

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

УДК 539.12.01

Отчет
о научно-исследовательской работе

**Исследование аномальных компонентов
космических лучей как проявлений эффектов
новой физики**

Научный руководи-
тель

доц. д.ф-м.н., проф.

Студент

_____ М. Ю. Хлопов

_____ Н. Г. Монаков

Москва 2022

1 Введение

Согласно современным космологическим представлениям, частицы скрытой массы составляют около 25% от всей массы-энергии Вселенной является небарионным и состоит из новых стабильных частицы.

В данной части работы рассматривались частицы скрытой массы, накопившиеся внутри звезды за время стадии красного сверхгиганта, а далее взрывающейся полностью (сверхновые типа 1b/c). В результате взрыва частицы скрытой массы выбрасываются с прочими частицами и могут быть обнаружены как компонента космических лучей, в случае, если по какой-либо причине, частицы имеют ненулевой электрический заряд.

2 Скрытая масса в красных сверхгигантах

Рассчитаем количество частиц, накопившееся внутри Земли и Красного сверхгиганта $R_{rg} = (200 - 1000) \odot$, $M_{rg} = 10 M_{\odot}$ для накопившихся частиц скрытой массы:

- 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 $M_{Fe} = 1.44 \cdot M_{\odot} = 1.44 \cdot 1.989 \cdot 10^{30} [kg]$

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

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

Внутри звезды тёмные атомы распадаются на заряженные лептоны L^- и ядра⁺ до и в момент непосредственно взрыва сверхновой. Оценки температуры вблизи бывшего ядра красного гиганта для $M_{rg} = 10 M_{\odot}$ были получены [Physics Reports 442 (2007) 38 – 74]

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

В таком случае, доля ионизированных частиц:

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

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

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

В расчете использована верхняя оценка T_{sn} ввиду того, что масса рассматриваемых частиц $m = 1 [TeV] \gg m_{Fe} = 0.05 [TeV]$ массы частиц железного ядра красного гиганта, следовательно на заключительном этапе

жизни звезды, при сильном гравитационном сжатии температура рассматриваемых частиц скрытой массы по меньшей мере равна верхней границе температуры наблюдаемой материи.

Рассмотрим поток частиц через площадку единичной площади за единицу времени в единичный телесный угол

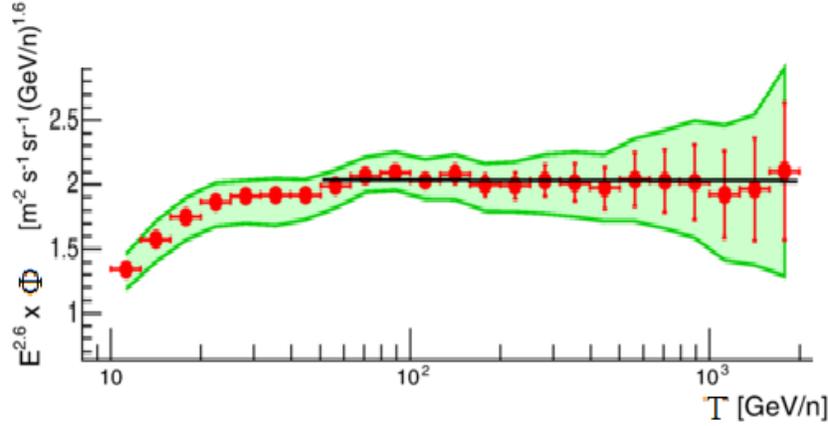
$$\Phi = \int \frac{dN(E')}{d\Omega \cdot dt \cdot dE'} = const \int_{E[GeV]}^{\infty} E'^{-\gamma} dE' = const \int_{E[GeV]}^{\infty} E'^{-2.6} dE' \quad (3)$$

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

Для частиц ускоряющихся в ударных волнах верно равенство их импульсов, левая граница графика есть $10 [\frac{GeV}{n}]$ 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

$$(E^{2.6} \cdot \Phi)_{O--He} = const \cdot (E^{2.6} \cdot \Phi)_{Fe}$$

3 Заключение

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

Список литературы