

Сонце як зірка

Сонце — центральне і наймасивніше тіло Сонячної системи. Його маса в 333 000 раз більша за масу Землі та у 750 разів перевищує масу всіх інших планет, разом узятих. Сонце — могутнє джерело енергії, яку воно постійно випромінює в усіх ділянках спектра електромагнітних хвиль — від рентгенівських і ультрафіолетових променів до радіохвиль. Це випромінювання дуже впливає на всі тіла Сонячної системи: нагріває їх, позначається на атмосферах планет, дає світло й тепло, необхідні для життя на Землі.

Водночас Сонце — найближча до нас зірка, в якій, на відміну від усіх інших зірок, можна спостерігати диск і за допомогою телескопа вивчати на ньому дрібні деталі, розміром навіть до кількох сотень кілометрів. Це типова зоря, тому її вивчення допомагає зрозуміти природу зірок взагалі. За зоряною класифікацією Сонце має спектральний клас G2V. У популярній літературі Сонце досить часто класифікують як жовтий карлик.

Видимий кутовий діаметр Сонця дещо змінюється через еліптичність орбіти Землі. У середньому він становить близько 32' або 1/107 радіана, тобто діаметр Сонця дорівнює 1/107 а.о., або приблизно 1 400 000 км.

-2-

Будова Сонця

Як і всі зорі, Сонце — розжарена газова куля. Хімічний склад (за кількістю атомів) визначено з аналізу сонячного спектра:

водень складає близько 90%,

гелій — 10%,

інші елементи — менше 0,1% .

Речовина на Сонці дуже іонізована, тобто атоми втратили свої зовнішні електрони й разом з ними стали вільними частинками іонізованого газу — плазми.

Середня густина сонячної речовини $\rho \approx 1400 \text{ кг/м}^3$. Це значення близьке до густини води та в тисячу раз більше густини повітря біля поверхні Землі. Однак у зовнішніх шарах Сонця густина в мільйони разів менша, а в центрі — у 100 раз більша за середню.

Обчислення, які враховують зростання густини й температури до центра, показують, що в центрі Сонця густина становить близько $1,5 \times 10^5 \text{ кг/м}^3$, тиск — близько $2 \times 10^{18} \text{ Па}$, а температура — близько 15 000 000 К.

За такої температури ядра атомів водню (протони та дейтрони) мають дуже великі швидкості (сотні кілометрів на секунду) і можуть наближатися одне до одного, незважаючи на дію електростатичної сили відштовхування. Деякі зіткнення завершуються ядерними реакціями, в результаті яких з водню утворюється гелій і вивільняється значна кількість енергії, що перетворюється на тепло. Ці реакції є джерелом енергії Сонця на сучасному етапі його еволюції. Внаслідок цього кількість гелію в центральній частині світила поступово збільшується, а водню — зменшується.

Потік енергії, що виникає в надрах Сонця, передається в зовнішні шари й розподіляється на дедалі більшу площу. Внаслідок цього температура сонячної плазми знижується з віддаленням від центра. Залежно від температури й характеру процесів, що нею визначаються, Сонце можна умовно поділити на 4 частини:

внутрішня, центральна частина (ядро), де тиск і температура забезпечують перебіг ядерних реакцій; вона простягається від центра на відстань приблизно 1/3 радіуса

промениста зона (відстань від 1/3 до 2/3 радіуса), в якій енергія передається назовні внаслідок послідовного поглинання і випромінювання квантів електромагнітної енергії;

конвективна зона — від верхньої частини «променистої» зони майже до видимої поверхні Сонця. Тут температура швидко зменшується з наближенням до видимої поверхні світила, внаслідок чого збільшується концентрація нейтральних атомів, речовина стає прозорішою, променисте перенесення стає менш ефективним і тепло передається здебільшого за рахунок перемішування речовини (конвекція), подібно до кипіння рідини в посудині, яка підігрівається знизу;

атмосфера, що починається відразу за конвективною зоною і простягається далеко за межі видимого диска Сонця. Нижній шар атмосфери — фотосфера, тонкий шар газів, який ми сприймаємо як поверхню Сонця. Верхніх шарів атмосфери безпосередньо не видно через значну розрідженість, їх можна спостерігати або під час повних сонячних затемнень, або за допомогою спеціальних приладів.

-3-

Сонячна атмосфера й сонячна активність

Плазма ниткоподібної форми, що з'єднує регіони з різною магнітною полярністю.

Сонячну атмосферу також можна умовно поділити на кілька шарів.

Найглибший шар атмосфери, товщиною 200—300 км, називається фотосферою (сфера світла). З нього випромінюється майже вся енергія, яка спостерігається у видимій частині спектра.

На фотографіях фотосфери добре помітно її тонку структуру у вигляді яскравих «зернят» — гранул розміром близько 1000 км, розмежованих вузькими темними проміжками. Ця структура називається грануляцією. Вона є результатом руху газів, який відбувається в розташованій під атмосферою конвективній зоні Сонця.

У фотосфері, як і в глибших шарах Сонця, температура знижується з віддаленням від центра, змінюючись приблизно від 8000 до 4000 К: зовнішні шари фотосфери охолоджуються внаслідок випромінювання з них у міжпланетний простір.

У спектрі видимого випромінювання Сонця, що майже цілком утворюється у фотосфері, зниженню температури у зовнішніх шарах відповідають темні лінії поглинання. Вони називаються фраунгоферовими на честь німецького оптика Й. Фраунгофера (1787—1826), який уперше 1814 року замалював кілька сотень таких ліній. З тієї ж причини (зниження температури від центра Сонця) сонячний диск ближче до краю здається темнішим.

У найвищих шарах фотосфери температура становить близько 4000 К. За такої температури та густини 10^{-3} — 10^{-4} кг/м³ водень стає практично нейтральним. Іонізовано лише близько 0,01 % атомів, здебільшого металів.

Однак вище в атмосфері температура, а разом з нею й іонізація, знову починають підвищуватися, спочатку повільно, а потім дуже швидко. Частина

сонячної атмосфери, в якій підвищується температура і послідовно іонізуються водень, гелій та інші елементи, називається хромосферою, її температура становить десятки й сотні тисяч кельвінів. У вигляді блискучої рожевої облямівки хромосферу видно навколо темного диска Місяця в нечасті моменти повних сонячних затемнень. Вище від хромосфери температура сонячних газів становить 10^6 — $2 \cdot 10^6$ К і далі на протязі багатьох радіусів Сонця майже не змінюється. Ця розріджена й гаряча оболонка називається сонячною короною. У вигляді променистого перлового сяйва її можна спостерігати під час повної фази затемнення Сонця, тоді вона являє собою надзвичайно гарне видовище. «Випаровуючись» у міжпланетний простір, газ корони утворює потік гарячої розрідженої плазми, що постійно тече від Сонця й називається сонячним вітром.

Хромосферу та корону найкраще спостерігати із супутників та орбітальних космічних станцій в ультрафіолетових і рентгенівських променях.

Часом у деяких ділянках фотосфери темні проміжки між гранулами збільшуються, утворюються невеликі круглі пори, деякі з них розвиваються у великі темні плями, оточені напівтінню, що складається з довгастих, радіально витягнутих фотосферних гранул.

Спостерігаючи сонячні плями в телескоп, Галілей помітив, що вони пересуваються вздовж видимого диска Сонця. На цій підставі він зробив висновок, що Сонце обертається навколо своєї осі. Кутова швидкість обертання світила зменшується від екватора до полюсів, точки на екваторі здійснюють повний оберт за 25 діб, а поблизу полюсів зоряний період обертання Сонця збільшується до 30 діб. Земля рухається по своїй орбіті в тому ж напрямку, в якому обертається Сонце. Тому відносно земного спостерігача період його обертання більший і пляма в центрі сонячного диска знову пройде через центральний меридіан Сонця через 27 діб.

-4-

Еволюція Сонця.

Такому положенню все-таки наступить кінець, коли весь водень буде перетворений у гелій. Теоретично сонячного пального при сучасних темпах його згоряння вистачить принаймні на 100 млрд. років. Але існують обставини, що помітно зменшують цей час; так, водень, згоряючи фактично тільки в центральній частині Сонця, зникне в ній уже через 5...6 млрд. років, набагато раніше, ніж у зовнішній оболонці. Коли припиниться згоряння пального в центральній частині Сонця, вона знову почне стискуватися, швидко нагріваючись до все зростаючих температур, а тепло, передане при цьому зовнішній оболонці, приведе її розширення до розмірів, дивовижних у порівнянні із сучасними: Сонце розшириться настільки, що поглине Меркурій і буде розбазарювати пальне в сто разів швидше, ніж у даний час. Воно вступить у стадію червоного гіганта; життя на Землі зникне чи знайде пристановище на зовнішніх планетах. Ми, звичайно, будемо заздалегідь повідомлені про таку подію, оскільки перехід до нової стадії займе приблизно 100...200 млн. років. Неважко передбачити, що буде далі. Коли температура центральної частини Сонця досягне 100 млн. градусів, почне згоряти і гелій, перетворюючись у важкі елементи, і Сонце вступить у стадію складних циклів стиску і розширення, які не піддаються дослідженню навіть за допомогою сучасних обчислювальних машин. Майже напевно Сонце на останній стадії втратить зовнішню оболонку, які віднесуть із собою в простір розпечені вітри, і воно залишиться у вигляді

центрального ядра, що має неймовірно велику густину і розміри, як у Землі. Пройде ще кілька мільярдів років, і Сонце вистигне, перетворившись в білий карлик. Чи можливо, що Сонце раптом вирішить ефектно припинити своє існування, спалахнувши надновою і назавжди викресливши нас із Всесвіту? Мова йде про дуже малоімовірну подію, хоча і можливу. Дійсно, для синтезу заліза і забезпечення великих гравітаційних сил, необхідних для колапсу, потрібна зірка великої маси. Якби близько розташована зірка, наприклад Сиріус, вибухнула як наднова, ми напевно відчули б якісь наслідки, швидше за все негативні. Вибух призвів би до того, що в навколишній простір була б викинута велика кількість космічних променів; при цьому спостерігалися б інтенсивні радіозавади. Крім того, наднова зробила б наші ночі світлими, як день, що викликало б на Землі екологічні відхилення. Спектакль вийшов би захоплюючим, але не позбавленим небезпек. У межах Галактики в середньому одна наднова вибухає раз у триста років. Астрономи завжди напоготові в надії побачити об'єкти такого типу в початковій, найцікавішій стадії. Але можна без особливої праці знайти наднові в сусідніх галактиках; мова йде про подію не настільки вже рідку. У цьому випадку наднові можна використовувати також і для грубої оцінки відстані до галактики, у якій вони знаходяться. Нарешті, існують вказівки на те, що частина речовини, з якого складається Сонячна система, залишилася від вибуху надгової у далекому минулому. Уже говорилося, що зовнішня оболонка зірки, відкинута геть з дуже високою швидкістю, поводить ся як космічна мітла, змітаючи всі залишки речовини (міжзоряні пил і газ), що зустрічаються на її шляху. Часом ця речовина стискується настільки, що настає гравітаційна нестійкість, і вона конденсується в нові зірки. Схоже, що наше Сонце народилося саме в такий спосіб. Отже, ми беремо участь у безупинному циклічному процесі взаємного перетворення зірок і міжзоряної речовини, що постійно збагачується і змінюється під впливом вибухів наднових. Тільки тому, хто спостерігає небо поверхово, за допомогою недосконалих приладів, Всесвіт може видатися місцем тихим і спокійним. Насправді ми повинні бути вдячні долі за те, що живемо поруч зі скромною третьорядною зіркою, спокійним сонечком без претензій, що знаходиться на периферії, але зате надійним на найближчі п'ять мільярдів років. А там подивимося.