АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 4 НОЯБРЬ, 1968 ВЫПУСК 4

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

## ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОНИЗАЦИИ НА КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ

Изучение свойств квазивырожденных горячих белых карликов было проведено в ряде работ [1—4]. Для вопросов устойчивости белых карликов весьма существенны поправки общей теории относительности [5] и эффект нейтронизации ядер (зависимость $z/A$ от энергии Ферми) [6]. Причем из этих двух эффектов для белых карликов наиболее существенен эффект нейтронизации. В [3] при вычислении критических параметров была учтена поправка ОТО, но не учтена нейтронизация. Ниже вычислены критические параметры изотермических белых карликов с учетом как поправок ОТО, так и нейтронизации ядер. Расчет так же, как в [3], проведен энергетическим методом. Данный метод весьма удобен при вычислениях критических параметров, так как позволяет при хорошей точности избежать больших численных расчетов, связанных с интегрированием уравнений равновесия для различных конфигураций.

Для определения критических параметров изотермических белых карликов необходимо рассматривать уравнения [3]

$$3\rho_c^{-4/3} M \int_0^1 P(\rho,\ T) \frac{d\nu}{\varphi(\nu)} - 0.639\, GM^{5/3} - 1.86\, \frac{G^2 M^{7/3}}{c^2} \rho_c^{1/3} = 0, \qquad (1)$$

$$9\rho_c^{-4/3} M \int_0^1 (\gamma - 4/3)\, P \frac{d\nu}{\varphi(\nu)} - 1.86\, \frac{G^2 M^{7/3}}{c^2} = 0, \qquad (2)$$

где $\rho_c$—плотность в центре, $M$—масса звезды, $P$—давление, $T$—температура, $c$—скорость света, $G$—гравитационная постоянная, $\nu = m/M$, $\rho = \rho_c \varphi(\nu)$, $\varphi(\nu)$—эмденовская функция с показателем политропы $n=3$, $\gamma = (\partial \ln P/\partial \ln \rho)_s$. Использование политропы с индексом $n=3$ оправдано тем, что в квазивырожденных белых карликах, находящихся в окрестностях критического состояния (состояния потери устойчивости), в центральной части звезды, где практически сосредоточена вся масса, электронный газ ультрарелятивистский. Уравнение (1) есть условие равновесия данной конфигурации и получено из требования экстремальности полной энергии звезды $\partial E/\partial \rho_c = 0$. Уравнение же (2) есть условие устойчивости и получено из требования минимума полной энергии $\partial^2 E/\partial \rho_c^2 = 0$.

При наличии вырожденного электронного газа происходит $\beta$ — захват электронов ядрами и величина $z/A$ ($z$— порядковый номер ядра, $A$ — массовое число) зависит от граничной энергии Ферми. В случае ультрарелятивистского электронного газа для этой величины имеем [4]

$$z/A = (z/A)_0 (1 - \alpha x), \tag{3}$$

где $x = p_e/m_e c$, $m_e$ и $p_e$—соответственно масса и импульс Ферми вырожденных электронов, для $Fe_{56}$ $\alpha = 3.988 \cdot 10^{-3}$. Укажем, что в рассматриваемой области плотностей $\alpha x \ll 1$, поэтому зависимость $z/A$ от $x$ будет учтена лишь в главных членах термодинамических величин. Ниже будут рассмотрены конфигурации, состоящие из $Fe_{56}$ и $O_{16}$.

С учетом (3) для $P$ и $(\gamma - 4/3)\, P$, входящих в уравнения (1) и (2), получим

$$P = \frac{m_e^4 c^5}{12\pi^2 \hbar^3} x^4 \left(1 - \frac{1}{x^2} + \frac{2\pi^2 t^2}{3x^2} + \frac{4t}{zx} - \frac{4\alpha x}{3}\right), \tag{4}$$

$$(\gamma - 4/3)\, P = \frac{m_e^4 c^5}{9\pi^2 \hbar^3} x^4 \left(\frac{1}{2x^2} - \frac{2}{3}\alpha x + \frac{t}{zx} - \frac{\pi^2 t^2}{2zx^2}\left[\frac{3}{2z} + \frac{\pi^2 t}{x}\right]^{-1}\right). \tag{5}$$

Здесь $t = \dfrac{kT}{m_e c^2}$, $k$— постоянная Больцмана. Выражения (4) и (5) справедливы в области плотностей и температур, для которых $x \gg 1$, $t/x \ll 1$.

Подставляя (4) и (5) в (1) и (2) и имея в виду, что $x_c = x_c \varphi^{1/3}(\nu)$ ($x_c$— значение $x$ в центре), для $x_c$ и $t_c$ получим систему алгебраических уравнений, в которые в качестве параметра входит масса звезды. Эта система была численно решена для различных масс, близких к максимальной массе холодных конфигураций. Большие значения масс в данном приближении нельзя рассматривать, так как нарушаются условия $x \gg 1$,

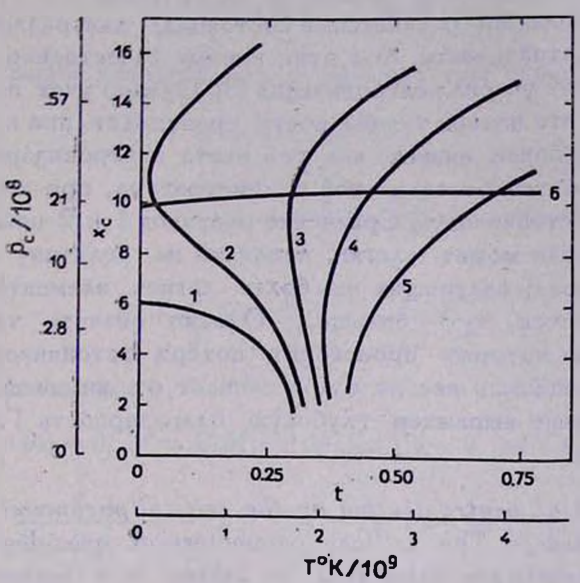


Рис. 1. Состояния равновесия и точки потери устойчивости для $Fe_{56}$. 1—$M/M_{\odot}$=1; 2—$M/M_{\odot}$=1.1; 3—$M/M_{\odot}$=1.2; 4—$M/M_{\odot}$=1.3; 5—$M/M_{\odot}$=13.5; 6—кривая потери устойчивости.

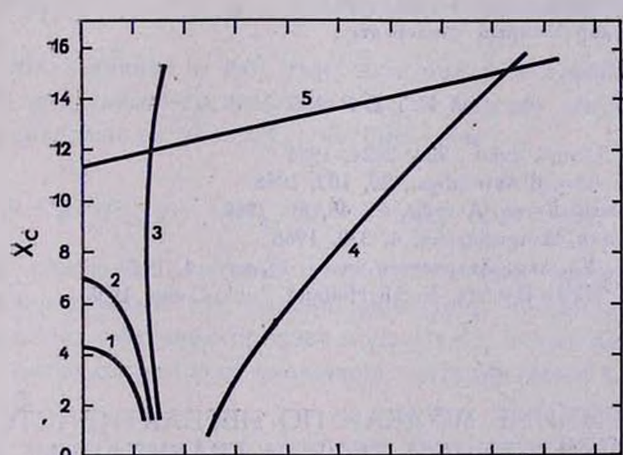


Рис. 2. Состояния равновесия и точки потери устойчивости для $O_{16}$. 1—$M/M_{\odot}$=1; 2—$M/M_{\odot}$=1.2; 3—$M/M_{\odot}$=1.3; 4—$M/M_{\odot}$=3; 5—кривая потери устойчивости.

$x/t \ll 1$. Результаты расчета приведены на рисунках 1 и 2, на которых показан ход эволюции (равновесные состояния) для различных масс и точки потери устойчивости. Ход этих кривых качественно совпадает со случаем, когда не учтена нейтронизация [3]. Однако учет последней приводит к тому, что потеря устойчивости происходит при плотностях на целый порядок более низких, чем без учета нейтронизации. Соответственно оказывается более низкой и температура, при которой происходит потеря устойчивости. Сравнение рисунков 1 и 2 показывает, что химический состав может слегка повлиять на величину критической массы (для звезд, состоящих из более легких элементов, величина массы оказывается чуть больше). Однако область температур и плотностей, при которых происходит потеря устойчивости, а также вид кривых равновесия весьма слабо зависят от химического состава.

В заключение выражаем глубокую благодарность Г. С. Саакяну за обсуждения.

*The effect of neutronization on the critical parameters of the isotermic white dwarfs.* The critical parameters of quasidegenerated isotermic white dwarfs are calculated by taking into account both the correction of the general relativity and neutronization of atomic nucleus.

10 июля 1968

Ю. Л. ВАРТАНЯН
А. В. ОВСЕПЯН

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Ереванский государственный университет

ЛИТЕРАТУРА

1. *М. А. Baglin*, Comp. Rend., 260, 2424, 1965.
2. *М. А. Baglin*, Ann. d'Astrophys., 29, 103, 1966.
3. *Г. С. Бисноватый-Коган*, Астрон. ж., 43, 89, 1966.
4. *Ю. Л. Вартанян*, Астрофизика, 4, 373, 1968.
5. *С. А. Каплан*, Уч. зап. Львовского ун-та, 15, вып. 4, 1949.
6. *E. Schatzman*, White Dwarfs, North Holland Publ. Comp., 1958.

## ПОЛИТРОПНЫЕ МОДЕЛИ ПО НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ ОБОБЩЕННОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

1. Нерелятивистской обобщенной теории гравитации посвящены работы [1—3]. В них сформулирована краевая задача для определения интегральных параметров и внутренних решений статической сферически-симметрической холодной звездной конфигурации. Для политропных моделей с уравнением состояния вещества