

РЕФЕРАТ

Точное измерение времени жизни нейтрального пиона.

Представляемая работа является завершением длительного двухэтапного эксперимента по измерению ширины распада нейтрального пиона на два гамма-кванта (времени жизни π^0 -мезона), начатого группой ИТЭФ в 1999 году в составе международной коллаборации PrimEx (этапы PrimEx-I и PrimEx-II) на ускорителе им. Т. Джефферсона (JLab) на пучке меченых фотонов с энергией 4,45 - 5,5 ГэВ, образованных в тонкой мишени электронами с первичной энергией 6 ГэВ.

Распад π^0 -мезона на два гамма кванта играет важную роль в исследовании аномальных явлений в квантовой хромодинамике (КХД). Амплитуда распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ определяется киральной аномалией, возникающей при взаимодействии кварков с электромагнитным полем. В киральном пределе амплитуда этого распада точно предсказывается теорией и выражается через постоянную тонкой структуры, константу распада π^0 -мезона и число цветовых состояний кварков. С учетом поправок на ненулевые массы кварков, теория предсказывает значение ширины распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ($\Gamma(\pi^0)$) с точностью $\sim 1,5\%$. Измерение $\Gamma(\pi^0)$ со сравнимой точностью позволяет проверить одно из важнейших фундаментальных предсказаний КХД.

В эксперименте PrimEx ширина $\Gamma(\pi^0)$ распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ определялась с использованием эффекта Примакова при измерении сечения фоторождения π^0 -мезонов в кулоновском поле ядер углерода и свинца (PrimEx-I) и углерода и кремния (PrimEx-II). В отличие от предыдущих измерений, основанных на эффекте Примакова, в экспериментах PrimEx впервые использовался пучок меченых фотонов, который направлялся на мишень где происходила реакция фоторождения π^0 -мезонов. Знание начальной энергии фотона с точностью около 0,1% позволило значительно снизить фон от других процессов образования π^0 -мезонов. Гамма-кванты от распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ детектировались в гибридном электромагнитном калориметре, состоящем из модулей кристаллов вольфрамата свинца и блоков свинцового стекла. Калориметр располагался в семи метрах от мишени. Разрешение по эффективной массе двух γ -квантов в районе массы нейтрального пиона составляло 2,3 МэВ, а точность определения угла вылета π^0 -мезона для кристаллов PbWO_4 — 0,4 мрад, что является рекордным результатом для спектрометров данного типа. С использованием полученного в эксперименте выхода π^0 -мезонов (число случаев в каждом интервале по углу вылета π^0 -мезона) построены дифференциальные сечения фоторождения π^0 -мезонов на углероде и кремнии (Рис. 1) и выделено сечение фоторождения π^0 -мезонов за счет эффекта Примакова. Динамика этого электромагнитного процесса хорошо известна, а его сечение пропорционально искомой ширине распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$. С использованием полученного примаковского сечения определена ширина распада нейтрального пи-мезона на два гамма кванта

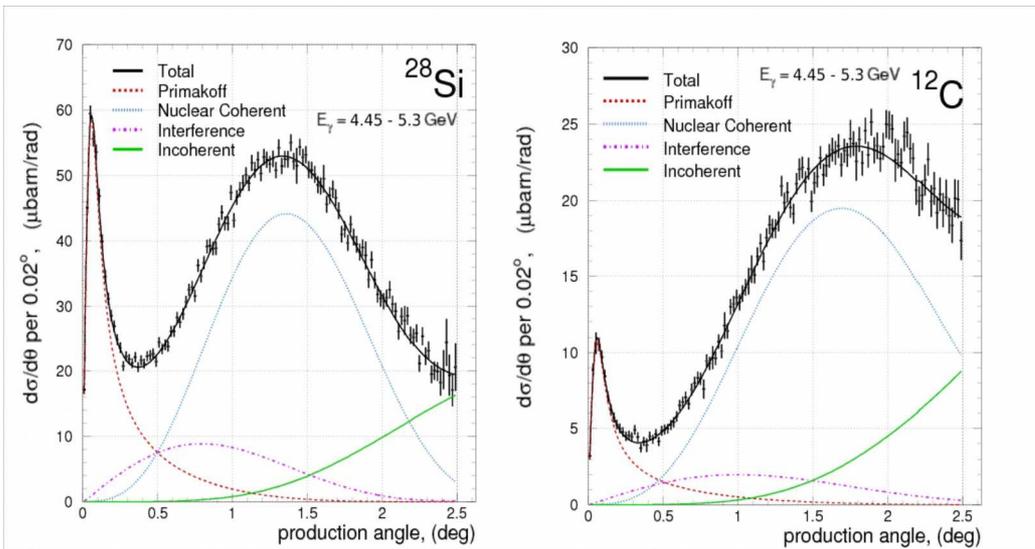


Рис.1. Дифференциальные сечения фоторождения π^0 -мезонов на кремнии и углероде.

$\Gamma(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma) = 7,802 \pm 0,052(\text{стат.}) \pm 0,105(\text{сист.})$ эВ. Полная погрешность измерения составила 1,5%. Полученный результат является самым точным на сегодняшний день в мире и сравним по величине и точности с теоретическими вычислениями. На Рис. 2 приведены результаты измерений ширины распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ в экспериментах выполненных ранее в сравнении с результатами эксперимента PrimEx и теоретическими расчетами с указанием их точности.

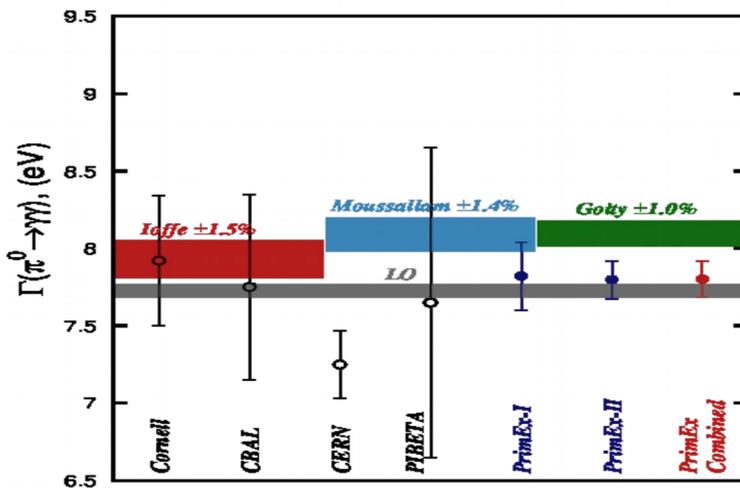


Рис. 2. Ширины распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, полученные в эксперименте PrimEx, в сравнении с результатами других экспериментов и теоретическими вычислениями с указанием их точности .

Точность времени жизни π^0 -мезона (τ) определяется погрешностью измерения ширины распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, как видно из связывающих эти величины соотношения: $\Gamma(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma) = \text{Br}(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma) \cdot h/2\pi\tau$, и, следовательно, точностью измерения ширины распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ в эксперименте PrimEx.

Теоретические расчеты ширины распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ основаны на аксиальной аномалии и являются наиболее точными для квантовой хромодинамики (КХД) в области низких энергий. Полученный в экспериментах PrimEx результат является важным подтверждением правильности предсказаний КХД для этой величины и, как следствие, подтверждением существования аксиальной аномалии (нарушение законов сохранения при правильном учете квантовых эффектов), составляющей важный компонент квантовой теории поля. Следствием существования аксиальной аномалии является необычайно малое время жизни π^0 -мезона $\tau = 8,337 \pm 0,056(\text{стат}) \pm 0,112(\text{сист}) \cdot 10^{-17}$ с.

Представленная на Конкурс работа докладывалась на семинаре и конференциях в ИТЭФ, на зимних школах НИЦ КИ и на международной конференции ЯДРО-2020 (Пленарный доклад. I. Larin, V. Tarasov. NRC «Kurchatov Institute»; Saint Petersburg State University; Joint Institute for Nuclear Research, Saint Petersburg, 2020) // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44202029>

Работа опубликована в журнале *Science* 01 May 2020: Vol. 368, Issue 6490, pp. 506-509 (PrimEx-II Collaboration), I.Larin et al.

<https://science.sciencemag.org/content/368/6490/506.editor-summary>

Творческий вклад каждого из авторов заявки

Сотрудники ИТЭФ принимали активное участие в подготовке установки PrimEx к экспозициям на фотонном пучке, в сеансах набора данных эксперимента, обработке полученного материала, его анализе и подготовке результатов работы к публикации. Более подробная информация о вкладе группы ИТЭФ в эксперимент PrimEx содержится на Сайте НИЦ КИ – ИТЭФ в разделе: Научные исследования и разработки НИЦ Курчатовский Институт - ИТЭФ к 75-летию ИТЭФ, 1945-2020, стр. 407-412.

http://www.itep.ru/about/scientists_itep/nauchnye-issledovaniya-i-razrabotki-nits-kurchatovskiy-institut-itef/index.php

Долголенко А.Г. Проведение расчетов и анализ экспериментальных данных; обработка данных сканирования калориметра, проведение его энергетической калибровки и восстановление событий регистрации эффекта Комптона, анализ систематических ошибок.

Ларин И.Ф. Подготовка установки и участие в сеансе набора данных на ускорителе; калибровки детекторов; создание программы моделирования экспериментальной установки; руководство ходом анализа данных; применение теоретических моделей фоторождения нейтрального пиона к условиям эксперимента; оценка систематических ошибок результатов ;

Матвеев В.А. Проведение тонкой калибровки калориметра с учетом энергетической нелинейности и поправок к восстановленным в калориметре координатам гамма-квантов;

Тарасов В.В. Подготовка установки, набор данных на ускорителе; калибровка фотонного таггера, спектрометра электрон-позитронных пар и электромагнитного калориметра; изучение систематики эксперимента.

Руководитель работы от ИТЭФ
в коллаборации PrimEx

 А.Г. Долголенко