

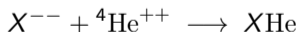
Аномальные изотопы в моделях атомов скрытой массы

М. И. Балиньо

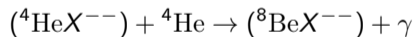
НИЯУ МИФИ

2026

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

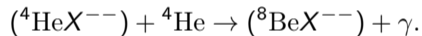


- Атомы $X\text{He}$, могут взаимодействовать с лёгкими ядрами.
- В частности, возможен захват ещё одного ядра ${}^4\text{He}$, что приводит к образованию аномального изотопа $X\text{Be}$:



Цель работы состоит в описании процесса формирования аномальных изотопов $X\text{Be}$,

Ключевой процесс:



Для его описания необходимо определить свойства начальной системы $X^{--} - ^4\text{He}$ и конечной системы $X^{--} - ^8\text{Be}$.

Используемое приближение:

- частица X^{--} считается тяжелым лептоном, значительно тяжелее ядер;
- её положение отождествляется с началом координат;
- взаимодействие определяется кулоновским притяжением с учётом конечного размера ядра.

Общий вид потенциала для распределённых систем:

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

Далее этот подход применяется отдельно к системам $X^{--} - {}^4\text{He}$ и $X^{--} - {}^8\text{Be}$.

Потенциалы взаимодействия $X^{--} - {}^4\text{He}$

Для системы $X^{--} - {}^4\text{He}$ были рассмотрены два приближения для кулоновского потенциала.

1. Равномерно заряженная сфера

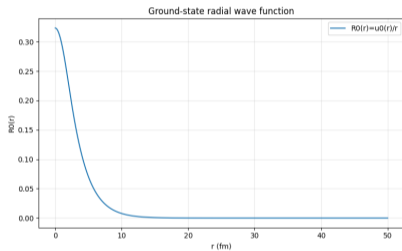
$$V_{\text{sphere}}(r) = \begin{cases} -\frac{Z_X Z_{\text{He}} \alpha \hbar c}{2R_N} \left(3 - \frac{r^2}{R_N^2} \right), & r \leq R_N, \\ -\frac{Z_X Z_{\text{He}} \alpha \hbar c}{r}, & r > R_N. \end{cases}$$

2. Потенциал через плотность заряда ядра

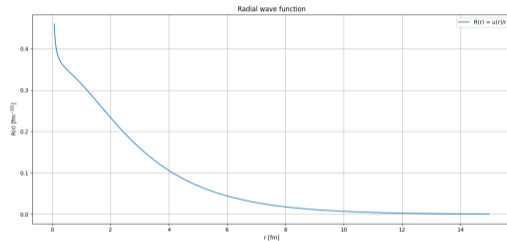
$$V_{\rho}(r) = -Z_X \alpha \hbar c \int \frac{\rho_{\text{He}}(R)}{|r - R|} d^3R.$$

Здесь $Z_X = 2$, $Z_{\text{He}} = 2$, R_N — радиус равномерно заряженной сферы, а $\rho_{\text{He}}(R)$ — плотность заряда ядра ${}^4\text{He}$.

Волновые функции $X^{--} - {}^4\text{He}$



Равномерно заряженная сфера
 $E_0 = -1.1256$ MeV



Зарядовая плотность ядра ${}^4\text{He}$
 $E_0 = -1.1675$ MeV

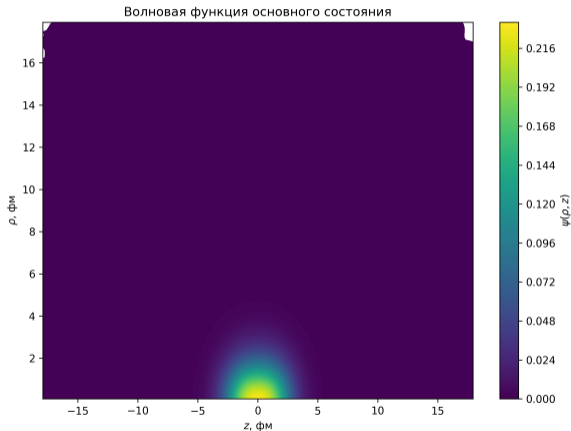
Ядро ${}^8\text{Be}$ рассматривается в α -кластерной модели:

$${}^8\text{Be} \approx \alpha + \alpha.$$

Зарядовая плотность задаётся как сумма двух смещённых плотностей ${}^4\text{He}$:

$$\rho_{\text{Be}}(\vec{R}, \vec{s}) = \rho_{\text{He}}\left(\vec{R} - \frac{\vec{s}}{2}\right) + \rho_{\text{He}}\left(\vec{R} + \frac{\vec{s}}{2}\right).$$

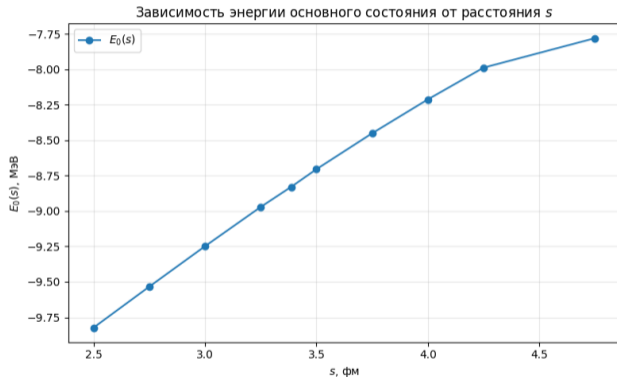
Здесь $s = |\vec{s}|$ — расстояние между двумя α . В отличие от $X^{--} - {}^4\text{He}$, потенциал уже не является сферически симметричным.



Основной результат:

- волновая функция локализуется в области между двумя α ;
- энергия связи чувствительна к выбранному расстоянию s ;
- модель явно учитывает разделение двух α -частиц.

Зависимость энергии от расстояния s



При увеличении расстояния между α энергия связи системы уменьшается:

$$E_0 : -9.82 \text{ MeV} \rightarrow -7.78 \text{ MeV}.$$

Связанное состояние чувствительно к внутренней конфигурации ядра ${}^8\text{Be}$.

В работе Ахмедова и Поспелова ядра описывались как равномерно заряженные сферы. В этом приближении получены энергии связи:

$$X^{--} - {}^4\text{He} : 1.156 \text{ MeV}, \quad X^{--} - {}^8\text{Be} : 3.40 \text{ MeV}.$$

Для $X^{--} - {}^4\text{He}$ наш результат близок к этому значению. Для $X^{--} - {}^8\text{Be}$ отличие значительно сильнее, потому что в данной работе учитывается разделение двух α , а в сферически симметричном приближении эта информация теряется.

- 1 Для системы $X^{--} - {}^4\text{He}$ учёт конечного размера ядра изменяет поведение волновой функции в области малых расстояний.
- 2 Для системы $X^{--} - {}^8\text{Be}$ важна α -кластерная структура ядра и расстояние между двумя α -частицами.
- 3 Энергия основного состояния $X\text{Be}$ заметно зависит от параметра s .
- 4 Полученные характеристики можно использовать как основу для дальнейшей оценки концентрации аномальных изотопов $X\text{Be}$.

Спасибо за внимание!

М. И. Балиньо

НИЯУ МИФИ