

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТОРИЕВЫХ ЯДЕРНЫХ ЧАСОВ К ВАРИАЦИЯМ ПОСТОЯННОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ $\alpha$ И ТЁМНОЙ МАТЕРИИ

Евсеев Т. Е.<sup>1</sup>.

Научный руководитель - Абдуллин Р. Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лицей «Физико-Техническая Школа» им. Ж. И. Алфёрова

<sup>2</sup>Университет ИТМО

[timapoton@gmail.com](mailto:timapoton@gmail.com)

### Введение

Поиск физики за пределами Стандартной модели остаётся одной из ключевых задач современной физики [1-3]. Среди множества моделей тёмной материи особый интерес представляют сценарии с ультралёгкими частицами, способными проявляться как классическое поле и приводить к слабым вариациям фундаментальных констант. Высокоточные измерения в атомных и ядерных часах рассматриваются как перспективный инструмент для поиска подобных сигналов: даже крайне малые вариации констант могут отражаться в значениях наблюдаемых частот спектральных переходов. Особый интерес представляет изомерный переход в ядре тория-229, который лежит в оптическом диапазоне и является перспективным кандидатом для реализации ядерных часов с исключительной стабильностью [4, 5].

### Основная часть

Изомерный переход в ядре тория-229, согласно современным оценкам, обладает высокой чувствительностью к вариациям постоянной тонкой структуры [6]. Оценка коэффициента чувствительности сводится к расчёту кулоновской энергии основного и изомерного состояний ядра; данные расчёты проводят в рамках простых моделей без учёта квантовых поправок. Однако ряд теоретических работ указывает [7], что квантовые корреляционные и обменные эффекты способны вносить существенные поправки в кулоновскую энергию. В связи с этим в настоящей работе оценивается вклад квантовых поправок в коэффициент чувствительности.

В работе предлагается модель, позволяющая проверить устойчивость коэффициента чувствительности к квантовым поправкам. Рассматривается одномерная эффективная система с суммарным потенциалом, представимым как суперпозиция притягивающего ядерного потенциала типа Вудса - Саксона и отталкивающего короткодействующего потенциала, моделирующего кулоновское отталкивание. Кулоновский вклад рассматривается в нескольких параметризациях, что позволяет снизить модельную зависимость и проверить устойчивость получаемых результатов.

### Выводы и практическое использование

Полученные результаты указывают, что учёт квантовых эффектов может существенно изменить оценку кулоновской энергии основного и изомерного состояний и, как следствие, коэффициента чувствительности ядерных часов тория-229. Следовательно, оценки, получаемые в простых геометрических моделях без учёта квантовых поправок, могут приводить к завышенным значениям этого коэффициента и, как результат, к переоценке строгости ограничений на вариации постоянной тонкой структуры и соответствующие модели тёмной материи. Предложенный подход может

служить тестовой платформой и обоснованием для последующих более реалистичных расчётов тория-229, включая трёхмерное моделирование и оценки на основе методов DFT.

### Литература

1. Steffen F.D. Dark-matter candidates: Axions, neutralinos, gravitinos, and axinos // Eur. Phys.J.C. 2005. Vol. 59. P. 557-588.
2. Bertone G., Hooper D., Silk J. Particle dark matter: Evidence, candidates and constraints // Phys. Rep. 2005. Vol.405. P.279-390.
3. Komatsu E. [et al.]. Five-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe observations: Cosmological interpretation // ApJS. 2009. V.180(2). P.330-376.
4. E Peik, T Schumm, M. S. Safronova, A Pálffy, J Weitenberg, P. G. Thirolf Nuclear clocks for testing fundamental physics // Quantum Science and Technology, 2021. Vol. 6, no. 3.
5. Wense, L., Seiferle, B., Laatiaoui, M. et al. Direct detection of the  $^{229}\text{Th}$  nuclear clock transition. // Nature 533 2016. P. 47–51
6. J. C. Berengut, V. A. Dzuba, V. V. Flambaum, S. G. Porsev Proposed Experimental Method to Determine  $\alpha$  Sensitivity of Splitting between Ground and 7.6 eV Isomeric States in  $^{229}\text{Th}$  // Physical Review Letters. 2009. 102. no. 21. P. 210801
7. E. Litvinova, H. Feldmeier, J. Dobaczewski, V. Flambaum Nuclear structure of lowest  $^{229}\text{Th}$  states and time-dependent fundamental constants // Physical Review C – Nuclear Physics 79. 2009. no. 6. P. 064303.