

**ЗІРКИ**, гарячі небесні тіла, подібні Сонцю. Зірки розрізняються за розміром, температурою і яскравістю. По багатьом параметрам Сонце – типова зірка, хоча здається набагато яскравішим за всю решту зірок, оскільки розташовано набагато ближче до Землі. Навіть найближча зірка (Проксима Кентавра) в 272 000 разів далі від Землі, ніж Сонце, тому зірки здаються нам світлими крапками на небі. Хоча зірки розсіпані по всьому обрії, ми бачимо їх тільки вночі, а вдень на фоні яскравого розсіяного в повітрі сонячного світла вони не видні.

Живучи на поверхні Землі, ми знаходимося на дні повітряного океану, який безперервно хвилюється і вирує, заломлюючи проміння світла зірок, відчого вони здаються нам миготливими і тремтячими. Космонавти на орбіті бачать зірки як кольорові немигаючі точки.

Багато століть зоряне небо надихало людей; це знайшло віддзеркалення в літературі і релігії. Деякі боги ототожнювалися з окремими зірками, планетами і сузір'ями. У давнину всі небесні світила, окрім Місяця і Сонця, називали «зірками», а планети – «блукаючими зірками». Переміщення блукаючих зірок щодо нерухомих викликало інтерес і благоговіння. Оскільки люди вважали себе центром всесвіту, вони думали, що переміщення світил якимось впливає на їх долю. Це астрологічне повір'я, що не зникло дотепер, стимулювало астрономічні спостереження, необхідні для складання астрологічних прогнозів. Оскільки всі планети рухаються приблизно в одній площині, їх спостережувані із Землі траєкторії проходять на небі уздовж вузької смуги, званої Зодіаком. Тому розташовані уздовж Зодіаку сузір'я – Телець, Овен і ін. – в колишні часи вважалися особливо важливими.

Багато храмів були орієнтовано по зірках. Скажімо, Великі піраміди в Гізі побудовані так, що вузький коридор в них направлений точно на полярну зірку, роль якої тоді виконувала *α*Дракона. Споруда Стоунхендж на Солсберійській рівнині в Англії споруджена в точній відповідності з сезонними змінами положення Сонця і Місяця.

В нашу епоху зірки часто використовують як яскраві мітки на небі для визначення часу і для навігації. Оскільки Земля обертається, кожний спостерігач помічає, як зірки по черзі перетинають уявну лінію північ-зеніт-південь (небесний меридіан). Це явище застосовують для відліку зоряного часу. За початок нових зоряних діб на всій Землі прийнятий момент перетину певною точкою небесної сфери меридіана Грінвіча в Англії.

В даний час відомо, що зірки – це гігантські природні генератори енергії, з високою ефективністю перетворюючи частину своєї речовини у випромінювання. В останні десятиріччя було остаточно встановлено, як формуються зірки. Це відбувається в тих областях простору, де збирається достатньо велика маса міжзоряного газу, який під дією власного тяжіння стискається і розігрівається до тих пір, поки температура не досягне критичного значення, необхідного для протікання ядерних реакцій. Властивості зірки, що утворилася, практично повністю визначаються масою початкової газової хмари.

**Позначення зірок.** В нашій Галактиці більше 100 млрд. зірок. На фотографіях неба, отриманих крупними телескопами, видно таку безліч зірок, що безглуздо навіть намагатися дати їм всім імена або хоча б перерахувати їх. Близько 0,01% всіх зірок Галактики занесено в каталоги. Таким чином, переважна більшість зірок, спостережуваних в великі телескопи, поки не позначено і не злічено.

Найяскравіші зірки у кожного народу отримали свої імена. Багато хто з нині що вживаються, наприклад, Альдебаран, Алголь, Денеб, Ригель і ін., мають арабське походження; культура арабів послужила мостом через інтелектуальну прірву, що відділяє падіння Рима від епохи Відродження.

Деякі незвичайні зірки іноді називають іменами астрономів, вперше що описали їх унікальні властивості. Наприклад, зірка Барнарда названа на честь американського астронома Е.Барнарда (1857–1923), а зірка Каптейна – на честь нідерландського

астронома Я.Каптейна (1851–1922). На сучасних картах зоряного неба звичайно нанесені стародавні власні імена яскравих зірок і грецькі букви в системі позначень Байера (його латинські букви використовують рідко); решту зірок позначають згідно Флемстїду. Але не завжди на картах вистачає місця для цих позначень, тому позначення решти зірок потрібно шукати в зоряних каталогах.

**Змінні зірки.** Змінні зірки позначають в порядку їх виявлення в кожному сузір'ї. Першу позначають буквою R, другу – S, потім T і т.д. Після Z йдуть позначення RR, RS, RT і т.д. Після ZZ йдуть AA і т.д. (Букву J не використовують, щоб не було плутанини з I.) Коли всі ці комбінації виснажуються (всього їх 334), то продовжують нумерацію цифрами з буквою V (variable – змінний), починаючи з V335. Приклади: S Car, RT Per, V557 Sgr.

**Розміри зірок.** Зірки дуже сильно розрізняються по діаметру: білі карлики бувають розміром із земну кулю (біля 13 000 км), а зірки-гіганти перевищують розміром орбіту Марса (455 млн. км). В середньому розмір зірок, видимих на небі неозброєним оком, близький до діаметра Сонця (1 392 000 км).

За рідкісними виключеннями діаметри зірок не піддаються прямому вимірюванню: навіть в найбільші телескопи зірки виглядають крапками через гігантські відстані до них. Звичайно, Сонце є виключенням: його кутовий діаметр (32') легко зміряти; ще у декількох найкрупніших і близьких зірок насилу вдається зміряти кутовий розмір і, знаючи відстань до них, визначити їх лінійний діаметр. Ці дані приведені нижче в таблиці.

<b>НАЙБІЛЬШІ ЗІРКИ НАШОЇ ГАЛАКТИКИ</b>			
<b>Зірка</b>	<b>Кутовий діаметр (секунди дуги)</b>	<b>Паралакс (секунди дуги)</b>	<b>Лінійний діаметр (млн. км)</b>
Бетельгейзе	0,040	0,005	1368
$\alpha$ Геркулеса	0,030	0,004	1110
Антарес	0,040	0,020	306
$\beta$ Пегаса	0,021	0,020	153
Альдебаран	0,020	0,050	63
Арктур	0,020	0,090	32

В деяких випадках вдається прямо визначити лінійні діаметри зірок в подвійних системах. Якщо зірки періодично закривають одна одну, то за тривалістю затемнення, змірявши по зсуву спектральних ліній орбітальну швидкість зірок, можна обчислити їх діаметр.

Для переважної більшості зірок діаметри визначають побічно, на основі законів випромінювання. Визначивши по виду спектру температуру зірки, на основі законів фізики можна обчислити інтенсивність випромінювання її поверхні. Знаючи повну світимість, вже легко обчислити площу поверхні і діаметр зірки. Отримані таким чином діаметри добре узгоджуються із виміряними безпосередньо.

Протягом життя розмір зірки сильно міняється. Вона починає свою еволюцію як газова хмара величезного розміру, що стискається, потім тривалий час залишається у вигляді нормальної зірки, а в кінці свого життя збільшується в десятки разів, стаючи гігантом, скидає оболонку і перетворюється на маленький «білий карлик» або зовсім крихітну «нейтронну зірку».

**Рухи зірок.** Звичайно рух зірки характеризують з двох точок зору: як орбітальний рух навколо центру Галактики і як відносний рух в групі найближчих зірок. Наприклад, Сонце обертається навколо центру Галактики з швидкістю біля 240 км/с, а

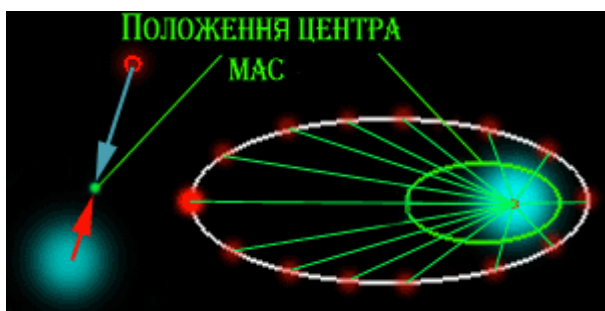
по відношенню до оточуючих його зірок рухається значно повільніше, із швидкістю біля 19 км/с.

Основною системою відліку для вимірювання руху зірок служить Галактика в цілому. Але для земного спостерігача звичайно зручніше використовувати систему відліку, пов'язану з центром Сонячної системи, фактично – з Сонцем. По відношенню до Сонця найближчі зірки рухаються з швидкостями від 10 км/с і вище. Але відстані до зірок такі великі, що фігури сузір'їв змінюються лише за багато тисячоліть. Переміщення зірок вперше відкрив в 1718 Е.Галлей, порівнюючи їх положення, точно визначені їм в Гринвічі, з тими, які вказав в своєму каталозі Птолемей (2 ст. н.е.).

Кутове переміщення зірки на небесній сфері по відношенню до далеких зірок називають її «власним рухом» і виражають звичайно в кутових секундах за рік. Так, власний рух Арктура 2,3"/рік, а Сиріусу 1,3"/рік. Найбільший власний рух у зірки Барнарда, 10,3"/год.

### **Подвійні зірки.**

Подвійна зоря — система з двох гравітаційно пов'язаних зір, які звертаються навколо спільного центру мас по екліптичних орбітах. Інколи трапляються системи із трьох і більше зірок; у тому загальному разі система називається кратною зіркою.



Близько половини всіх зірок входить до складу подвійних і складніших систем. Центр мас такої системи рухається по орбіті навколо центру Галактики, а окремі зірки обертаються навколо центру мас системи. В подвійній зірці один компонент обертається навколо іншого відповідно до гармонійного (третім) закону Кеплера:

$$(m_1 + m_2)P^2 = D^3,$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маси зірок в одиницях маси Сонця,  $P$  – період обігу в роках і  $D$  – відстань між зірками в астрономічних одиницях. Обидві зірки при цьому обертаються навколо загального центру мас, причому їх відстані від цього центру обернено пропорційні їх масам. Визначивши відносно навколишніх зірок орбіту кожного з компонентів подвійної системи, легко знайти відношення їх мас.

Багато подвійних зірок рухаються так близько одна до іншої, що помітити їх по окремоті в телескоп неможливо; їх подвійність можна знайти тільки по спектрах. В результаті орбітального руху кожна із зірок періодично то наближається до нас, то віддаляється. Це викликає доплерівський зсув ліній в її спектрі. Якщо світимості обох зірок близькі, то спостерігається періодичне роздвоєння кожної спектральної лінії. Якщо ж одна із зірок набагато яскравіша, то спостерігається тільки спектр більш яскравої зірки, в якому всі лінії періодично коливаються.

Види подвійних зірок та їх спостереження

#### **Візуально-подвійні зорі**

Подвійні зорі, які можна побачити окремо, називають видимими подвійними чи візуально-подвійними. Для цих зірок вдається визначити зміну з часом позиційного кута й оцінити період обертання. Такою зіркою є Сиріус, що складається з компонентів А і В, що легко розрізняються в звичайний телескоп.

Компоненти більшості подвійних систем занадто близькі одна до одної або ж занадто віддалені від Сонячної системи, через що їх неможливо розрізнити навіть за допомогою найпотужніших телескопів. В цьому випадку їхню подвійність можливо виявити за деякими іншими ознаками:

#### **Затемнювано-подвійні зорі**

Спостерігаються завдяки коливанням блиску, створеними періодичними затьмареннями однієї зірки іншою, це відбувається в тих рідкісних випадках, коли

Земля перебуває в одній площині із орбітами зірок. Внаслідок чого відбувається періодичне поперемінне затемнення одним компонентом іншого та навпаки. Відповідно спостерігається два зниження яскравості протягом одного циклу. Менше зниження, коли яскравіша зоря закриває від нас більш тьмяну і сильніше падіння видимої зоряної величини, коли відбувається навпаки.

### **Спектрально-подвійні зорі**

Спостерігаються завдяки періодичним зсувам спектральних ліній.

Якщо подвійна зірка має достатньо значний власний рух, то можна спостерігати періодичні відхилення траєкторії руху головного компонента на небесній сфері від прямої лінії.

### **Оптично подвійні зорі**

Іноді буває, що дві фізично не пов'язані між собою зірки випадково проектується на дуже близькі одна до одної точки небесної сфери. Такі зірки називаються оптично подвійними — на противагу «істинним», фізично подвійним. Класичним прикладом таких зірок є Міцар і Алькор у сузір'ї (Великої Медведиці).

### **Змінні зірки.**

Змінні зорі — зорі, у яких спостерігається зміна блиску. Взагалі блиск будь-якої зірки тією чи іншою мірою змінюється із часом. Змінними називають зорі, у яких зміна блиску була надійно зафіксована на досягнутому рівні техніки спостереження. Для віднесення зірки до змінних достатньо, щоб її блиск зазнав змін хоча б одного разу.

Не слід плутати змінність зір із їх мерехтінням, яке відбувається через коливання земної атмосфери. Під час спостережень із космосу зірки не мерехтять.

Кількість відомих на сьогодні змінних зірок дуже велика (понад 40 000). Більше 15 000 зірок тільки підозрюють у змінності, але вони ще не вивчені. Близько 3000 змінних зірок відкрито у найближчих галактиках — Магелланові Хмари і близько 700 — в Туманності Андромеди. Видимий блиск зірки може змінюватися із двох причин: або змінюється світимість зірки, або щось її загороджує від спостерігача, наприклад, друга зірка в подвійній системі. Зірки з світимістю, що змінюється, діляться на пульсуючі і еруптивні (тобто вибухаючі). Існує два найважливіші типи пульсуючих змінних — ліриди і цефеїди. Перші, змінні типу RR Ліри, мають приблизно однакову абсолютну зоряну величину і періоди менші за добу. У цефеїд, змінних типу  $\alpha$ Цефея, періоди зміни блиску тісно пов'язані з їх середньою світимістю. Обидва типи пульсуючих змінних дуже важливі, оскільки знання їх світимості дозволяє визначати відстані. Американський астроном Х.Шеплі використовував ліриди для вимірювання відстаней в нашій Галактиці, а його колега Е.Хаббл використовував цефеїди для визначення відстані до галактики Андромеди.

Еруптивні змінні бувають різних типів. Такі, як SS Лебеда, спалахують час від часу абсолютно непередбачувано. Вибухи нових зірок відбуваються дуже рідко, але могутньо; при цьому вони не руйнують зірку, що є білим карликом в тісній подвійній системі. Коли на його поверхні нагромаджується достатньо речовини, падаючої з нормальної сусідньої зірки, він вибухає. Це може відбуватися неодноразово. Найновіші зірки вибухають тільки раз, але вже так, що по яскравості порівнюються з цілою галактикою. Такий вибух майже повністю руйнує зірку.

Відповідно до класифікації, запропонованої 1969 року, змінні зорі поділяються на три великих класи:

пульсуючі — характеризуються повільними і безперервними змінами блиску;

затемнені — являють собою систему з двох (іноді трьох або більше) зірок, що обертаються довкола одного центру мас.

еруптивні - зірки, що змінюють блиск нерегулярно (або лише одного разу);

Кожен клас у свою чергу поділяється на типи, в окремих випадках виділено підтипи.

### Затемнені змінні

У одних, типу Алголя ( $\beta$  Персея), блиск поза затемненням практично постійний, у інших же зірок, типу  $\beta$  Ліри, періоди стабільності блиску відсутні, що дає підставу вважати компоненти цих систем еліпсоїдальними, витягнутими взаємним тяжінням. Зміна блиску поза затемненням у таких систем пояснюється неперервною зміною оберненої до спостерігача площини поверхні зірок. Періоди зміни блиску затемнених зірок (що збігаються з орбітальним періодом) дуже різноманітні: від десятків хвилин до десятків років.

Такі системи надають унікальну можливість знаходження низки важливих характеристик зір, особливо в тому випадку, якщо відомі відстані до системи та крива зміни променевої швидкості зірок, що входять до системи. За часом затемнення можна знайти діаметр зорі у частках великих піввісей їх орбіт, а потім — і в кілометрах. За світністю  $L$  і розмірами зір можна знайти ефективну температуру їх поверхні. Спостерігаючи зміни спектру протягом затемнення, можна вивчити будову атмосфери зорі, яка затемнює (крізь яку просвітлюється другий компонент системи), на різних глибинах.

### Пульсуючі змінні

У більшості випадків можна із впевненістю сказати, що зміни блиску викликані пульсацією зірок.

Поділяються на наступні типи:

цефеїди — жовті гіганти та надгіганти зі періодами від 1 доби до 135 діб (можливо навіть до 200 діб). Характеризуються відомою залежністю між періодом пульсацій та світністю, що дозволяє визначати відстань до зірки за спостережуваним періодом пульсацій. За цю рису отримали образну назву маяки Всесвіту.

Виокремлюють два підкласи, які дещо відрізняються:

#### **Кольори зірок.**

Зірки мають самі різні кольори. У Арктура жовто-оранжевий відтінок, Ригель біло-блакитний, Антарес яскраво-червоний. Домінуючий колір в спектрі зірки залежить від температури її поверхні. Газова оболонка зірки поводить майже як ідеальний випромінювач (абсолютно чорне тіло) і цілком підкоряється класичним законам випромінювання М.Планка (1858–1947), Й.Стефана (1835–1893) і В.Віна (1864–1928), що зв'язують температуру тіла і характер його випромінювання. Закон Планка описує розподіл енергії в спектрі тіла. саме *цей* закон пояснює червоний колір Антареса ( $T = 3500 \text{ K}$ ) і голубуватий колір Ригеля ( $T = 18000 \text{ K}$ ). Закон Стефана дає повний потік випромінювання на всіх довжинах хвиль (у ватах з квадратного метра):  $E = 5,67 \cdot 10^{-8} T^4$ .

#### **Спектри зірок.**

Вивчення зоряних спектрів – це фундамент сучасної астрофізики. По спектру можна визначити хімічний склад, температуру, тиск і швидкість руху газу в атмосфері зірки. По доплерівському зсуву ліній виміряють швидкість руху самої зірки, наприклад, по орбіті в подвійній системі.

В спектрах більшості зірок видні лінії поглинання, тобто вузькі розриви в безперервному спектрі випромінювання. Їх називають також фраунгоферовими або лініями абсорбції. Вони утворюються в спектрі тому що випромінювання гарячих нижніх шарів атмосфери зірки, проходячи крізь більш холодні верхні шари, поглинається на деяких довжинах хвиль, характерних для певних атомів і молекул.

Спектри поглинання зірок сильно розрізняються; проте інтенсивність ліній якогось хімічного елемента далеко не завжди відображає його істинну кількість в атмосфері зірки: в значно більшому ступені вид спектру залежить від температури зоряної поверхні. Наприклад, атоми заліза є в атмосфері більшості зірок. Проте лінії нейтрального заліза відсутні в спектрах гарячих зірок, оскільки всі атоми заліза там іонізовані. Водень – це головний компонент всіх зірок. Але оптичні лінії водню не видні

в спектрах холодних зірок, де він недостатньо збуджений, і в спектрах дуже гарячих зірок, де він повністю іонізований. Зате в спектрах помірно гарячих зірок з температурою поверхні біля 10 000 К наймогутніші лінії поглинання – це лінії бальмерівської серії водню, що утворюються при переходах атомів з другого енергетичного рівня.

Тиск газу в атмосфері зірки також має деякий вплив на спектр. При однаковій температурі лінії іонізованих атомів сильніше в атмосферах з низьким тиском, оскільки там ці атоми рідше захоплюють електрони і, отже, довше живуть. Тиск атмосфери тісно пов'язаний з розміром і масою, а значить і з світимістю зірки даного спектрального класу. Встановивши по спектру тиск, можна обчислити світимість зірки і, порівнюючи її з видимим блиском, визначити «модуль відстані» ( $M - m$ ) і лінійну відстань до зірки. Цей дуже корисний метод називають методом спектральних паралаксів.

**Показник кольору.** Спектр зірки і її температура тісно пов'язаний з показником кольору, тобто з відношенням яскравостей зірки в жовтому і голубому діапазонах спектру. У холодних зірок показник кольору вище, ніж у гарячих, тобто холодні зірки відносно яскравіші в жовтому промінні, ніж в голубих. Гарячі (голубі) зірки виглядають більш яскравими на звичайних фотопластинах, а холодні зірки виглядають яскравіше для ока і особливих фотоемульсій, чутливих до жовтого проміння.

#### **Послідовності зірок.**

В 1905–1913 Е.Герцшпрунг в Данії і Г.Рессел в США незалежно знайшли емпіричний зв'язок між температурою (спектральним класом) і світимістю зірок. Вони знайшли, що більшість зірок лежить уздовж широкої смуги на діаграмі температура – світимість. Ця смуга, названа «головною послідовністю», проходить від верхнього лівого кута діаграми, де знаходяться гарячі і яскраві О і В зірки, до правого нижнього кута, населеного холодними і тьмяними К і М карликами.

Відкриття головної послідовності стало сюрпризом: було неясне, чому зірки з певною температурою поверхні не можуть мати який завгодно розмір, а отже і світимість. Виявилось, що радіус зірки і температура її поверхні пов'язаний один з одним.

На діаграмі Герцшпрунга – Рессела виявилася і друга послідовність – гілка гігантів, широкою смугою що відходить від середини головної послідовності (клас G, абсолютна зоряна величина +1) майже перпендикулярно їй у бік верхнього правого кута діаграми (клас M, абсолютна величина -1). На гілці гігантів лежать зірки великого розміру і досить високої світимості, на відміну від карликів, що населяють головну послідовність. Вони розділені «провалом Герцшпрунга».

В нижньому лівому кутку діаграми розташувалися білі карлики – незвичайні зірки з високою температурою поверхні, але низькою світимістю, що указує на їх дуже маленький розмір. В цих залишках еволюції нормальних зірок вже не відбувається термоядерних реакцій, і вони поволі остигають.

Через декілька десятиріч після відкриття Герцшпрунга і Рессела з'ясувалося, що у різних груп зірок діаграми температура–світимість істотно розрізняються. Особливо ясно це простежується при порівнянні зоряних скупчень, в кожному з яких всі зірки мають однаковий вік. Діаграми розсіяних скупчень, таких, як Гіади і Плеяди, в цілому схожі на діаграму навколосонячних зірок і різко відрізняються від діаграм кульових скупчень, таких, як велике скупчення в Геркулесі, де яскрава частина головної послідовності відсутня, а нижня її частина стуляється з гілкою гігантів, круто що йде вгору, в область великих світимостей. Такі діаграми виявилися характерними для зірок Населення II, а діаграми розсіяних скупчень типові для зірок Населення I. Таким чином, діаграма Герцшпрунга – Рессела служить важливим інструментом для з'ясування еволюційного статусу зоряних населень.

