

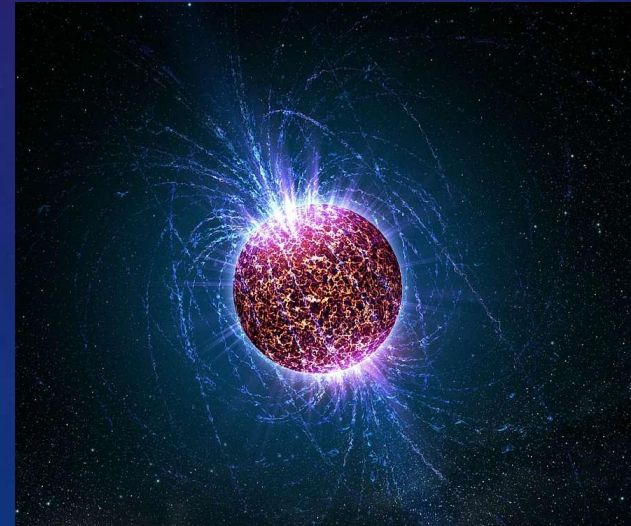
The background features a dark blue gradient with a starry space pattern. On the left side, there are several technical diagrams, including circular gauges with numerical scales (140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260) and various circular arrows and lines, suggesting a scientific or engineering theme.

# ПУЛЬСАРИ ТА НЕЙТРОННІ ЗОРІ

ПІДГОТУВАЛИ УЧНІ 11-А КЛАСУ

ВОЛОЩУК СЕРГІЙ, БУРСУК БОГДАН, РАЄВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР

- Нейтронна зоря — зоря на завершальному етапі своєї еволюції, що не має внутрішніх джерел енергії та складається переважно з нейтронів, які перебувають у стані виродженого фермі-газу, із невеликою домішкою інших частинок. Густина такого об'єкта, згідно з сучасними астрофізичними теоріями, сумірна з густиною атомного ядра.
- Нейтронні зорі — одні з небагатьох астрономічних об'єктів, які спочатку було теоретично передбачено, а потім уже відкрито експериментально. 1932 року Ландау припустив існування надщільних зір, рівновага яких підтримується ядерними силами. А 1934 року астрономи Вальтер Бааде й Фріц Цвіккі назвали їх нейтронними зорями й пов'язали з вибухами наднових. Перше загальновизнане спостереження нейтронної зорі відбулося 1968 року, коли були відкрито пульсари.



# КІНЦЕВА СТАДІЯ ЕВОЛЮЦІЇ ЗІР

Зоря зберігає свій об'єм завдяки тиску, який утворює газ, розігрітий до високих температур внаслідок ядерного синтезу. Газовий тиск урівноважує гравітаційні сили й протидіє гравітаційному стисканню зорі. Водень, що спочатку є основною складовою зір, внаслідок термоядерних реакцій перетворюється на гелій. У центрі зорі поступово накопичується гелієве ядро, маса якого постійно зростає. Зі зменшення кількості водню, зменшується потужність термоядерних реакцій і, відповідно, температура в надрах зорі. Газовий тиск стане меншим від гравітаційних сил і відбувається стиснення ядра. Після спалювання більшої частини водню, можливі різні сценарії подальшої еволюції зорі, що залежать від її маси:

- Якщо маса зорі менша половини маси Сонця, подальші ядерні реакції у ній не відбуваються, і вона поступово згасає.
- Якщо маса зорі на головній послідовності більша половини, але менша трьох мас Сонця, то невдовзі після залишення головної послідовності у ній розпочинається потрійна гелієва реакція, в якій гелій перетворюється на карбон. Невдовзі після того зоря перетворюється на білий карлик.
- У зорях із масою 3-8 мас Сонця у ядрі відбуваються подальші ядерні реакції з утворенням важчих елементів (аж до феруму).

Після утворення в зорі залізного ядра подальші ядерні реакції не призводять до виділення енергії. Таким чином, джерела ядерної енергії в надрах зорі майже повністю вичерпано. Якщо маса ядра в цей час перевищує межу Чандрасекара, подальше стиснення призводить до того, що нейтрони в таких умовах стають стабільними частинками. Електрони поєднуються з протонами, і тиск всередині зорі різко зменшується. Центральна частина стискається доти, доки стиснення не буде зупинено тиском виродженої нейтронної речовини. Густина речовини в ядрі стає майже рівною густині атомного ядра. Унаслідок різкого стиснення ядра зовнішні шари зорі падають на ядро — відбувається гравітаційний колапс, який супроводжується спалахом наднової. Внаслідок спалаху зовнішні шари зорі з великою швидкістю викидаються у навколишній простір, а компактне ядро перетворюється на нейтронну зорю.

Виміряні маси нейтронних зір (у подвійних системах) становлять 1—2 маси Сонця. Радіус нейтронної зорі становить близько 10-20 км, він зменшується зі збільшенням її маси. Унаслідок збереження моменту кількості руху під час гравітаційного стиснення нейтронна зоря дуже швидко обертається: період обертання становить секунди або навіть частки секунди.

Нейтронні зорі складаються з атмосфери, оболонки або кори (зовнішньої і внутрішньої) та ядра (зовнішнього і внутрішнього).

Вважається, що нейтронні зорі мають тверду зовнішню кору, що має кристалічну структуру і складається переважно з заліза (із домішками інших елементів). Товщина кори становить близько десятої частки радіусу. Під зовнішньою корою є внутрішня. Ще глибше розташована вироджена нейтронна рідина (із невеликими домішками протонів та електронів). У центрі густина може перевищувати ядерну. Стан речовини всередині нейтронних зір достеменно невідомий, оскільки в земних умовах його поки що неможливо відтворити.



# СПОСТЕРЕЖЕННЯ

- Головні ознаки нейтронної зорі, від яких залежать її спостережні прояви, - це обертання, акреція і магнітне поле.
- Акреція в астрофізиці — процес падіння речовини на масивне космічне тіло з навколишнього середовища під дією сили тяжіння
- Нейтронні зорі спостерігаються у всіх діапазонах електромагнітного спектра. Більшість з них спостерігаються як радіопульсари. Приблизно 150 відомих нейтронних зір входять до подвійних систем з акрецією і проявляють себе головним чином рентгєнівським випромінюванням акреційного диску і спалахами, що виникають в результаті термоядерного горіння акреційної речовини в зовнішніх шарах зорі.
- В результаті процесів охолодження, нагрівання і теплопереносу поверхня нейтронної зорі стає джерелом теплового випромінювання зі спектральним максимумом в області м'якого рентгену.
- Нейтронна зоря має дуже низьку світність (внаслідок невеликого розміру). Безпосередньо спостерігати саму нейтронну зорю важко. Спостереження ведуть опосередковано, через ті ефекти, які спричиняють особливості нейтронної зорі.
- У Всесвіті досить поширені подвійні зоряні системи. Якщо одна з зір подвійної системи перетворилась на нейтронну зорю, то можливе перетікання речовини другої зорі на нейтронну зорю (акреція) й утворення акреційного диску. Акреційний диск може мати високу світність за рахунок вивільнення гравітаційної енергії й слугує ознакою існування в подвійній системі компактного й масивного зоряного об'єкта.
- Якщо нейтронна зоря має потужне магнітне поле, то речовина з акреційного диску випадає на ділянках магнітних полюсів. Кінетична енергія речовини, що падає, перетворюється на електромагнітне випромінювання. Обертання призводить до появи пульсара — спостерігається астрономічний об'єкт, що випромінює у імпульсному режимі. Частота пульсацій визначається періодом обертання.
- Також поодинокі нейтронні зірки можуть бути виявлені завдяки явищу гравітаційного фокусування (при проходженні нейтронної зірки між звичайною зорею і спостерігачем відбувається візуальне збільшення яскравості зорі, оскільки гравітаційне поле нейтронної зірки викривлює рух світла).

