

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**ФИЗИКА ТЕМНЫХ АТОМОВ СКРЫТОЙ МАССЫ
ВСЕЛЕННОЙ**

Научный руководитель
д.ф. - м.н., проф.

_____ М. Ю. Хлопов

Студент

_____ А. В. Поляков

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Свойства темных атомов	3
2 Частицы O^{--} в дейтериевой среде	4
3 Частицы с нечетным зарядом	4
4 Заключение	4
Список литературы	4

ВВЕДЕНИЕ

Свидетельством существования темной материи во вселенной можно считать экспериментальные кривые скоростей спиральных галактик, которые не согласуются с распределением масс в рамках Кеплеровской механики [1]. Скорость вращения галактик не убывала по закону $v \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$, где R – расстояние от центра галактики, а оставалась практически постоянной, как это видно на рисунке 1.

Как видно, эффект темной материи достаточно значимый и заслуживает детального рассмотрения. Согласно современным представлениям темная материя составляет 25% массы вселенной, не является барионной, состоит из стабильных частиц и не участвует в электромагнитном взаимодействии, что усложняет ее поиски [2]. В данной работе рассматривается теория, что темную материю составляют частицы O , имеющие электрический заряд, связываемые в темные атомы обычным кулоновским взаимодействием. Данные частицы не могут иметь нечетный заряд, так как тогда они будут связываться с первичным гелием, образуя аномальные изотопы водорода. Поэтому рассматривается случай четно заряженных частиц O^{--} , которые полностью захватываются первичным гелием и образуют темные атомы O -гелия $O^{--}He^{++}$.

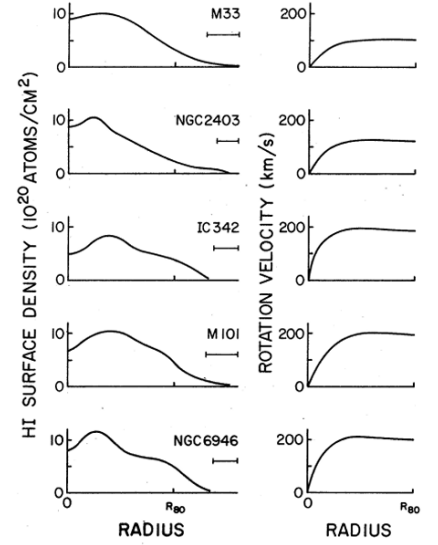


Рис. 1: Распределение масс (слева) и кривые скоростей (справа) для пяти различных галактик. R_{80} – радиус внутри которого находится 80% водорода.

1. СВОЙСТВА ТЕМНЫХ АТОМОВ

Коллаборации ATLAS и CMS занимаются поисками двухзарядных частиц и могут установить нижний предел массы двухзарядной частицы около 1ТэВ [3], что в 10^3 раз больше массы протона. Боровский радиус этого атома можно вычислить как

$$R_O = \frac{\hbar c}{\alpha Z_{He} Z_O m_{He}} \approx 1.81 \cdot 10^{-13} \text{ см}, \quad (1)$$

где α – постоянная тонкой структуры, $Z_{He} = Z_O = 2$, а m_{He} – масса ядра гелия. Этот результат примечателен тем, что размеры ядра гелия оцениваются как $a = r_0 A^{1/3} = 1.95 \cdot 10^{-13} \text{ см}$, что соизмеримо с боровским радиусом атома OHe . Так же можно оценить энергию ионизации, как

$$E_O = \frac{\alpha^2 Z_{He}^2 Z_O^2 m_{He}}{2} \approx 1.6 \text{ МэВ}. \quad (2)$$

Однако более детальный расчет распределения заряда в атома показывает, что $E_O \approx 1.3 \text{ МэВ}$.

2. ЧАСТИЦЫ O^{--} В ДЕЙТЕРИЕВОЙ СРЕДЕ

Если поместить темную частицу O^{--} в среду с ядрами дейтерия D^+ , то будет происходить захват ядер дейтерия с образованием атома ODD. Расстояние между ядрами дейтерия в таком атоме будет ядерное, а значит существует вероятность ядерной реакции



По итогу данной реакции у нас должен образоваться атом OHe, однако энергия выделяемая в процессе ядерной реакции превышает энергию связи, что приводит к отделению темной частицы O^{--} и последующей цепной реакции холодного синтеза.

3. ЧАСТИЦЫ С НЕЧЕТНЫМ ЗАРЯДОМ

Как упоминалось выше стабильные темные частицы с нечетным зарядом приводят к производству аномальных изотопов водорода. Однако отдельного рассмотрения заслуживает ситуация метастабильных частиц с временем жизни меньше возраста вселенной.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа заключается в изучении существующей информации о темных атомах, а так же выявлении проблем, требующих детального рассмотрения.

Дальнейшая работа состоит в оценке вероятности процесса ядерной реакции описанной выше, а так же в оценке диапазона времени жизни метастабильных частиц с нечетным зарядом, который не противоречит экспериментальным данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] G. Bertone and D. Hooper, *A history of dark matter*, *Rev. Mod. Phys.* (2018) .
- [2] M.Y. Khlopov, A.G. Mayorov and E.Y. Soldatov, *Dark atoms of the universe: towards the nuclear physics*, 2010. 10.48550/ARXIV.1011.4586.
- [3] M.Y. Khlopov, *Probes for dark matter physics*, *International Journal of Modern Physics D* **27** (2018) 1841013.