

СПОСТЕРЕЖУВАНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗІР

Відстані до зір

Кожну зорю можна схарактеризувати кількома параметрами: маса M , світність L , радіус R , ефективна температура T , хімічний склад зоряної речовини.

Однак мало що можна сказати про перші три характеристики, якщо невідома відстань до зорі r . В основі прямого методу визначення відстаней до зір лежить явище паралактичного зміщення. Унаслідок обертання Землі навколо Сонця близька зоря зміщується на загальному фоні далеких зір. Річним паралаксом називають найбільший кут, під яким із зорі було б видно радіус земної орбіти $a = 1 \text{ а. о.}$ (через величезну віддаленість зір і майже колову орбіту Землі поняття великої півосі і радіуса орбіти стають ідентичними).

Як виявилось, для усіх зір (крім Сонця) цей кут менший за $1''$, і для вимірювання відстаней до них астрономічна одиниця занадто мала. Тому використовують одиницю вимірювання, яку називають парсеком (пк), від слів «паралакс» і «секунда», оскільки з відстані в 1.pk радіус земної орбіти видно під кутом $1''$.

Сьогодні методом річних паралаксів з певністю можна визначати відстані до зір з $r < 1000$.пк. Тим часом у Галактиці налічується більше 200 млрд зір, поперечник її диска перевищує 100 000 св. років, тобто близько 31 000 .пк. Зіставлення наведених тут чисел показує, наскільки малим є об'єм, досяжний сьогодні для безпосередніх вимірів відстаней астрометричним методом.

Абсолютна зоряна величина. Світності зір

Визначена зі спостережень видима зоряна величина m зорі нічого не говорить про справжню потужність її випромінювання — світність зорі. Світністю зорі L називають повну кількість енергії, що її випромінює зоря з усієї своєї поверхні за одиницю часу. Оскільки відстані до зір, їх радіуси і температура поверхні різні, то близька зоря з невеликою світністю може виглядати яскравішою, ніж далека зоря з потужним випромінюванням. Однак після того, як знайдено відстані до зір, можна переобчислити і знайти ті зоряні величини, які вони мали б, якби знаходилися на однаковій стандартній відстані. За таку стандартну відстань приймають 10 пк. Зоряну величину M , яку мала б зоря, якби вона перебувала на відстані 10 пк, називають абсолютною зоряною величиною.

З дотеперішніх оцінок світностей багатьох тисяч зір зроблено висновок, що зорі дуже істотно відрізняються між собою за потужністю власного випромінювання. В одних зір світності у сотні, тисячі і навіть мільйони разів більші, у найслабкіших — у сотні тисяч разів менші від світності Сонця $L_{\odot}$. Найбільшу світність у Галактиці має зоря HD 93129A, що перебуває в комплексі η Кіля: її світність становить майже $L = 3,2 \cdot 10^6 L_{\odot}$.

Температури і радіуси зір

Безпосередньо ефективні температури і розміри зір можна визначити у тих випадках, коли виміряно їхні видимі кутові діаметри. Під температурою зорі розуміють температуру її фотосфери — ефективну температуру $T_{\text{еф}}$. Радіус фотосфери вважають радіусом зорі R .

Як виявилось, температура переважної більшості зір перебуває в межах від 2800 К до 35 000 К, хоча відомі об'єкти, для яких вона має значення менше або більше від наведених.

Як виявилось, серед зоряного населення є зорі гіганти і надгіганти, радіуси яких у сотні і тисячі разів більші від радіуса Сонця $R_{\odot}$. І навпаки, існують стаціонарні зорі, в яких радіуси у десятки і сотні разів менші від $R_{\odot}$.

Маси зір

Маса — одна з найважливіших характеристик кожної зорі, від якої залежать усі інші її параметри: світність L , радіус R , ефективна температура $T_{\text{еф}}$, а також особливості їхніх змін з часом і, взагалі, тривалість життя зорі. Визначення зоряних мас є складною задачею. Досить надійно обчислити масу зорі можна лише у випадку, якщо ця зоря є компонентом подвійної системи.

За допомогою прямих методів на сьогодні відомо всього для дещо більше 200 зір. Серед них мінімальне значення становить $0,1M_{\odot}$ і максимальне — $19,7M_{\odot}$.

Спектри зір. Спектральна класифікація

З 1885 р. розпочато систематичні фотографічні дослідження спектрів зір неба, підсумком чого є великий каталог Генрі Дрепера — скорочена назва «HD», опублікований у дев'яти томах у 1918–1924 рр., в якому подано класифікацію спектрів 225 330 зір, а також їх координати та зоряні величини. Є також доповнення до основного каталогу «HD», яке містить у собі інформацію про 134 000 зір.

Як виявилося, серед сотень тисяч зір важко знайти хоча б дві, спектри яких були б ідентичними. І все ж, якщо знехтувати дрібнішими відмінностями, ці спектри можна поділити на кілька спектральних класів. Загальноновживаною є Гарвардська класифікація (створена у Гарвардському університеті, США), спектральні класи в якій позначено літерами в такому порядку:

O – B – A – F – G – K – M

Для більш точної спектральної класифікації зір вживають числові індекси. Кожен спектральний клас поділяється на 10 підкласів (від 0 до 9), що дає змогу точніше встановити відповідність між температурою зорі та її спектральним класом. Наприклад, зоря з температурою поверхневого шару (фотосфери) близько 30 000 K матиме спектральний клас B0, а зорі з 13 000 K відповідає спектральний клас B7.

У спектрах зір класу O (тут і далі будемо говорити тільки про видиму частину спектра: довжина хвилі від 390 нм до 760 нм) присутні лінії іонізованого Гелію, двократно іонізованих атомів Карбону, Нітрогену, Оксигену, трикратно іонізованого Силіцію. Ефективна температура для цього спектрального класу перевищує 30 000 K. Спостережувані характеристики зір інтенсивність випромінювання цих зір в ультрафіолетовій частині спектра зумовлює їх голубуватий колір.

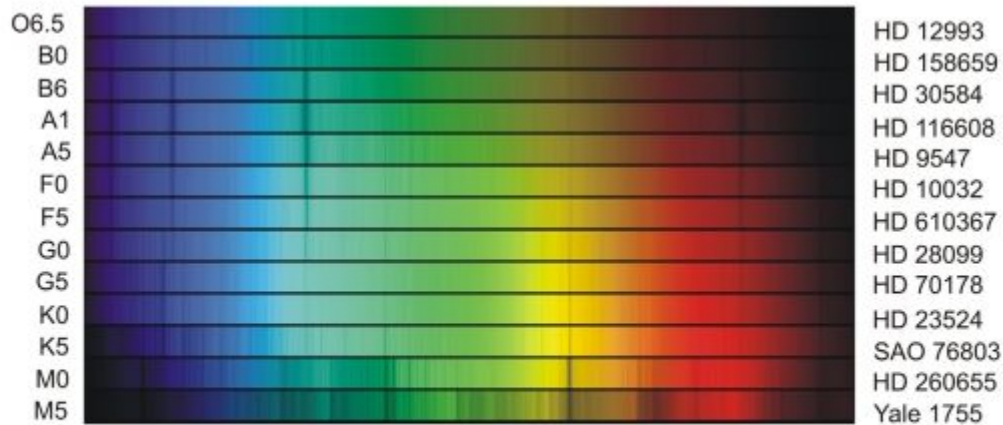


Рис. 14.2. Спектри зір різних спектральних класів; зліва вказаний спектральний клас, справа — номер зорі за каталогами Генрі Дрепера (HD), Смітсонівської (SAO) та Йельської (Yale) обсерваторій

У спектрах зір класу B (голубувато-білі) інтенсивні лінії нейтрального Гелію, а також Карбону, Нітрогену, Оксигену і Силіцію, але в нижчих стадіях іонізації. Ефективна температура перебуває в інтервалі від 10 000 K до 30 000 K

Клас А — білі зорі. Значення ефективної температури в інтервалі 7300–10 000 К.

Клас F — жовтувато-білі зорі. Ефективна температура — у межах 5600–7700 К.

Клас G — жовті зорі, серед них і Сонце, яке належить до підкласу G2. Ефективна температура 4500–6000 К.

Клас K — оранжеві зорі. Значення ефективної температури є у межах 3700–5300 К.

Клас M — червоні зорі. Ефективна температура нижча за 3700 К.

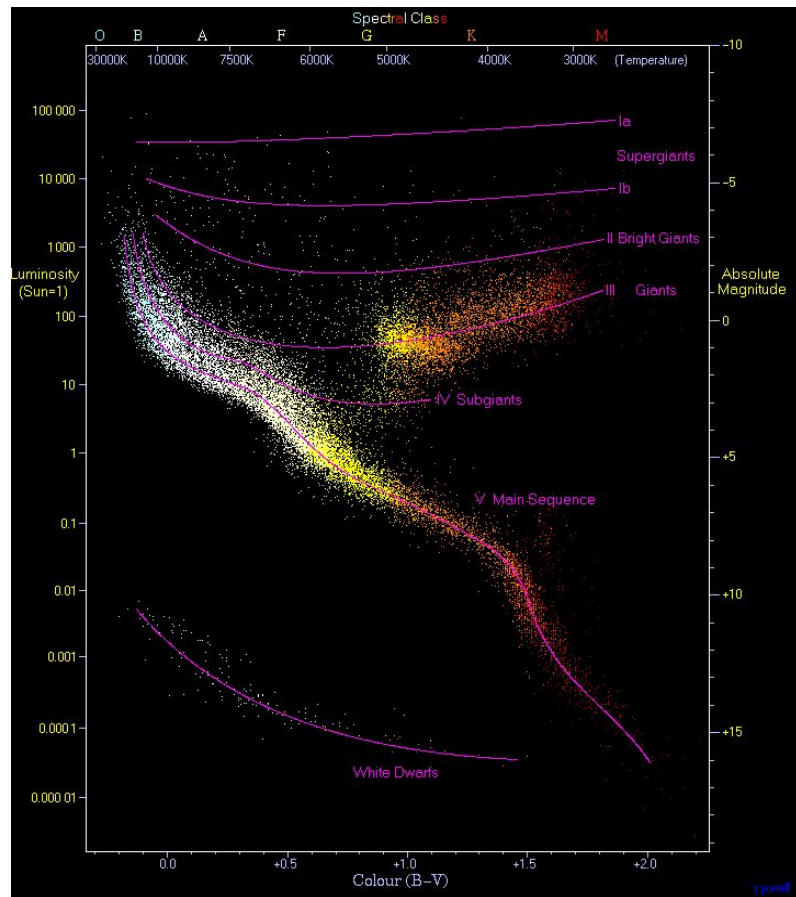
Для розширення можливостей класифікації введено додатково ще два спектральних класи.

Так, зорі спектрального класу С мають такі ж спектри, що й К і М зорі, однак у них є багато сильних смуг поглинання молекул Карбону C_2 та ціану CN. Тому ці зорі отримали назву карбонових.

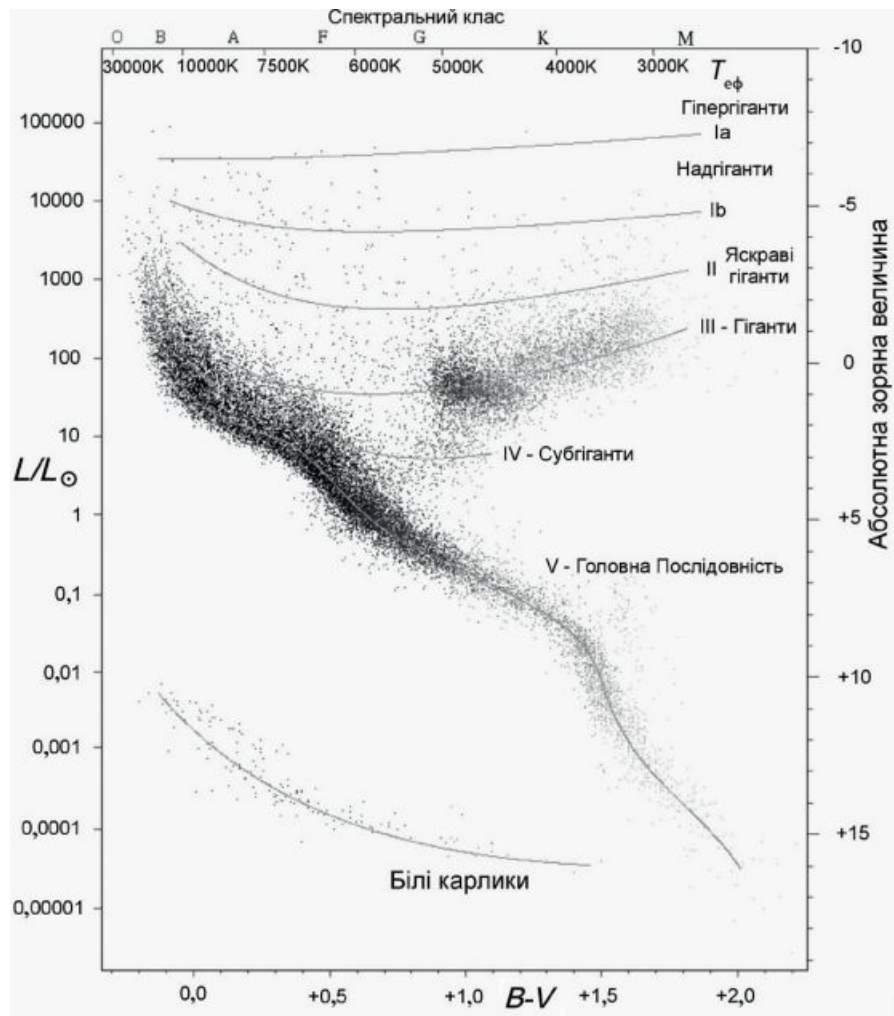
Спектри зір класу S характеризуються наявністю смуг окислів рідких земель, головним чином Цирконію ZrO , Ітрію YO та Лантану LaO . За іншими ознаками спектри цих зір подібні до спектрів зір класів К–М.

У зв'язку з відкриттям субзір (1995 р.) було продовжено гарвардський ряд спектральних класів, шляхом введення нових: L, T і Y. Моделювання внутрішньої структури субзір показало, що їх ефективна температура має бути менше 2600 K.

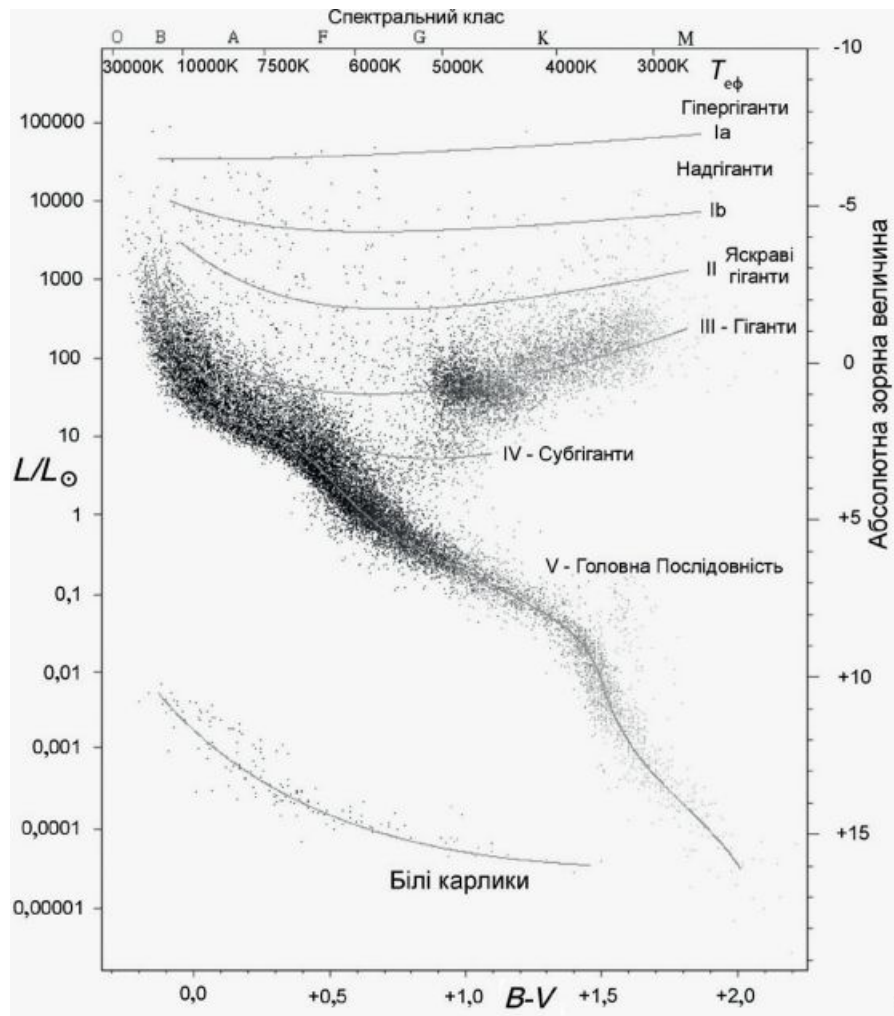
Діаграма «спектральний клас – світність»



Якби між світностями зір та їхніми спектральними класами не було ніякої залежності, то зорі заповнювали б поле діаграми рівномірно. Насправді ж вони утворюють на ній кілька угруповань — послідовностей.



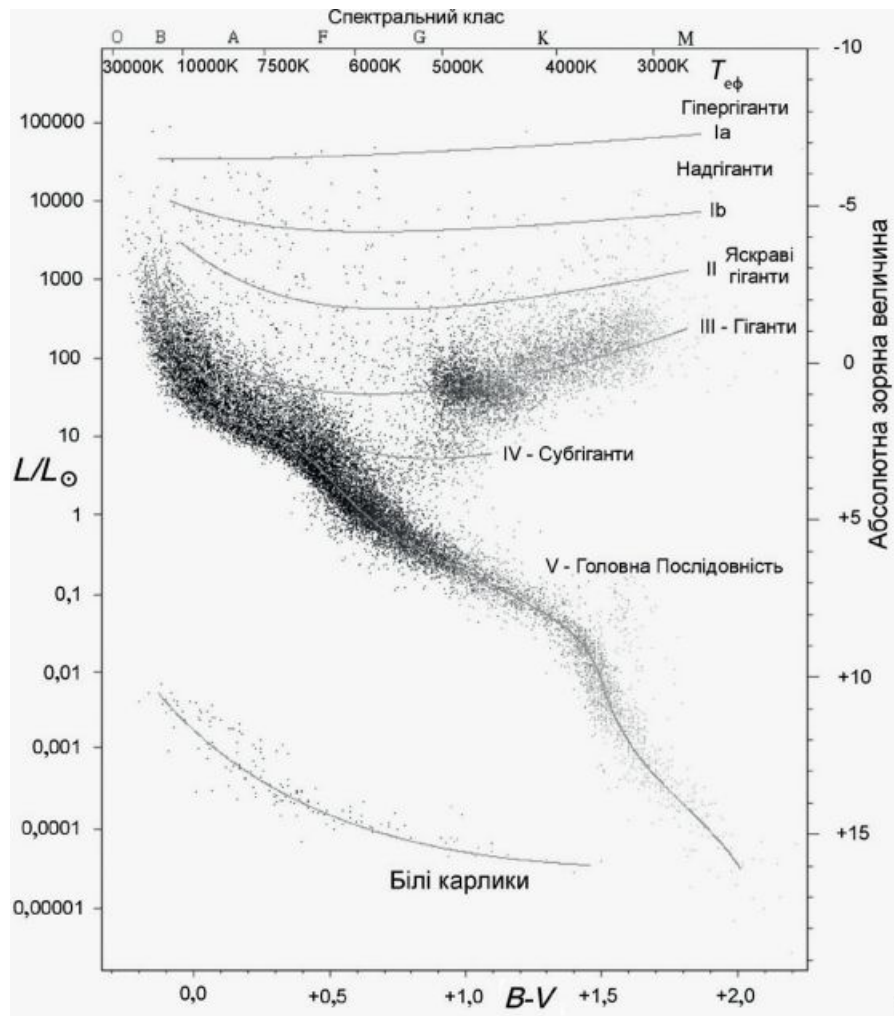
Близько 85% зір зосереджено уздовж вузької смуги, що перетинає поле діаграми від лівого верхнього кута до правого нижнього. Цю смугу називають головною послідовністю (ГП). Всі зорі, які мають температури і світності, що відповідають положенню на головній послідовності, називають нормальними карликами класу світності V (клас світності вказують після спектрального класу зорі). Наприклад, наше Сонце — зоря класу G2V.



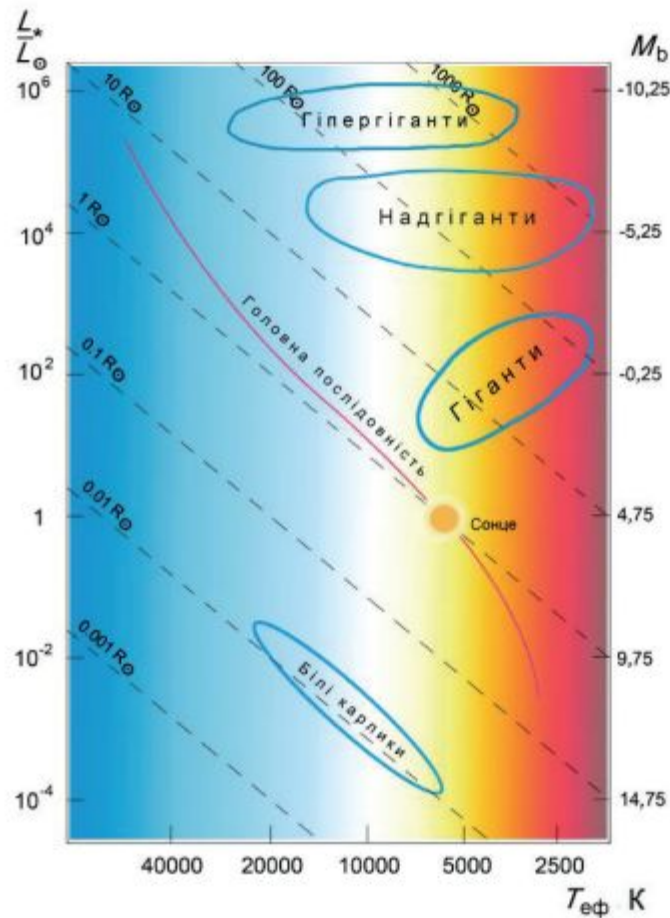
Вище головної послідовності розташована гілка гігантів (клас світності III). Між нею та головною послідовністю розташовані зорі-субгіганти (клас світності IV).

Дещо більшу, ніж у гігантів, світність мають яскраві гіганти (клас світності II)

зорі найбільшої світності — надгіганти розташовані у верхній частині діаграми. Надгіганти мають клас світності I. Менш яскраві з них позначаються Ib, більш яскраві — Ia, а надгіганти з найпотужнішим випромінюванням (гіпергіганти) — Ia-0.



Дещо нижче від головної послідовності розташована послідовність *субкарликів*, а істотно нижче від головної послідовності, в зоні низької світності — *білі карлики*.



Параметри деяких зір різних класів світності і різних спектральних класів

Назва зорі	Спектральний клас	Ефективна температура T_{ef} , К	Світність $L/L_{\odot}$	Маса $M/M_{\odot}$	Радіус $R/R_{\odot}$	Середня густина $\bar{\rho}$, кг/м ³
Головна послідовність						
Ахернар А	B6	14 100	3 150	6,7	9,4	10
Вега	A0	9 000	40,1	2,1	2,6	170
Альгаїр	A7	7 760	10,6	1,8	1,8	440
α Кентавра А	G2	5 790	1,5	1,1	1,2	890
70 Змієносця А	K0	5 300	0,59	0,9	0,91	1700
зоря Барнарда	M4	3 130	0,0035	0,14	0,2	24 400
Гіганти						
Тубан	A0	10 370	120	2,8	3,4	100
Арктур	K0	4300	170	1,1	26	0,1
Надгіганти						
Рігель А	B8	12 100	$1,2 \cdot 10^5$	23	78,9	0,065
Антарес А	M1	3 570	67 700	12,4	680	$5,6 \cdot 10^{-5}$
Білі карлики						
Сіріус В	DA1,9	25 200	0,056	0,98	0,0084	$2,3 \cdot 10^9$

Рис. 14.4. Типові значення радіусів зір різних спектральних класів і класів світності