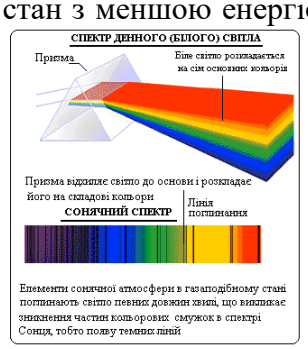
МЕТОДИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ В АСТРОФІЗИЦІ .

Не можна не захоплюватись досягненнями людського розуму, які не один раз ставили в незручне становище навіть відомих філософів, котрі з невірою ставились до пізнавальних можливостей науки. В 1844 році філософ-позитивіст Огюст Конт (1798 – 1867) в своєму творі «Філософський трактат про популярну астрономію» писав : «...Ми нічого не можемо дізнатися про зорі, крім того, що вони існують. Навіть температура їх поверхні назавжди залишиться невизначеною... ». Лише три роки не дожив філософ до народження методу спектрального аналізу, за допомогою якого не тільки була визначена температура зір, а й визначені інші важливі їх характеристики, зокрема, швидкість.

§ 4. Спектри зір

1. Спектри випромінювання та поглинання. Хімічний склад зір

Атоми речовини, при переході зі стану з більшою енергією, в стан з меншою енергією, випромінюють, а при зворотних переходах – поглинають порцію енергії (квант), що характеризується певною частотою. За квантовою теорією, атомна система може мати лише ту енергію, яка належить до певної множини значень. Набір певних можливих значень енергії означає відповідний *набір частот випромінювання, або поглинання – спектр випромінювання, або поглинання.*



Енергія випромінювання речовини в газоподібному стані складається з енергій випромінювання окремих частинок (атомів, молекул, іонів) газу.

Розклад випромінювання в спектр можна здійснити, наприклад, пропусканням через призму.

При розкладі випромінювання атомарних газів спостерігається декілька кольорових ліній (*лінійчатий спектр випромінювання*).

Кількість цих ліній, їх колір та розташування в картині спектрального розкладу (спектрі) є індивідуальною характеристикою даного виду мікрочастинок.

Спектр випромінювання речовини в рідкому або твердому стані (спектр білого світла) має вигляд суцільної райдужної смужки, що свідчить про наявність у атомів речовини будь-якого значення енергії, внаслідок взаємодії між ними. Саме значеннями енергії взаємодії

атомів пояснюються те, що спектри випромінювання молекулярних газів не лінійчаті, а смугасті.

Згідно закону збереження енергії, які частоти випромінюються, такі і поглинаються.

Щоб отримати спектр поглинання можна пропустити біле світло через речовину в газоподібному стані. В спектрі білого світла, після проходження через газ, виникають чорні лінії поглинання на тлі суцільної веселкової смужки.

Спектри зір є спектрами поглинання, що свідчить про газоподібний стан та високу температуру зовнішніх шарів зорі. Наявність характерних ліній поглинання та їх інтенсивність дає інформацію про хімічний склад зорі.

Спектральний аналіз показує, що основними елементами у складі зорі є водень (біля 70 – 90 %) та гелій (біля 19 – 30%). біля одного відсотку складають інші елементи.

Чорні лінії поглинання в спектрі випромінювання Сонця назвали на честь першого їх спостерігача *лініями Фраунгофера*. Порівнюючи розташування цих ліній з складеними спектральними атласами, виявили, що всі елементи в складі Сонця існують на Землі, за винятком одного, який назвали *гелієм* – сонячним. Проте сенсації не сталося, так як в результаті цілеспрямованих досліджень, через деякий час, цей елемент був знайдений і на Землі.

§5. Температура та радіус зір

Температуру зорі за спектром її випромінювання можна визначити використовуючи *закон Віна* виведений ним в 1893 р.(Вільгельм Карл Вернер ВІН, Wien W, 1864 – 1928, Німеччина, Нобелівська премія, 1911 р.).За цим законом добуток *довжини хвилі, на яку припадає максимальна густина енергії випромінювання(λ_m) абсолютного випромінювача на його температуру (T) є величиною сталою (сталою Віна) рівною*

$b = 2{,}898\cdot 10^{-3}$ м·К $\approx 3\cdot 10^{-3}$м·К.

$$\lambda_m T = b.$$

Так максимальна випромінювальна здатність Сонця припадає на жовто-зелені хвилі $\lambda_m \approx 0{,}5\cdot 10^{-6}$м (саме до такої довжини хвилі найбільш чутливе око людини, яке пристосовувалось до цього кольору, який також панує в рослинному світі Землі).

Оцінимо *температуру поверхні Сонця.*

$$T_0=\frac{b}{\lambda_{mc}}\approx 6000K.$$

Згідно закону Віна , відмінність кольору зір означає відмінність їх температур.

Найнижчу температуру (2000—4500 К) мають зорі червонуватого кольору (Арктур зі сузір'я Волопаса, Антарес зі сузір'я Скорпіона, Полукс зі сузір'я Близнюків, Бетельгейзе зі сузір'я Оріона, Альдебаран зі сузір'я Тільця). Температуру в межах 5000—6000 К мають жовтуваті зорі типу Сонця, до 15000 К мають білі зорі, і найвищу температуру, до 30 000—50 000 К – блакитні зорі.

Інший спосіб оцінки температури поверхні зір дає *закон Стефана – Больцмана*, експериментально встановлений в 1879 р. Йозефом СТЕФАНОМ (Stefan J.,1835 – 1893, Австрія) і у 1884 р. теоретично виведений його учнем Людвігом БОЛЬЦМАНОМ (Boltzmann L.,1844 – 1909, Австрія).

Згідно цьому закону, відношення потужності випромінювання до площі поверхні повного випромінювача та четвертої степені його температури (T) є величиною сталою (сталою Стефана-Больцмана) рівною σ=5,67.10^{-8} Вт.м$^{-2}$К$^{-4}$ $\approx 6\cdot 10^{-8}$ Вт.м$^{-2}$К$^{-4}$.

$$\frac{P}{ST^4}=\sigma,$$

Зробимо оцінку температури поверхні Сонця на основі останнього закону. T_c=

$$4\sqrt{\frac{P_0}{\sigma S_0}}=4\sqrt{\frac{P_0}{\sigma 4\pi R^2}}\approx 6000K.$$

Таким чином, оцінки температури поверхні Сонця на основі різних законів приблизно співпадають.

Закон Стефана—Больцмана дозволяє визначити радіус зорі за її світністю

$$L=\frac{P}{P_c}=\frac{\sigma T^4 S}{\sigma T_c^4 S_c}=\frac{T^4R^2}{T_c^4R_c^2},$$

звідки радіус зорі (R)

$$R=R_c\sqrt{L}\,\frac{T_c^2}{T^2},$$

де R_c – радіус, T_c – температура Сонця.

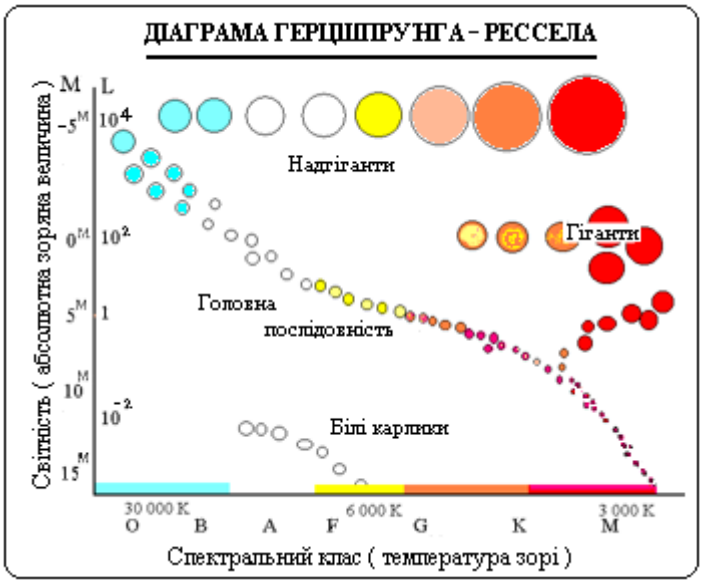
§6. Класифікація зір

Проблема класифікації зір є досить складною, так як неможливо виділити групи зір з абсолютно тотожними характеристиками. Класифікація зір на основі загальної подібності їх спектрів здійснена в каталозі зоряних

спектрів (HD) Гарвардського університету(США), який на честь засновника цього каталогу іменується «Каталогом Генрі Дрепера» (Henry Draper Catalogue). За цим каталогом зорі поділяються на основні класи O, B, A, F, G, K, M і додаткові R,N. S. Кожен клас поділяється на десять підкласів від 0 до 9. Порядок букв англомовні учні запам'ятовують за початковими буквами слів такого речення :«Oh, Be A Fine Girl Kiss Me Right Now Sweetheart».

Клас	Колір	Темпе - ратура К	Характерні лінії в спектрі	Типові зорі
O	Блакитний	30 000	Іонізований гелій, багатократно іонізований вуглець, азот, кисень	λ Оріона
B	Блакитно-білий	15 000	Нейтральний гелій, іонізований вуглець, азот, кисень, кремній.	Спіка
A	Білий	10 000	Інтенсивні лінії водню	Вега ,Сіріус
F	Біло-жовтий	8 000	Інтенсивні лінії водню, іонізовані метали (кальцій , магній та ін.)	Проціон
G	Жовтий	6 000	Нейтральні метали (кальцій, магній, залізо та ін.)	Капелла, Сонце
K	Оранжевий	4,5 000	Нейтральні метали, поява оксиду титану	Арктур, Поллукс, Альдебаран
M	Червоний	3 000	Смугастий спектр, виражений оксид титану.	Антарес, Бетельгейзе
N,R,S	Густочервоний	2 000	Смуги оксиду вуглецю, в N,R-ціан, в S-оксид цирконію.	Рідкі зорі

Зв'язок між характеристиками зір дає діаграма Герцшпрунга – Рессела



На діаграмі Герцшпрунга-Рессела (Г-Р) певна точка символізує клас зір, поєднаних східними характеристиками. Так Сонце відноситься до спектрального класу G5 (клас G підклас 5) - жовтих зір з температурою поверхні близькою до 6000 К.