

УДК 524.31.084, 524.384, 524.352.3
PACS 97.20.Rp, 97.60.Bw

ДІАГНОСТИКА ВИРОДЖЕНИХ КАРЛИКІВ У ПОДВІЙНИХ ЗОРЯНИХ СИСТЕМАХ

М. Ваврух, С. Смеречинський, Б. Шабат

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна
e-mail: mvavrukh@gmail.com*

Проаналізовано особливості розподілу вироджених карликів із бінарних зоряних систем за масами та ефективними температурами фотосфер, визначеними за спостережуваними даними. Сформульовано критерії – параметр релятивізму в центрі зорі та параметр хімічного складу, – які дозволяють відбирати кандидатів у попередники наднових. У рамках моделі Чандрасекхара за відомими масами і радіусами визначено вказані параметри для близько 1600 карликів у подвійних системах. Сформовано вибірку масивних карликів, які за сприятливих умов акреції в майбутньому можуть стати попередниками наднових типу Ia.

Ключові слова: вироджений карлик, подвійна зоряна система, наднова типу Ia, модель Чандрасекхара

1 Вступ

Спостереження за допомогою космічних телескопів, виконані впродовж двох останніх десятиліть, значно розширили традиційні уявлення про виродженні карлики. Зараз відомо тисячі карликів різних спектральних класів у Галактиці, де вони складають найчисленнішу сукупність астрономічних об'єктів. Згідно із загальноприйнятою точкою зору, вироджені карлики є кінцевою стадією еволюції зір малих та середніх мас і найпростішими об'єктами Всесвіту, стан речовини у яких подібний до стану речовини у “земних” об'єктах [1, 2]. Астрофізика минулого століття встановила такі середньостатистичні характеристики карликів: маса $\bar{M} \approx 0.6M_{\odot}$, радіус $\bar{R} \approx 10^{-2}R_{\odot}$, світність $\bar{L} \approx (10^{-2} - 10^{-5})L_{\odot}$, ефективна температура фотосфери $\bar{T}_{eff} \leq 10^4$ K [3]. В період 1990 – 2010 рр. відкрито багато карликів з характеристиками, відмінними від наведених вище: відомо багато маломасивних гарячих карликів, світність яких близька до світності Сонця, або перевищує її. Ці карлики мають великі радіуси $(2 - 3) \cdot 10^{-2}R_{\odot}$, маси порядку $0.45M_{\odot}$, а ефективні температури їхніх фотосфер досягають значень 10^5 K [4, 5]. Очевидно, що це молоді карлики, які знаходяться на стадії завершення свого формування, а в їхніх периферійних шарах можуть відбуватися ядерні реакції. Дослідженню гарячих карликів поки що присвячено мало публікацій.

Особлива різноманітність характеристик карликів спостерігається у подвійних системах, де є карлики як з дуже малими масами $M \leq 0.3M_{\odot}$, так і з дуже великими $M \geq 1.2M_{\odot}$, що зумовлено особливостями еволюції зір у бінарних системах. Серед них наявні як холодні карлики, так і дуже гарячі (див. [6]), тобто молоді і старі (охолоджені). Оскільки характеристики карликів у подвійних системах визначаються зі спостережень із значними похибками, то з переважної більшості каталогів свідомо видаляють карлики, належні до подвійних систем. Інтерес до вивчення карликів у подвійних системах зріс в останні роки, після того, як спостереженнями було встановлено можливість утворення наднових у цих системах. Як відомо [7], можливість вибухів повторних нових у подвійних системах давно вже підтверджена спостереженнями. У зв'язку з цим дослідження вироджених карликів у подвійних системах є фундаментальною проблемою як з точки зору побудови загальної теорії вироджених карликів, так і вироблення критеріїв, які дозволили б виявляти карлики, що є попередниками наднових.

Ми вважаємо, що основними ознаками таких зір є велика маса та хімічний склад, що відповідає високій парціальній частці водню і є результатом акреції речовини на карлик зі сторони зорі-компаньйона. Для опису карликів ми використовуємо методику робіт [8, 9], модель карлика з ізотермічним ядром та змінним вздовж радіуса хімічним складом, що відображає процес формування карликів в умовах акреції.

Сучасна теорія еволюції тісних подвійних систем добре розроблена і дозволяє зрозуміти походження у складі цих систем таких об'єктів, як зорі типу Вольфа – Райє, вироджені карлики, нейтронні зорі та чорні діри [7]. Їх компаньйонами є об'єкти різної природи: нормальні зорі головної послідовності, субгіганти, надгіганти, субкарлики. У системах типу RW Тельця, RY Близнюків, SX Кассіопеї та інших дискова акреція йде на звичайну зорю через внутрішню точку Лагранжа, а в нових та новоподібних системах – на вироджений карлик. Прикладом подвійної системи з акрецією на карлик є система DQ Гер. Це колишня нова, що спалахнула в 1934 р., вона є затемнено-подвійною і має період зміни блиску, що становить 4 години і 39 хвилин.

У монографіях та підручниках найчастіше розглядають механізм утворення нейтронних зір внаслідок обміну масою у бінарних системах з великими початковими масами компонентів. У випадку невеликих початкових мас можливе утворення виродженого карлика і наступне перетікання речовини з нормального компонента, початкова маса якого була меншою за масу зорі-сусіда. Коли маса виродженого карлика стає досить великою (близькою до граничної маси Чандрасекхара), він спалахує як наднова чи повторна нова внаслідок порушення стійкості, зумовленої ефектами загальної теорії відносності (ЗТВ), або ж явищем нейтронізації. У більшості випадків ефекти ЗТВ є визначальними. Як показано у роботі [8], у випадку холодних карликів ця ситуація настає при таких густинах у центрі карлика, коли параметр релятивізму $\bar{x}_0 = \hbar(m_0c)^{-1}(3\pi n_0)^{1/3}$ досягає значень, близьких до 13.28 (тут n_0 - концентрація електронів у центрі зорі). У роботі [9] встановлено, що маса карлика зі скінченою температурою є більшою, ніж маса цілком холодного. Тому критичне значення параметра релятивізму для реальних карликів повинно бути меншим від \bar{x}_0 .

Зауважимо, що згідно із загальноприйнятою точкою зору, м'яке і жорстке рентгенівське випромінювання, яке спостерігається від відомих подвійних систем, що

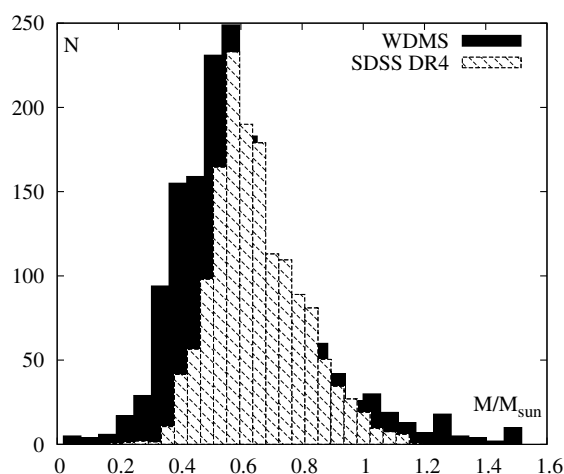


Рис. 1: Розподіл за масами вироджених карликів у подвійних системах (WDMS) [6] та польових карликів із огляду неба SDSS [4]. Розподіл польових карликів для зручності показаний у масштабі 1:2

включають вироджені карлики типу AM Her, DQ Her і SS Cyg, є результатом акреції на магнітні вироджені карлики. Сильна поляризація оптичного випромінювання AM Her свідчить про те, що на поверхні деяких карликів є магнітні поля з напруженістю $B \leq 10^7 - 10^8$ Гс. Джерела типу DQ Her спалахують як нові зорі, і мають когерентні пульсації малої амплітуди. Дані оптичних спостережень свідчать про існування акреційних дисків навколо вироджених карликів. Сильні магнітні поля руйнують диски і викликають радіальну течію речовини на карлик.

2 Спостережуванні карлики у подвійних системах

Особливості формування та умови існування вироджених карликів у подвійних системах накладають свій відбиток на характеристики карликів – їхні маси і радіуси. Вище вже відзначалось, що у подвійних системах спостерігаються карлики з широким спектром мас – від дуже малих до великих. На рисунку 1 представлено розподіл близько 1.6 тисячі карликів у подвійних системах за масами згідно з даними каталога [6]. Цей розподіл зображено на фоні розподілу приблизно у два рази більшого числа карликів польових із огляду неба SDSS [4] (світла штриховка, для зручності вибрано масштаб 1:2). Як видно з рисунка, середня статистична маса польових карликів близька до середньої статистичної маси карликів у подвійних системах ($\approx 0.6 M_{\odot}$). Однак область зміни мас карликів у подвійних системах є ширшою, ніж у звичайних ($0.1 \leq M/M_{\odot} \leq 1.5$ порівняно з $0.3 \leq M/M_{\odot} \leq 1.2$). З рисунка видно також, що доля карликів з малими масами у подвійних системах більша, ніж доля карликів з дуже великими масами. В цілому можна констатувати, що карлики у подвійних системах менш масивні, але є невелика частина їх з дуже великими масами, тобто близькими до маси Чандрасекхара.

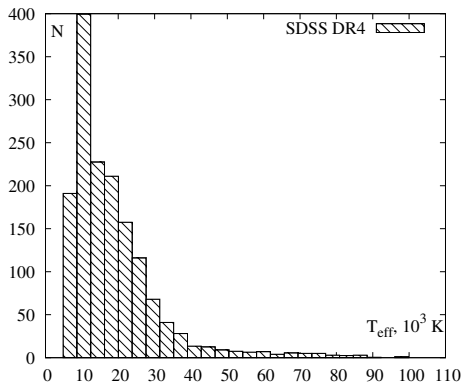


Рис. 2: Розподіл близько 3 тисяч польових вироджених карликів із огляду неба SDSS [4] за ефективними поверхневими температурами

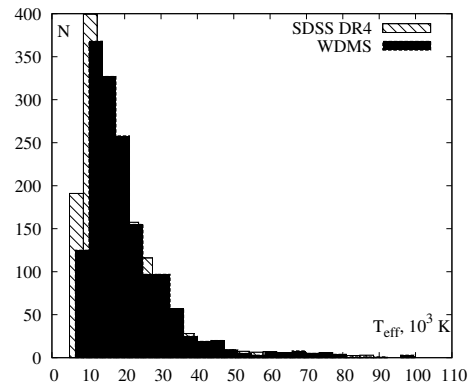


Рис. 3: Розподіли вироджених карликів як у подвійних системах (WDMS) [6], так і польових карликів за ефективними температурами

На рисунку 2 зображено розподіл польових (одинарних) карликів за ефективними температурами фотосфер (масштаб 1:2). Як видно з рисунка 3, на якому наведено розподіл карликів у подвійних системах за температурами на фоні аналогічного розподілу польових карликів, ефективні температури фотосфер карликів у подвійних системах суттєво вищі за ефективні температури польових. З рисунків 2 і 3 бачимо, що T_{eff} для обох груп карликів змінюється в інтервалі $5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4$ К. Відмінності у розподілах є суттєвими в області середніх значень температур ($1.5 \cdot 10^4 \leq T_{eff} \leq 4 \cdot 10^4$) К, хоча невелика кількість карликів має температури аж до 10^5 К.

На рисунку 4 подано координати карликів обох груп на площині “маса - ефективна температура”. При цьому хрестики відповідають польовим, а кружечки - карликам у подвійних системах. Як бачимо, основний масив карликів у подвійних системах займає область $0.2 \leq M/M_{\odot} \leq 1.2$; $8 \cdot 10^3 \text{ К} \leq T_{eff} \leq 4.5 \cdot 10^4 \text{ К}$. Карлики у подвійних системах з великою масою мають низькі температури $8 \cdot 10^3 \text{ К} \leq T_{eff} \leq 1.8 \cdot 10^4 \text{ К}$.

Суттєві відмінності характеристик карликів у подвійних системах від аналогічних величин для карликів польових є підставою для окремого дослідження цих об'єктів.

3 Діагностика карликів подвійних систем

Згідно з нашою робочою гіпотезою, критеріями відбору потенційних кандидатів на попередники наднових є велика маса і значна доля водню. Усереднений за хімічними елементами і координатами хімічний склад є одним з параметрів моделі Чандрасекхара. У роботі [8] показано, що визначення параметрів моделі Чандрасекхара є необхідним кроком, який дозволяє видалити з розгляду недостовірні дані про маси і радіуси карликів, зумовлені значними похибками спостережень, або їх обробкою. Це дозволяє також вибрати метод точнішого опису внутрішньої структу-

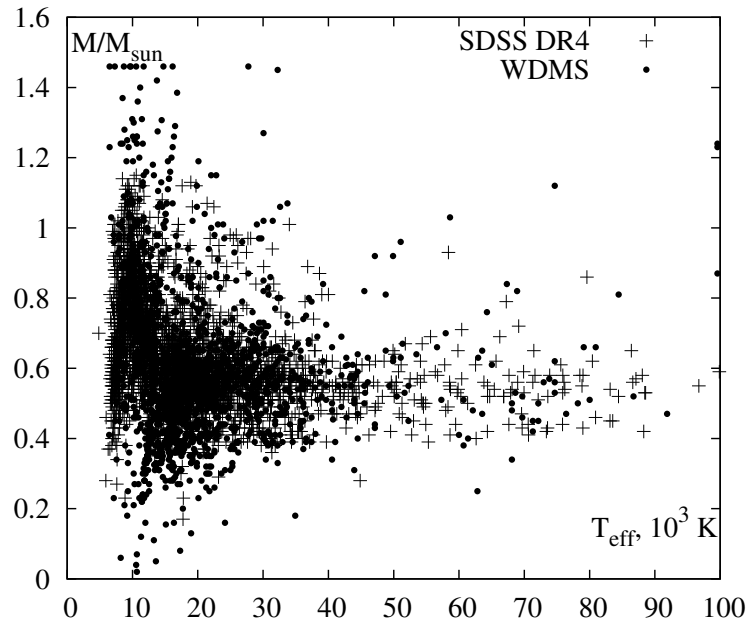


Рис. 4: Маса та ефективні температури вироджених карликів як польових, так і у подвійних системах [4, 6]

ри цих об'єктів.

Як відомо [10], модель Чандрасекхара для холодних карликів є двокомпонентною – вироджений ідеальний релятивістський електронний газ при $T = 0$ К і статична ядерна підсистема, яка розглядається як неперервне класичне середовище. У цій моделі фігурують два параметри: параметр релятивізму у центрі зорі x_0 та параметр хімічного складу $\mu_e = \frac{\langle A \rangle}{\langle Z \rangle}$, де A – масове число ядра, Z – число протонів у ньому. Параметр μ_e вважається сталою величиною, близькою до значення 2.0 ($\mu_e^{max} = 2.15$ відповідає залізнму карлику).

Рівняння механічної рівноваги карлика

$$\frac{dP(r)}{dr} = -\rho(r)G \frac{M(r)}{r^2}, \quad (1)$$

де $P(r)$ – тиск на сфері радіуса r , $\rho(r)$ – густина маси, $M(r)$ – маса всередині цієї сфери, описує розподіл густини вздовж радіуса і дозволяє розрахувати всі характеристики зорі.

У моделі Чандрасекхара використовується рівняння стану ідеального виродженого релятивістського електронного газу при $T = 0$ К,

$$P(r) = \frac{\pi m_0^4 c^5}{3h^3} F(x(r)), \quad (2)$$

$$F(x) = x(2x^2 - 3)(1 + x^2)^{1/2} + 3 \ln [x + (1 + x^2)^{1/2}],$$

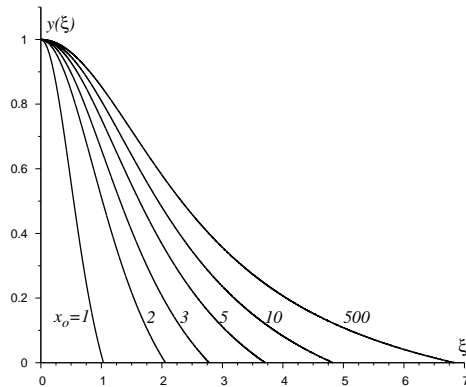


Рис. 5: Розв'язки рівняння (5) для фіксованих значень параметра релятивізму у центрі зорі x_0

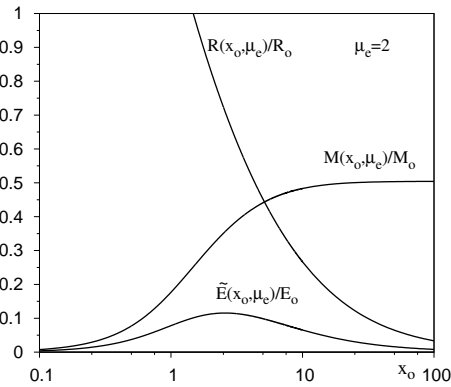


Рис. 6: Залежності радіуса, маси та повної енергії від параметра x_0 при фіксованому μ_e у стандартній моделі Чандрасекхара

де $x(r) = \hbar(m_0c)^{-1}(3\pi^2n(r))^{1/3}$ – локальне значення параметра релятивізму ($n(r)$ – концентрація електронів на сфері радіуса r)

Вводячи безрозмірні змінні

$$\begin{aligned} \xi &= r/\lambda, \\ y(\xi) &= \varepsilon_0^{-1}\{(1+x^2(r))^{1/2}-1\}, \\ \varepsilon_0 &\equiv \varepsilon_0(x_0) = (1+x_0^2)^{1/2}-1, \end{aligned} \quad (3)$$

а також враховуючи співвідношення

$$\rho(r) = m_u\mu_e n(r) = \frac{1}{3\pi^2} \left(\frac{m_0c}{\hbar}\right)^3 x^3(r), \quad (4)$$

зведемо рівняння (1) до безрозмірної форми

$$\frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^2 \frac{dy}{d\xi} \right) = - \left\{ y^2 + \frac{2}{\varepsilon_0} y \right\}^{3/2}. \quad (5)$$

При цьому масштаб λ задовільняє умову

$$\frac{32\pi^2 G}{3(\hbar c)^3} (m_0 m_u c^2 \mu_e \varepsilon_0 \lambda)^2 = 1, \quad (6)$$

де m_u – атомна одиниця маси, m_0 – маса електрона.

За означенням $y(0) = 1$, а вимога регулярності розв'язку при $\xi \rightarrow 0$ дає умову $y'(0) = 0$. Чисельно знайдені розв'язки рівняння (5) ілюструє рисунок 5. Мінімальний корінь рівняння $y(\xi) = 0$ визначає безрозмірний радіус карлика (ми будемо позначати його як $\xi_1 \equiv \xi_1(x_0)$).

$\xi_1(x_0)$ є монотонно зростаючою функцією x_0 і змінюється від 0 до 6.89685... при зміні x_0 від 0 до ∞ . Радіус і маса карлика є функціями параметрів x_0, μ_e :

$$R(x_0, \mu_e) = R_0 \frac{\xi_1(x_0)}{\mu_e \varepsilon_0};$$

$$M(x_0, \mu_e) = \frac{M_0}{\mu_e^2} \mathcal{M}(x_0); \quad (7)$$

$$\mathcal{M}(x_0) = \int_0^{\xi_1(x_0)} d\xi \cdot \xi^2 \left\{ y^2(\xi) + \frac{2}{\varepsilon_0} y(\xi) \right\}^{3/2} = \left(\xi^2 \left| \frac{dy}{d\xi} \right| \right) \Big|_{\xi \equiv \xi_1(x_0)}.$$

Масштаби радіуса і маси визначаються універсальними фізичними сталими

$$R_0 = \left(\frac{3}{2} \right)^{1/2} \frac{1}{4\pi} \left(\frac{h^3}{cG} \right)^{1/2} \frac{1}{m_0 m_u},$$

$$M_0 = \left(\frac{3}{2} \right)^{1/2} \frac{1}{4\pi} \left(\frac{hc}{Gm_u^2} \right)^{3/2} m_u \quad (8)$$

і мають такі числові значення: $R_0 \approx 1.12 \cdot 10^{-2} R_\odot$, $M_0 \approx 2.98 M_\odot$.

У роботі [8] вперше досліджено залежність повної енергії карлика (кінетична енергія електронної підсистеми + енергія гравітаційної взаємодія ядер + енергія спокою електронів $N_e m_0 c^2 = m_0 c^2 (m_u \mu_e)^{-1} M(x_0, \mu_e)$):

$$E(x_0, \mu_e) = \frac{E_0}{\mu_e^3 \varepsilon_0^3} \int_0^{\xi_1(x_0)} d\xi \xi^2 \left\{ x^3(\xi) (1 + x^2(\xi))^{1/2} - \frac{1}{2} F(x(\xi)) \right\}; \quad (9)$$

$$E_0 = G \frac{M_0^2}{R_0},$$

$$x(\xi) = \varepsilon_0 \left\{ y^2(\xi) + \frac{2}{\varepsilon_0} y(\xi) \right\}^{1/2}.$$

Залежність $R(x_0, \mu_e)$, $M(x_0, \mu_e)$, $E(x_0, \mu_e)$ від параметра x_0 при фіксованому значенні $\mu_e = 2.0$ наведено на рисунку 6. Як видно з рисунка, $R(x_0, \mu_e)$ є монотонно спадною функцією x_0 , а $M(x_0, \mu_e)$ – монотонно зростаючою функцією, яка прямує до значення

$$M_{ch} = \lim_{x_0 \rightarrow \infty} M(x_0, \mu_e) = \frac{2.01824}{\mu_e^2} M_0, \quad (10)$$

що при $\mu_e = 2.0$ складає $1.454 M_\odot$.

Формула (9) описує немонотонну залежність енергії (із врахуванням ефектів спеціальної теорії відносності) від параметра x_0 . Максимум відповідає значенню $x_0^* \approx 2.57$. У роботі [11] в рамках варіаційного методу показано, що врахування ефектів загальної теорії відносності приводить до нестійкості моделі в області $x_0 \geq \bar{x}_0 = 23.83$. Точніший розрахунок на основі формули (9) при врахуванні за теорією збурень ефектів загальної теорії відносності дає менше значення, а саме $\bar{x}_0 \approx 13.28$ [8] при $\mu_e = 2.0$, $T = 0$ К. Отже, в околі $\bar{x}_0 = 13.28$ відбувається колапс карлика з утворенням нейтронної зорі, що спостерігається як вибух наднової. Маса карлика при $x_0 = \bar{x}_0$ дещо менша M_{ch} .

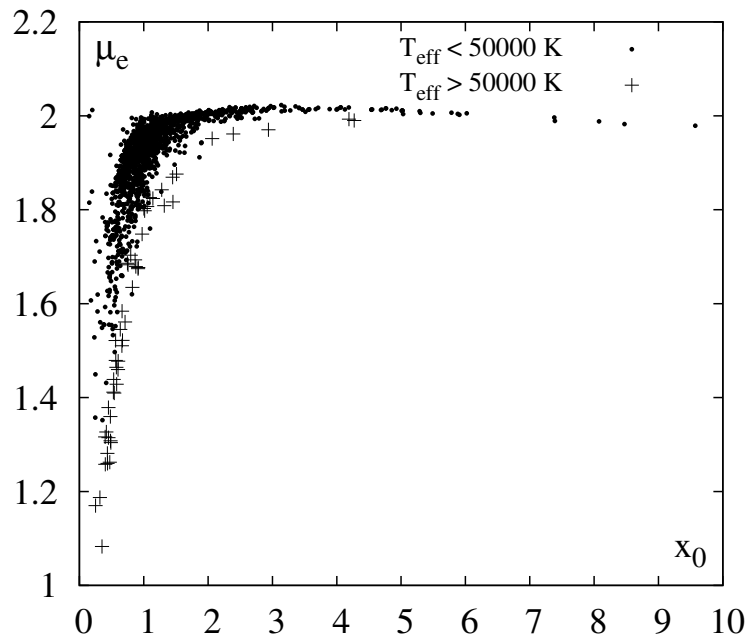


Рис. 7: Площина параметрів стандартної моделі Чандрасекхара для вибірки вироджених карликів у подвійних системах [6]

Розв’язання оберненої задачі – знаходження значень параметрів x_0, μ_e для спостережуваних карликів у подвійних системах – дозволить нам виділити з вибірки карлики з великим значення x_0 (великими масами), а також карлики, у яких $\mu_e < 2.0$ (що може свідчити про наявність у їхніх периферійних шарах водню, зумовленого акрецією), а також протестувати достовірність даних каталога [6] щодо умови $\mu_e \leq 2.15$.

Підставляючи у вирази (7) замість $M(x_0, \mu_e)$ та $R(x_0, \mu_e)$ відомі значення мас і радіусів (M, R) з каталога [6], одержимо систему рівнянь для знаходження параметрів (x_0, μ_e) для спостережуваних карликів. Визначивши x_0 з рівняння

$$\frac{M}{M_0} = \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \frac{M(x_0)\varepsilon_0^2}{\xi_1^2(x_0)}, \tag{11}$$

знаходимо

$$\mu_e = \frac{R_0}{R} \frac{\xi_1(x_0)}{\varepsilon_0}. \tag{12}$$

Результати розрахунків наведено на рисунку 7.

4 Висновки

Як видно з рисунку 7, обидва параметри змінюються у досить широких межах:

$$1.083 \leq \mu_e \leq 2.023, \quad 0.15 \leq x_0 \leq 9.57. \quad (13)$$

Для більшості маломасивних карликів з великими радіусами параметр μ_e є малим. Це свідчить про те, що вони є воднево-гелієвими, або ж мають високі ефективні температури (див. рисунок 7, а також [9]). Невелике число карликів мають великі маси, що дає великі значення x_0 , але все ж значно менші за \bar{x}_0 . Саме ці карлики при умові, що $\mu_e < 2.0$, можна вважати кандидатами на попередників наднових. У таблиці 1 наведено вибірку масивних карликів (за винятком карлика №505, для якого $\mu_e = 2.243$, отже його маса і радіус визначені зі спостережень зі значними похибками). Температури їхніх фотосфер є невисокими. Величезна кількість карликів середніх мас ($0.5M_\odot \leq M \leq 1.0M_\odot$) має значення параметра μ_e , що значно відхиляється від 2.0, а температури фотосфер змінюються від 10^4 до 10^5 К.

Табл. 1: Параметри стандартної моделі Чандрасекхара для масивних вироджених карликів

№	R/R_0	M/M_0	T_{eff}	x_0	μ_e	№	R/R_0	M/M_0	T_{eff}	x_0	μ_e
578	0.558	0.402	12110	3.674	2.014	1083	0.459	0.433	9187	4.855	2.012
58	0.553	0.402	15782	3.709	2.017	2143	0.448	0.436	10073	5.021	2.011
959	0.536	0.409	13127	3.890	2.014	2145	0.448	0.436	10670	5.021	2.011
1029	0.519	0.412	10073	4.063	2.018	648	0.448	0.436	10670	5.021	2.011
326	0.520	0.412	15422	4.055	2.017	64	0.449	0.436	16340	5.009	2.011
35	0.526	0.412	20098	3.997	2.013	1378	0.449	0.440	30071	5.032	2.004
1957	0.525	0.412	9081	4.014	2.016	739	0.432	0.442	13857	5.287	2.010
704	0.508	0.416	11045	4.188	2.018	1624	0.432	0.443	8773	5.299	2.006
1474	0.515	0.416	15964	4.126	2.014	1391	0.422	0.447	16525	5.490	2.005
5	0.482	0.426	16149	4.539	2.013	1581	0.405	0.450	10189	5.783	2.006
1123	0.481	0.426	6504	4.549	2.014	219	0.401	0.453	14472	5.881	2.004
112	0.4816	0.426	9401	4.539	2.013	190	0.394	0.454	11433	6.020	2.005
1729	0.515	0.426	99575	4.188	1.993	1558	0.400	0.454	9958	5.905	2.002
13	0.471	0.430	10670	4.688	2.012	957	0.339	0.471	10793	7.381	1.996
1610	0.465	0.430	11565	4.764	2.016	259	0.340	0.475	8475	7.390	1.989
781	0.465	0.430	8187	4.764	2.016	297	0.318	0.480	16836	8.076	1.988
272	0.470	0.430	8475	4.699	2.013	2195	0.307	0.485	11173	8.472	1.982
1487	0.508	0.430	99575	4.272	1.990	33	0.279	0.492	13745	9.572	1.979
1193	0.454	0.433	10307	4.926	2.015						

В цілому одержані результати є наближеними, бо вони отримані у найпростішій моделі. Однак вони дозволяють вибрати метод опису карликів, що ґрунтується на реалістичніших моделях. Такі моделі запропоновані в роботі [9] для опису маломасивних та низькотемпературних польових карликів. У роботі [8] запропоновано модель для опису маломасивних карликів з хімічним складом, що змінюється вздовж радіуса. Цими ж авторами розроблено також двофазну модель для опису гарячих вироджених карликів з постійним хімічним складом.

Для наших цілей дуже важливим є точне визначення параметра μ_e , але, звичайно, при врахуванні температурних ефектів (неповне виродження електронної підси-

стеми). Тому оптимальною для нас є модель, що поєднує змінний хімічний склад та вплив температури.

Список використаної літератури

1. *Althaus L. G.* Evolutionary and pulsational properties of white dwarf stars / Althaus L. G., Corsico A. H., Isern J., Garcia-Berro E. // *Astron. Astrophys. Rev.* – 2010. – V. 18. – P. 471-566.
2. *Fontaine G.* The Potential of White Dwarf Cosmochronology / Fontaine G., Brassard P., Bergeron P. // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* – 2001. – V. 113. – P. 409-435.
3. *Шануро С.* Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды (часть 1) / Шапиро С., Тьюколски С. – Москва: Мир, 1985. – 256 с.
4. *Tremblay P.-E.* An Improved Spectroscopic Analysis of DA White Dwarfs from the Sloan Digital Sky Survey Data Release 4 / Tremblay P.-E., Bergeron P., Gianninas A. // *Astrophysical Journal.* – 2011. – V. 730. – P. 128-151.
5. *Girven J.* DA white dwarfs in Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 and a search for infrared excess emission / Girven J., Gänsicke B. T., Steeghs D., Koester D. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* – 2011. – V. 417. – P. 1210–1235.
6. *Rebassa-Mansergas A.* Post-common envelope binaries from SDSS - VII. A catalogue of white dwarf-main sequence binaries / Rebassa-Mansergas A., Gänsicke B. T., Schreiber M. R., Koester D., Rodriguez-Gil P. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* – 2010. – V. 402. – P. 620-640.
7. *Звезды и звездные системы* / Под редакцией Мартынова Д. Я. – Москва: Наука, 1981. – 417 с.
8. *Ваврух М.В.* Мікроскопічні параметри та макроскопічні характеристики реальних вироджених карликів / Ваврух М.В., Тишко Н.Л., Смеречинський С.В. // *Журнал фізичних досліджень.* – 2010. – Т. 14. – № 4. – С. 4901-16.
9. *Ваврух М.В.* Модель Чандрасекхара при конечных температурах: определение параметров и расчет характеристик вырожденных карликов / Ваврух М.В., Смеречинский С.В. // *Астрономический журнал.* – 2012. – Т. 89. – № 5. – С. 407-423.
10. *Chandrasekhar S.* An Introduction to the Study of Stellar Structure / Chandrasekhar S. – Chicago: University of Chicago Press, 1939. – 509 p.
11. *Зельдович Я.Б.* Теория тяготения и эволюция звезд / Зельдович Я.Б., Новиков Н.Д. – Москва: Наука, 1971. – 484 с.

Стаття надійшла до редакції 15.08.2012

прийнята до друку 17.10.2012

DIAGNOSTICS OF WHITE DWARFS IN BINARY SYSTEMS**M. Vavrukh, S. Smerechynskyi, B. Shabat***Ivan Franko National University of Lviv
Kyrylo and Mefodiy St., 8, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: mvavrukh@gmail.com*

Properties of distributions by masses and effective temperatures of white dwarfs in binary systems were analysed. Selection criteria were proposed for type Ia supernovae progenitors – relativistic parameter in stellar centre and parameter of chemical composition. Parameters of approximately 1600 white dwarfs in binary systems mentioned above were found in the frame of Chandrasekhar model using their masses and radii. Sample of massive white dwarfs-progenitors of type Ia supernovae events was formed.

Key words: white dwarf, binary star, type Ia supernovae, Chandrasekhar model

**ДИАГНОСТИКА ВЫРОЖДЕННЫХ КАРЛИКОВ В
ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМАХ****М. Ваврух, С. Смеречинский, Б. Шабат***Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия 8, 79005 Львов, Украина
e-mail: mvavrukh@gmail.com*

Проанализированы особенности распределения вырожденных карликов в бинарных звездных системах по массам и эффективным температурам фотосфер, определенным по наблюдательным данным. Сформулированы критерии - параметр релятивизма в центре звезды и параметр химического состава, которые позволяют провести отбор кандидатов в предшественники сверхновых. В рамках модели Чандрасекхара по известным массам и радиусам определены указанные параметры для около 1600 карликов в двойных системах. Сформирована выборка массивных карликов, которые при благоприятных условиях аккреции в будущем могут стать предшественниками сверхновых типа Ia.

Ключевые слова: вырожденный карлик, двойная звездная система, сверхновая типа Ia, модель Чандрасекхара