

§ 12. Сонце — наша зоря

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, чому світить Сонце;
- довідаємося про природу сонячних плям та їхній вплив на біосферу Землі;
- побачимо, як у домашніх умовах можна використати сонячну енергію.

1 Фізичні характеристики Сонця

Сонце — одна з мільярдів зір нашої Галактики, центральне світило в Сонячній системі, вік якого близько 5 млрд років. Воно дає Землі тепло і світло, що підтримує життя на нашій планеті. Сонце розташовується на близькій відстані від Землі — усього 150 млн км, тому ми бачимо його у формі диска. Вивчення Сонця має дуже важливе практичне значення для розвитку земної цивілізації.

Температура Сонця вимірюється за допомогою законів випромінювання чорного тіла (див. § 6). Сонце випромінює електромагнітні хвилі різної довжини, які нашим оком сприймаються як біле світло. Насправді, біле світло складається з цілого спектра електромагнітних хвиль від червоного колору до фіолетового, але Сонце випромінює найбільше енергії у жовто-зеленій частині спектра, тому астрономи називають Сонце *жовтою зорею*. Температура на поверхні Сонця становить 5780 К.

Світність Сонця L_0 визначає потужність його випромінювання, тобто кількість енергії, що випромінює поверхня Сонця у всіх напрямках за одиницю часу. Для визначення світності Сонця треба виміряти сонячну сталу q — енергію, яку отримує 1 м² поверхні Землі за 1 с за умови, що Сонце розташоване в зеніті. Для визначення світності Сонця необхідно величину сонячної сталі помножити на площину сфери з радіусом R :

$$L_0 = 4\pi R^2 \cdot q \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт},$$

де $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м — відстань від Землі до Сонця.

Сонце \odot	
Радіус	109 R_\oplus
Маса	330 000 M_\oplus
Середня густина	1,4 г/см ³
Хімічний склад за масою, %:	
H ₂	71
He	27
Світність	$4 \cdot 10^{26}$ Вт
Температура, К:	
фотосфери	5780
ядра	15 000 000

Сонячна стала q — енергія, що отримує 1 м² поверхні Землі за 1 с, якщо сонячні променіпадають перпендикулярно до поверхні. За сучасними даними на межі верхніх шарів атмосфери Землі величина сонячної сталі дорівнює $q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$.

2

Будова Сонця

Сонце — величезна розжарена плазмова куля, що має складну будову її зовнішніх і внутрішніх шарів.

У результаті фізичних процесів, що протікають в надрах Сонця, безперервно виділяється енергія, яка передається зовнішнім шарам і розподіляється на все більшу площину. Внаслідок цього з наближенням до поверхні температура сонячної плазми поступово знижується. Залежно від температури та характеру процесів, що визначаються цією температурою, Сонце умовно розділяють на такі області з різним фізичним станом речовини та розподілом енергії: *ядро, зона радіації, конвективна зона та атмосфера* (рис. 12.1).

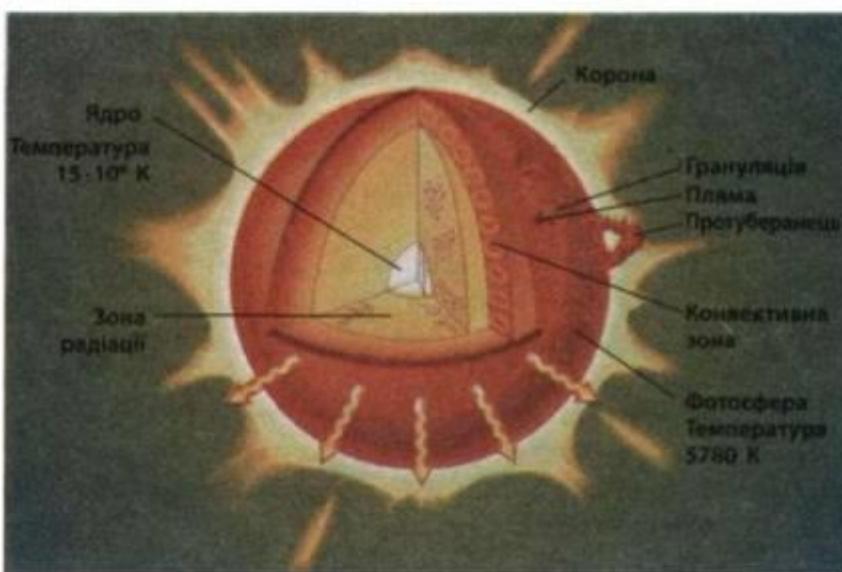


Рис. 12.1. Внутрішня будова Сонця

Центральна область (ядро) займає відносно невеликий об'єм, але завдяки великій густині ядра, яка збільшується до центра, там зосереджена значна частина маси Сонця. Величезний тиск та надвисока температура забезпечують протікання *термоядерних реакцій*, які є основним джерелом енергії Сонця. Радіус ядра становить приблизно $1/3R^0$.

У зоні променістої рівноваги, або зоні *радіації*, що оточує ядро на відстані до $2/3R^0$, енергія поширюється шляхом послідовного поглинання і наступного перевипромінювання речовиною квантів електромагнітної енергії.

У *конвективній зоні* (від верхнього шару зони радіації, майже до самої видимої межі Сонця — *фотосфери*) енергія передається вже не випромінюванням, а за допомогою конвекції, тобто шляхом пере-

Ядро — центральні області Сонця, де про- тікають термоядерні реакції

Зона радіації — зона, де енергія перено- ситься шляхом пере- випромінювання окремих квантів

Конвективна зона — зона, де здійснюються передача енергії шля- хом переміщування — більш гарячі комірки спливають угору, а холодні опускають- ся донизу

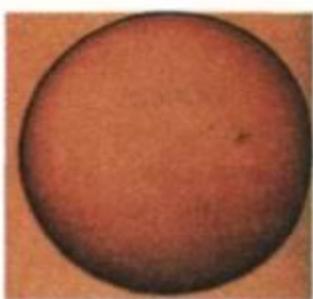


Рис. 12.2. Фотосфера — це найглибший шар атмосфери Сонця, який випромінює світло

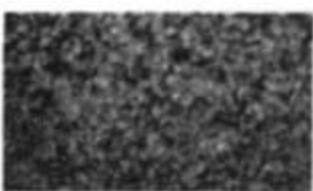


Рис. 12.3. Гранули у фотосфері мають діаметр 1000 км — це прояв конвекції

Рис. 12.4. Спектр Сонця. Темні лінії поглинання утворюються у хромосфері

мішування речовини, коли утворюються своєрідні окремі комірки, які трохи відрізняються одна від одної температурою та густинною.

Атмосферою вважаються зовнішні шари Сонця, що умовно поділені на три оболонки. Найглибший шар атмосфери Сонця, що складається з газів, — фотосфера (від грец. — *сфера світла*), 200—300 км завтовшки, сприймається нами як поверхня Сонця (рис. 12.2). Густина газів у фотосфері в мільйони разів менша за густину повітря біля поверхні Землі, а температура фотосфери зменшується з висотою. Середній шар фотосфери, випромінювання якого ми сприймаємо, має температуру 5780 К.

У сонячний телескоп можна спостерігати структуру фотосфери, у якій конвекційні комірки мають вигляд світлих і темних зерен — *гранул* (рис. 12.3). Над фотосферою розташована хромосфера (від грец. — *кольорова сфера*), де атомами різних речовин утворюються темні лінії поглинання у спектрі Сонця (рис. 12.4). Загальна товщина хромосфери становить 10—15 тис. км, а температура у її верхніх шарах сягає 100000 К.

Над хромосферою розміщений зовнішній шар атмосфери Сонця — сонячна корона, температура якої сягає кількох мільйонів градусів. Речовина корони, яка постійно витікає у міжпланетний простір, називається сонячним вітром.



Для допитливих

Якщо порівняти світність Сонця з його масою, то ми отримаємо, що 1 кг сонячної речовини генерує мізерну потужність =0,001 Вт, у той час як середня потужність випромінювання людського тіла дорівнює приблизно 100 Вт, тобто в тисячу разів більша від потужності такої ж маси сонячної речовини. Правда, Сонце світить протягом мільярдів років, випромінюючи майже одну й ту саму енергію, надійно обігріваючи Землю та інші тіла Сонячної системи!

3

Сонячна активність

Сонячна активність визначається кількістю плям та їхньою загальною площею. Дослідження показали, що температура всередині плям досить висока і сягає 4500 К, але пляма здається темною на тлі більш гарячої фотосфери з температурою 5780 К (рис. 12.5, 12.6). Виникає питання: що знижує температуру всередині плями? Плями на Сонці можуть існувати протягом кількох місяців, тому виникла гіпотеза, що якийсь процес гальмує конвекцію плазми в сонячній плямі та підтримує різницю температур. Зараз доведено, що таким «ізолятором» є сильне магнітне поле, яке взаємодіє з електрично зарядженими частинками плазми і гальмує конвекційні процеси всередині плями.

Ще одна загадка активності Сонця захована в її *періодичності* — цикл зміни кількості плям повторюється приблизно через кожні 11 років (рис. 12.7).



Рис. 12.5. Сонячна пляма — це область фотосфери, де знижується температура, бо сильне магнітне поле у плямі зупиняє конвекцію

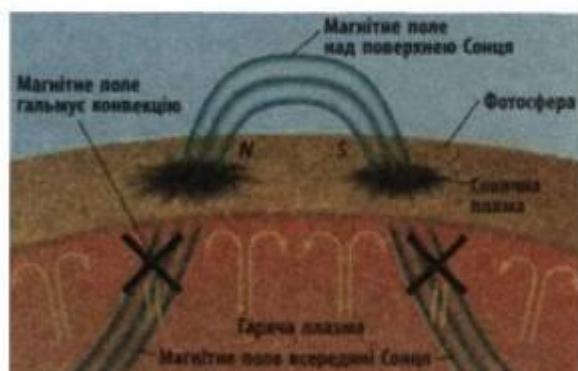
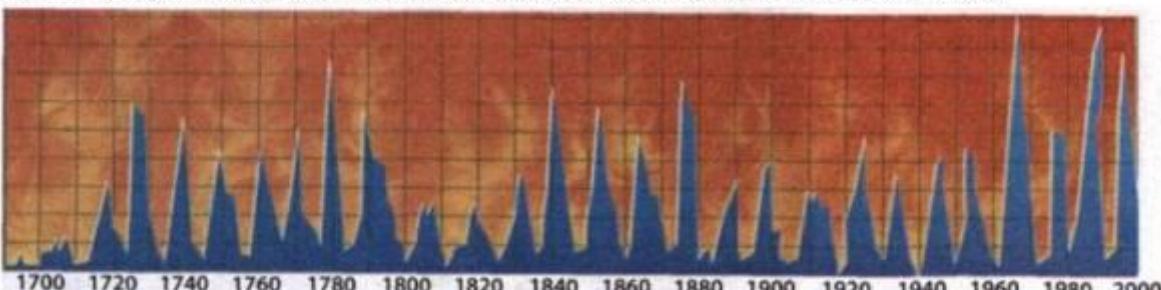


Рис. 12.6. Плями з'єднані між собою попарно, як полюси в магніті, кожна пляма має свою магнітну полярність

Рис. 12.7. Зміна сонячної активності визначається кількістю плям та їхньою площею



Для допитливих

Плями зв'язані між собою магнітними силовими лініями подібно до полюсів магніту — кожна пляма має свою полярність. Так само, як неможливо розділити північний та південний полюси магніту, так і сонячні плями існують тільки парами, які мають різні магнітні полярності. Якщо врахувати полярність плям, то цикл сонячної активності триває приблизно 22 роки.

4

Вплив сонячної активності на Землю

Досліджуючи Сонце за допомогою супутників та АМС, астрономи виявили його сильне *корпускулярне випромінювання* — потік елементарних частинок (протонів, нейtronів, електронів). Наприклад, під час так званих *хромосферних спалахів*, які вибухають поблизу плям, виділяється така величезна енергія, яку можна порівняти з випромінюванням всієї фотосфери Сонця. Не треба плутати спалахи з протуберанцями. *Протуберанці* (від лат. *protubero* — здуваюсь) існують постійно — це щільні холодні хмари водню, які піднімаються в корону і рухаються вздовж магнітних силових ліній. Завдяки протуберанцям відбувається обмін речовин між хромосферою і короною.

Протуберанці — щільні хмари водню, які піднімаються в корону вздовж магнітних ліній

Хромосферний спалах — тимчасове значне посилення яскравості обмеженої ділянки хромосфери Сонця, вибуховий викид речовини і енергії, яка накопичена в магнітному полі сонячних плям

Магнітна буря — збурення магнітного поля Землі під впливом спалаху на Сонці. У цей час виникають неполадки в радіозв'язку та електронних приладах, погіршується самопочуття людей

Спалах виникає між двома плямами з протилежною полярністю, коли протягом кількох годин температура в цій зоні зростає до $5 \cdot 10^6$ К і виділяється енергія $10^{21}—10^{25}$ Дж, що майже сумісне зі світністю Сонця у видимій частині спектра. Під час спалаху енергія випромінюється в основному в невидимій частині спектра (радіо, ультрафіолетовому та рентгенівському діапазоні). Під час спалахів у міжпланетний простір також викидаються потоки заряджених частинок, які летять зі швидкістю до 20000 км/с (рис. 12.8). Через кілька годин після спалаху корпускулярні потоки можуть долетіти до Землі й викликати збурення її магнітного поля та свічення іоносфери, що проявляється у вигляді інтенсивних полярних сяйв.



Рис. 12.8. Хромосферний спалах на Сонці

**Висновки**

Основним джерелом енергії для нашої цивілізації є Сонце, яке дає нам не тільки тепло, але й суттєво впливає на всі процеси, що відбуваються на Землі.

Ми визначили розміри, масу, температуру і світність Сонця; знаємо, що джерелом сонячної енергії є термоядерні реакції у його надрах, і розгадали причину зниження температури в сонячних плямах. Але залишаються нерозгаданими причини сонячної активності й чому існує 11-річний цикл появи плям. У майбутньому сонячне світло стане основним джерелом електричної енергії як на Землі, так і в космічних поселеннях при освоєнні інших планет.

Тести

- Сонячна стала визначає:

 - А. Кількість енергії, що випромінює Сонце за рік. Б. Кількість енергії, що випромінює Сонце за 1 с. В. Температуру Сонця. Г. Кількість енергії, яку отримує вся поверхня Землі за одиницю часу. Д. Енергію, яку отримує 1 м² поверхні Землі за 1 с, якщо сонячні променіпадають перпендикулярно до поверхні.

- Для визначення світності Сонця необхідно знати:

 - А. Радіус Сонця. Б. Радіус Землі. В. Відстань від Землі до Сонця. Г. Температуру на поверхні Землі. Д. Температуру на поверхні Сонця.

- Які з цих хімічних елементів найбільш поширені на Сонці?

 - А. Оксиген і Ферум. Б. Гідроген і Гелій. В. Гідроген і Оксиген. Г. Нітроген і Оксиген. Д. Ферум і Нітроген.

- У результаті якого процесу виділяється енергія в надрах Сонця?

 - А. Ядерної реакції. Б. Гравітаційного стиснення. В. Термоядерної реакції. Г. Горіння водню. Д. Падіння метеоритів.

- Грануляція у фотосфері утворюється в результаті того, що:

 - А. Корона дуже гаряча. Б. Енергія передається конвекцією. В. Плями дуже холодні. Г. Випромінюються нейтрино. Д. На поверхні Сонця є хвилі.

- Сонце називають жовтою зорею, у той час як для більшості людей воно має білий колір. Як пояснити цю суперечність?
- Що знижує температуру всередині сонячних плям?
- Яке явище астрономи називають сонячною активністю?
- Які процеси на Сонці можуть суттєво впливати на стан земної атмосфери?
- Що є джерелом енергії Сонця?
- Обчисліть, яку сонячну енергію зміг би поглинуть за 1 год дах вашого будинку опівдні.

Диспути на запропоновані теми

- Які екологічно чисті джерела енергії можна запропонувати для використання в населеному пункті, де розташована ваша школа?

Завдання для спостережень

Увага! При спостереженнях не можна дивитися на диск Сонця як неозброєним оком, так і в телескоп без спеціального світлофільтра!

- Підрахуйте загальну кількість сонячних плям та намалюйте їхнє розташування на диску Сонця. Зверніть увагу, що плями часто з'являються парами. Через декілька днів повторіть спостереження, і ви помітите обертання Сонця навколо осі — плями змістилися. Кількість плям за цей час теж може змінитися.

Ключові поняття і терміни:

Гранули, зона конвекції, зона радіації, корпускулярне випромінювання, корона, магнітна буря, протуберанці, світність Сонця, сонячний вітер, сонячна пляма, сонячна стала, фотосфера, хромосфера, хромосферний спалах, ядро.