

*

Фізичні характеристик и зір

*

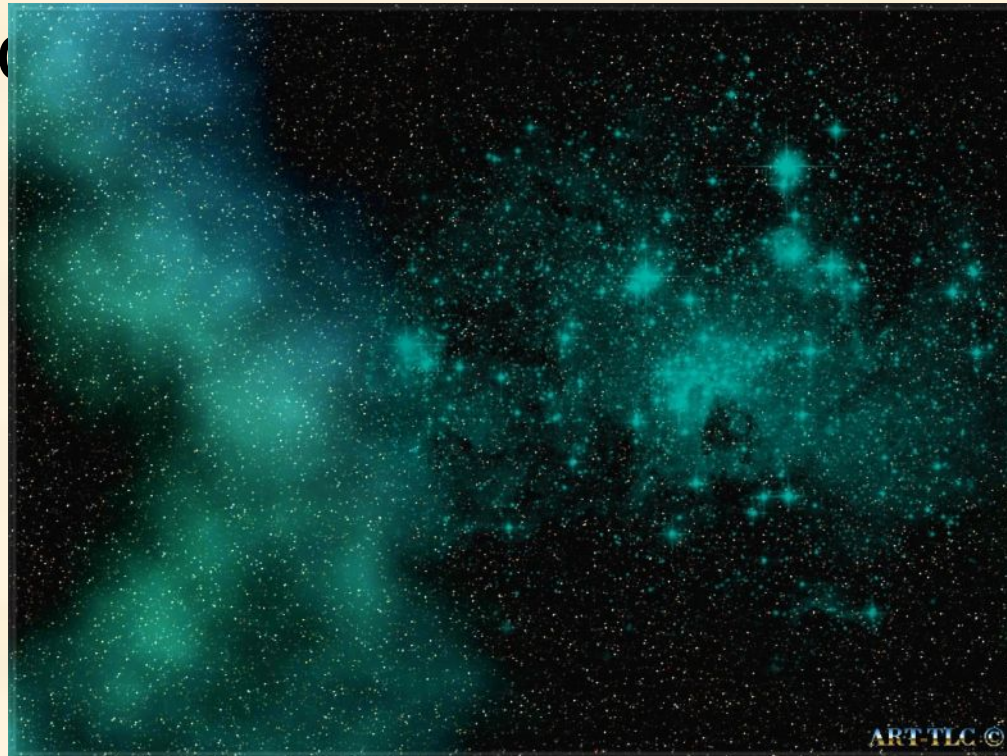
План уроку

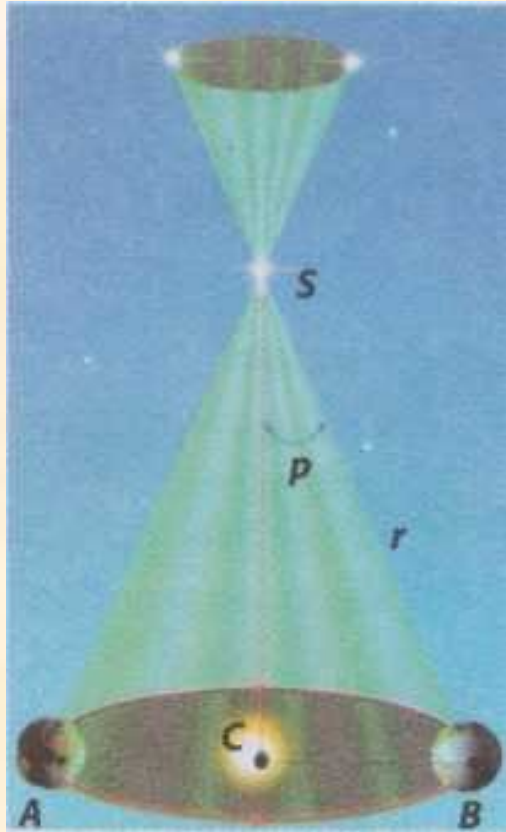
1. Вимірювання відстаней до зір.
2. Видимі зоряні величини.
3. Абсолютні зоряні величини і світність зорі.
4. Колір і температура зір.
5. Радіуси зір.
6. Діаграма спектр-світність.

1. Вимірювання відстаней до

зір

Зорі розташовані в мільйони разів далі, ніж Сонце, тому горизонтальні паралакси зір відповідно в мільйони разів менші, і виміряти такі малі кути ще нікому не вдавалося.





Для вимірювання відстаней до зір астрономи змушені визначати річні паралакси, які пов'язані з орбітальним рухом Землі навколо Сонця. У точці S розташоване Сонце; A, B — положення Землі на орбіті з інтервалом 6 місяців; $BC = 1$ а. о. — відстань від Землі до Сонця (велика піввісь земної орбіти); S — зоря, до якої треба визначити відстань; p — річний паралакс зорі. Відстань від Землі до зорі визначається з прямокутного трикутника CSB : $\frac{BC}{\sin p} = \frac{1 \text{ а.о.}}{\sin p}$

Річний паралакс можна вимірювати тільки протягом кількох місяців, поки Земля, а разом із нею і телескоп, рухаючись навколо Сонця, не перемістяться у космічному просторі.

Річні паралакси зір астрономи намагалися визначати ще за часів М.Коперника, що могло стати незаперечним доказом обертання Землі навколо Сонця та утвердженням геліоцентричної системи світу. Але тільки у 1837 р. В.Струве в Пулковській астрономічній обсерваторії (Росія) визначив річний паралакс зорі Вега (α Ліри).

Найбільший паралакс має найближча до нас зоря *Проксіма Кентавра* — $p=0,76''$, але її в Європі не видно. З яскравих зір, які можна бачити в Україні, найближче до нас перебуває зоря Сіріус (α Великого Пса), річний паралакс якої $p=0,376''$.



Відстань до зір вимірюють у світлових роках, але в астрономії ще використовують одиницю *парсек* (пк) — відстань, для якої річний паралакс $p=1''$ (парсек — скорочення від паралакс-секунда).

$$1 \text{ пк} = 1 \text{ а.о.} / \sin 1'' = 206\,265 \text{ а.о.} \approx 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км}$$

Співвідношення між парсеком та світловим роком таке: $1 \text{ пк} \approx 3,26 \text{ св. року}$.

Якщо річний паралакс вимірюється кутовими секундами, то відстань до зір у парсеках можна виразити такою формулою:

$$r \approx 1/p'' \text{ пк.}$$

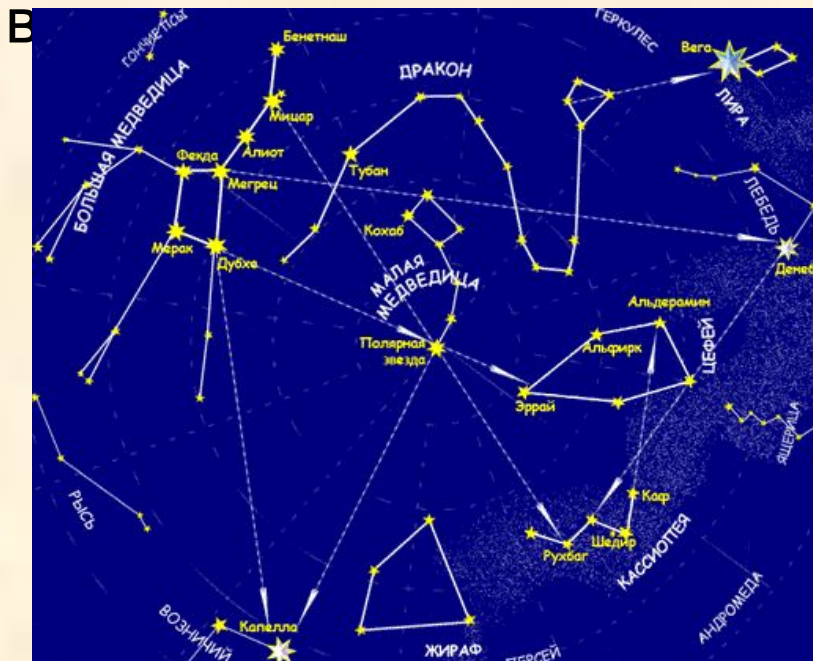
Відстань до найближчих зір

	<u>Зоря</u>	<u>Відстань</u>	
		<u>Св.р.</u>	<u>пк</u>
1.	Проксима	4,2	1,3
2.	Барнарда	5,9	1,8
3.	Вольф 359	7,5	2,4
4.	Сиріус	8,8	2,6
5.	Росс 154	9,5	2,9
6.	Ерідана	11,0	3,3
7.	Проціон	11,4	3,5
8.	Альтаір	16,5	5,1
9.	Вега	26,5	8,1
10.	Арктур	36,0	11,0
11.	Капелла	45,0	13,8

2. Видимі зоряні величини

Уперше термін «зоряна величина» був уведений для визначення яскравості зір грецьким астрономом Гіппархом у II ст. до н. е. Тоді астрономи вважали, що зорі розміщені на однаковій відстані від Землі, тому яскравість залежить від розмірів цих світил. Зараз ми знаємо, що зорі навіть в одному сузір'ї розташовуються на різних відстанях, тому видима зоряна величина визначає тільки деяку кількість енергії, яку реєструє наше око за певний проміжок часу.

Гіппарх розділив усі видимі зорі за яскравістю на 6 своєрідних класів — 6 *зоряних величин*. Найяскравіші зорі були названі зорями першої зоряної величини, більш слабкіші — другої, а найслабкіші, які ледве видно на нічному небі,— шостої. У ХІХ ст. англійський астроном Н. Погсон (1829—1891) доповнив визначення зоряної величини ще однією умовою: зорі першої зоряної величини мають бути у 100 разів яскравіші за зорі шостої



Зорі поблизу Полярної, що використовують як стандарт для визначення видимих зоряних величин

Видиму зоряну величину позначають літерою m . Для будь-яких зоряних величин m_1, m_2 буде справедливе таке відношення їх яскравості E_1 та E_2 :

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$$

Видима зоряна величина m визначає кількість світла, що потрапляє від зорі до нашого ока. Найслабкіші зорі, які ще можна побачити неозброєним оком, мають $m=+6^m$.

Рівняння $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$ називають формулою Погсона. Яскравість E фактично визначає освітленість, яку створюють зорі на поверхні Землі, тому величину E можна вимірювати *люксами* — одиницями освітленості, які застосовують у курсі фізики. Згідно з формулою, якщо різниця зоряних величин двох світил дорівнює одиниці, то відношення блиску буде $\approx 2,512$.

Для визначення видимих зоряних величин небесних світил астрономи взяли за стандарт так званий північний полярний ряд — це 96 зір навколо північного полюса світу. Найяскравіша серед них — Полярна має зоряну величину $m=+2^m$. Відносно цього стандарту найслабкіші зорі, які ще можна побачити неозброєним оком, мають зоряну величину $+6^m$, у бінокль видно зорі до $+8^m$, у шкільний телескоп видно світила до $+11^m$, а за допомогою найбільших телескопів сучасними методами можна зареєструвати слабкі галактики до $+28^m$. Дуже яскраві небесні світила мають від'ємну зоряну величину. Наприклад, найяскравіша зоря нашого неба Сиріус має видиму зоряну величину $m= - 1,6^m$, для найяскравішої планети Венери $m= - 4,5^m$, а для Сонця $m= -$

*

Видимі та абсолютні зоряні величини деяких зір

<u>Зоря</u>	<u>m</u>	<u>M</u>
Сонце	-26,7	+4,8
Сиріус	-1,6	+1,3
Арктур	-0,1	-0,3
Вега	0	+0,5
Капелла	+0,1	-0,7
Рігель	+0,1	-7,5
Проціон	+0,4	+2,6
Бетельгейзе	+0,4	-6,0
Альтаїр	+0,8	+2,2
Денеб	+1,3	-7,4

3. Абсолютні зоряні величини і світність зорі

Хоча Сонце є найяскравішим світилом на нашому небі, це не означає, що воно випромінює більше енергії, ніж інші зорі.

З курсу фізики відомо, що освітленість, яку створюють джерела енергії, залежить від відстані до них, тому невелика лампочка у вашій кімнаті може здаватися набагато яскравішою, ніж далекий прожектор. Для визначення *світності*, або загальної потужності випромінювання, астрономи вводять поняття абсолютної зоряної величини M . Зоряну величину, яку мала б зоря на стандартній відстані $r_0 = 10$ пк, називають **абсолютною зоряною величиною**.

Приблизно на такій відстані (11 пк, або 36 св. років) від нас розташована зоря Арктур, вона має видиму зоряну величину, яка майже дорівнює абсолютній. Сонце на відстані 10 пк мало б вигляд досить слабкої зорі п'ятої зоряної величини, тобто абсолютна зоряна величина Сонця $\approx +5^m$.

- **Абсолютна зоряна величина M** визначає яскравість, яку мала б зоря на стандартній відстані 10 пк.
- **Світність** зорі визначає потужність випромінювання зорі.
- **За одиницю світності** приймається потужність випромінювання Сонця $4 \cdot 10^{26}$ Вт.
- Якщо відома відстань до зорі r в парсеках та її видима зоряна величина m , то абсолютну зоряну величину M можна визначити за допомогою такої формули:

$$M = m + 5 - 5 \lg r$$

Світність зорі визначає кількість енергії, що випромінює зоря за одиницю часу, тобто потужність випромінювання зорі. За одиницю світності в астрономії приймають потужність випромінювання Сонця $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Якщо відома абсолютна зоряна величина зорі M , то її світність визначається за допомогою такої

формули:

$$L = \frac{E}{E_{\text{сон}}} = 10^{0,4(5-M)}$$

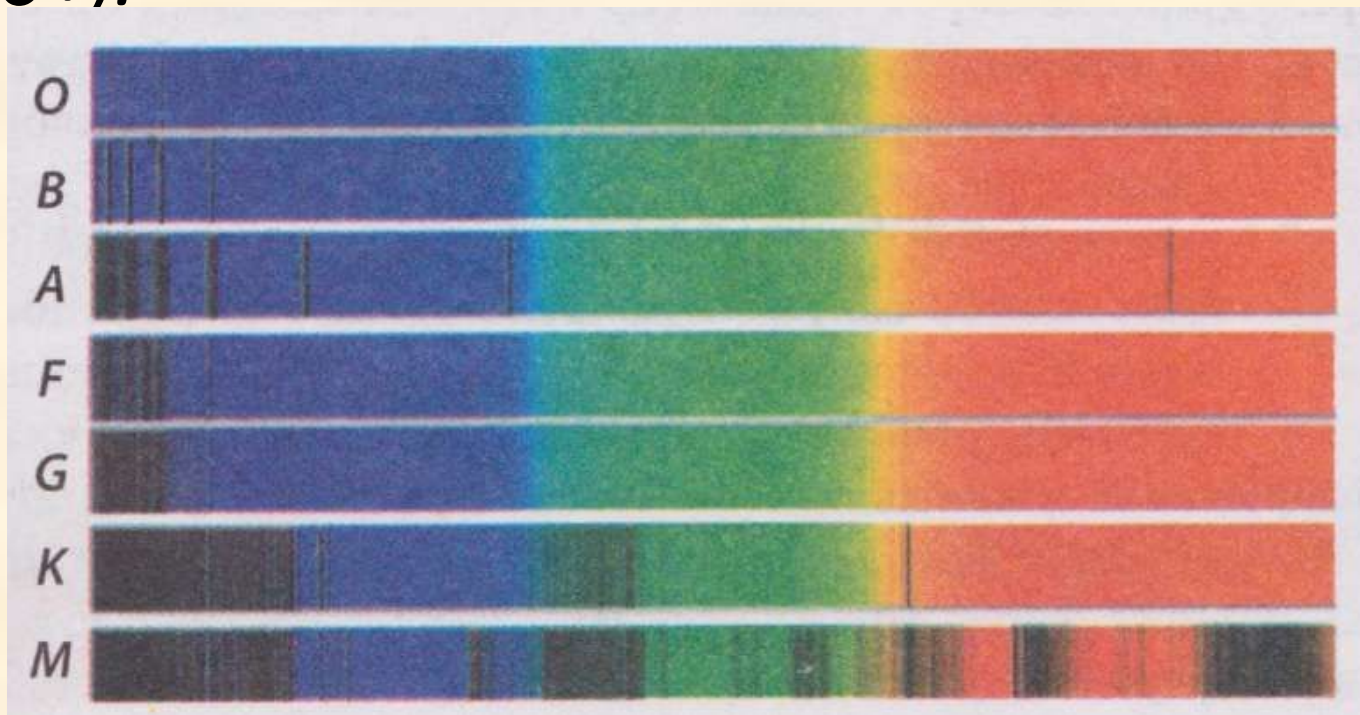
Світність L деяких зір

Зоря	L
• Сонце	1
• Денеб	90000
• Рігель	70000
• Бетельгейзе	25 000
• Полярна	17600
• Капелла	150
• Арктур	102
• Вега	54
• Сиріус	23
• Альтаїр	10

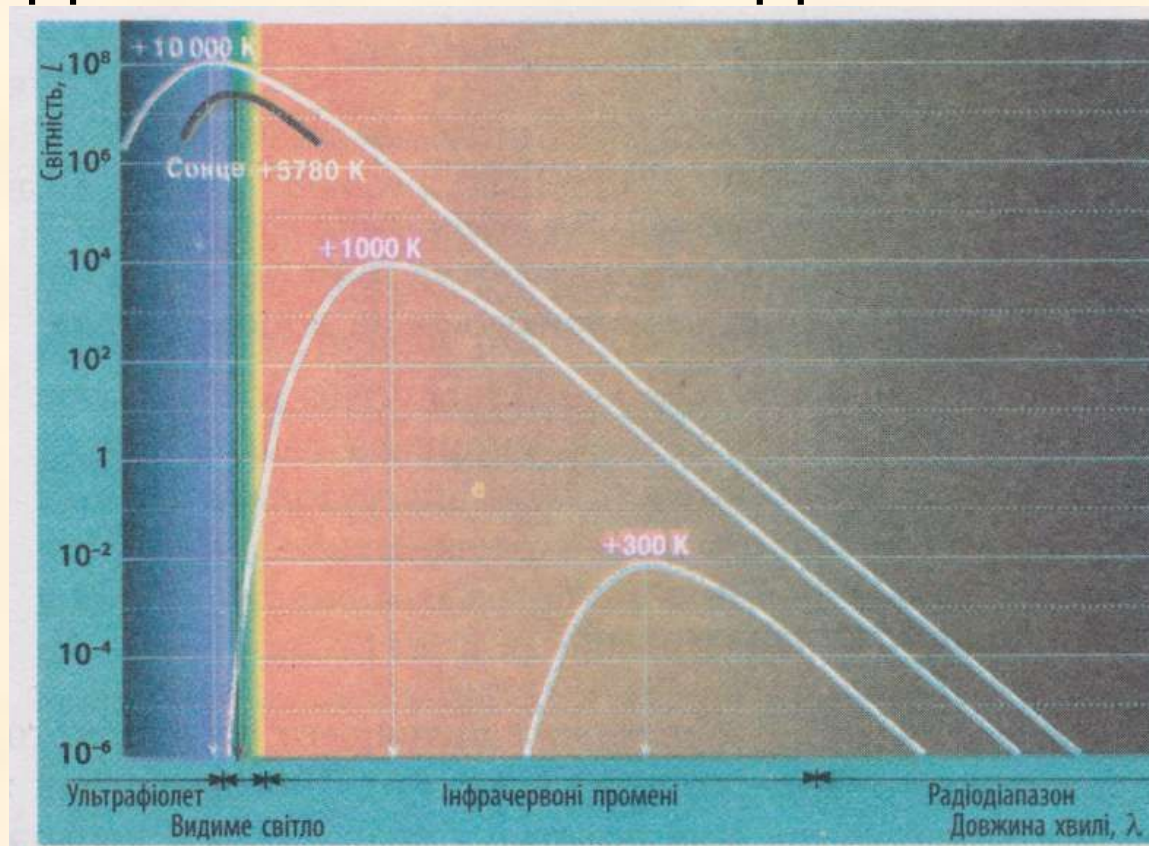
4. Колір і температура зір

Температуру зорі можна визначити за допомогою законів випромінювання *чорного тіла*. Найпростіший метод вимірювання температури зорі полягає у визначенні її кольору. Правда, неозброєним оком можна визначити тільки колір яскравих зір, бо чутливість нашого ока до сприйняття кольорів при слабкому освітленні дуже мала. Колір слабких зір можна визначити за допомогою бінокля або телескопа, які збирають більше світла, тому в окулярі телескопа зорі здаються нам яскравішими.

За температурою зорі розділили на 7 спектральних класів, які позначили літерами латинської абетки: *O, B, A, F, G, K, M* (англійське прислів'я: «*Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me*» — «*будь гарною дівчиною, поцілуй мене*»).



Найвищу температуру на поверхні мають сині зорі спектрального класу O, які випромінюють найбільше енергії у синій частині спектра. Кожний спектральний клас поділяється на 10 підкласів: A0, A1... A9.



Звичайно у спектрі кожної зорі є темні лінії поглинання, які утворюються в розрідженій атмосфері зорі та в атмосфері Землі й показують хімічний склад цих атмосфер. Виявилось, що всі зорі мають майже однаковий хімічний склад, бо основні хімічні елементи у Всесвіті — Гідроген та Гелій, а основна відмінність різних спектральних класів обумовлена температурою зоряних фотосфер.

5. Радіуси зір

Для визначення радіуса зорі не можна використати геометричний метод, бо зорі розташовуються настільки далеко від Землі, що навіть у великі телескопи ще до недавнього часу неможливо було виміряти їхні кутові розміри — усі зорі мають вигляд однакових світлих точок.

Для визначення радіуса зір астрономи використовують закон Стефана—Больцмана:

$$Q = \delta \cdot T^4$$

де Q — енергія, що випромінює одиниця поверхні зорі за одиницю часу; δ — стала Стефана—Больцмана; T^4 — абсолютна температура поверхні зорі.

Потужність, що випромінює вся зоря з радіусом R , визначається загальною площею її поверхні, тобто $Q = 4\pi R^2 \cdot \delta \cdot T^4$.

З іншого боку, таке ж співвідношення ми можемо записати для енергії, що випромінює Сонце: $E_{\text{сон}} = 4\pi R_{\text{сон}}^2 \cdot \delta \cdot T_{\text{сон}}^4$.

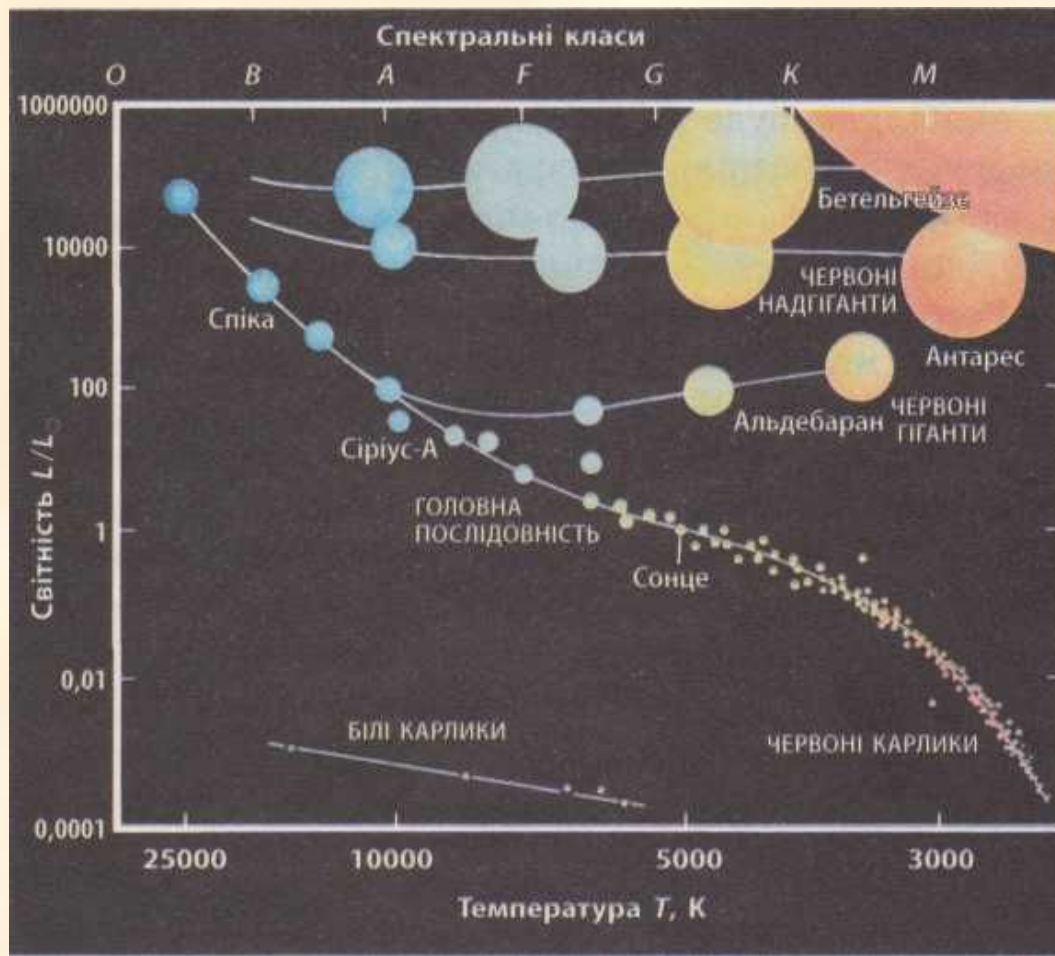
Таким чином, з рівнянь можна визначити невідомий радіус зорі, якщо відомі радіус $R_{\text{сон}}$ і температура $T_{\text{сон}}$ Сонця:

$$\frac{R}{R_{\text{сон}}} = (L)^{0,5} \frac{T_{\text{сон}}^2}{T^2},$$

де L — світність зорі в одиницях світності Сонця.

6. Діаграма спектр-світність

Сонце за фізичними параметрами належить до середніх зір — воно має середню температуру, середню світність і т. ін. За статистикою, серед великої кількості різноманітних тіл найбільше таких, які мають середні параметри. Наприклад, якщо виміряти зріст і масу великої кількості людей, які мають різний вік, то найбільше буде людей із середніми величинами цих параметрів. Астрономи вирішили перевірити, чи багато в космосі таких зір, як наше Сонце. Для цієї мети Е.Герцшпрунг (1873—1967) та Г.Рессел (1877—1955) запропонували діаграму, на якій можна позначити місце кожної зорі, якщо відомі її температура та світність. Її названо **діаграмою спектр—світність**, або **діаграмою Герцшпрунга—Рессела**.



Діаграма Герцшпрунга-Рессела

По осі абсцис позначена температура зір, по осі ординат – світність. Сонце має температуру 5780 K і світність 1. Холодніші зорі на діаграмі розташовані праворуч (червоного кольору), а більш гарячі – ліворуч (синього кольору). Зорі, що випромінюють більше енергії, розташовані вище Сонця, а зорі-карлики – нижче. Більшість зір, до яких належить і Сонце, розташовані у вузькій смужці, яку називають *головною послідовністю зір*.

Діаметри зір головної послідовності відрізняються у кілька разів, а їхня світність згідно із законом Стефана—Больцмана визначається температурою поверхні. До цієї смуги входять Сонце та Сиріус. Суттєва різниця в температурі на поверхні зір різних спектральних класів пояснюється різною масою цих світил: чим більша маса зорі, тим більша її світність. Наприклад, зорі головної послідовності спектральних класів O та B у кілька разів масивніші за Сонце, а червоні карлики мають масу в десятки разів меншу, ніж сонячна.

Окремо від головної послідовності на діаграмі розташовуються *білі карлики* (ліворуч знизу) та *червоні надгіганти* (праворуч зверху), які мають приблизно однакову масу, але значно відрізняються за розмірами. Гіганти спектрального класу *M* мають майже таку саму масу, як білі карлики спектрального класу *B*, тому суттєво відрізняється середня густина цих зір.

Наприклад, радіус червоного гіганта Бетельгейзе у 400 разів більший, ніж радіус Сонця, але маса цих зір майже однакова, тому червоні гіганти спектрального класу *M* мають середню густину в мільйони разів меншу, ніж густина земної атмосфери. Типовим представником білих карликів є супутник Сиріуса, радіус якого майже такий, як радіус Землі, а густина має фантастичну величину $3 \cdot 10^6$ г/см³, тобто наперсток речовини білого карлика важив би на Землі 10000 Н. Ще більшу густину мають нейтронні зорі та чорні діри.

Білі карлики — зорі, що мають радіус у сотні разів менше сонячного і густину в мільйони разів більшу за щільність води.

Червоні карлики — зорі з масою меншою, ніж сонячна, але більшою, ніж у Юпітера. Температура і світність цих зір залишаються сталими протягом десятків мільярдів років.

Червоні гіганти — зорі, що мають температуру 3000—4000 К і радіус у десятки разів більший, ніж сонячний. Маса цих зір не набагато більша від маси Сонця. Такі зорі не перебувають у стані рівноваги

Висновки

Фізичні характеристики зір: світність, температура, радіус, густина — суттєво різняться між собою. Між цими характеристиками існує взаємозв'язок, який відображає еволюційний шлях зорі. Сонце за своїми параметрами належить до жовтих зір, які перебувають у стані рівноваги і не змінюють своїх розмірів протягом мільярдів років. У космосі існують зорі-гіганти, які в тисячі разів більші, ніж Сонце, і зорі-карлики, радіус яких менший, ніж радіус Землі.

Тести

1. Якими одиницями астрономи вимірюють відстань до зір?
А. Кілометрами. **Б.** Астрономічними одиницями.
В. Паралаксами. **Г.** Світловими роками. **Д.** Парсеками.
2. Видима зоряна величина визначає:
А. Світність зорі. **Б.** Радіус зорі. **В.** Яскравість зорі. **Г.** Освітленість, яку створює зоря на Землі. **Д.** Температуру зорі.
3. На якій відстані абсолютна та видима зоряні величини мають однакове значення?
А. 1 а. о. **Б.** 10^4 а. о. **В.** 1 св. рік. **Г.** 10 св. років. **Д.** 1 пк. **Е.** 10^6 пк.
4. Які з наведених спектральних класів зір мають на поверхні найвищу температуру?
А. А; **Б.** В; **В.** F. **Г.** G; **Д.** K, E, M. **Є.** O.
5. Виберіть температуру на поверхні та спектральний клас, до якого належить Сонце:
А. А 10000 К; **Б.** В 10000 К; **В.** С 6000 К; **Г.** G 6000 К; **Д.** М 3000 К.

6. Які зорі мають найвищу температуру на поверхні, і до якого спектрального класу вони належать?
Найвищу температуру мають зорі спектрального класу

O.

7. У чому полягає різниця між видимою та абсолютною зоряними величинами?

Видима зоряна величина визначає кількість енергії, яка потрапляє від зорі в наше око, якщо ми проводимо спостереження на поверхні Землі. Абсолютна зоряна величина визначає кількість енергії, яка потрапляла б до нашого ока, якби ми перебували на стандартній відстані 10 пк.

8. Як астрономи вимірюють температуру зір?

Астрономи визначають температуру зір за допомогою законів випромінювання абсолютно чорного тіла — законів Стефана—Больцмана та Віна.

9. Якого кольору зорі мають найвищу температуру на поверхні? Які найменшу?

Найвищу температуру фотосфери мають зорі синього кольору, а найменшу — червоні.

10. Чи існують зорі, маса яких менша за масу Землі? Радіус яких зір менший від радіуса Землі?

Зорі, що мають меншу від Землі масу, не можуть існувати. Зорі, радіус яких менший за радіус Землі, існують — це нейтронні зорі.

Домашнє завдання

1. Опрацювати § 13.
2. Підготувати доповіді на тему:
 - Життя зір: від народження до кінцевих стадій еволюції.
 - Зорі, що змінюють свій блиск.
 - Пульсари — нейтронні зорі.
 - Чорні діри: що це таке і чи існують вони?