

Сараненко А. М.

учень Кременчуцького ліцею № 4

Науковий керівник:

Сукачов О. В.

к. фіз.-мат. н, доц.,

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

ОЦІНКА ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМИ ЗІРОК РІЗНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ КЛАСІВ

Телескопічні спостереження Сонця у 1611 році розпочав Галілео Галілей. Ним були відкриті сонячні плями, визначено період обертання Сонця навколо своєї осі. У 1814 році Й. Фраунгофер знайшов темні лінії поглинання в спектрі Сонця - це поклало початок вивченню хімічного складу зір. Термоядерні реакції у зоряній плазмі починаються тоді, коли завершується ущільнення, зорі знаходяться у головній послідовності діаграми Герцшпрунга-Рассела, реакції водневі. Після закінчення запасів плазма стає телевою з іншими властивостями, а зоря - червоним гігантом. Накопичення гелія поступово збільшується, маса ядра не витримує, відбувається його ущільнення, зоря стає білим карликом, надноюю, може згаснути, або стати чорною дірою [1, 2].

Головним завданням нашої роботи є вивчення завершального етапу еволюції зір, як кінцевого у термоядерних реакціях.

Мета роботи - оцінка ідеальності плазми зірок різних спектральних класів способом обчислення коефіцієнта дифузії та дебаївського радіуса екранування; виконання прогнозу виникнення чорних дір.

Результати та їх обговорення. Розрахуємо коефіцієнт дифузії та радіус дебаївського екранування для зірок Альдебаран (червоний гігант) і Сиріус (білий карлик) за формулами 1 і 2.

$$D_k = \frac{g_k^2}{3\nu} \quad , \text{ де } g_k - \text{ середня швидкість частинок} \quad (1)$$

Дебаївський радіус екранування визначаємо

$$r_D = 740 \cdot (T [\text{eV}] / n [\text{см}^{-3}])^{1/2},$$

(2)

де T – температура, eV;

n - число електронів у одиниці об'єму, см^{-3}

$$1 \text{ eV} = 11606 \text{ K} \sim 10^4 \text{ K}$$

Теоретичне і практичне інновації наукове

Припустимо, що плазма гігантів є гелієвою ($M_i = 4,0 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{кг}$, $M_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{кг}$), а білих карликів карбоновою ($M_i = 12,0 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{кг}$). Результати наведені в таблиці 1. Визначимо ідеальність плазми за критерієм $W_k \gg W_p$.

Таблиця 1

Визначення ідеальності плазми та дебаївського радіусу екранування

Плазма	$n [\text{см}^{-3}]$	$T [\text{eV}]$	$rD, \text{м}$	$W_k, \text{Дж}$	$W_p, \text{Дж}$
K, M (II) Червоний гігант (Альдебаран)	10^9	$3875/11606 = 0,33$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-20}$	$2,3 \cdot 10^{-25}$
D (VII) Білий карлик (Сиріус)	10^{15}	$25000 / 11606 = 2,15$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-19}$	$2,3 \cdot 10^{-22}$
Навколоземна	$5,4 \cdot 10^{19}$	$273/11606 = 0,02$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$5,6 \cdot 10^{-21}$	$4,7 \cdot 10^{-20}$
Термоядерний синтез	10^{20}	$10^8 / 11606 = 86162$	$6,9 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-15}$	$2,3 \cdot 10^{-13}$

Для прогнозу утворення чорних дір у процесі еволюції зір: Альдебаран, Сонце та подвійної зорі - Сиріус, нами обрана умова, що $M_{зорі} > 2,5M_{\odot}$ [2].

Прогноз виконаємо за наступними вихідними даними (табл. 2).

Таблиця 2

Вихідні дані

Маса Сонця (M_{\odot}), кг	Маса Альдебарана, M_{\odot}	Маса Сиріуса, M_{\odot}	Гравітаційна стала (G), $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$	Швидкість світла(c), км/с
$1,9891 \cdot 10^{30}$	$2,5 \pm 0,15 M_{\odot}$	$0,978 \pm 0,005 M_{\odot}$	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	300000

Умові $M_{зорі} > 2,5M_{\odot}$ відповідає тільки зоря Альдебаран, припустимо, що вона перетвориться на чорну діру, тоді гравітаційний радіус розраховуємо за формулами 3 й 4.

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}, \quad (3)$$

$g_z = (2 \cdot 6,67384 \cdot 10^{-11} \cdot 1,9891 \cdot 10^{30} \cdot 2,5) / 300000^2 = 7,4 \cdot 10^8 \text{м}$.

де G - гравітаційна стала, а c - швидкість світла, M - маса зорі, кг.

Щільність визначаємо:

$$\rho = \frac{3c^6}{32\pi M^2 G^3}. \quad (4)$$

$$\rho = (3 \cdot 300000)^6 / 32 \cdot 3,14 \cdot (4,97275 \cdot 10^{30})^2 \cdot (6,67384 \cdot 10^{-11})^3 = 0,024 \text{ кг/м}^3.$$

Температура майбутньої чорної діри, К:

$$T = 10^{26} / M = 10^{26} / 1,9891 \cdot 10^{30} \cdot 2,5 = 2,0 \cdot 10^{-5}$$

Потужність випромінювання, ерг/с:

$$L \sim 10^{20} / (10^{15} / M)^2 \sim 10^{20} / (10^{15} / 1,9891 \cdot 10^{30} \cdot 2,5)^2 \sim 4,0 \cdot 10^{-12}$$

Тривалість життя, років:

$$t = 10^{10} / (M / 10^{15})^3 = 10^{10} / (1,9891 \cdot 10^{30} \cdot 2,5 / 10^{15})^3 = 1,2 \cdot 10^{57}$$

Висновки. Значення дебаївських довжин показують, що плазма червоного гіганта – Альдебаран та білого карлика – Сиріус є у ідеальною, плазма термоядерного синтезу є неідеальною, навколосемна - слабо ідеальна.

Прогнозний розрахунок виникнення чорної діри з зірки показав, що Альдебаран може бути потенційною чорною дірою середніх розмірів з випромінюванням нейтрино та тривалістю життя $1,2 \cdot 10^{57}$ років.

Література

1. Поступаев В.В. Физика плазмы. /Конспект лекций.- Новосибирск.- НГУ: 2011. – 522 с.
2. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976-368с.