

Лекція № 3

Тема 5. СОНЦЕ — НАЙБЛИЖЧА ЗОРЯ

1. Фізичні характеристики Сонця. Будова Сонця та джерела його енергії.
2. Прояви сонячної активності та їх вплив на Землю. (*самостійно*)

Тема 6. ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР

1. Зорі та їх класифікація.
2. Подвійні зорі. Фізичні змінні зорі.
3. Еволюція зір. Нейтронні зорі. Чорні діри. (*самостійно*)

Тема 7. НАША ГАЛАКТИКА

1. Молочний Шлях. Будова Галактики. Місце Сонячної системи в Галактиці.
2. Зоряні скупчення та асоціації. Туманності.
3. Підсистеми Галактики та її спіральна структура.

Тема 5. СОНЦЕ — НАЙБЛИЖЧА ЗОРЯ

Сонце — центральне світило у Сонячній системі. Події та явища, що відбуваються на ньому, значною мірою визначають процеси, які відбуваються на планетах, зокрема і на планеті Земля. Водночас Сонце — типова жовта зоря серед багатьох мільярдів інших, що населяють нашу Галактику. Завдяки винятковій близькості до Землі Сонце — єдина зоря, на поверхні якої ми бачимо окремі деталі і чий властивості порівняно з іншими зорями добре вивчені.

Отже, вивчаючи Сонце, ми починаємо краще розуміти природу інших зір, недосяжних для безпосереднього дослідження через їхню віддаленість. Важливо досліджувати Сонце і з огляду на те, що воно — джерело життя на Землі.

Основні відомості про Сонце.

Спостерігачеві Сонце (мал. 18.1) здається ідеально круглим диском, яскравість якого дещо зменшується від центра до чітко окресленого краю. Цей факт дозволяє ввести поняття «поверхні» Сонця, хоча насправді, як у будь-якої газової кулі — поверхні у звичному для нас розумінні у нього немає. Є плавне зменшення густини з висотою від стану умовно щільного до дуже розрідженого.

Сонце має складну будову як внутрішніх, так і зовнішніх шарів.

Зовнішні шари Сонця — це його атмосфера, яку умовно поділяють на три концентричні оболонки.

Фотосфера (з грец. — «сфера світла») — це найнижчий і найщільніший шар атмосфери, 300 км завтовшки, від якого ми отримуємо основний потік сонячного випромінювання. Оскільки товщина фотосфери становить не більше однієї тритисячної частки радіуса Сонця, саме її умовно називають поверхнею Сонця.

Фотосфера має жовто-білий колір і густину, в сотні разів меншу від густини атмосфери при поверхні Землі. Температура фотосфери зменшується з висотою, і той її шар, випромінювання якого сприймає людське око, має температуру біля 6 000 К. За таких умов майже всі молекули розпадаються на окремі атоми і лише у верхніх шарах зберігається відносно небагато найпростіших молекул, таких як H_2 , OH , CH .

Розглядаючи фотографії Сонця, можна на його поверхні побачити тонкі деталі фотосфери: здається, що всю її засіяно дрібними яскравими зернятками, розділеними вузькими темними доріжками. Ці зернятка називаються **гранулами**. Температура гранул у середньому на 500 К вища, ніж у проміжках між ними, розміри — близько 700 км. Гранули з'являються та існують пересічно близько 7 хв, після чого розпадаються, і на їхньому місці виникають нові.

Дослідження показали, що **гранули** - це потоки гарячого газу, які підіймаються догори, тоді як у темних, дещо прохолодніших місцях, газ опускається вниз. Гранули свідчать про те, що під фотосферою у глибших шарах Сонця перенесення енергії до поверхні здійснюється шляхом конвекції. Над фотосферою лежить наступний шар атмосфери Сонця — **хромосфера** (з грец. — «забарвлена сфера», мал. 18.3). Її можна побачити під час повного сонячного затемнення у вигляді вузького жовто-червоного кільця.

Товщина хромосфери становить 12-15 тис. км, а температура зростає від 4 500 К на межі з фотосферою до 100 000 К у її верхніх шарах.

Сонячна хромосфера дуже неоднорідна: в ній є довгасті, схожі на язички полум'я утворення — так звані **спікули**. Тому хромосфера нагадує траву, що горить. Час життя окремої спікули — до 5 хв, діаметр біля основи — від 500 до 3 000 км, температура у 2-3 рази вища, а густина менша, ніж у фотосфері. Речовина спікул піднімається із хромосфери в корону і розчиняється в ній. Таким чином, через спікули відбувається обмін речовини хромосфери з короною, яка лежить вище.

Над хромосферою знаходиться найпротяжніший шар сонячної атмосфери — **сонячна корона**. Вона має сріблясто-білий колір і простягається на висоту в кілька сонячних радіусів, поступово переходячи у міжпланетний простір. Температура її на межі з хромосферою становить 100 000 К, а далі зростає до 2 000 000 К.

Корона у мільйон разів менш яскрава, ніж фотосфера, і не перевищує яскравості Місяця у повні, а тому спостерігається лише під час повної фази сонячного затемнення чи за допомогою спеціальних телескопів. Корона не має чітких обрисів, її неправильна форма змінюється з часом.

Найвіддаленіші частини корони не утримуються сонячним тяжінням, і тому речовина корони неперервно витікає в міжпланетне середовище, формуючи явище сонячного вітру. Речовина сонячного вітру складається в основному з ядер водню (протонів) і гелію (α-частинок). Біля основи корони швидкості частинок не перевищують 0,3 км/с. Але на відстані орбіти Землі їхні швидкості досягають 500 км/с за концентрації частинок 1-10 в 1 см³.

Хімічний склад Сонця. И. Фраунгофер описав у спектрі Сонця понад 570 окремих темних ліній. Найвиразніші з них він позначив великими літерами латинського алфавіту (від червоного до фіолетового діапазону спектра) — А, В, С, D, Е, F, G, Н.

У 1857 р. німецькі фізики Г. Кірхгоф і Р. Бунзен порівняли довжини хвиль фраунгоферових ліній з досліджуваними в земних лабораторіях довжинами хвиль, що їх випромінюють (і поглинають) відомі хімічні елементи. Так було ототожнено близько десяти елементів. А справжнім тріумфом астрофізики стало відкриття нового хімічного елемента — гелію. Спостерігаючи 1868 р. спектр Сонця, англійський астроном Джозеф Лок'єр виявив у ньому яскраву жовту лінію поблизу лінії натрію В. Невідомий елемент, якому належала ця лінія, отримав назву гелій, тобто «сонячний». І лише у 1895 р. гелій було знайдено на Землі при дослідженнях спектрів окремих мінералів.

Загалом у спектрі Сонця виявлено лінії 72 хімічних елементів, визначено їхню відносну кількість. Найбільше у речовині Сонця водню, друге місце посідає гелій. Разом вони складають 98% маси Сонця. Кількість усіх інших елементів (за масою) не перевищує 2%.

Регулярні спостереження поверхні Сонця, зокрема за положенням на ній окремих деталей, привели до висновку, що Сонце обертається навколо своєї осі в тому ж напрямку, що і планети навколо нього, тобто проти годинникової стрілки, якщо розглядати цей рух з боку Північного полюса світу. Було визначено і кут нахилу осі обертання Сонця до площини екліптики: 82 45".

За останні 150 років було висловлено багато гіпотез щодо природи джерел енергії Сонця і зір. Зрештою було з'ясовано, що реальне значення мають лише такі джерела як гравітаційне стискання і термоядерний синтез.

За сучасними уявленнями, зорі формуються з фрагментів газово-пилових хмар. У центрі такої хмари виникає зародок зорі, на який «намагається» впасти вся навколишня речовина. У процесі падіння потенціальна енергія перетворюється в кінетичну, а та, у свою чергу, внаслідок зіткнень окремих частинок перетворюється в теплову енергію. І якщо спочатку температура у згаданому фрагменті була низькою, то зі зменшенням радіуса майбутньої зорі температура в її центрі починає зростати.

З теорії випливає, що під час гравітаційного стискання протозоря випромінює практично половину звільненої потенціальної енергії в навколишній простір. Друга її половина іде на нагрівання речовини самої зорі.

У процесі стискання протозорі зростає температура в її центрі, і через деякий час вона може досягти величини 10 000 000 К. За такої температури починаються термоядерні реакції перетворення водню на гелій. Першою і найефективнішою з реакцій термоядерного синтезу в умовах Сонця є утворення з чотирьох протонів ядра атома гелію.

Винятково важливою обставиною є те, що маса ядра гелію майже на 1% менша за масу чотирьох протонів. Ця втрата маси, що називається дефектом маси, і є причиною виділення внаслідок ядерних реакцій великої кількості енергії.

Реакції синтезу гелію і енерговиділення, яке їх супроводжує, найбільш інтенсивно відбуваються в центрі Сонця, де температура і тиск найвищі. Вони загалом можуть перебігати двома шляхами.

Найістотнішою в надрах Сонця є реакція протон-протонного (p-p) циклу. Цикл починається з край рідкісної події - перетворення протона на нейтрон при його особливо тісному зближенні з іншим протоном; ця подія називається В-розпадом протона, бо під час розпаду утворюється позитивна В-частинка — позитрон.

Виникає питання: якщо у надрах Сонця відбуваються ядерні реакції, то що регулює їхню швидкість, чому Сонце не вибухає, як термоядерна бомба? Відповідь приховується у першій із трьох реакцій циклу. Ймовірність того, що при зближенні двох протонів один із них перетвориться в нейтрон, надзвичайно мала. Ця подія може відбутись один раз на 14 млрд років. За такий час число протонів у певному об'ємі зменшується удвічі. І тільки тому, що число протонів у Сонці надзвичайно велике, цих реакцій відбувається достатньо для того, щоб підтримувати необхідну для їхнього перебігу температуру.

У другому, вуглецево-азотному циклі, також із чотирьох ядер водню (протонів) утворюється одне ядро гелію, але при цьому вуглець і азот відіграють роль каталізаторів. Ця реакція значно менш істотна в умовах Сонця, бо потребує як більшого вмісту вуглецю, так і вищої температури в його надрах. Маючи таке джерело енергії як термоядерний синтез, Сонце може світити близько 10 мільярдів років.

Внутрішня будова Сонця. Від центра Сонця і до віддалі $(0,2-0,3)R_0$ знаходиться його ядро- зона, де зосереджена половина сонячної маси і виділяється практично вся енергія, що змушує його світитись. Оскільки перенос енергії в ядрі відбувається не конвекцією, а переви-промінюванням квантів, такий стан ядра називають **променистим**.

На віддалі понад $0,3R_0$ від центра температура і тиск стають меншими ніж 5 млн К і 10 млрд атмосфер. За таких умов ядерні реакції відбуватися не можуть. Енергія, утворена в ядрі, лише передається далі шляхом поглинання у-квантів із більших глибин і наступного їх переви-промінювання. Зона, в якій енергія переноситься шляхом поглинання випромінювання і наступного

його перевипромінювання, називається **зоною променистої рівноваги**. Практично усі надра Сонця перебувають у стані променистої рівноваги.

Вище цього рівня зростає непрозорість речовини, і випромінювання, замкнуте під її товщею, не встигає відводити все вироблене «тепло». Тому в перенесенні енергії починає брати участь сама речовина, і безпосередньо під фотосферою вздовж останніх $0,2R$ утворюється конвективна зона, де енергія переноситься шляхом конвекції. Інакше кажучи, приповерхневий шар Сонця «кипить», тобто перебуває у стані конвективної рівноваги. Одним із проявів конвекції у фотосфері Сонця є грануляція. За розрахунками близько 5 % енергії, яка вивільняється в надрах Сонця, виносять нейтрино. З 1967 р. дослідники намагаються зареєструвати теоретично обчислену кількість нейтрино з допомогою нейтринних детекторів. Але і в наш час, коли вже отримано нейтринні зображення Сонця, такої їхньої кількості, яка б відповідала теоретичним розрахункам, не виявлено. Можливо, це пов'язано з недосконалістю методик реєстрації нейтрино, а, може, найближчим часом доведеться переглядати наші уявлення про ті процеси, які відбуваються в надрах Сонця та про природу нейтрино.

В цілому процес передачі енергії від центральних областей до фотосфери дуже повільний і триває мільйони років.

2. *самостійно*

Тема 6. ЗОРІ. ЕВОЛЮЦІЯ ЗІР

1-2.

Зорі— велетенські розжарені, самосвітні небесні тіла, у надрах яких відбуваються (відбувались) термоядерні реакції.

Розрізняють зорі: велетні і карлики, одинокі, подвійні і кратні, затемнено-кратні, змінні зорі і нові.

Гігант— зорі невеликої чи середньої маси з гарячим компактним ядром та протяжними оболонками.

Білі карлики— зірки низької світності з масами, порівняними із масою Сонця, та високими ефективними температурами. Назва білі карлики пов'язана з кольором перших відкритих представників цього класу - Сіріуса В та 40 Ерідана В.

Змінні зорі— зорі, у яких спостерігається зміна блиску. Взагалі блиск будь-якої зірки тією чи іншою мірою змінюється із часом. Але змінними називають зорі, у яких зміна блиску було надійно зафіксовано на досягнутому рівні техніки спостереження. Для належності зірки до змінних досить, щоб її блиск зазнав змін хоча б одного разу.

Нова зоря (в астрономії зазвичай просто Нова, від лат. Nova) — зоря, світність якої раптово збільшується в $\sim 10^3$ — 10^6 разів (на 7-19 зоряних величин), а потім поступово зменшується (протягом місяців чи років). Здебільшого світність збільшується в десятки тисяч разів. Спочатку вважали, що спалахує нова (раніше не існуюча) зоря, оскільки такі зорі до спалаху не спостерігалися

Кратна зоря - три або більше зорі, що мають із Землі вигляд близьких одна до одної. Ця близькість може бути лише видимістю, тоді як у просторі зорі розташовані далеко одна від одної — у цьому разі зірка називається оптично кратною. Якщо ж зорі знаходяться на близькій відстані одна від одної й пов'язані гравітацією — система зір називається фізично кратною. Фізично кратні зорі — це різновид кратної зоряної системи.

Подвійна зоря — система з двох гравітаційно пов'язані 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.

Види подвійних зірок та їх спостереження:

❖ *Візуально-подвійні зорі* – це подвійні зорі, якщо їхню подвійність можна помітити під час безпосередніх спостережень у телескоп. Безпосереднє визначення маси можливе лише для подвійних зір. Прикладом візуально-подвійної зорі, видимої навіть неозброєним оком, є ϵ Великої Ведмедиці, друга зоря від кінця «ручки» її «ковша».

❖ *Затемнювано-подвійні зорі* – зорі, видима величина яких ритмічно змінюється внаслідок затемнення одного компонента іншим.

❖ *Спектрально-подвійні зорі* – зорі, подвійність яких можна встановити тільки за допомогою спектральних спостережень.

❖ *Оптично-подвійні зорі* – близькість таких двох зір є результатом випадкової проекції їх на небо.

Тема 7. НАША ГАЛАКТИКА

1. Справжнє відкриття Галактики як фізичного об'єкта відбулося 1924 р., коли Е. Габбл довів, що вона - лише один із багатьох подібних до неї зоряних світів. Збагачення уявлень про Галактику розпочалося з 60-х років ХХ ст. після створення потужних наземних і космічних телескопів.

Молочний Шлях.

Молочний Шлях – це відносно яскрава сріблясто-біла смуга на зоряному небі, яку давні греки назвали «галактикос» (від грец. «гала» - «молоко»). У північній півкулі неба Молочний Шлях проходить через сузір'я Близнят, Тельця, Візничого, Кассіопеї, Цефея, Лебедя. У цьому сузір'ї він роздвоюється і двома смугами проходить через сузір'я Орла, а далі, в південній півкулі неба. Щита, Стрільця, Змієносця і Скорпіона. Описавши дугу на відстані 25° від Південного полюсу світу, в Україні він з'являється

над горизонтом у сузір'ї Великого Пса і Одророга, переходячи в північну півкулю неба через сузір'я Орїона.

Кільце Молочного Шляху утворюють найближчі до нас зорі Галактики, яка як зоряна система має вигляд диска чи двоопуклої лінзи. Для перших її дослідників це кільце створювало враження, нібито Сонце перебуває у центрі Галактики. Як побачимо далі, це зовсім не так.

2. Деяка частина зір Галактики об'єднана в скупчення, тобто в групи, які пов'язані між собою взаємним тяжінням і тому рухаються в просторі як єдине ціле.

Розрізняють два види зоряних скупчень: *розсіяні та кулясті.*

Розсіяні зоряні скупчення складаються з декількох десятків, сотень, іноді тисяч зір і мають неправильну форму, їхні діаметри становлять 10-20 св.р. Майже всі розсіяні зоряні скупчення знаходяться в районі Молочного Шляху або поблизу нього. їх виявлено близько 1 200, а найвідоміші з них - Плеяди та Пади. Зокрема, в Плеядах неозброєним оком видно лише сім-десять зір, а при спостереженні у телескоп - понад дві сотні.

Кулясті зоряні скупчення мають сферичну або злегка сплюснуту форму діаметром до 300 св. р. Вони налічують сотні тисяч і навіть мільйони зір, які групуються до центра.

Як показали спостереження, більшість кулястих зоряних скупчень знаходяться в одній частині неба в сузір'ї Стрільця.

Більш як 100 мільярдів зірок Галактики становлять 98% її маси. Інші 2% її речовини перебувають у розрідженому стані у вигляді газу й міжзоряного пилу. Велика частина цієї речовини скупчується, утворюючи величезні хмари - галактичні туманності, діаметри яких становлять сотні світлових років. Ці хмари зосереджені переважно поблизу галактичної площини. Галактичні туманності бувають дифузійні (світлі й темні) і планетарні. Дифузійні туманності знаходяться всередині Галактики. Найвідоміша з них — світла туманність у сузір'ї Орїона. Темні туманності виглядають як темні плями на сяючому фоні Молочного Шляху. Найбільша з них — у сузір'ї Водоля. Найяскравішою планетарною туманністю є туманність у сузір'ї Ліри. Діаметри планетарних туманностей у тисячі разів більші за діаметр нашої Сонячної системи. Газоподібні оболонки цих туманностей невпинно розширюються, віддаляючись від

центрального ядра зі швидкістю близько кількох кілометрів за секунду. Очевидно, вони пов'язані з вибухами нових.

3. Уявлення про населення Галактики увів 1944 р. німецький астроном В. Бааде (1893-1960). Спочатку воно стосувалося Туманності Андромеди (галактика М31). При її фотографуванні через синій і червоний світлофільтри він виявив, що плоский лінзоподібний диск цієї велетенської галактики занурений у більш розріджену зоряну хмару сферичної форми - гало. Оскільки туманність Андромеди дуже схожа на нашу Галактику, Бааде припустив, що подібну структуру має і Молочний Шлях.

Об'єкти спіральних рукавів галактичного диска було названо населенням **I типу**. А зорі гало, які концентруються симетрично щодо центра системи, - населенням **II типу**.

Гало, диск і ядро Галактики.

Гало або корона Галактики складається в основному з газу, газових хмар і дуже старих неясних зір, як поодиноких, так і у вигляді кулястих скупчень. Концентруючись до центра Галактики, вони утворюють так званий балдж (з англ. - «потовщення») у межах кількох тисяч світлових років від нього. Рухаючись по витягнутих еліптичних орбітах, зорі гало дуже повільно обертаються навколо центра Галактики.

Спіральна структура Галактики.

Припущення, за яким наша Галактика є системою спіральних рукавів, було висловлено в середині XIX ст. І лише через сто років під час дослідження розподілу в просторі розсіяних зоряних скупчень виявилось, що вони вкладаються у три вузькі смуги, які можна вважати частинами спіральних рукавів.

Наша Галактика має дуже добре виражену спіральну структуру. Певний час складалася думка, нібито в Галактиці чотири спіралі, однак зараз надійно доведено, що їх дві.

На відміну від гало, де прояви зоряної активності надзвичайно рідкісні, в спіральних рукавах триває бурхливе життя: речовина безперервно переходить з міжзоряного простору в зорі під час їхнього утворення і у зворотному напрямку на заключних стадіях еволюції.

Період обертання Сонця навколо центра Галактики становить приблизно 200 млн. років і називається галактичним роком.

Спіральні рукави як ціле і окремі зорі рухаються навколо центра Галактики з різними швидкостями. Кожна зоря то потрапляє у спіральний рукав, то виходить із нього. І тільки Сонце знаходиться в такому її місці, де його швидкість навколо центра Галактики практично збігається зі швидкістю спірального рукава.