

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования <<Национальный исследовательский ядерный университет <<МИФИ>>

Отчет о научно-исследовательской работе

Исследование аномальных компонентов  
космических лучей как проявлений эффектов  
новой физики

Научный руководитель  
д. ф. –м. н., профессор

М. Ю. Хлопов

Москва 2022

Выполнил

Н. Г. Монаков

# Скрытая масса в красных сверхгигантах

- Средняя плотность частиц:  $\rho = 0.3 \left[ \frac{GeV}{cm^3} \right]$
- Масса частиц:  $m = 1 [TeV]$
- Средняя концентрация частиц Halo:  $n = 3 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{1}{cm^3} \right]$
- Скорость потока частиц:  $v \simeq 300 \left[ \frac{km}{s} \right]$
- Время существования:  $t_3 \simeq 5 \cdot 10^9 [years]$   $t_{rg} \simeq 10^7 \div 10^8 [years]$
- $R_3 = 6371 [km]$   $R_{\odot} = 695700 [km]$

$$N = S \cdot v \cdot t \cdot n \quad (1)$$

Итого получаем количество частиц:  $N_3 \approx 10^{39}$ ,  $N_{rg} \approx 10^{46} \div 10^{48}$ .  
Для рассматриваемого красного гиганта содержание атомов Fe в ядре: из предела Чандрасекара  $M_{Fe} = 1.44 \cdot M_{\odot} = 1.44 \cdot 1.989 \cdot 10^{30} [kg]$

$$N_{Fe} = M_{Fe} \cdot \frac{N_A}{\mu_{Fe}} = 1.44 \cdot 1.989 \cdot 10^{30} \cdot \frac{6.02 \cdot 10^{23}}{55.845 \cdot 10^{-3}} \approx 3 \cdot 10^{56}$$

и отношение  $f = \frac{N_{rg}}{N_{Fe}} \approx 3 \cdot 10^{-11} \div 3 \cdot 10^{-9}$

$$T_{sn} \sim 100 \div 300 \cdot 10^9 K$$

В таком случае, доля ионизированных частиц:

$$\frac{N_{rg}^{ion}}{N_{rg}} = e^{-\frac{I}{T}} \quad , \text{ где } I - \text{ Энергия ионизации } O^{--}He \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot Z_{O^{--}}^2 \cdot Z_{He}^2 \cdot \alpha^2 \cdot m_{He} = 1.6 MeV$$

$$\frac{N_{rg}^{ion}}{N_{rg}} = e^{-\frac{I}{T}} = e^{-\frac{1.6 \cdot 10^6}{8.617 \cdot 10^{-5} \cdot 300 \cdot 10^9}} \approx 0.94$$

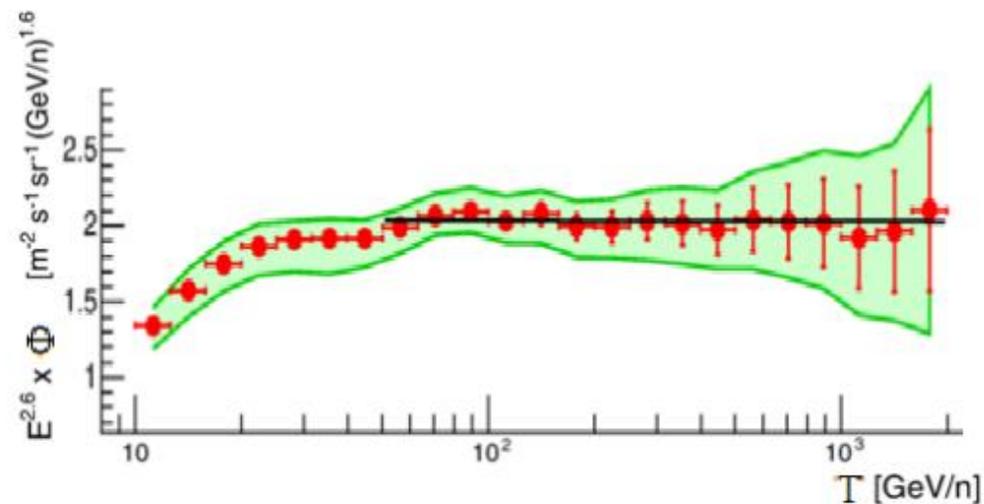
$$\Phi = \int \frac{dN(E')}{d\Omega \cdot dt \cdot dE'} = const \int_{E[GeV]}^{\infty} E'^{-\gamma} dE' = const \int_{E[GeV]}^{\infty} E'^{-2.6} dE' \quad (3)$$

Энергетический спектр первичного космического излучения можно аппроксимировать степенной функцией:  $\frac{dN}{dE} = \frac{const}{E^{\gamma}}$ . В дифференциальном спектре показатель степени  $\gamma = 2.6$  при энергиях до  $10^5 [GeV]$  [arXiv:2106.08036v1].

$$const = f' = \frac{N_{rg}^{ion}}{N_{Fe}} \approx 0.94 \cdot 3 \cdot 10^{-11} \div 0.94 \cdot 3 \cdot 10^{-9} = 2.82 \cdot 10^{-11} \div 2.82 \cdot 10^{-9}$$

Приведем экспериментальный график для железа построенный для данных CALorimetric Electron Telescope

$$\Phi_{Fe} = 2.5 \cdot 10^{-3} \div 7.5 \cdot 10^{-9} [m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot s^{-1} \cdot (GeV/n)^{-1}]$$



Для релятивистских скоростей  $(E^{2.6} \cdot \Phi)_{O^{--}He} = const \cdot (E^{2.6} \cdot \Phi)_{Fe}$ , (1)

Для частиц ускоряющихся в ударных волнах верно равенство их импульсов, левая граница графика есть  $10 \left[ \frac{GeV}{n} \right]$  т.е на 1а.е.м приходится  $T=10 GeV$ , для рассматриваемых частиц с массой  $m=1 TeV$  левая граница соответствует

$$T = 10 \cdot GeV \cdot \frac{1TeV}{1GeV} = 10 \cdot TeV$$

Значит на всей области энергий приведенных на графике реализован ультрарелятивистский случай и верно (1)

# Заключение

Результаты показывают, что для галактических космических лучей, излученных в результате взрыва сверхновой (с прородителями красным гигантом) характер лучей скрытой массы схож с лучами Fe, однако ввиду малого коэффициента  $\text{const}$  поток будет пренебрежимо мал. В дальнейшей работе будут рассматриваться другие источники и механизмы распространения и обнаружения частиц скрытой массы.