

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное  
государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**Кафедра No 40 «Физика элементарных частиц»**

**ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**  
**“Специфика формирования крупномасштабной**  
**структуры Вселенной в модели темных атомов.”**

Студент (номер группы): Карни Мд Вейс Ал (Б19-102)  
Руководитель проекта: **проф. Хлопов М. Ю.**

**Москва – 2022 г.**

## Содержание

1	Введение	2
2	Задача: При какой температуре OHe атомы сталкиваются между собой!	3
3	Список литературы:	4

# 1 Введение

Атомоподобная структура ОНе по-видимому, дает возможность использовать результаты атомной физики для описания взаимодействия ОНе с веществом. Однако ситуация гораздо сложнее. Атом ОНе похож на водород, в котором электрон в сотни раз тяжелее протона, так что это белковая оболочка, окружающая ‘электронное ядро’. Ядра, которые взаимодействуют с таким ‘водородом’, сначала взаимодействовали бы с сильно взаимодействующим ‘протонным’ оболочка, и такое взаимодействие вряд ли может быть рассмотрено в рамках теории возмущений. Более того, в описании Взаимодействие ОНе, учитывающее конечный размер Не, который даже больше радиуса орбиты Бора, имеет важное значение. Поэтому следует рассматривать представленный ниже анализ только как первый шаг к истинной ядерной физике ОНе.

## 2 Задача: При какой температуре OHe атомы сталкиваются между собой!

Если у нас есть стабильная двойная заряженная частица  $O^{--}$  с избытком по сравнению с ее партнером  $O^{++}$  он может создавать гелийоподобный нейтральный атом (О-гелий) при температуре  $T > I_o$

Где:  $I_o = Z_{He}^2 Z_{\Delta}^2 \alpha^2 m_{He} = 1.6 \text{ MeV}$  [1]

Здесь,  $\alpha$  является константой тонкой структуры, которая равна  $e^2/2$  [1]  ${}^4\text{He}$  формируется на  $T \sim 100 \text{ keV}$  ( $t = 100 \text{ s}$ )

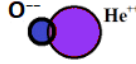
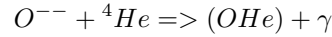


Рис. 1: OHe atom

Это означает, что он быстро создал бы нейтральный атом, в котором все  $O^{--}$  связаны.[2]



Размер "атома" О-гелия равен

$$R_o = 1 / (Z Z_{He} \alpha m_{He}) = 2 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$$

Взаимные столкновения "атомов" О-гелия определяют временные рамки эволюции для гравитационно связанной системы бесстолкновительного (одного) газа, когда ,

$$n_{\text{OHe}} \sigma v t = 1.$$

Где

$$\sigma \approx \sigma_o \sim \pi R_o^2 \approx 10^{-25} \text{ cm}^2$$

$n_{\text{OHe}} = 10^{-3} (1+z)^3$ , Где  $z$  = redshift

$$n_{\text{OHe}} (\rho_{\text{OHe}} / m_{\text{OHe}}) = (\rho_{DM} / m_{\text{OHe}})$$

$$\rho_{DM} = 1/A \cdot \rho_{TD} \text{ и}$$

$v = \sqrt{2T/m_p}$  - тепловая скорость бариона.

Где  $T = T_o(1+z)$

используя эти значения, мы нашли  $z \approx 6 \cdot 10^8$  Используя это значение  $z$ , мы нашли  $T \approx 15 \cdot 10^4 \text{ eV} = 150 \text{ KeV}$  Который больше чем  $100 \text{ KeV}$ , значит OHe были без столкновения газа в самом начале.

Следующая задача: Найти вероятность создания ковалентной связи между двумя OHe атомами.

### **3 Список литературы:**

1. Maxim Yu. Khlopov, Fundamental Particle Structure in the Cosmological Dark Matter. <https://arxiv.org/abs/1311.2468>
2. Maxim Yu. Khlopov, The dark atoms of dark matter. <https://arxiv.org/abs/1012.0934>