

Аномальные изотопы в моделях тёмных атомов

Научный руководитель: д.ф-м.н, проф М. Ю. Хлопов

Научный консультант: Д. О. Сопин

Выполнила: студентка группы Б22-102 М. И. Балиньо

Введение

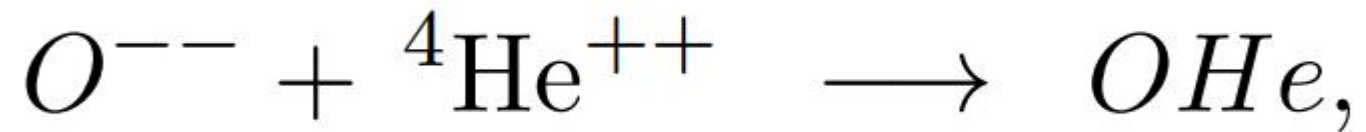
- В условиях ранней Вселенной могут образовываться аномальные изотопы.
- Атомы скрытой массой, способны взаимодействовать с лёгкими атомными ядрами, такими как ядра гелия.

Цель

- изучение процессов захвата лёгких ядер атомами скрытой массой и анализ их влияния на физические процессы в ранней Вселенной.

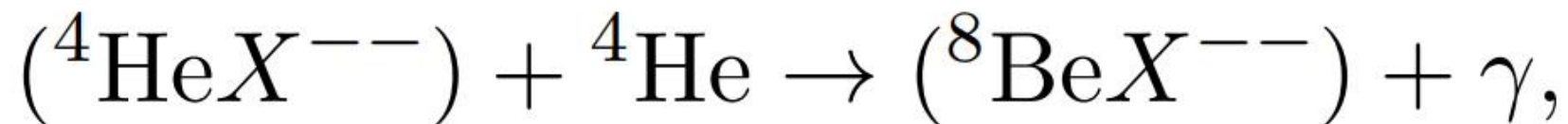
Модель тёмных атомов

- В этой модели скрытая масса состоит из атомов, в которых тяжёлая стабильная частица с зарядом $-2n$ (мы обозначаем её как X^{-2n}) связана с n ядрами гелия.
- В случае $n = 1$ система состоит из:
 - одной частицы X с зарядом -2 (O^{--})
 - одного ядра ${}^4\text{He}$ с зарядом $+2$.



ТЁМНЫЕ АТОМЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЯДРАМИ

Такие тёмные атомы могут взаимодействовать с обычным веществом — особенно с другими ядрами гелия

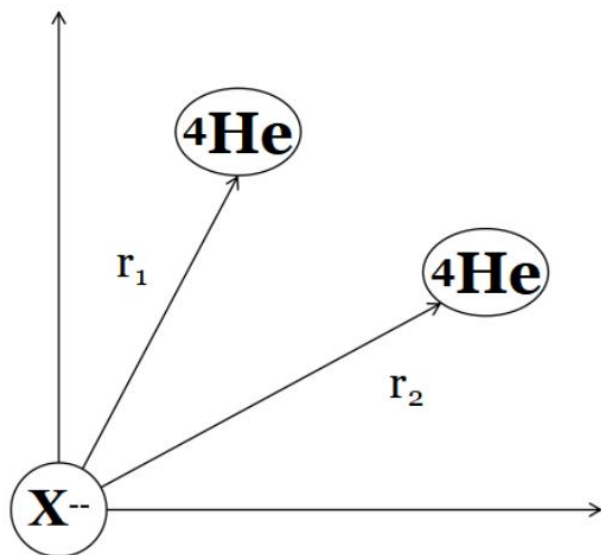


Метод основан на работе Ахмедова и Пospelова

BBN catalysis by doubly charged particles

IOP Publishing Journal of Cosmology and Astroparticle Physics

August 2024 · 2024(08)



Геометрия системы

Скорость реакции

$$\sigma v = \frac{\alpha Z_{\text{He}}^2 \omega_{\gamma}^3}{2\pi} \sum_{\lambda} \int d\Omega_{\gamma} \left| \int d^3 r_1 d^3 r_2 \psi_{\text{Be}X}^* \left(\frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2} \right) \psi_{\text{Be}}^*(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|) \right. \\ \left. \times \vec{\epsilon}_{\lambda} \cdot (\vec{r}_1 + \vec{r}_2) \psi_{\text{He}X}(\vec{r}_1) \psi_{\text{He}}(\vec{r}_2) \right|^2,$$

$\psi_{\text{He}X}(\vec{r}_1)$ — связанное состояние системы $X\text{--He}$,

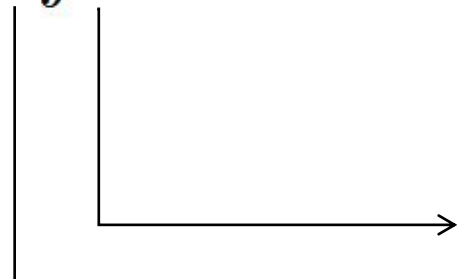
$\psi_{\text{Be}X}\left(\frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2}\right)$ — связанное состояние системы $X\text{--Be}$,

$\psi_{\text{Be}}(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|)$ — волновая функция внутренней структуры ядра ${}^8\text{Be}$,

$\psi_{\text{He}}(\vec{r}_2)$ — волновая функция ядра ${}^4\text{He}$.

- Волновые функции связанных состояний получаются численно с учётом конечных размеров ядер

$$U(\mathbf{r}) = \int d^3r_1 d^3r_2 v(|\mathbf{r} + \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|) \rho_1(\mathbf{r}_1) \rho_2(\mathbf{r}_2),$$



$$U_{X\text{He}}(r) = -8\pi Z_{\text{He}} e^2 \int_0^\infty dk \frac{\sin(kr)}{kr} \rho_{\text{He}}(k).$$

$$U_{X\text{Be}}(r) = -64\pi e^2 \int_0^\infty dk \frac{\sin(kr)}{kr} \rho_{\text{He}}(k) \cos\left(\frac{kd}{2}\right).$$

Следующим этапом работы является:

1. Аналитическое приближение волновых функций
2. Вычислить сечение реакции
3. Уточнить оценку концентрации аномальных изотопов OBe в ранней Вселенной.

Заключение

Полученные результаты позволяют уточнить оценку концентрации аномальных изотопов OBe в ранней Вселенной и могут быть использованы для дальнейшего анализа космологических ограничений на модели тёмных атомов.