

# Еволюція зір

\*

\*

# План уроку

1. Зародження зір.
2. Зоря в стані гравітаційної рівноваги.
3. Змінні зорі.
4. Нові та Наднові зорі.
5. Пульсари і нейтронні зорі.
6. Чорні діри.
7. Еволюція Сонця.

# 1. 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.

Наприклад, такі своєрідні «ясла»  
новонароджених зір можна побачити в  
сузір'ї Оріон та зоряному скупченні



Туманність Оріона

Туманність у зоряному  
скупченні Плеяди



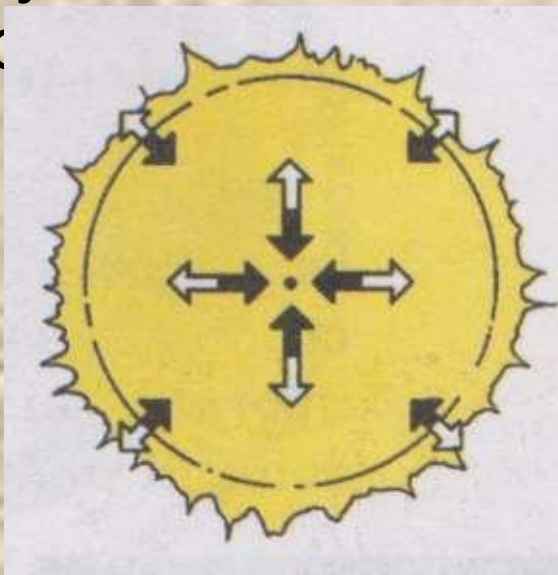


Доля зорі та тривалість її життя залежать від початкової маси зародка зорі — **протозорі**. Якщо вона була в кілька разів більша, ніж маса Сонця, то під час гравітаційного стиснення утворюються гарячі зорі спектральних класів **O** та **B**. Протозорі з такою початковою масою, як маса Сонця, під час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

## 2. 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 протилежності від центра.



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



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 термоядерних реакцій може зменшитися. Тривалість такої стаціонарної фази в житті зорі, коли її параметри довгий час залишаються сталим, 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  $10^{11}$  років.

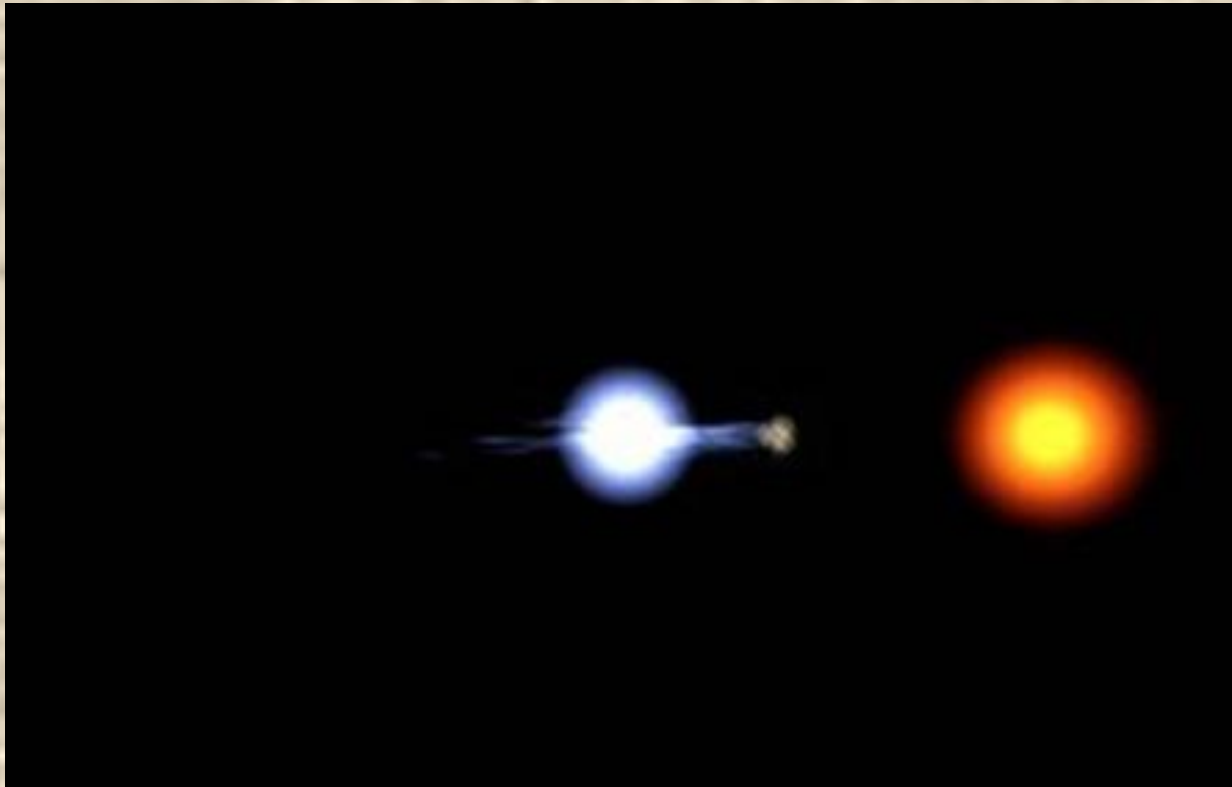
# 3. Змінні зорі

Змінні зорі протягом певного часу можуть змінювати свою яскравість. Розрізняють такі типи змінних зір:



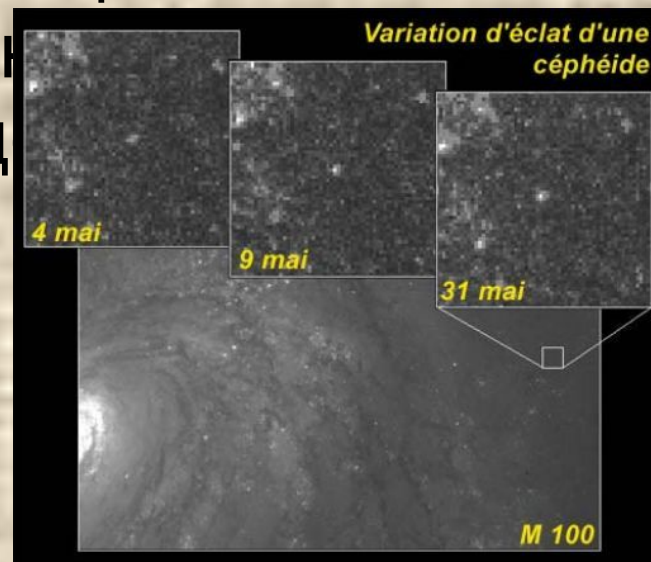


1. блиск зорі може змінюватися в кратних системах, коли відбуваються періодичні затемнення об'єктів, які мають різну світність. Прикладом такої змінної зорі є *Алголь* — відома подвійна зоря  $\beta$  Персея;



2. 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.

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





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

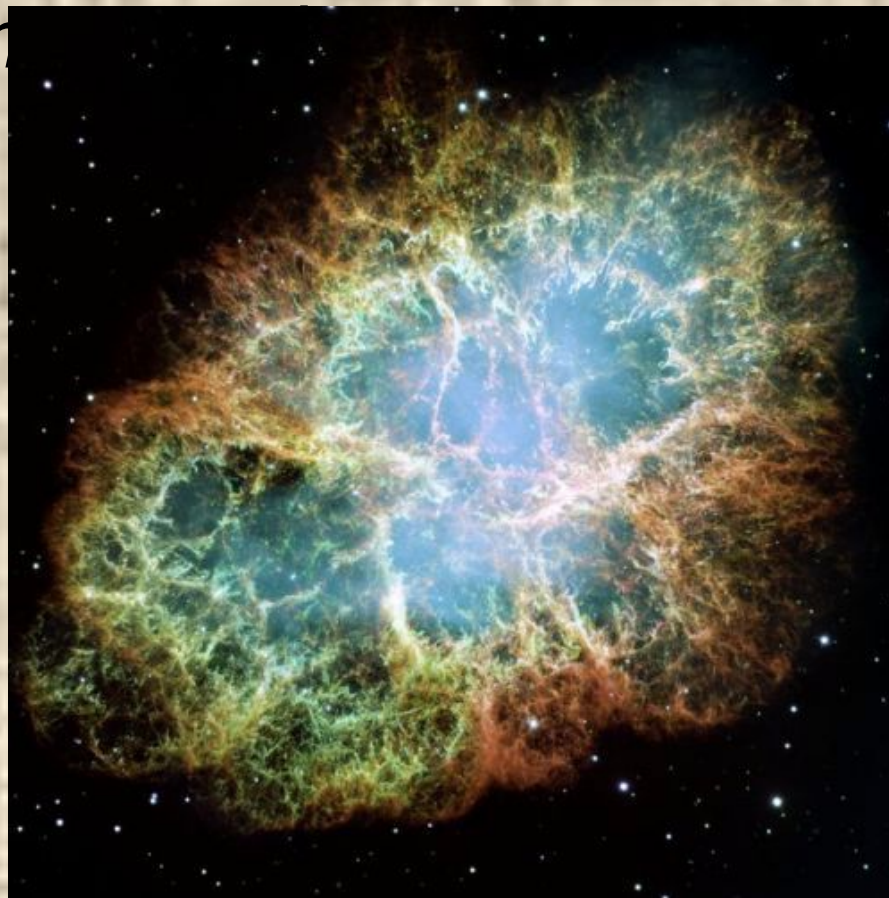


## 4. Нові та Наднові зорі

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*



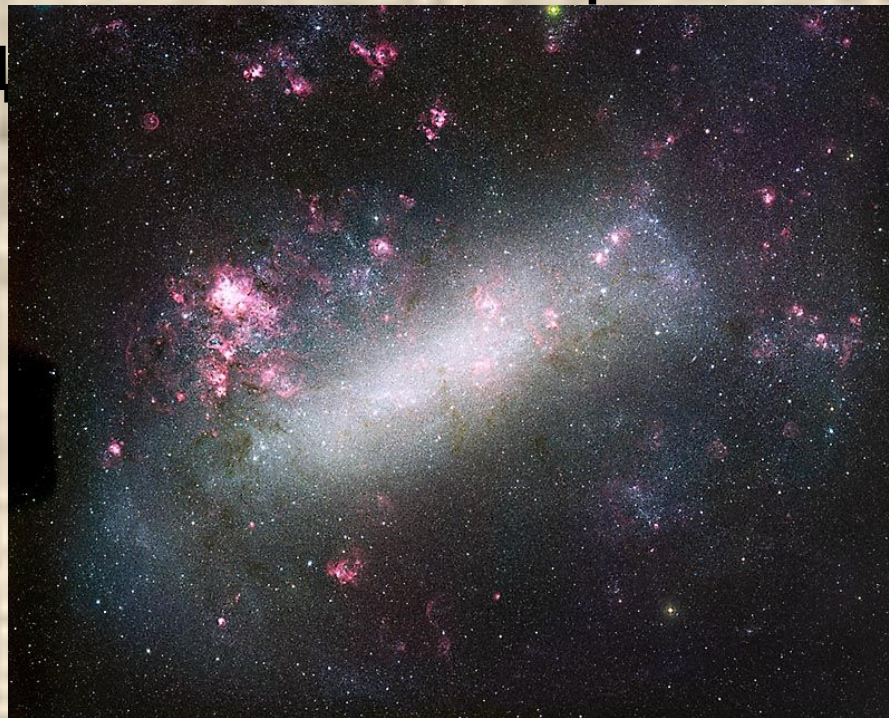


Зорі спектральних класів **O** та **B**, які протягом кількох днів збільшують свою яскравість у сотні мільйонів разів, називають *Новими*. Інколи Нова випромінює майже стільки ж енергії, скільки виділяють разом усі зорі в галактиці — такі зорі мають назву *Наднових*. Туманність Краб у сузір'ї Тільця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

- **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



Останній спалах Наднової астрономи спостерігали в минулому тисячолітті 24 лютого 1987 р. у сусідній галактиці — *Великій Магеллановій Хмарі*. Вибухнула гігантська зоря спектрального класу **B**, 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. 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 нар...



х зір.

# 5. Пульсари і нейтронні зорі

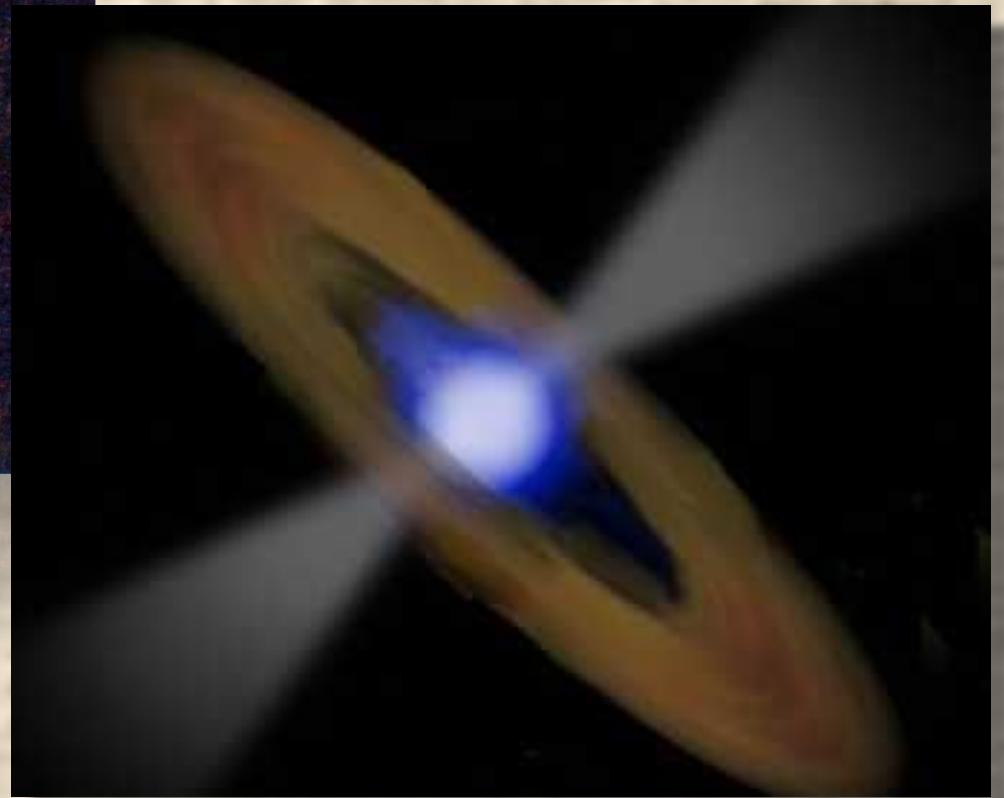
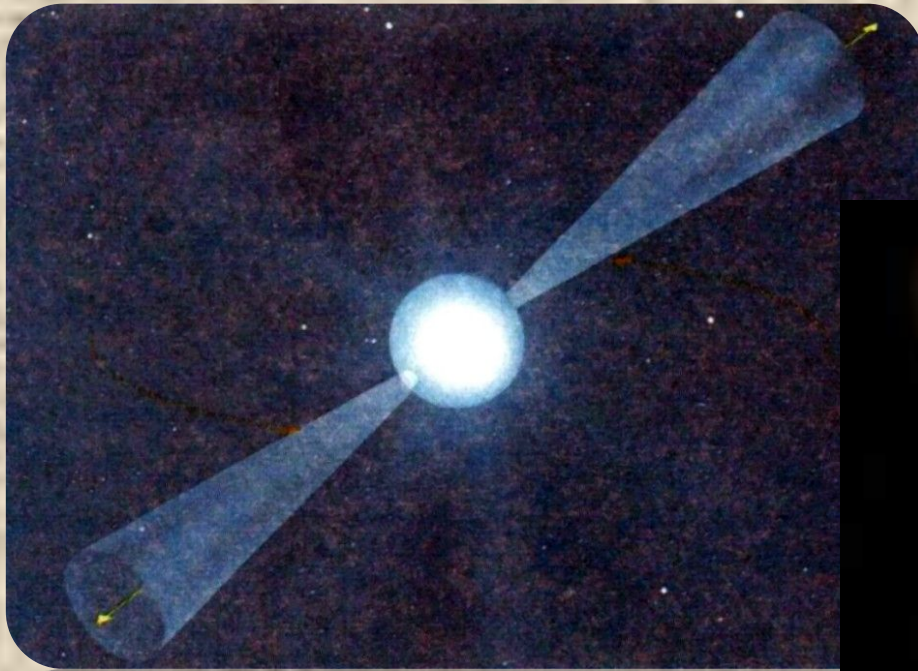
Сучасні теоретичні розрахунки показують, що пульсари і нейтронні зорі — це одні й ті самі об'єкти. Внаслідок стиснення *нейтронної зорі* має виконуватися закон збереження моменту імпульсу. Цей закон часто демонструють на льоду фігуристи, коли треба викликати швидке обертання свого тіла навколо осі. Спортсмени 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.

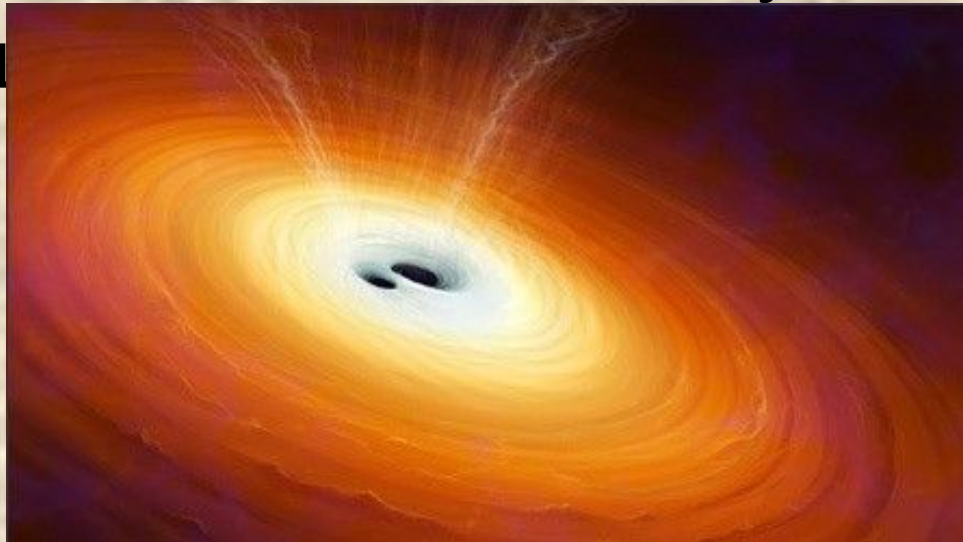
**Пульсар** — джерело електромагнітних хвиль, яке випромінює енергію у вигляді імпульсів із певним періодом. Те саме, що





# 6. Чорні діри

Чорні діри утворюються на останній стадії еволюції зір із масою більшою ніж  $3M_{\text{сонця}}$ . 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 навколиш



**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.

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.

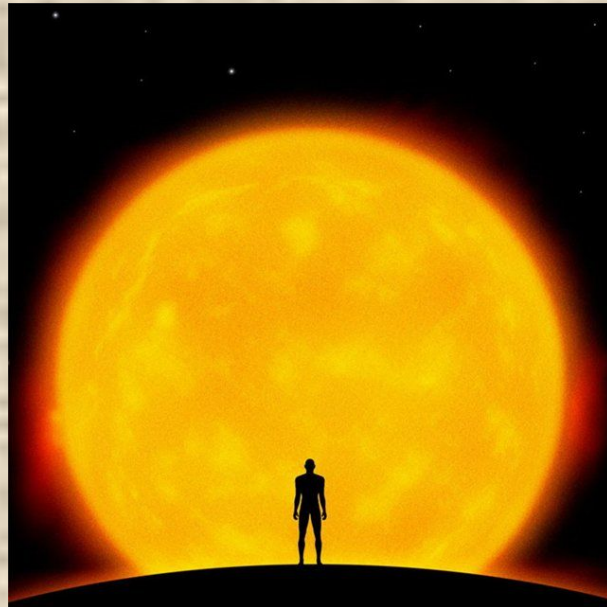
Критичний радіус для Землі  $R_0 = 1$  см, а для Сонця  $R_0 = 3$  км — такий об'єкт не буде випускати з гравітаційного поля навіть квантів світла, тому він стає невидимим, і від нього ми не можемо отримати інформацію за допомогою електромагнітних хвиль. Подібних чорних дір, або своєрідних зоряних могил, 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.



# 7. 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 в.



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. На небосхилі Землі буде світити велетенська червона куля, кутовий діаметр якої збільшиться в 10 разів у порівнянні із сучасним Сонцем і буде сягати 5°.



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/м<sup>3</sup>. Білий карлик не має джерел енергії, тому температура його поверхні поступово знизиться, і остання стадія еволюції нашого Сонця — холодний чорний карлик.



\*



# Висновки

У космосі постійно відбуваються народження молодих зір із газопилових туманностей та вибухи старих, коли утворюються нові туманності. Сонячна система утворилася близько 5 млрд. років тому з велетенської газопилової хмари, яка виникла на місці вибуху старої зорі. У стані рівноваги Сонце буде світити ще кілька мільярдів років, а потім перетвориться на червоного гіганта, який знищить усе живе на Землі...

# Тести

1. Які із цих зір світять довше за всіх?  
А. Гіганти спектрального класу О. Б. Білі зорі спектрального класу А. В. Сонце. Г. Червоні гіганти спектрального класу М.  
Д. Червоні карлики спектрального класу М.
2. Зорі якого спектрального класу мають найкоротше життя?  
А. А. Б. В. В. Р. Г. Г. Д. К. Е. М.
3. Який космічний об'єкт називають пульсаром?  
А. Червоний гігант. Б. Нейтронну зорю. В. Білий карлик. Г. Пульсуючу зорю. Д. Червоний карлик.
4. Термін «нова зоря» означає:  
А. У космосі утворилася молода зоря. Б. Вибухнула стара зоря. В. Періодично збільшується яскравість зорі. Г. Відбуваються зіткнення зір. Д. Космічні катастрофи з невідомим джерелом енергії.

5. У майбутньому Сонце може перетворитись:

А. На чорну діру. Б. На нейтронну зорю. В. На пульсар. Г. На червоного гіганта. Д. На червоного карлика. Е. На білого карлика.

6. Которі параметри зорі залишаються сталими?

Якщо зоря перебуває в стані гравітаційної рівноваги.

7. Які зорі світять найдовше?

Найдовше світять червоні карлики.

8. Скільки часу може світити Сонце у стані рівноваги?

Сонце в стані рівноваги може світити  $10^{10}$  років.

9. Як гинуть зорі великої маси?

Зорі великої маси вибухають як

наднові.

10. Чи може зоря червоний карлик перетворитись на білого карлика?

Зоря червоний карлик може перетворитись на білого

карлика.

11. Чому пульсари періодично змінюють інтенсивність випромінювання?

Тому що їхнє радіовипромінювання зосереджене лише в певному напрямку.



# Домашнє завдання

1. Опрацювати § 14.
2. Підготувати доповіді на тему:
  - Галактика Чумацький Шлях та її устрій.
  - Види зоряних скупчень.
  - Види галактик.