

ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР



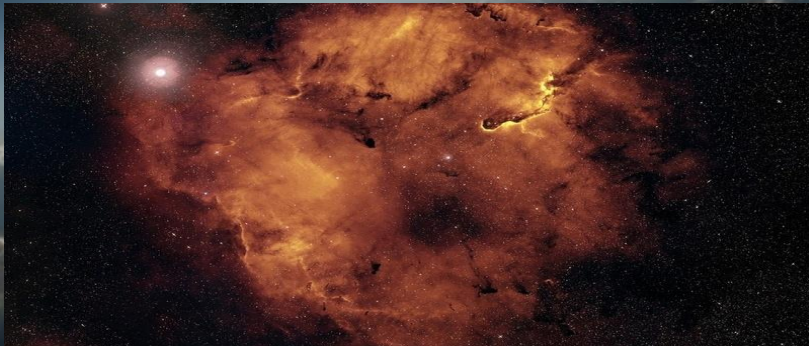
Зародження зір

Астрономи створили теорію еволюції зір завдяки тому, що в космосі можна спостерігати мільярди зір різного віку. Це трохи схоже на те, як за кілька годин можна описати ріст та розвиток дерева, яке існує десятки років,— треба тільки піти в ліс і вивчити дерева різного віку.

Всесвіт — це своєрідний космічний парк, у якому зорі народжуються, певний час світять, а потім гинуть. Важко побачити зорю до її народження, поки вона не почне світитися у видимій частині спектра.

Зорі зароджуються разом із планетами з розріджених газопилових хмар, які утворюються після вибуху старих зір.

За допомогою сучасних телескопів астрономи виявили в космосі сотні таких величезних газопилових туманностей, де зараз відбувається утворення молодих світів.



Зародження зір

Доля зорі та тривалість її життя залежать від початкової маси зародка зорі — протозорі. Якщо вона була в кілька разів більша, ніж маса Сонця, то під час гравітаційного стиснення утворюються гарячі зорі спектральних класів O та B.

Протозорі з такою початковою масою, як маса Сонця, під час гравітаційного стиснення нагріваються до температури 6000 К. Протозорі з масою у кілька разів меншою, ніж сонячна, можуть перетворитися тільки на червоних карликів. Найменша маса, яка необхідна для початку термоядерних реакцій у надрах зорі, дорівнює майже 0,08 маси Сонця.

Об'єкти меншої маси ніколи на зорі не перетворяться — вони будуть випромінювати енергію тільки в інфрачервоній частині спектра. Такі космічні тіла ми спостерігаємо навіть у Сонячній системі — це планети-гіганти Юпітер, Сатурн, Нептун. Можливо, що в міжзоряному просторі кількість таких холодних інфрачервоних тіл (їх ще називають коричневими карликами) може бути набагато більшою, ніж видимих зір.

Зоря в стані гравітаційної рівноваги

Протягом свого тривалого життя кожна зоря може як збільшувати, так і зменшувати всі свої основні параметри — температуру, світність та радіус.

Зорі на головній послідовності перебувають у стані гравітаційної рівноваги, коли зовнішні шари за рахунок гравітації тиснуть до центра, у той час як тиск нагрітих газів діє в протилежному напрямку — від центра .

Зоря в стані гравітаційної рівноваги не змінює своїх параметрів, бо інтенсивне випромінювання енергії з поверхні компенсується джерелом енергії в надрах — термоядерними реакціями. Такий процес триває доти, доки половина Гідрогену у ядрі не перетвориться на Гелій, і тоді інтенсивність термо- ядерних реакцій може зменшитися. Тривалість такої стаціонарної фази в житті зорі, коли її параметри довгий час залишаються сталими, залежить знову-таки 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^{11} .



Рис. 14.3. Зоря в стані рівноваги: зовнішні сили гравітації врівноважені силами газового тиску

Змінні зорі

Змінні зорі протягом певного часу можуть змінювати свою яскравість.

Розрізняють такі типи змінних зір:

- блиск зорі може змінюватися в кратних системах, коли відбуваються періодичні затемнення об'єктів, які мають різну світність. Прикладом такої змінної зорі є Алголь — відома подвійна зоря Персея;



Змінні зорі

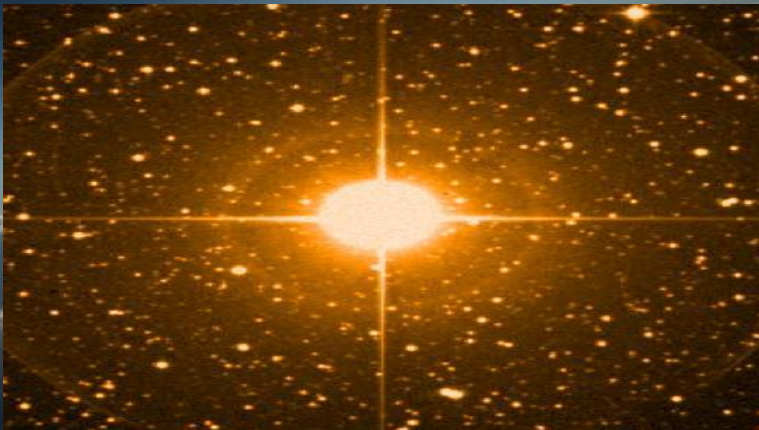
- інший тип змінних зір називають *фізично змінними*. Зміна яскравості таких зір пов'язана з тим, що термоядерні реакції в центрі зорі з часом будуть протікати не так інтенсивно, тоді порушення гравітаційної рівноваги буде помітне у зміні її розмірів і температури на поверхні — на діаграмі *спектр—світність* такі зорі не мають постійного положення і зміщуються з головної послідовності праворуч.



Змінні зорі

Із різних типів фізично змінних зір привертають увагу *цефеїди*. Їхня назва походить від сузір'я, у якому вперше помітили таку змінну зорю — *В Цефея*. Розрахунки періоду зміни яскравості показали, що цефеїди змінюють свій радіус, тому їх можна вважат своєрідними маятниками, які коливаються у своєму гравітаційном полі. Період пульсацій залежить від маси та радіуса зорі, наприклад *В Цефея* пульсує з періодом 5,4 доби.

Пульсації приводять до того, що цефеїда з часом перетворюється на гіганта, який може поступово скинути свою оболонку. Такі об'єкти астрономи помилково назвали планетарними туманностями — колись вважали, що так народжується нова планетна система. Гаряче ядро такої планетарної туманності поступово стискується і перетворюється на білого карлика.



Нові та наднові зорі

Зорі з масою у кілька разів більшою, ніж сонячна, закінчують своє життя грандіозним вибухом. У 1054 р. китайські астрономи спостерігали надзвичайно яскраву нову зорю, яку було видно вдень протягом кількох тижнів. Цю незвичайну зорю помітили також літописці в Київській Русі, бо це був рік смерті Ярослава Мудрого. Вважалося, що поява нової зорі віщувала «Боже знамення» на сумну подію в житті Русі. Сьогодні на тому місці, де спалахнула ця таємнича зоря, видно туманність Краб.

Зорі спектральних класів O та B які протягом кількох днів збільшують свою яскравість у сотні мільйонів разів, називають Новими. Інколи Нова випромінює майже стільки ж енергії, скільки виділяють разом усі зорі в галактиці — такі зорі мають назву Наднових. Туманність Краб у сузір'ї Тільця є залишком такої Наднової, що спалахнула 4 липня 1054 р. Вірніше, якщо врахувати, що туманність Краб розміщується на відстані 6500 св. років від Землі, то спалах Наднової стався ще 7500 років тому.

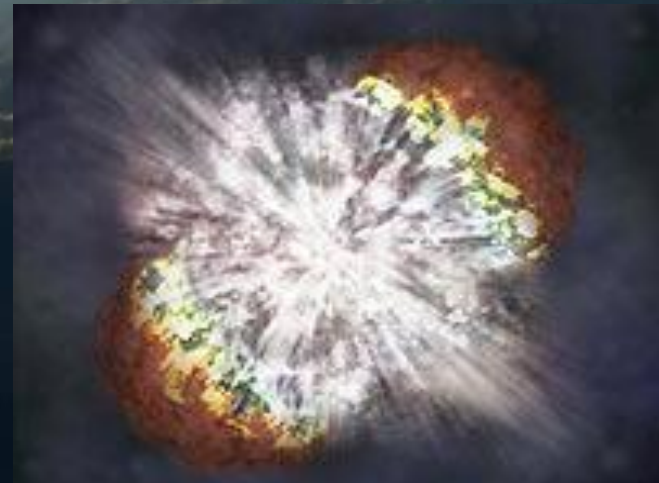


Нові та наднові зорі

Останній спалах Наднової астрономи спостерігали в минулому тисячолітті 24 лютого 1987 р. у сусідній галактиці — Великій Магеллановій Хмарі. Вибухнула гігантська зоря спектрального класу В, яка кілька тижнів світила яскравіше від усіх зір у галактиці. Приблизно за 20 год перед спалахом Наднової було зареєстровано ударну хвилю нейтринного потоку, який тривав 13 с і за потужністю був у десятки тисяч разів більший, ніж енергія в оптичному діапазоні.

Нова зоря — вибухово змінна подвійна зоря, яка раптово збільшує свою світність в 100—10000000 разів (10^2 — 10^7 разів).

Наднова — зоря, світність якої збільшується за кілька днів у мільярди разів 10^9 .



Нові та наднові зорі

Таким чином, у 1987 р. астрономи вперше отримали інформацію про далеку космічну подію, яка відбулася майже 200 000 років тому. Після спалаху зорі всі планети, які оберталися навколо неї, випаровуються і перетворюються у газопилову туманність, з якої в майбутньому може утворитися нове покоління зір.

Тобто у Всесвіті спостерігається своєрідний кругообіг речовини: зорі — спалах зір — туманність — і знову народження молодих зір

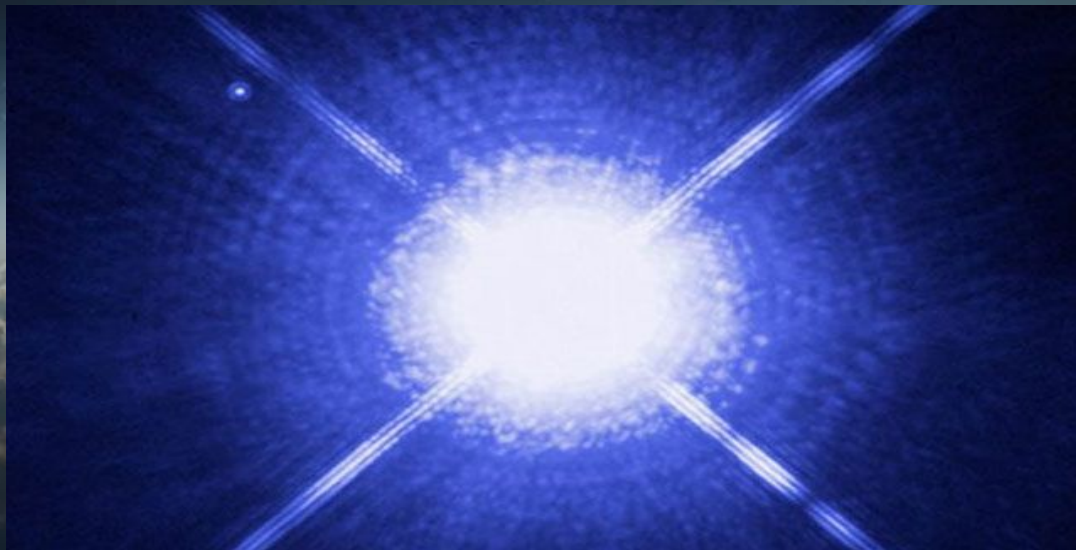
Кругообіг речовини при утворенні та руйнуванні зір.

Під час спалаху Нових утворюються важкі хімічні елементи, тому нове покоління планетних систем утворюється з іншим хімічним складом. Планети земного типу, які мають тверду поверхню, могли виникнути тільки на руїнах старої планетної системи, коли під час спалаху Нових утворюються Si, Fe, Al

Доля зорі після спалаху

Після спалаху Нової чи Наднової залишається ядро, у якому відсутнє джерело енергії. Така зоря поступово зменшує свій радіус і світить тільки завдяки гравітаційному стисненню — потенціальна енергія зорі перетворюється на тепло.

При стисненні маса залишається сталою, тому збільшується густина, і зоря перетворюється на білого карлика. Якщо початкова маса зорі була в кілька разів більшою, ніж сонячна, то білий карлик може перетворитись на нейтронну зорю, радіус якої не перевищує кількох десятків кілометрів, а густина сягає фантастичної величини 10^{15} г/см³.



Першу нейтронну зорю випадково відкрили в Кембриджському університеті в 1967 р. За допомогою невеликої антени астрономи зареєстрували радіосигнал, який повторювався з постійним періодом 1 с. Уночі в тому напрямку, звідки надходили імпульси, не було видно жодної зорі, тому астрономи навіть висунули гіпотезу про радіосигнал штучного походження від позаземної цивілізації. Потім спостереження показали, що такі періодичні сигнали надходять на Землю від сотень інших невидимих джерел, які було названо пульсарами. Один із пульсарів було виявлено навіть у центрі знаменитої туманності Краб.



Пульсари і нейтронні зорі

Сучасні теоретичні розрахунки показують, що пульсари і нейтронні зорі - це одні й ті самі об'єкти. Внаслідок стиснення нейтронної зорі має виконуватися закон збереження моменту імпульсу. Цей закон часто демонструють на льоду фігуристи, коли треба викликати швидке обертання свого тіла навколо осі. Спортсмени спочатку починають повільно обертатися навколо осі з витягнутими в різні боки руками. Потім поступово руки підводять до тулуба, при цьому кутова швидкість обертання різко зростає. Таке саме зростання кутової швидкості спостерігається при зменшенні радіуса зорі. Наприклад, зараз Сонце обертається навколо своєї осі з періодом приблизно 28 діб. Якби радіус Сонця зменшився до 10 км, то його період обертання дорівнював би 1 с. При гравітаційному стисненні настільки зростає напруженість магнітного поля зорі, що вона «випускає» випромінювання тільки через магнітні полюси у вигляді своєрідних «прожекторів», які описують у космосі величезний конус. Можливо, що в Галактиці існують мільйони нейтронних зір, але зареєстровано тільки кілька сотень у вигляді пульсарів, бо більшість таких «прожекторів» не спрямовані на Землю.



Чорні діри

Чорні діри утворюються на останній стадії еволюції зір із масою більшою ніж *3M сонця*. Така дивна назва пов'язана з тим, що ці тіла мають бути невидимими, бо не випускають за свої межі світла. З іншого боку, такі об'єкти втягують все з навколишнього простору. Якщо космічний корабель потрапить на межу чорної діри, то вирватися з її поля тяжіння він не зможе, бо друга космічна швидкість біля її поверхні дорівнює швидкості світла 300000 км/с. Якщо у формулі $V_2 = \sqrt{2}V_1$ замість V_2 ввести швидкість світла, то отримаємо межу, до якої може стискатися зоря, поки друга космічна швидкість біля її поверхні не досягне швидкості світла: Чорна діра не випускає з поля тяжіння ні елементарних частинок, ні електромагнітні хвилі. Радіус чорної діри залежить від її маси, і може бути від кількох сантиметрів або метрів до мільярдів кілометрів



Із формули (14.1) можна визначити критичний радіус будь-якого космічного тіла з відомою масою. Наприклад, для Землі $R_0 = 1\text{см}$, а для Сонця $R_0 = 3\text{км}$ — такий об'єкт не буде випускати з гравітаційного поля навіть квантів світла, тому він стає невидимим, і від нього ми не можемо отримати інформацію за допомогою електромагнітних хвиль. Подібних чорних дір, або своєрідних зоряних могил, у космосі може налічуватися навіть більше, ніж звичайних зір. Отримати інформацію про чорну діру можна за допомогою і гравітаційного поля, яке безслідно не може зникнути

$$R_0 = \frac{2GM}{c^2}, \quad (14.1)$$

де R_0 — граничне значення радіуса; G — гравітаційна стала; M — маса об'єкта; $c = 300\,000$ км/с — швидкість світла.

Еволюція Сонця

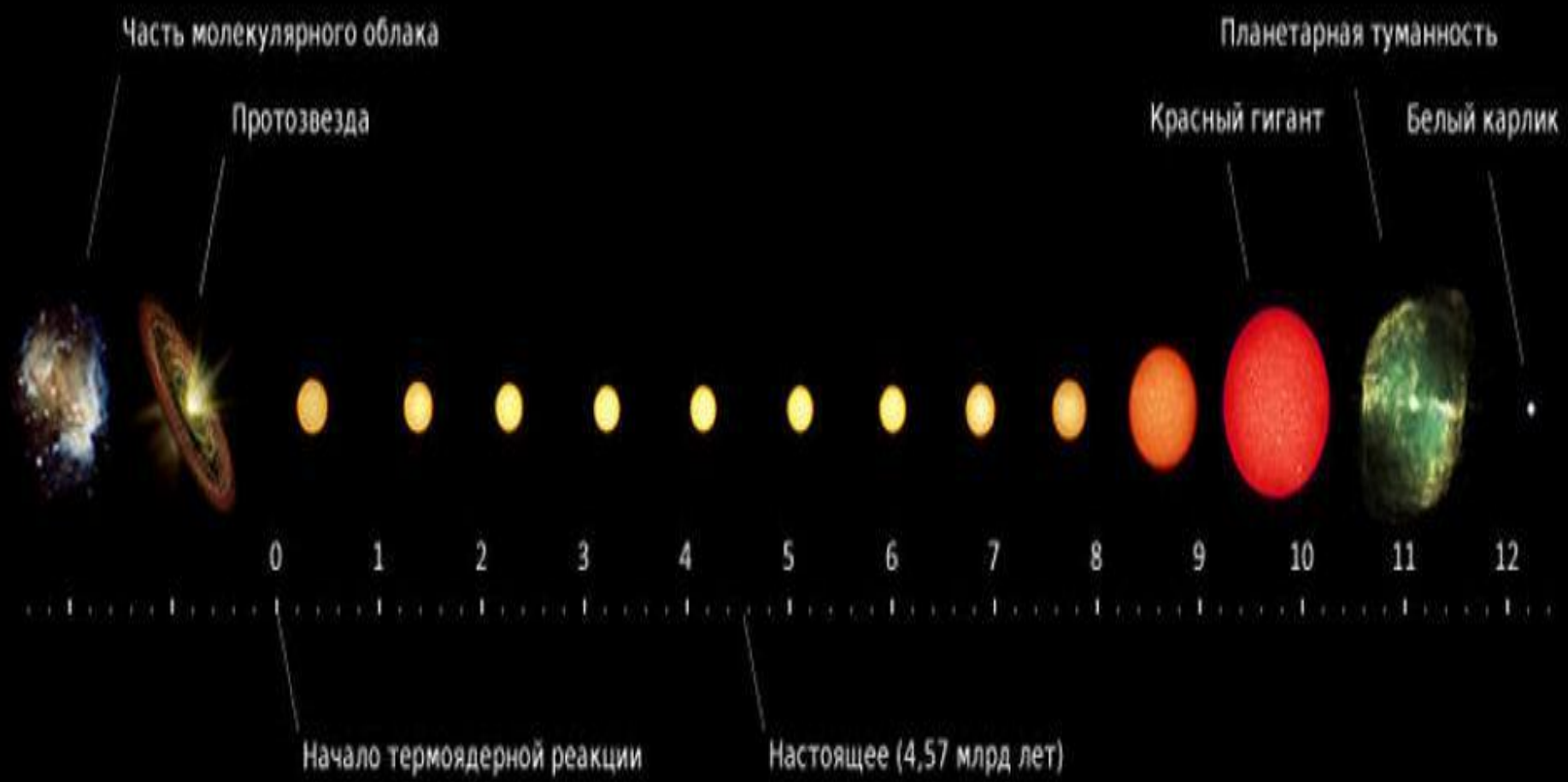
Теоретичні розрахунки показують, що такі зорі, як Сонце, ніколи не стануть чорними діраами, бо вони мають недостатню масу для гравітаційного стиснення до критичного радіуса. У стані гравітаційної рівноваги Сонце може світити 10^{10} років, але ми не можемо точно визначити його вік, тобто скільки часу пройшло від його утворення. Правда, за допомогою радіоактивного розпаду важких хімічних елементів можна визначити приблизний вік Землі — 4,5 млрд років. Але Сонце могло утворитися раніше, ніж сформувалися планети. Якщо все таки зорі й планети формуються одночасно, то Сонце може світити в майбутньому ще 5 млрд років. Після того як у ядрі весь Гідроген перетвориться на Гелій, порушиться рівновага в надрах Сонця, і воно може перетворитись на змінну пульсуючу зорю — цефеїду. Потім через нестабільність радіус Сонця почне збільшуватись, а температура фотосфери знизиться до 4000 К — Сонце перетвориться на червоного гіганта.



Еволюція Сонця

На небосхилі Землі буде світити велетенська червона куля, кутовий діаметр якої збільшиться в 10 разів у порівнянні із сучасним Сонцем . Блакитного неба на Землі не стане, бо світність майбутнього Сонця зросте в десятки разів, а температура на поверхні нашої планети буде більшою ніж 1000 К. Википлять океани, і Земля перетвориться на страшну гарячу пустелю, чимось схожу на сучасну Венеру.

У Сонячній системі така температура, яка зараз на Землі, буде тільки на околицях — на супутниках Сатурна та Урана. У стадії червоного гіганта Сонце буде світити приблизно 100 млн років, після чого верхня оболонка відірветься від ядра й почне розширюватись у міжзоряний простір у вигляді планетарної туманності. При розширенні напевно випаруються всі планети земної групи, і на місці Сонця залишиться білий карлик — маленьке гаряче ядро, у якому колись протікали термоядерні реакції. Радіус білого карлика буде не більшим, ніж у Землі, але густина сягатиме 10^{10} кг/м³. Білий карлик не має джерел енергії, тому температура його поверхні поступово знизиться, і остання стадія еволюції нашого Сонця — холодний чорний карлик.



Жизненный цикл Солнца

Масштаб и цвета условны. Временная шкала в миллиардах лет (приблизительно)