

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

Отчет о научно-исследовательской работе на тему:
Аномальные изотопы в моделях тёмных атомов

Научный руководитель
д.ф-м.п, проф

_____ М. Ю. Хлопов

Научный консультант

_____ Д. О. Сопин

Выполнила
студентка группы Б22-102

_____ М. И. Балиньо

Москва 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	2
2	Цели и задачи исследования	3
3	Темные атомы и их взаимодействие с ядрами	3
4	Результаты	4
5	Заключение	5

1. ВВЕДЕНИЕ

Скрытая масса, составляет около $\tilde{26}\%$ плотности энергии вселенной, природа которой является один из важнейших направлений исследования[1]. Мы знаем о ее существовании благодаря таким эффектам, как гравитационное линзирование, анизотропия реликтового излучения и крупномасштабная структура Вселенной.[2; 3]

Одно из направлений объяснений скрытой массы связано с тёмными атомами. В этой гипотезе вводится частица с электрическим зарядом $-2n$, которая в период нуклеосинтеза может образовывать темные атомы объясняющие скрытую массу Вселенной. Такие атомы, образуемые в период нуклеосинтеза, могут участвовать в взаимодействии с продуктами нуклеосинтеза, играя важную роль на ранних этапах эволюции Вселенной[3] Для самосогласованного описания ядерных процессов в этот период требуется анализ захвата темными атомами ядер гелия, при которых могут образовываться ядра аномального гелия. Поэтому задача состоит в том, чтобы провести расчет процессов такого захвата

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью данной работы является изучение процессов захвата лёгких ядер атомами тёмной материи и анализ их влияния на физические процессы в ранней Вселенной.

3. ТЕМНЫЕ АТОМЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЯДРАМИ

В рамках данного проекта предполагается, что атомы тёмной материи, такие как XHe , способны взаимодействовать с лёгкими атомными ядрами, такими как ядра гелия.

В нашей задаче мы анализируем ситуацию, когда OHe ($n=1$) захватывают ядро He на свою боровскую орбиту.

Скорость захвата OHe ядрами может быть рассчитана с использованием аналогии с радиационным захватом нейтрона протоном с учётом следующих факторов:

1. отсутствие $M1$ -перехода, что следует из закона сохранения орбитального момента;
2. подавление $E1$ -перехода в случае OHe .

Поскольку OHe является изоскалярным, изовекторный $E1$ -переход в системе OHe -ядро возможен только благодаря эффекту нарушения изоспина, который можно оценить через фактор $f \sim 10^{-3}$, соответствующий относительной разнице масс нейтрона и протона.

В результате скорость радиационного захвата OHe ядром с атомным номером A и зарядом Z на энергетический уровень E в среде с температурой T задаётся следующим выражением[4]:

$$\sigma v = \frac{f\alpha}{m_p^2} \cdot \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{Z}{A}\right)^2 \cdot \frac{T}{\sqrt{Am_p E}},$$

В нашем случае $Z(He) = 2$, $A(He) = 4$, а E — это энергия реакции, которая определяется как энергия связи и равна 1.6 МэВ.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

После подстановки всех значений в уравнение и оценки при температурах порядка 100 кэВ, мы получили, что значение сечения для данного процесса находится на уровне порядка 10^{-36} см². Оценка показывает что при этом скорость этой реакции меньше чем, скорость расширения. Это подчеркивает важность дальнейшего изучения взаимодействий тёмных атомов с обычной материей.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования позволяют сделать важные выводы относительно роли тёмных атомов в современной космологии. Тёмные атомы, представляют собой одну из ключевых моделей скрытой массы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters / Planck Collaboration, N. Aghanim, [et al.] // *Astronomy & Astrophysics*. — 2020. — Vol. 641.
2. *Khlopov M.* What comes after the Standard Model? // *Progress in Particle and Nuclear Physics*. — 2021. — Vol. 116. — P. 103824.
3. *Beylin V. A., Khlopov M. Y., Sopin D. O.* Problems of Dark Atom Cosmology // arXiv preprint. — 2024. — arXiv: 2410.13424 [hep-ph].
4. *Khlopov M. Y., Mayorov A. G., Soldatov E. Y.* Composite Dark Matter and Puzzles of Dark Matter Searches // *International Journal of Modern Physics D*. — 2010. — eprint: arXiv:1003.1144 ; — arXiv:1003.1144 [astro-ph.CO].