

## Зорі

Згідно із сучасними уявленнями, за своєю фізичною природою зоря – це самосвітний (на відміну від планет) космічний об'єкт, що складається із високотемпературної плазми - розжареного, майже повністю іонізованого газу. Тобто зоря світить завдяки високій температурі речовини у своїх надрах, де відбуваються термоядерні реакції. Те, що зорі на небосхилі мають різний блиск і колір, зумовлене як розташуванням їх у космічному просторі та віддаленістю від спостерігача, так і різноманітністю їхніх фізичних характеристик – розміру, маси, температури.



Наше **Сонце** — жовта зірка-карлик з діаметром 1392000 км, який у 109,12 разів більший за діаметр Землі. Маса світила становить  $1.99 \cdot 10^{33}$  г, тобто більша за масу Землі майже в 333 тисячі разів. Середня густина речовини Сонця —  $1,41 \text{ г/см}^3$ , тому вважається, що ця речовина перебуває в газоподібному стані. Вона не розлітається в космічний простір завдяки дії загальної сили тяжіння, спрямованої по радіусах до центра Сонця. Прискорення сили тяжіння на поверхні становить  $273,8 \text{ м/с}^2$ , що у 27,9 раза більше за прискорення сили тяжіння Землі. Для того щоб частинка подолала сонячне тяжіння і відірвалася від поверхні Сонця в світовий простір, їй потрібна швидкість, яка б становила 617,7 км/с.

Температура на поверхні Сонця дорівнює приблизно  $6000^\circ\text{K}$ . Потужність сонячного випромінювання становить  $3.88 \cdot 10^{33} \text{ в/с}$ .

Джерелом променевої енергії, яке «живить» Сонце вже протягом майже 6 млрд. років, є термоядерні реакції в його надрах. Основна реакція - перетворення водню у гелій. При цьому чотири протони об'єднуються і, загубивши під час реакції два позитрони, народжують так звану  $\alpha$ -частинку—ядро атома гелію. До того ж протони втрачають частину своєї маси, яка народжує еквівалентне випромінювання - фотони. Ці фотони, багаторазово відбиваючись і випромінюючись, поступово проникають у зовнішні шари, пристосовуючись до умов середовища, через яке вони рухаються назовні. Зіркове середовище непрозоре, тому фотон витрачає дуже багато часу, перш ніж досягне поверхні Сонця. Однак, досягнувши її, тобто фотосфери (шару, з якого випромінювання поширюється у космічний простір), фотон починає рухатися зі швидкістю, близькою до 300 000 км/с.

### ----- Фізичні характеристики зірок (за книгою В. П. Цесевича «Тісні подвійні зірки» - К., Знання, 1980)

Основна характеристика зірки — **світність**, тобто потужність випромінювання. Щоб її визначити, необхідно знати відстань від зірки до Землі (для цього є декілька способів). У загальних рисах **світність зірки  $L$**  — це відношення потужності її випромінювання до потужності випромінювання Сонця.

Обчислені світності зірок виявилися дуже різноманітними. Наприклад, у супутника зірки +4° 4048 каталога Боннського огляду неба світність дорівнює 1/575000 (або  $\log L = -5,76$ ). Це означає, що потужність зазначеного випромінювання в 575 тисяч разів менша за сонячну. З іншого боку, світність зірки  $\zeta_1$  Скорпіона дорівнює майже 480 000 ( $\log L = 5,68$ ).

Друга важлива характеристика зірок — **температура** ( $T$ ) випромінюючого зовнішнього шару, тобто фотосфери. Існує декілька способів її визначення. Один з них базується на аналізі кольору зірки. Чим вища температура фотосфери, тим блакитніша зірка, чим нижча — тим вона червоніша. Встановлено, що у червоної зірки температура становить близько 3000°, у білої — 12000°, а у блакитної — 25000°. Є зірки, температура яких досягає 150000°. Розроблено способи точного визначення кольорів зірок і відповідних температур.

Якщо відомі світність і температура фотосфери, то можна розрахувати і радіус  $R$  зірки. Один із законів теоретичної фізики стверджує, що потужність випромінювання  $J$  одиниці поверхні (скажімо,  $1\text{ м}^2$ ) нагрітого тіла пропорційна четвертій степені температури:  $J = \sigma T^4$ , де  $\sigma$  — певна постійна кількість. Оскільки диск зірки має форму кола радіуса  $R$ , то світна площа становить  $S = \pi R^2$ ; тоді потужність випромінювання диска обчислюється як  $S \cdot J = \sigma \pi R^2 T^4$ .

Потужність випромінювання Сонця дорівнює  $\sigma \pi R_c^2 T_c^4$ , де  $R_c$  і  $T_c$  — радіус і температура Сонця відповідно. Таким чином, знаючи світність зірки  $L = (R/R_c)^2 \cdot (T/T_c)^4$ , вираховуємо радіус із співвідношення

$$R/R_c = L^{1/2} \cdot (6000/T)^2.$$

Радіуси зірок, як і їх світності, досить різноманітні, Є зірки, радіуси яких у десятки і сотні разів більші за радіус Сонця. Такі зірки називаються гігантами. Однак вони не дуже численні. Переважають зірки, розміри яких порівнянні з сонячними. Це зірки-карлики. І карлики, і гіганти належать до «звичайних зірок».

Однак є зірки, радіуси яких набагато менші за сонячний і порівнянні з радіусом Землі. Колір їх білий, тому їх назвали білими карликами. Було виявлено зірки з радіусом близько 30 км. Це нейтронні зірки. Вони, як і білі карлики, відносяться до «незвичайних зірок», хоча їх, мабуть, не менше, ніж зірок «звичайних».

Четверта характеристика зірок — **маса** — визначається за величиною орбітального руху.

До речі, маси багатьох зірок не настільки різняться, як їхні світності та об'єми. Крім того, з'ясувалося, що маса і світність звичайних зірок статистично залежні. Якщо виразити масу зірки  $M$  у частках маси Сонця, то одержимо залежність вигляду  $L = M^n$ , де  $n$  — число, що знаходиться між 3 і 4.

П'ята фізична характеристика — **середня густина речовини** зірки  $\rho$ . Для її визначення слід розділити масу на об'єм. І тут ми зустрічаємося з неочікуваним і дивовижним фактом: середні густини зірок виявилися вкрай різноманітними. Так, у червоної зірки-гіганта  $\rho$  надзвичайно мала і становить від  $10^{-9}$  до  $10^{-6}$  г/см<sup>3</sup>. Це дуже розріджені і протяжні газові хмари, в яких густина речовини порівнянна з густиною лабораторного вакууму.

А «звичайні», подібні до Сонця, зірки-карлики мають середню густину речовини в межах від 0,1 до 10 г/см<sup>3</sup>.

У білих карликів ця характеристика коливається в межах від 50000 до 1000000 г/см<sup>3</sup>, тобто сягає 1 т/см<sup>3</sup>.

Але ще більш дивовижними виявилися нейтронні зорі – у них середня густина речовини становить 10<sup>14</sup> г/см<sup>3</sup>. -----

Такі значні розбіжності властивостей зірок пояснюються їх еволюцією. Зокрема, зорі блакитного і білого кольорів, які мають вищі температури та у середньому більші маси, ніж зорі “тепліших” кольорів та нижчих температур, є молодими, тобто вони утворились порівняно нещодавно. Ці зорі, які належать головним чином до спектральних класів О і В, лише розпочинають свій “життєвий шлях”, тоді як червоні зорі - старі, вони перебувають на завершальних етапах свого існування.

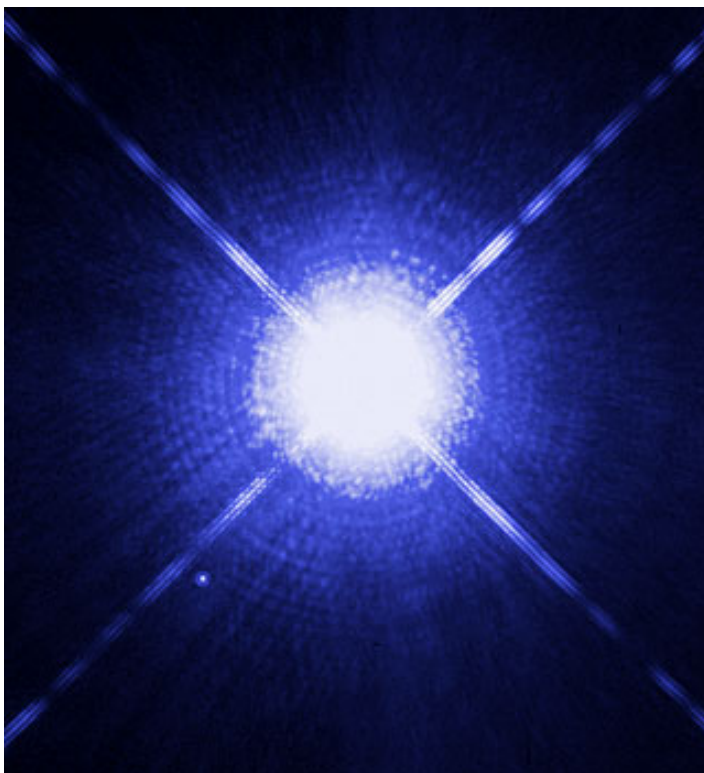
Відстань до найближчої до Сонця зорі (α Центавра) становить 4.3 світлового року (або 1.32 парсека). Через такі великі відстані поверхні зірок не можуть спостерігатися навіть у найбільші з існуючих телескопів. Відстані до найближчих зірок визначають з точних вимірювань їхніх взаємних положень із Землі (а тепер вже й з навколосемного космічного простору) з інтервалом у півроку, використовуючи явище тригонометричного паралаксу. А відстані до далеких зірок визначають зі спеціальних досліджень іншими, складнішими методами.

Для кількісної характеристики блиску зір, тобто освітленості, яку створює та чи інша зоря у місці спостережень, астрономи користуються поняттям видимої **зоряної величини**, яке ввів ще давньогрецький астроном Гіпарх. Неозброєним оком можна спостерігати зорі приблизно до 6-ї зоряної величини (позначається 6<sup>m</sup>), причому найяскравіші зірки мають малі зоряні величини, такі як 0<sup>m</sup>, або навіть від’ємні значення. Так, найяскравіша зимова зоря північного неба, Сіріус, має зоряну величину -1.46<sup>m</sup>, а найяскравіша літня зоря Вега - 0.03<sup>m</sup>. Видима зоряна величина Сонця становить приблизно -26.6<sup>m</sup>. Видима зоряна величина зорі залежить як від її світності, так і від відстані до неї від земного спостерігача. За допомогою різного типу телескопів вдається зібрати більші потоки світла від зір, і тому їхні зображення значно яскравіші (тим яскравіші, чим більший діаметр об’єктива телескопа), ніж при спостереженнях неозброєним оком.



На небосхилі зорі розподілені нерівномірно. Є ділянки, де зірок видно відносно багато. Найбільша кількість зірок на одиницю площі неба спостерігається у вузькій смужі нічного неба, яка називається Молочний (або Чумацький) Шлях і яка являє собою проекцію на земний небосхил площини нашої Галактики (тобто ми дивимось на Галактику з площини її ребра). Крім того, на небі існують невеликі ділянки з підвищеною щільністю зірок, або навіть окремі хмарки, утворені розташованими близько одна від одної на небесній сфері зорями. Це так звані зоряні скупчення. Така нерівномірність пояснюється головним чином справжньою нерівномірністю розподілу зір як у Галактиці, так і у Всесвіті. Частина таких скупчень є просто наслідком проектування на небесну сферу порізного віддалених від спостерігача зірок. Але частина видимих зоряних скупчень насправді утворена близькими між собою зорями, які мають певні спільні характерні риси. Особливо

це стосується так званих кулястих скупчень. Крім того, у масштабах Всесвіту зорі групуються в галактики, які теж спостерігаються на нічному небі у вигляді тьмяних хмаринок. В галактиках зорі рухаються навколо спільного центра мас.



#### Кулясте скупчення NGC6397

Credit: *D. Verschate (Antilhue Observatory, Chile)*

#### Кратна система Сіріуса

(у центрі - яскравий Сіріус А; нижче і лівіше – ледь помітний Сіріус В)

Credit: *NASA, ESA, H. Bond (STScI), and M. Barstow (University of Leicester)*

Значна частина зірок нашої Галактики є так званими кратними зорями, які мають спільний центр мас і обертаються навколо нього. Зі спостережень відомі подвійні зорі, а також потрійні і навіть чотирикратні системи. Астрономи вважають, що від 50% до 90% усіх зірок нашої Галактики є кратними зорями. Якщо площини орбіт кратних (подвійних) зір лежать у площині променя зору земного спостерігача, то спостерігається періодична змінність блиску таких зірок. Їх називають затемнено-подвійними.

Крім таких змінних зірок, є й фізично змінні зорі, тобто такі, які не входять до кратних систем, проте помітно змінюють свій блиск. Такі зміни мають дуже широкий діапазон у часі: від сотень років до годин і менше. Існують також спалахуючі зорі, що змінюють свій блиск раптово й швидко, а також так звані нові й наднові зорі, блиск яких збільшується протягом декількох годин або днів на дуже значну величину – у мільйони разів, а потім з часом повільно зменшується. З такими процесами пов'язане утворення нових космічних об'єктів – різного типу туманностей, нейтронних зірок, чорних дір і т.п. За сучасними уявленнями, такі явища є проявами еволюційних процесів у зорях, які народжуються, розвиваються й вмирають.



#### «Світлове ехо» червоної зірки-супергіганта V838 Mon

Credit: *NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (AURA/STScI)*

Зірки, які не є змінними, називаються «нормальними». До таких зірок належить і наше Сонце.

Зорі – це найпоширеніші об'єкти у Всесвіті, у них міститься понад 98% видимої речовини Всесвіту. У зорях відбувається синтез та перетворення хімічних елементів, які потім за сприятливих умов можуть стати складовими живих організмів.