



Олександр Шевчук

# З ІСТОРІЇ ЖИТТЯ БІЛИХ КАРЛИКІВ

## Частина 1



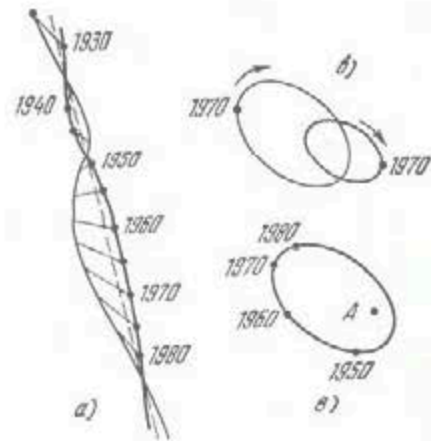
Сиріус А і Сиріус В (малюнок, фантастика)

АСТРОНОМІЧНА ОСВІТА

Знайомтесь: білі карлики

## ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ

У 1844 році директор Кенігсберзької обсерваторії Фрідріх Бессель виявив, що траєкторія найяскравішої зорі неба Сиріуса незначно відхиляється від прямолінійної. (мал. 1). Таке відхилення періодично повторювалось. Бессель висловив гіпотезу, що у Сиріуса є невидимий "темний" супутник і розрахував період обертання обох зір навколо спільного центру мас – приблизно 50 років. Науковий світ поставився до цього повідомлення скептично, адже за під-



Мал.1. Видима орбіта Сиріуса: а) товста крива показує рух головної зорі, тонка – рух супутника; б) рух компонентів навколо спільного центра мас; в) рух супутника навколо головної зорі

рахунками маса невидимого супутника практично така ж, як у Сиріуса. Чому ж тоді супутник невидимий?

У січні 1862 року Альван Грехем Кларк за допомогою власноруч змонтованого 18-дюймового рефрактора (найбільшого на той час телескопу у світі), виявив поблизу Сиріуса тьмяну зорю. Це був темний супутник Сиріуса –

Сиріус В, передбачений Бесселем (мал. 2). Виявилось, що температура поверхні Сиріуса В надзвичайно висока – 25 000 °С, а світність<sup>1</sup> – дуже мала.

Це вказує на дуже малий радіус супутника і, відповідно, надзвичайно велику густину речовини –  $10^6$  г/см<sup>3</sup> (для порівняння: густина Сиріуса  $\approx 0,25$  г/см<sup>3</sup>, густина Сонця  $\approx 1,4$  г/см<sup>3</sup>). Новий клас зір з неймовірно великою густиною (мал. 3) назвали білими карликами. У 1917 році Адріан ван Маанен відкрив ще одного білого карлика в сузір'ї Риб – зорю "ван Маанена".

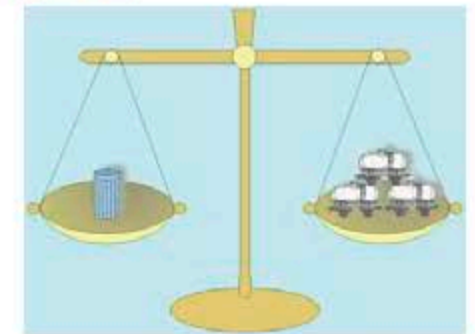


Мал.2. Найяскравіша зоря земного небосхилу Сиріус. Зліва внизу добре видно білий карлик Сиріус В

## НАРОДЖЕННЯ БІЛИХ КАРЛИКІВ

У поясненні походження білих карликів ключову роль зіграли дві ідеї: 1) червоні гіганти утворюються внаслідок вигорання ядерного пального (Е. Епін); 2) зорі в процесі своєї "життєдіяльності" втрачають масу, і це істотно впливає на їхню еволюцію (В. Фесенков). Згодом ці припущення підтвердилися.

У процесі вигорання Гідрогену в надрах зорі<sup>2</sup> синтез Гелію поширюється на ще багаті Гідрогеном ділянки зорі. Так



Мал.3. Склянка речовини білого карлика має масу декілька тисяч тонн

<sup>1</sup>Світність – потужність випромінювання зорі, кількість енергії, яку вона випромінює в навколишній простір за 1 секунду.

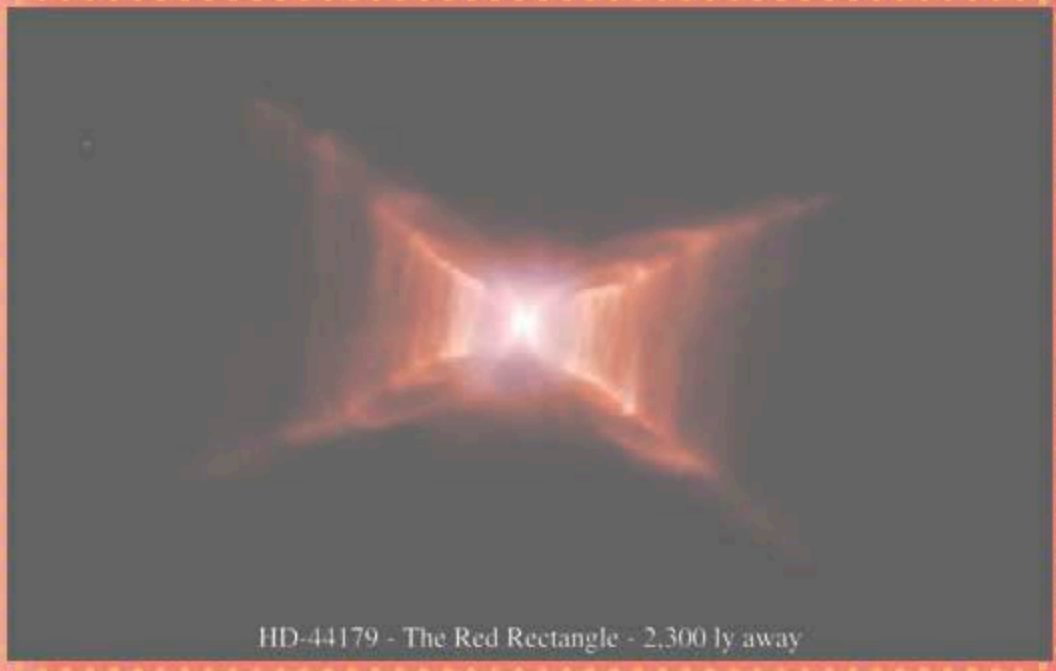
<sup>2</sup>Відповідно до сучасних уявлень про джерела енергії зір, у надрах зорі відбуваються термоядерні реакції. Спочатку вигорає Гідроген, перетворюючись на Гелій, а потім Гелій вигорає, перетворюючись на Карбон.







утворюється сферичний прошарок підвищеної густини на межі збіднених і багатих на Гідроген областей. Ядро зорі щільнішає і стискається. Згодом все повторюється в процесі вигорання Гелію, і в надрах зорі утворюється Карбон. Багаті на Карбон ділянки зоряної речовини, густина яких суттєво збільшується, зосереджуються в сферичному прошарку на межі збіднених і збагачених Гелієм ділянок. Світність зір з такими "двошаровими" областями синтезу значно збільшується, перевищуючи в декілька тисяч разів світність



HD-44179 - The Red Rectangle - 2.300 ly away

Мал. 4. Планетарна туманність HD 44179: асиметричний викид газопилової матерії червоним гігантом

Сонця. Зоря "роздувається", її діаметр збільшується до розмірів земної орбіти (!), а зовнішні шари охолоджуються. Так утворюється червоний гігант. Надалі зона синтезу Гелію переміщується до поверхні зорі; частка маси всередині цієї зони складає приблизно 70 % від маси зорі. Збільшуючись у розмірах, зоря інтенсивно втрачає речовину зі своєї поверхні. Через те, що червоний гігант має високу світність, впродовж кількох тисяч років тиск світла на зовнішні шари зорі може призвести до втрати оболонки. Внаслідок таких процесів утворюються планетарні туманності (мал. 4). При цьому в протяжних зоряних оболонках виникають нестійкості і змінюється концентрація частинок зоряної плазми. Такі коливання (осциляції) супроводжуються зміною теплового режиму зорі. На мал. 4 зображені хвилі густини



матерії, викинутої зорею, внаслідок таких коливань. Після того, як зоря скине оболонку, "оголюється" її гаряче ядро. Так народжується білий карлик. Цей сценарій завершення еволюції червоних гігантів довели численні спостереження. Є давні згадки про те, що порівняно недавно компонента Сиріус В була звичайною дуже яскравою зорею. Колись Сиріус був подвійною зорею червонуватого відтінку. Таке забарвлення системи надавав червоний гігант (компонента В), доки ця зоря перетворилась на карлика.

Білі карлики є компактними зореподібними об'єктами, маси яких майже не відрізняються від маси Сонця, а радіус приблизно в 100 разів менший від радіуса Сонця. Відповідно, світність білих карликів приблизно в 10 000 разів менша, ніж у Сонця. Отже, розміри типового білого карлика співмірні з розмірами Землі (мал. 5).



Мал. 5. Порівняння розмірів Землі та білих карликів

Отже, розміри типового білого карлика співмірні з розмірами Землі (мал. 5).

Білі карлики, зазвичай, не мають власних джерел термоядерної енергії. За чисельністю вони складають (3-10) % зоряного населення нашої Галактики. Наше Сонце теж колись стане червоним гігантом, скине зовнішню оболонку і перетвориться на білого карлика.



Скупчення іонізованого газу навколо білих карликів







Олександр Шевчук

## В ІСТОРІЇ ЖИТТЯ БІЛИХ КАРЛИКІВ

Частина 2

АСТРОНОМІЧНА ОСВІТА

### ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІЛИХ КАРЛИКІВ

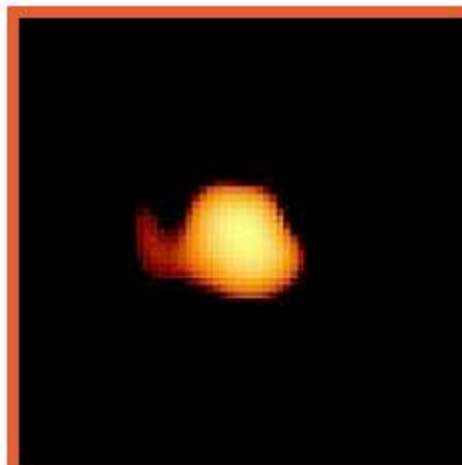
Класична фізика й астрономія не можуть пояснити високу густину білих карликів. Такі пояснення можливі лише в рамках квантової механіки. У 1926 році А. Фаулер у статті „Щільна матерія“ показав, що для білих карликів густина і тиск речовини визначаються властивостями особливого стану матерії, який теоретично передбачив видатний італійський фізик Е. Фермі, – виродженого електронного газу (фермі-газу).

Наступним етапом у поясненні природи білих карликів стали роботи Я. Френкеля і С. Чандрасекара. У 1928 році Френкель зазначив, що для білих карликів існує верхня межа маси, адже гравітаційні сили протидіють тиску електронів фермі-газу, і наслідком такого „протистояння“ є існування деякого значення маси зорі, при якій вони врівноважуються. Оскільки гравітаційні сили залежать від маси сильніше, ніж перепад тиску, при збільшенні маси білого карлика його радіус зменшується. В 1931 році Чандрасекар у роботі „Максимальна маса ідеального білого карлика“

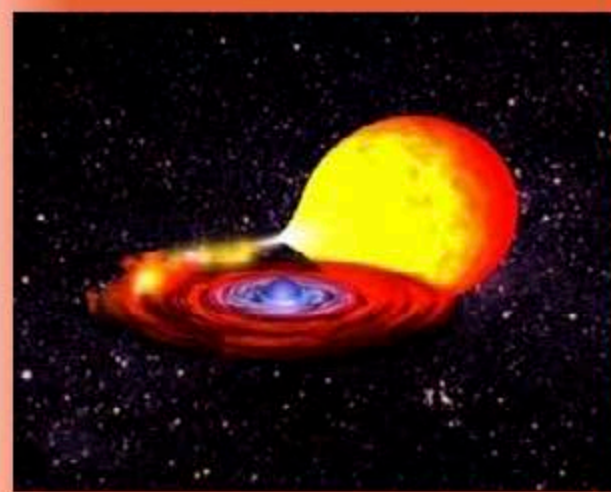
обчислив значення верхньої межі мас білих карликів (маса Чандрасекара). Білі карлики, які мають більшу масу, є нестійкими і повинні стискатися під впливом гравітації. Чисельне значення межі Чандрасекара для білих карликів, які повільно обертаються, дорівнює приблизно 1,4 маси Сонця ( $3 \cdot 10^{30}$  кг або майже 450 000 мас Землі).

### АКРЕЦІЯ НА БІЛІ КАРЛИКИ В ПОДВІЙНИХ СИСТЕМАХ

Зорі різних мас у подвійних системах еволюціонують по різному. Більш масивний компонент еволюціонує швидше і може перетворитися на білого карлика, у той час як менш масивний все ще перебуває в „нормальній“ формі червоного гіганта. Білий карлик своїм потужним гравітаційним полем, неначе порохотяг, втягує речовину „розбухлого“ червоного гіганта і в деякий момент часу починається акреція – падіння цієї речовини на поверхню білого карлика (мал. 1, 2). Акреція на білі карлики, що володіють сильним магнітним полем, призводить до генерації випромінювання плазмою



Мал. 1. Змінна зоря Міра (о Кита) в ультрафіолетовому діапазоні. Видно акреційний „хвіст“, спрямований від основного компонента – червоного гіганта до компаньйона – білого карлика



Мал. 2. Акреція речовини червоного гіганта на поверхню білого карлика (анімація)

в приполярних областях магнітного поля карлика в рентгенівському діапазоні.

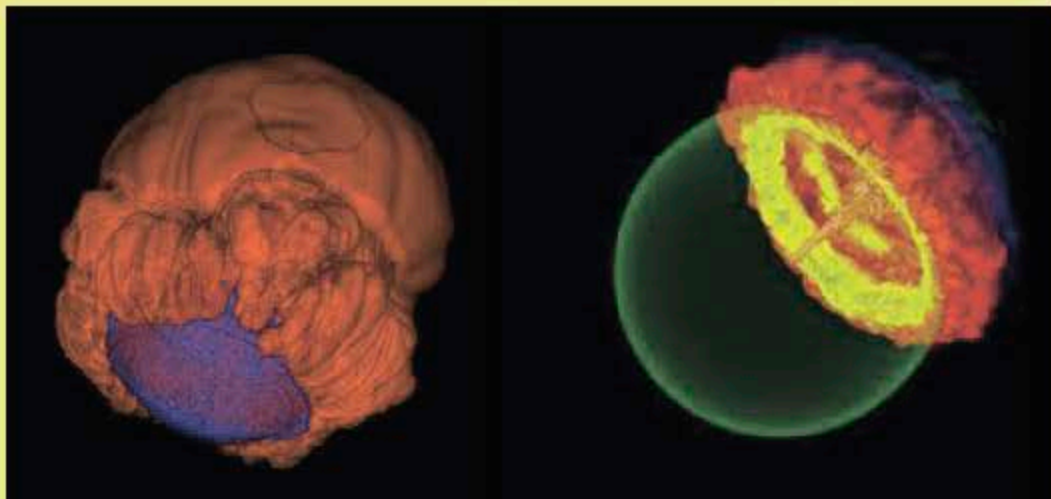
Акреція на білі карлики багаті на водень речовини призводить до його накопичення на поверхні (що складається переважно з гелію) і розігрівання до температур реакції синтезу гелію. У випадку теплової нестійкості це призводить







до вибуху білого карлика (мал. 3). Спостерігається рідкісне та дуже цікаве за своєю фізикою явище – спалах Наднової типу Ia\*.



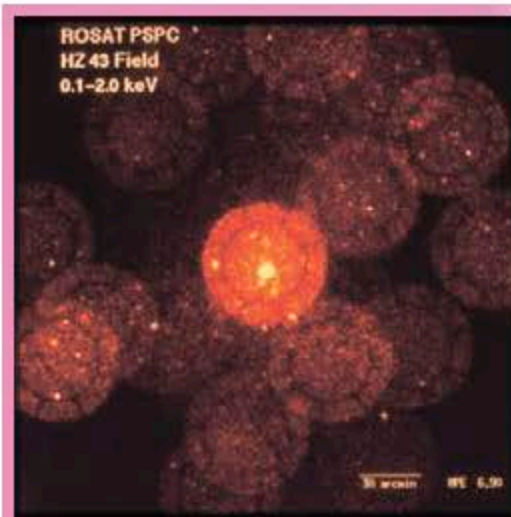
Мал. 3. Анімація вибуху білого карлика

### ЕВОЛЮЦІЯ БІЛИХ КАРЛИКІВ

Білі карлики починають свою еволюцію як оголені ядра червоних гігантів, що скинули свою оболонку, тобто, як центральні зорі молодих планетарних туманностей.

Температура поверхні найбільш гарячих молодих білих карликів дуже висока – понад 700 000 °С. Однак вона досить швидко спадає за рахунок випромінювання з поверхні. Такі дуже молоді білі карлики спостерігаються в рентгенівському діапазоні (прикладом є спостереження білого карлика HZ 43 супутником ROSAT). Температура поверхні найбільш холодних білих карликів – приблизно 5 000 °С.

Білі карлики не мають власних термоядерних джерел енергії. Вони випромінюють за рахунок свого тепла, поступово охолоджуються,



\*Більш докладно про Наднові ми плануємо розповісти в одному з наступних чисел журналу.



тому їхня світність залежить від віку. Врешті білі карлики перетворюються на чорні карлики – холодний залишок колись молоді та потужної зорі. Кількісну теорію охолодження білих карликів побудував у кінці 1940-х років С. Каплан.



### ПУЛЬСУЮЧІ БІЛІ КАРЛИКИ

Пульсуючі білі карлики – підклас білих карликів, світність яких змінюється внаслідок осциляцій хвиль гравітації з періодами від сотень до тисяч секунд. У пульсуючих білих карликів спостерігаються невеликі зміни (приблизно 1–3 %) значення світлового потоку. За характером та динамікою цих змін учені можуть розрахувати внутрішню будову білих карликів.

Вивчення природи, внутрішньої будови, еволюції та розповсюдженості білих карликів у Галактиці триває. Білі карлики ще не раз здивують нас своїми незвичними формами життя та екзотичною неповторністю!

