высоких энергиях. Каждый из этих механизмов используется как для поиска новых экзотических состояний, так и для получения информации о свойствах уже известных.

Физиками из ЛЯП ОИЯИ была инициирована программа поиска в эксперименте COMPASS (ЦЕРН) нового возможного механизма рождения экзотических чармониев - фоторождения на ядерной мишени. Особый интерес представляют два аспекта фоторождения экзотических чармониев. С одной стороны, в таком процессе может быть непосредственно определена интенсивность взаимодействия экзотического состояния с фотоном. С другой стороны, представляет интерес взаимодействие родившегося объекта с ядерной материей, которое зависит от природы частицы. Так, ядро будет достаточно прозрачно для компактных тетракварков, в то время как взаимодействие же слабосвязанной мезонной молекулы с ядерной материей должно приводить к преждевременному разрушению этой системы и сильной зависимости выхода экзотических частиц от атомного номера ядра-мишени.

COMPASS, эксперимент на вторичном пучке суперпротонного синхротрона в ЦЕРНе, в задачи которого входит изучение структуры адронов с использованием мюонных и адронных пучков высокой интенсивности. Установка COMPASS представляет собой универсальный детектор, созданный на основе двух спектрометрических магнитов и предназначенный для решения широкого круга научных задач. За 7 лет сеансов с мюонным пучком в период с 2002 по 2011 год была накоплена статистика по рождению J/ψ -мезонов в рассеянии виртуальных фотонов на нуклонах, эквивалентная светимости в 14 пб^{-1} при средней энергии фотона в 100 ГэВ.

Поиск фоторождения чармоний-подобного резонанса $Z_c^\pm(3900)$ в реакции $\gamma^*N \rightarrow Z_c^\pm(3900)N' \rightarrow (J/\psi\pi^\pm)N'$, результаты которого опубликованы в журнале Physics Letters B [1], не дал положительных результатов. За ним последовал поиск фоторождения экзотического состояния $X(3872)$ в реакции $\gamma^*N \rightarrow X(3872)\pi^\pm N' \rightarrow (J/\psi\pi^+\pi^-)\pi^\pm N'$. Открытое в 2003 году коллаборацией Belle, в распаде B -мезона состояние $X(3872)$ остаётся одним из наиболее загадочных экзотических чармониев. Масса $X(3872)$ находится вблизи порога рождения $D^{0*}\bar{D}$. Собственная ширина его до сих пор не известна, установлен лишь верхний предел 1.2 МэВ/с². Квантовые числа $J^{PC} = 1^{++}$ были установлены коллаборацией LHCb. Примерно равные вероятности распада в конечные состояния $J/\psi 2\pi$ и $J/\psi 3\pi$ указывают на сильное нарушение изоспиновой симметрии.

В результате поиска $X(3872)$ со статистической значимостью в 4.1σ в спектре инвариантных масс подсистемы $J/\psi\pi^+\pi^-$ конечного состояния, который показан на Рис. 1(а), был обнаружен сигнал частицы, масса и ширина которой согласуются с ожидаемыми для $X(3872)$, детальный анализ кинематики распада наблюдаемой частицы показал полное несоответствие хорошо известной кинематике распада $X(3872)$. На Рис. 1(б) показано распределение для инвариантных масс двух пионов рождённых в распаде $X(3872)$ в эксперименте ATLAS и демонстрирующее сигнал ρ^0 -мезона, а также наблюдаемое на установке COMPASS. Это неожиданное наблюдение позволило предположить, что, возможно, обнаруженный сигнал принадлежит новой частице, получившей название $\tilde{X}(3872)$, которая является частицей-партнёром $X(3872)$, имеет близкую массу, но отличается от $X(3872)$ набором квантовых чисел. Существование такой частицы-партнёра предсказывается некоторыми теоретическими моделями, описывающими $X(3872)$ как состояние из двух кварков и двух антикварков, тесно связанное сильным взаимодействием (тетракварк) [2,3]. Масса нового состояния $\tilde{X}(3872)$ равна 3860.1 ± 10.0 МэВ/с², Брейт-Вигнеровская ширина с вероятностью 90% составляет менее 51 МэВ/с². Результаты работы опубликованы в журнале Physics Letters B [4].



Спектр инвариантных масс подсистемы $J/\psi\pi^+\pi^-$ (слева). Спектры инвариантных масс $\pi^+\pi^-$, наблюдаемые в распаде $X(3872)$ в эксперименте ATLAS и в распаде $\tilde{X}(3872)$ в эксперименте COMPASS (справа).

Следует отметить, что этот важный и интересный результат, в получение которого группа ОИЯИ внесла определяющий вклад, стал возможен благодаря тесному сотрудничеству с коллективом, участвующим от ОИЯИ в эксперименте BESIII.

Список литературы / References

- [1] C. Adolph et. al., Search for exclusive photoproduction of $Z_c^\pm(3900)$ at COMPASS, Phys. Lett. B742 (2015) 330.
- [2] L. Maiani et. al., Diquark-antidiquark states with hidden or open charm and the nature of $X(3872)$, Phys. Rev. D71 (2005) 014028
- [3] L. Maiani et. al., $Z(4430)$ and a new paradigm for spin interactions in tetraquarks, Phys. Rev. D89 (2014) 114010
- [4] M. Aghasyan et. al., Search for muoproduction of $X(3872)$ at COMPASS and indication of a new state $\widetilde{X}(3872)$, Phys. Lett. B783 (2018) 334.