

Новый способ определения времени жизни изомерного состояния ядра тория-229

Создание высокоточных часов имеет важнейшее значение как для фундаментальной физики, так и для различных практических приложений, например, для навигационных систем спутниковой связи (GPS, ГЛОНАСС, Galileo). И хотя современные атомные часы, использующие электронные переходы в атомах, достигли фантастической точности (в отдельных экспериментальных образцах ошибка составляет всего лишь десятые доли секунды за время жизни Вселенной), ученые во всем мире продолжают активно искать возможные улучшения. Сверхточные часы могли бы способствовать обнаружению изменения со временем констант фундаментальных взаимодействий, поиску возможного нарушения принципа эквивалентности Эйнштейна или поиску темной материи. В настоящее время многообещающим подходом к созданию самых точных часов считается концепция, основанная на разности энергий квантовых состояний атомных ядер тория с массовым числом $A=229$. С одной стороны, уникально малая энергия этого перехода - всего лишь несколько эВ - делают его, в принципе, доступным для управления лазером. С другой стороны, ядерные переходы гораздо менее чувствительны к внешним возмущениям. Все это позволяет рассматривать торий-229 как потенциально новый метрологический стандарт частоты с наилучшими свойствами. Однако, практическая реализация этого и других отмеченных выше применений требует очень точного знания как энергии ядерного возбуждения, так и времени его жизни.

Хотя о наличии низкоэнергетического состояния в тории-229 было известно достаточно давно, настоящий прорыв в этом вопросе был достигнут лишь в последнее время. Выполненные недавно измерения показали, что энергия возбуждения изомерного состояния составляет около 8 эВ. Также были получены важные результаты, касающиеся ядерных магнитных моментов основного и изомерного состояний тория-229. Однако, до сих пор нет каких-либо достаточно надежных экспериментальных данных относительно времени жизни изомера, которое в голем ядре практически полностью должно определяться вероятностью магнитного дипольного перехода между основным и возбужденным уровнями ядра. Эта величина крайне важна при планировании дальнейших экспериментов, нацеленных как на более точное определение энергии перехода, так и на определение других ключевых свойств рассматриваемого изомера. Решению этой проблемы и посвящена совместная работа ученых СПбГУ и их немецких коллег.

Авторам работы удалось показать, что время жизни ядерного изомера может быть определено с точностью в несколько процентов путем измерения g фактора основного состояния водородо- или литие-подобного иона тория-229. Предлагаемый подход основан

на эффекте ядерного сверхтонкого смешивания, который приводит к появлению заметной поправки к g фактору. Эксперименты по измерению g факторов тяжелых ионов с малым числом электронов ведутся в настоящее время в Институте ядерной физики им. Макса Планка в Гейдельберге, а также планируются в рамках проекта HITRAP в Институте физики тяжелых ионов (GSI/FAIR) в Дармштадте. При этом экспериментальная точность проводящихся в настоящее время измерений g факторов многозарядных ионов примерно на три порядка превосходит точность, которая требуется для определения времени жизни изомера предложенным в данной работе методом. Таким образом, предлагаемый способ определения времени жизни выглядит вполне реалистичным.

Результат опубликован в статье:

V. M. Shabaev, D. A. Glazov, A. M. Ryzhkov, C. Brandau, G. Plunien, W. Quint, A. M. Volchkova, and D. V. Zinenko, Ground-State g Factor of Highly Charged ^{229}Th Ions: An Access to the $M1$ Transition Probability between the Isomeric and Ground Nuclear States, *Physical Review Letters* 128, 043001 (2022)