

## *Еволюція зір. Чорні діри*

Дослідження показують, що у міжзор'яному середовищі є газово-пилові хмари, до складу яких входять водень (70%), гелій (27%) та атоми інших елементів. Такі комплекси є гравітаційно-нестійкі і згідно з теоретичними розрахунками можуть за певних умов зазнати гравітаційного стиснення. Надалі такі хмари дробляться на окремі фрагменти, які продовжують зменшуватися в об'ємі.

В процесі гравітаційного стиснення температура фрагмента починає зростати (початкова температура біля 10 К). Нагрітий згусток, який називають протозорею, стає потужним джерелом інфрачервоного проміння.

З часом утворюється ядро, густина якого є більшою густини навколишнього середовища. Температура надр протозорі починає стрімко зростати, і коли досягне біля 10 млн. градусів, починаються термоядерні реакції, внаслідок яких водень перетворюється у гелій. Протозоря досягає стану гравітаційної рівноваги і перетворюється на молоду зорю, місце серед інших і подальшу долю якої визначає її маса.

Народившись, зоря в залежності від маси, «падає» на *головну послідовність*. Причому, чим більша маса, тим вище її положення на головній послідовності.

У лівій верхній частині цієї залежності перебувають так звані молоді зорі — білі гіганти (БГ). Світність і температура цих зір відповідає спектральним класам O, B. У правій нижній частині послідовності знаходяться найбільш холодні маломасивні зорі-червоні карлики (ЧК). Зорі типу Сонця відносять до жовтих карликів (ЖК).

*Теоретично доведено, що* тривалість фази в житті зорі, коли її параметри довгий час залишаються сталими, залежить від її маси. Розрахунки показують, що такі зорі, як Сонце, у стані рівноваги світять не менше, ніж 10 млрд років. Більш масивні зорі спектральних класів O, B, у надрах яких термоядерні реакції протікають інтенсивніше, у рівновазі світять 100 млн років, а найдовше «мерехтять» маленькі червоні карлики — їхній вік може перевершувати  $10^{10}$  років.

Отже, положення зорі на головній послідовності визначає не тільки її маса, а й вік від народження.

Перебування зорі на головній послідовності завершується, коли вичерпується ядерне паливо - водень. За цих умов в ядрі зірки збільшується маса гелію, що приводить до наступного стиснення ядра. В ядрі починається синтез більш важких елементів - вуглецю, кисню, неону та ін. Навколо ядра утворюється зовнішня газопопилова оболонка, яка під дією тиску випромінювання зсередини починає збільшуватися у розмірах, а температура поверхні знижується. Зірка зміщується у правий кут діаграми. Залежно від маси зорі, подальша еволюція зорі може бути різною:

- у маломасивних зір ( $m < 1,4 m_{\odot}$ ) утворюється вуглецево-кисневе ядро. Оболонка розширюється до розмірів червоного гіганта (ЧГ). На діаграмі такі зорі розміщуються вправо від середини головної послідовності. З часом їх оболонка розсіюється, а ядро, що залишилося, стає білим карликом (БК), які на діаграмі займають лівий ни-

жній кут (зорі малої світності та високої температури). Поступово така зоря охолоджується і стає невидимою (можлива еволюція Сонця);

• якщо  $1,4m_{\odot} < m < 2,5m_{\odot}$ , розширення газОВО-пилової оболонки приводить зірку на діаграмі в стадію червоного надгіганта (ЧНГ), а скидання оболонки такої зорі спостерігається спалах наднової. В ядрі зорі внаслідок гравітаційного стискання тиск сягає значень, за якого в її речовині електрони вдавлюються всередину ядра, об'єднуються з протонами, утворюються нейтрони. Зірка стає *нейтронною зорею*, густина речовини якої сягає 1 млрд.т /см<sup>3</sup>. Зорі мають потужне магнітне поле, яке розганяє вільні електрони на поверхні зорі до швидкостей, близьких до швидкостей світла. (Згідно закону збереження імпульсу). Електрони стають джерелами потужних радіохвиль різних діапазонів. Причому випромінювання здійснюються у вигляді вузьких пучків через магнітні полюси. Якщо напрям цього пучка лежить у площині земної орбіти, його можна зафіксувати на Землі. Такі нейтронні зорі названі *пульсарами*.

Нейтронні зірки з часом слугують матеріалом для утворення зір нового покоління.

Якщо  $m > 2,5m_{\odot}$ , після стадії надгіганта, відбувається також спалах наднової, після скидання зовнішніх шарів зорі, стиснення ядра триває до розміру, за якого гравітаційне поле стає таким потужним, що зі своїх "обіймів" не випускає навіть світло. Зоря перетворюється у дивовижний об'єкт Всесвіту - "*чорну*" дірку.

Щоб перетворитися на чорну дірку, зоря має стиснутися до радіуса, який називають гравітаційним радіусом ( $r_g$ ), або радіусом Шварцшильда. Його можна визначити за формулою:  $r_g = \frac{2GM}{c^2}$ , де G - гравітаційна стала; M - маса зорі; c - швидкість поширення світла.

Межу чорної діри називають горизонтом подій. Якщо чорні діри безпосередньо спостерігати не можливо, то пошуки їх становлять великі труднощі. Найчастіше чорну дірку виявляють так: 1) якщо діра утворилася в подвійній системі зір, то її положення можна визначити за обертанням другого компонента навколо «порожнього місця»; 2) під час падіння речовини на чорну дірку має виникати потужне рентгенівське випромінювання. Джерела такого випромінювання (зокрема Лебідь X-1, Скорпіон X-1 тощо) зареєстровані як «кандидати» в чорні діри. Чорні діри також можуть існувати й спостерігатися як постійно взаємодіючі з речовиною і в ядрах галактик, і в квазарах. Інтенсивне гравітаційне поле чорної діри спотворює світло фонових зір, утворюючи кільцеві зображення прямо за темними краями горизонту подій чорної діри.

## Корисні посилання:

1. [Астрономія: підруч. для 11 класу \(рівень стандарту\) В.Д. Сиротюк, Ю.Б. Мирошніченко](#)
2. [Перевір себе. Чорні діри \(інтерактивна вправа\)](#)
3. [Сайт NASA. Чорні діри та їх дослідження](#)

## **Додаткові відео з теми:**

1. [Чи може чорна діра бути знищена?\(відео\)](#)
2. [Найперше зображення чорної діри.\(відео\)](#)
3. [Неймовірна ефективність чорних дір. \(відео\)](#)
4. [Що всередині чорної діри?\(відео\)](#)
5. [Як ми знаємо, що чорні діри існують.\(відео\)](#)
6. [Що ми побачимо під час падіння в чорну діру.\(відео\)](#)
7. [Як обертаються чорні діри?\(відео\)](#)
8. [Як створити чорну діру?\(відео\)](#)