

Тема: Сонце — найближча зоря

Мета: сформувати в учнів уявлення про Сонце та його будову, джерела сонячної енергії, прояви сонячної активності та її циклічність; навести приклади впливу сонячної активності на біосферу Землі, розвивати спостережливість за об'єктами природи; виховувати інтерес до предмету.

Тип уроку: вивчення нового матеріалу.

Обладнання: підручник, таблиця, презентація.

Хід уроку

I. Перевірка домашнього завдання

Запитання та завдання для бесіди:

- Пояснити наслідки з правила Тиціуса - Бодє.
- Що таке комета і яка її будова при проходженні поблизу Сонця?
- Що таке метеор?

II. Вивчення нового матеріалу

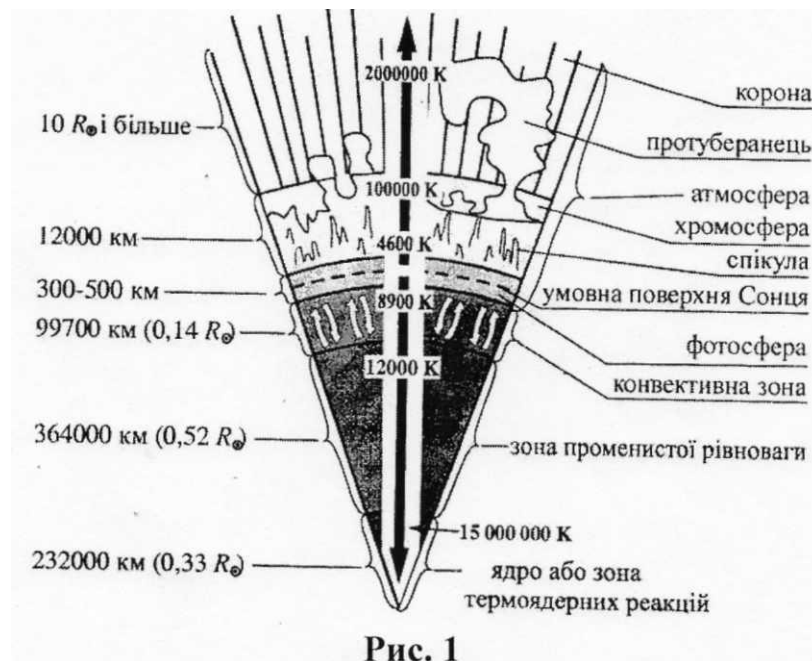
Зоря Сонце — центральне тіло Сонячної системи. Маса Сонця $M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, що у 333 тис. разів більше за масу Землі. Радіус Сонця перевищує земний у 109 разів і становить $R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$. Середня густина сонячної речовини $\bar{\rho}_{\odot} \approx 1408 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, проте у зовнішніх шарах зорі густина в мільйони разів менша, а в центрі - у сотні разів більша ($\bar{\rho}_{\odot \text{ max}} \approx 152 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$). Сонце випромінює енергію в усьому діапазоні довжин електромагнітних хвиль: від γ-випромінювання до радіохвиль. Світність (тобто потужність випромінювання) Сонця $L_{\odot} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$. Щоб краще уявити цю величину, зауважимо, що при сучасному розвитку електроенергетики людство лише за 10 млн років змогло б виробити таку кількість електроенергії, яка дорівнювала б енергії, що її випромінює Сонце за 1с.

Хімічний склад Сонця встановили, досліджуючи його випромінювання. Сонячна поверхня, маючи температуру приблизно 6000 К, дає неперервний спектр електромагнітних хвиль. Частина світла поглинається нижніми шарами розрідженої газової оболонки Сонця (хромосферою). У 1814 році німецький фізик Й. Фраунгофер (1787-1826) описав понад 570 ліній

поглинання хімічних елементів. Вони є важливим джерелом інформації про склад зорі, адже кожному хімічному елементу відповідає цілком певний набір довжин електромагнітних хвиль, які він поглинає та випромінює. Виявивши у спектрі Сонця чи іншої зорі лінію, притаманну, наприклад кальцію, можна стверджувати, що там є ця речовина. До речі, під час повного сонячного затемнення, коли зникає створений поверхнею Сонця неперервний спектр, темні фраунгоферові лінії поглинання змінюються яскравими лініями випромінювання гарячого газу хромосфери. Зараз відомо понад 10 тис фраунгоферових ліній, які відповідають 72 хімічним елементам. Встановлено, що в даний час 70% маси Сонця складає водень, 28% — гелій, а 2% припадає на важчі елементи.

Звичайно, нема можливості зазирнути всередину Сонця, тому уявлення і про його будову можна сформувати на основі теоретичного аналізу, використовуючи фізичні закони і такі характеристики, як маса, радіус, світність. Залежно від температури та процесів, що відбуваються, у Сонці умовно виділяють **ядро, зону променистої рівноваги, конвективну зону та атмосферу** (див. рис. 1).

Кожна зоря випромінює енергію, отриману при гравітаційному стиску та при термоядерних реакціях. Перший спосіб характерний для ранніх етапів еволюції зорі. Сонце давно сформувалось і перебуває у стані гравітаційної рівноваги, тобто сила гравітаційного стискання зрівноважується силою газового тиску.



Тому для нашої зорі основним джерелом енергії є термоядерні реакції. Ядро - центральна область Сонця, в якій за надвисокого тиску та температури 15 млн К вони відбуваються. Є два цикли протікання таких реакцій: протон-протонний та вуглецево-азотний. В умовах Сонця основною є реакція протон-протонного циклу, за якої з чотирьох протонів (ядер водню) утворюється

одне ядро гелію і виділяється енергія. Розрахунки свідчать, що з водню масою 1 кг утворюється 0,99 кг гелію і випромінюється близько $9 \cdot 10^{14}$ Дж енергії. Вчені вважають, що запасів водню, який є у сонячному ядрі, вистачить на 10 млрд років. Реакція вуглецево-азотного циклу є неістотною для Сонця, бо відбувається за температур, вищих ніж 15 млн К, тобто у надрах масивніших, більш гарячих зір. Із віддаленням від центра Сонця температура поступово зменшується і нарешті стає недостатньою для протікання термоядерних реакцій. Так визначають межі ядра. Його радіус становить близько третини радіуса Сонця. В ядрі зосереджена приблизно половина маси Сонця.

Енергія, яка виділяється в сонячному ядрі, переноситься назовні двома способами: променевим та конвективним. Променеве перенесення енергії відбувається в самому ядрі й далі, в зоні променистої рівноваги. При термоядерних реакціях виникають γ -кванти, які одразу ж поглинаються атомами оточуючої речовини. Збуджені атоми у свою чергу випромінюють γ -кванти, які рухаються в іншому напрямі. Далі процес повторюється. Випромінювання рухається назовні не по прямій, на що пішло б кілька секунд, а по ламаній, витрачаючи приблизно 10 млн років. До того ж, на своєму довгому шляху випромінювання зазнає значних змін. Атом, поглинувши високоенергійний γ -квант, як правило, випромінює кілька квантів зі меншими енергіями. Таким чином, жорстке γ -випромінювання, що є результатом термоядерних реакцій у ядрі Сонця, зазнавши багаторазового перевипромінювання виходить на поверхню переважно у формі видимого світла.

Над зоною променистої рівноваги розташована конвективна зона. Температура у ній швидко зменшується з віддаленням від центра Сонця, а енергія з глибини вгору переноситься в основному за допомогою конвекції, хоча променеве перенесення теж має місце.

Зовнішні шари Сонця називаються атмосферою. У ній утворюються всі види випромінювання, які випромінює зоря. Найглибший і найщільніший шар атмосфери - **фотосфера** - завтовшки близько 300 км. Температура фотосфери збільшується з глибиною і в середньому дорівнює 6000 К. Майже посередині фотосфери проходить умовний рівень із певними оптичними властивостями, який називають **поверхнею Сонця**. Іноді, зважаючи на те, що товщина фотосфери мізерна порівняно з розмірами Сонця, його поверхню вважають самою фотосферою. Слід розуміти, що Сонце - розжарена газова куля, і його умовна поверхня не схожа на тверду поверхню Землі.

Фотосфера має зернисту структуру, яку називають грануляцією (від латинського *granulum* - зернятко). На фотографіях світлі гранули схожі на рисові зернятка, розділені темними проміжками. Одночасно у фотосфері є близько 3 млн гранул. Середній діаметр гранули 700 км й існує вона до 10 хв. Грануляція постійно змінюється. Одні гранули зникають, інші з'являються на

їхньому місці. Картина грануляції схожа на ту, що спостерігаємо на поверхні окропу. Конвективні потоки зі швидкістю 1 км/с піднімають із надр фотосфери гарячу плазму, і місця, де вона виходить на поверхню, є світлішими. Темні проміжки - місця, де опускається вниз охолоджена плазма.

Шар атмосфери, розташований над фотосферою, називається **хромосферою** (від грецького chroma - колір). Товщина сонячної хромосфери понад 12000 км, а температура зростає з висотою від 4500 К до 100000 К. Під час повних затемнень Сонця хромосферу видно у вигляді тонкого рожево-червоного кільця, яке облямовує диск Місяця. Хромосфера пронизана величезною кількістю **спікул** (від латинського spiculum - вістря, кінчик) - тонких колоноподібних утворень із відносно холодної речовини, оточених значно гарячішою плазмою. Одночасно є близько 30000 спікул, кожна з яких існує 2-5 хв. Висота спікули може досягати 10 тис. км. Речовина спікули, піднімаючись зі швидкістю до 20 км/с, потрапляє із хромосфери в сонячну корону.

Зовнішній дуже розріджений шар атмосфери Сонця називається **корonoю**. Вона простягається на величезну відстань — понад $10 R_{\odot}$, а температура в ній підвищується до $2 \cdot 10^6$ К. Яскравість сонячної корони приблизно така ж, як і Місяця в повні, тому побачити її на фоні яскравої фотосфери неможливо. Лише під час повних сонячних затемнень або за допомогою спеціального приладу - коронографа - вдається спостерігати за короною. Сонячна корона перебуває в стані динамічної рівноваги. Вона постійно поповнюється речовиною із хромосфери, і одночасно з неї в міжпланетний простір витікає неперервний потік частинок (протонів, електронів, α -частинок, іонів), який називають **сонячним вітром**.

У внутрішніх шарах корони виникають величезні потоки плазми аркоподібної чи фонтаноподібної форми — **протуберанці** (від латинського protuberans - здуватись). Деякі з них місяцями висять над хромосферою, повільно змінюючись і поступово зникаючи. Їх називають спокійними. По-іншому розвиваються еруптивні протуберанці. Раптово зі швидкістю до 700 км/с речовина такого протуберанця піднімається вгору на сотні тисяч кілометрів і так само швидко падає вниз. Спостерігались еруптивні протуберанці заввишки понад $1,5 \cdot 10^6$ км. Температура речовини протуберанця в сотні разів менша за температуру навколишньої плазми, а густина в стільки ж більша. Форма, розміри та розвиток протуберанців визначається магнітним полем.

У телескоп чи на фотографіях Сонця можна побачити темні плями, які виникають у фотосфері. Коли ж світило низько над горизонтом, то крізь імлу на сонячному диску неозброєним оком іноді можна помітити темні плями. Згадки про такі спостереження є в літописах та історичних хроніках багатьох народів. У Західній Європі сонячні плями уперше були виявлені при телескопічних спостереженнях Сонця Г. Галілеєм у грудні 1610 р. У той час помилково вважали, що сонячні плями — це вершини сонячних гір, які

проглядають поміж хмар. За рухом сонячних плям встановлено не тільки обертання Сонця навколо осі, але й зональний характер цього обертання. Сонце обертається в тому ж напрямі, що й планети навколо нього. Площина екватора утворює із площиною екліптики кут $7^{\circ}15'$. Сидеричний період обертання точок на екваторі Сонця дорівнює 25 діб, а біля полюсів – 30 діб.

Сонячні плями, якщо їх розглядати детальніше, не є однорідними. Центральна темніша частина - тінь, або ядро, - оточена півтінню. Розміри плям різноманітні і можуть сягати 200000 км. На фоні яскравої фотосфери плями виглядають чорними, але їхній справжній колір — червонуватий. Особливістю темних плям є наявність у них сильного магнітного поля з індуктивністю до 0,5 Тл (у середньому в фотосфері індукція магнітного поля 0,0001-0,001 Тл). Магнітне поле перешкоджає рухові плазми, сповільнює конvekцію і у такий спосіб послаблює доступ енергії з надр Сонця. Тому температура у плямах на 1000-1500 К нижча ніж у фотосфері. Зазвичай плями з'являються групами. У групах вирізняються дві найбільші плями — ведуча та хвостова, які мають протилежну полярність магнітного поля. Сонячні плями — нестійкі утворення. Їхня форма та кількість постійно змінюється. Найчастіше плями виникають в екваторіальній зоні Сонця.

Поряд із плямами у фотосфері часто видно **факели** - світлі утворення, що мають складну волокнисту структуру. їхня яскравість трохи переважає яскравість фотосфери, а температура лише на 200-300 К вища. Деякі факели існують тижнями.

Сукупність явищ на поверхні Сонця, зумовлених процесами в його надрах, називають **сонячною активністю**. Її проявами є плями, факели, протуберанці, спалахи. Що більше цих утворів, то вищою є активність Сонця. Спостереження свідчать, що з часом сонячна активність змінюється.

Одним із найважливіших її проявів є **спалахи** - різкі збільшення яскравості незначних ділянок хромосфери над групами сонячних плям. Тривалість спалахів різноманітна і залежить від потужності. Невеликі спалахи тривають кілька хвилин. У роки максимуму сонячної активності трапляються грандіозні спалахи тривалістю до 7 год. При цьому вивільняється значна кількість енергії — до 10^{25} Дж — і в міжпланетний простір зі швидкістю 30000 км/с викидаються мільярди тонн речовини. При сонячних спалахах частинки розганяються і речовина дуже нагрівається, тобто створюються сприятливі умови для протікання термоядерних реакцій синтезу. Свідченням цього є значна кількість ядер дейтерію та тритію, виявлених у потоках викинутої при спалаху сонячної речовини. Під час спалахів різко зростає інтенсивність рентгенівського, ультрафіолетового та радіовипромінювання.

Існує чимало зручних способів кількісно оцінити рівень сонячної активності. Найпростіший і найраніше запроваджений індекс сонячної активності — числа Вольфа (Р. Вольф (1816-1893) — швейцарський астроном):

$W = 10 \cdot g + f$, де g — кількість груп плям, f — загальна кількість плям.

Наприклад, якщо плям нема, то $W = 0$; якщо є одна пляма (відповідно одна група), то $W = 11$; якщо є 4 групи, у яких загалом 15 плям, $W = 10 \cdot 4 + 15 = 55$.

У роки підвищеної активності Сонця значно збільшується кількість плям (числа Вольфа більші від 100), факелів та потужних протуберанців, часто відбуваються сильні спалахи. Виявляється, що загальна форма корони змінюється: в роки максимуму сонячної активності корона майже сферична, а в роки мінімуму вона сильно витягнута уздовж екватора.

У 1844 році Г. Швабе (1789-1875) виявив 11-річний цикл сонячної активності. Мріючи відкрити невідому внутрішню планету, він сподівався побачити її проходження по диску Сонця. (Яка це була б планетна конфігурація?) Для цього протягом 25 років ретельно фіксував появу і кількість сонячних плям. Планету Швабе, звичайно, не відкрив, зате виявив 11-річний період зміни кількості сонячних плям. Пізніше Р. Вольф, використовуючи дані телескопічних спостережень за Сонцем протягом тривалого часу, уточнив цю закономірність. У кожному циклі активність Сонця зростає близько 4 років, а потім 7 років затухає. Вчені ведуть умовну нумерацію циклів. Першим вважають той, що розпочався в 1755 р. З 1996 року триває 23-й цикл.

Коли сонячна активність досягає свого піку, щодоби може ставатися до 10 спалахів на Сонці. Вже через 8 хв 20 с після спалаху потужний потік жорсткого електромагнітного випромінювання сягає Землі, створюючи додаткову іонізацію повітря. Внаслідок цього погіршується короткохвильовий радіозв'язок. Згодом орбіти нашої планети досягають підсилені спалахом потоки сонячного вітру і значно деформують магнітосферу Землі. Виникають **магнітні бурі** - сильні раптові зміни характеристик геомагнітного поля. Під час магнітних бур з'являються полярні сяйва, виникають порушення телеграфно-телефонного зв'язку, погіршується сон та самопочуття людей, збільшується кількість інсультів та інфарктів. Сильні магнітні бурі можуть навіть провокувати землетруси в сейсмічно активних районах Землі. Сонячна активність впливає на клімат, погоду, біосферу нашої планети. Помічено, що в роки максимуму активності світила швидше ростуть дерева, підвищується розмноження деяких комах (сарани), бурхливо поширюються епідемії та пандемії (це пов'язане як зі зростанням кількості хвороботворних бактерій та вірусів, так і з послабленням імунітету людей).

Щоб ефективніше розв'язувати проблеми, пов'язані з сонячно-земними зв'язками, у світі створена система неперервного стеження за станом Сонця - так звана служба Сонця. Усі великі обсерваторії, а також значна кількість спеціальних станцій беруть участь у цих спостереженнях. Основне завдання служби Сонця — реєстрація центрів сонячної активності та всіх сонячних спалахів.

III. Домашнє завдання Опрацювати §12.

Для допитливих

Цікавою є історія відкриття гелію. У 1868 р. під час повного затемнення Сонця французький астроном П. Жансен (1824-1907) виявив у спектрі хромосфери яскраву жовту лінію невідомого на той час хімічного елемента. Аналогічне відкриття зробив англійський астроном Дж. Лок'єр (1836-1920) і назвав новий елемент гелієм, тобто сонячним (від грецького «геліос» - сонце). І тільки в 1895 році англійський хімік У. Рамзай (1852-1916), вивчаючи спектр випромінювання газів, які виділяються з рідкісного мінералу клевейту, також виявив жовту лінію гелію. Пізніше з цих газів був виділений чистий гелій.

Вивчення сонячної корони засвідчило, що вона утворена з дуже розрідженої плазми, температура якої сягає 2106К. У таких умовах нейтральні атоми хімічних елементів існувати не можуть, бо, рухаючись із величезною швидкістю і стикаючись, вони втрачають електрони і багаторазово іонізуються. Цим і пояснюються особливості спектра сонячної корони. Вчені виявили в ньому дві яскраві лінії - зелену та червону, яких не було у спектрах жодного хімічного елемента. Астрономи, вже маючи досвід відкриття гелію, приписати ці лінії новому елементу - коронію. І помилилися. Виявляється, ці лінії належать сильно іонізованому залізу. Зелена лінія випромінюється атомом заліза, у якого відірвано 13 зовнішніх електронів, а червона — атомом заліза без 9 зовнішніх електронів. У лабораторних умовах отримати такі йони навряд чи можливо. Подальші дослідження довели, що більшість ліній випромінювання корони належить різним елементам, що перебувають у сильно іонізованому стані.