

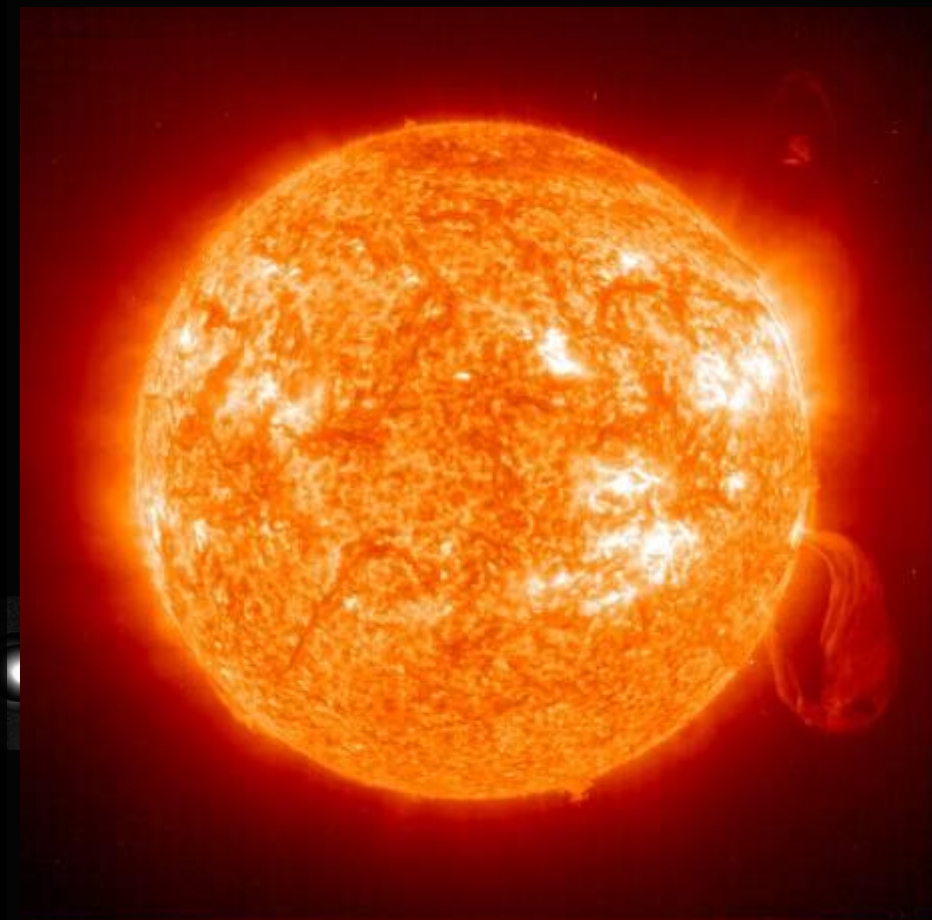
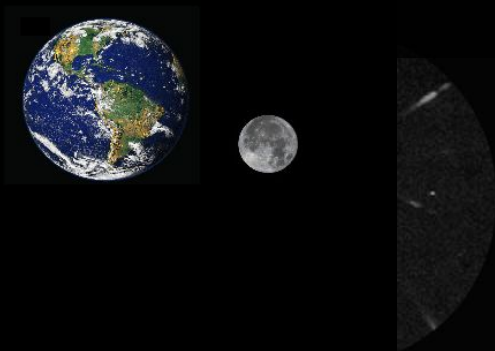


Солнце

**Сонце** – це не звичайний жовтий карлик, як раніше було прийнято говорити. Це зірка, біля якої є планети, що містять багато важких елементів. Це зірка, яка утворилася після вибухів наднових, вона багата залізом і іншими елементами. Біля якої змогла сформуватися така планетна система, на третій планеті якої - Землі - виникло життя.

**П'ять мільярдів років** - вік нашого Сонця. За рахунок чого воно світить? Яка структура і подальша еволюція Сонця? Який вплив

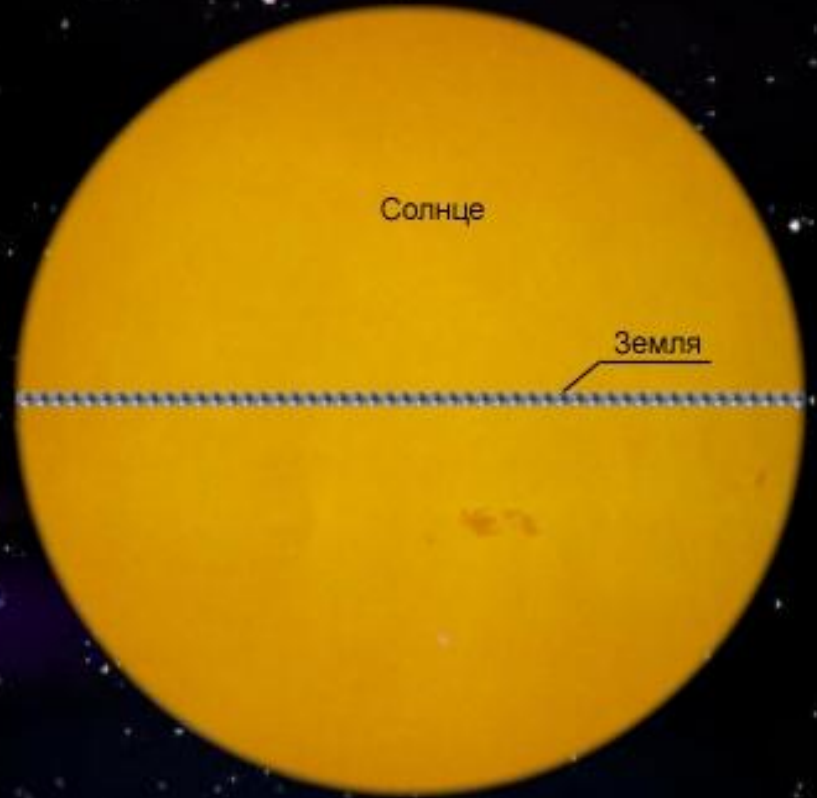
є?



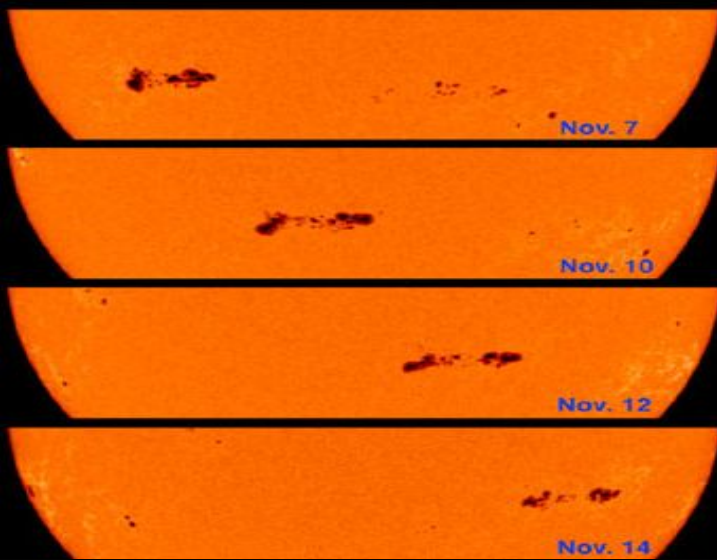
**Сонце** - зірка, навколо якої обертається наша планета. **Середня відстань від Землі до Сонця, тобто велика піввісь орбіти Землі, складає 149,6 млн. км = 1 а.о.** (астрономічна одиниця).

Розміри Сонця дуже великі. Так, радіус Сонця в **109 разів**, а маса - в **330 000 разів** більше радіусу і маси Землі. А ось середня густина нашого світила невелика - всього в **1,4 рази** більше густини води.

Повна кількість енергії, що випромінюється Сонцем, складає  $L = 3,86 \cdot 10^{33}$  ерг/с =  **$3,86 \cdot 10^{26}$  Вт**. Це відповідає **6,5 кВт** з кожного квадратного сантиметра його поверхні! Лише одну двохмільярдну частину цієї енергії отримує Земля. На  **$1 \text{ м}^2$**  поверхні в околицях Землі щосекунди поступає **1400 Дж** енергії сонячного випромінювання. Ця величина називається **сонячною постійною**. Іншими словами, щільність потоку енергії сонячного випромінювання складає  **$1,4 \text{ кВт/м}^2$** .

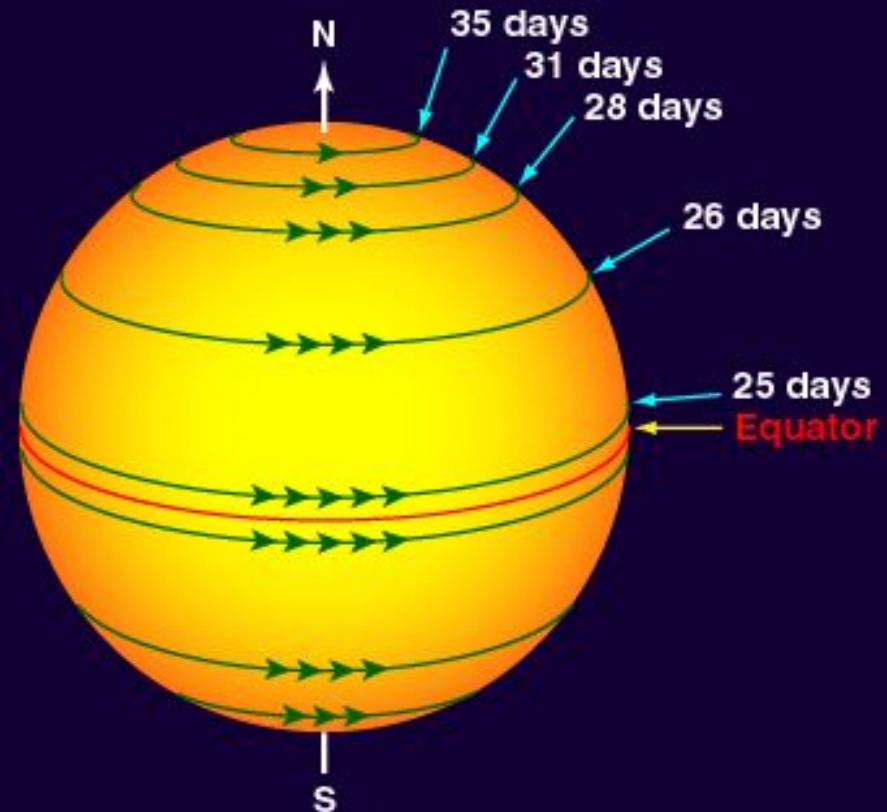






Сонце, як і Земля, **обертається навколо власної осі**. Вперше обертання Сонця спостерігав Галілей по руху плям по поверхні.

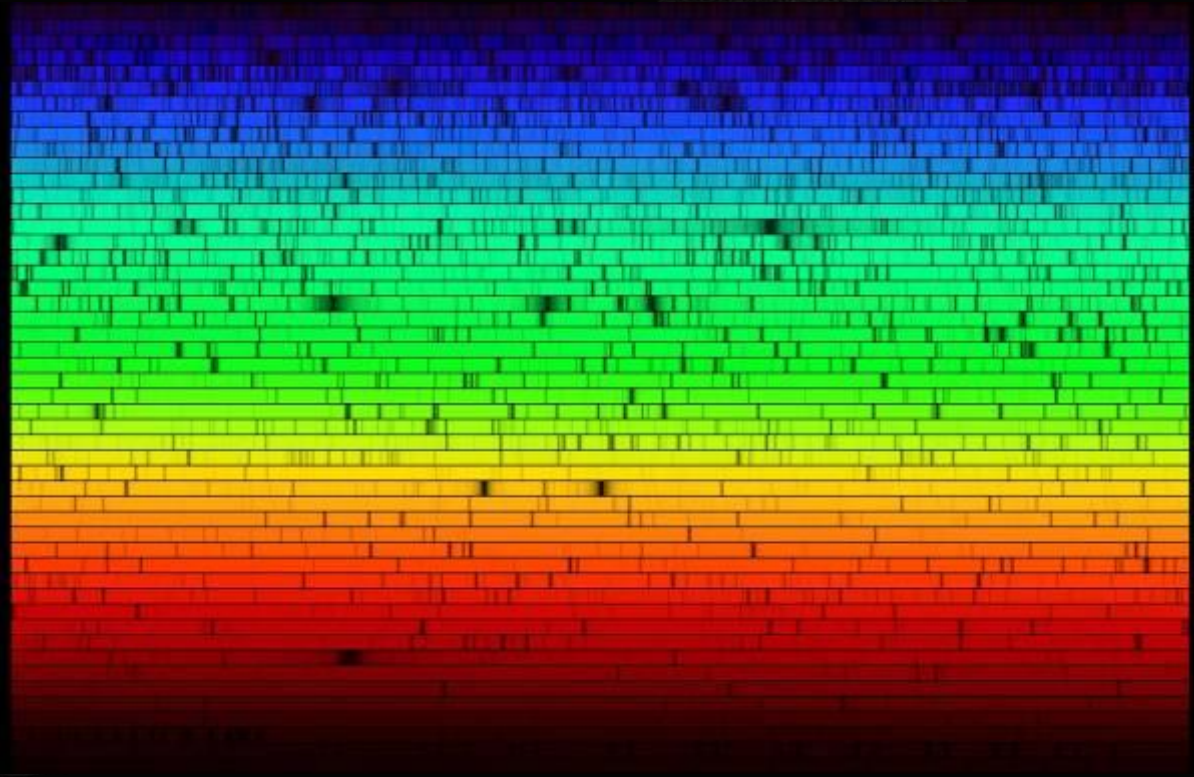
Однак на відміну від Землі, різні зони Сонця обертаються навколо осі з різними швидкостями. Так точки на екваторі мають період обертання близько **25 діб**, на широті  $40^\circ$  період обертання дорівнює **27 діб**, а поблизу полюсів - **35 діб**. Це доводить, що Сонце обертається не як тверде тіло, швидкість обертання точок на поверхні Сонця зменшується від екватора до полюсів.



# Спектр Сонця

Спектр Сонця неперервний, в ньому спостерігається безліч темних фраунгоферових ліній. Фраунгофер був першим, хто описав темні лінії на тлі безперервного спектру сонячного світла в 1814 році. Ці лінії в спектрі Сонця утворюються в результаті поглинання квантів світла, яке виходить з центральних областей Сонця, холоднішими зовнішніми шарами сонячної атмосфери. За цими лініями і визначають хімічний склад Сонця. Основні елементи на Сонці – водень і гелій.

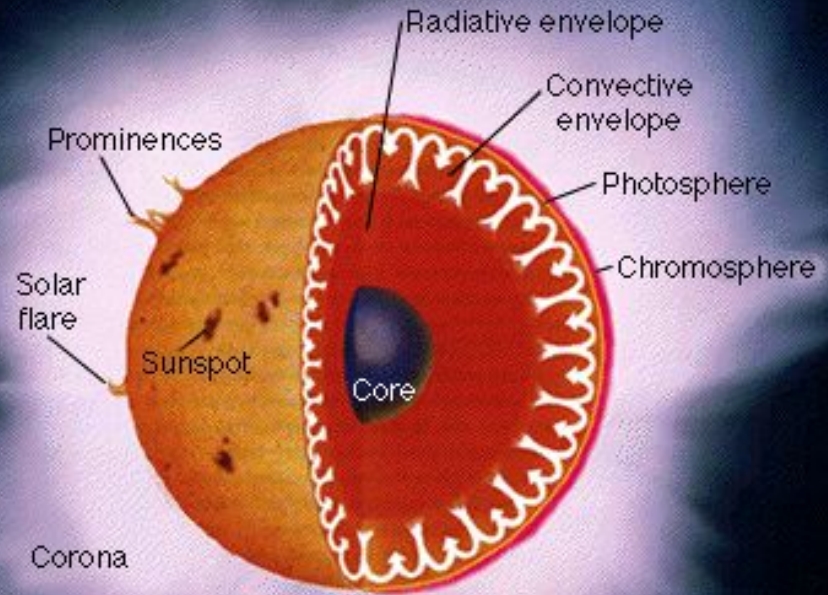
Близько 9 % енергії в сонячному спектрі припадає на ультрафіолетове випромінювання з довжинами хвиль від 100 до 400 нм. Решта енергія розділена приблизно порівну між видимою (400-760 нм) і інфрачервоною (760-5000 нм) областями спектру.



# Під поверхнею

Сонце - розжарена газова куля, температура в центрі якого настільки висока, що там можуть відбуватися термоядерні реакції. У центрі Сонця температура досягає 15 000 000 K, а тиск в 200 000 000 000 атм. Водень та гелій тут стиснуті до густини 150 000 кг/м<sup>3</sup>.

Сонце - сферично симетричне тіло, що знаходиться в рівновазі. Щільність і тиск швидко наростають углиб; зростання тиску пояснюється вагою усіх вище розміщених шарів. У кожній внутрішній точці Сонця виконується умова гідростатичної рівноваги - тиск розжарених газів урівноважується гравітаційним тяжінням.



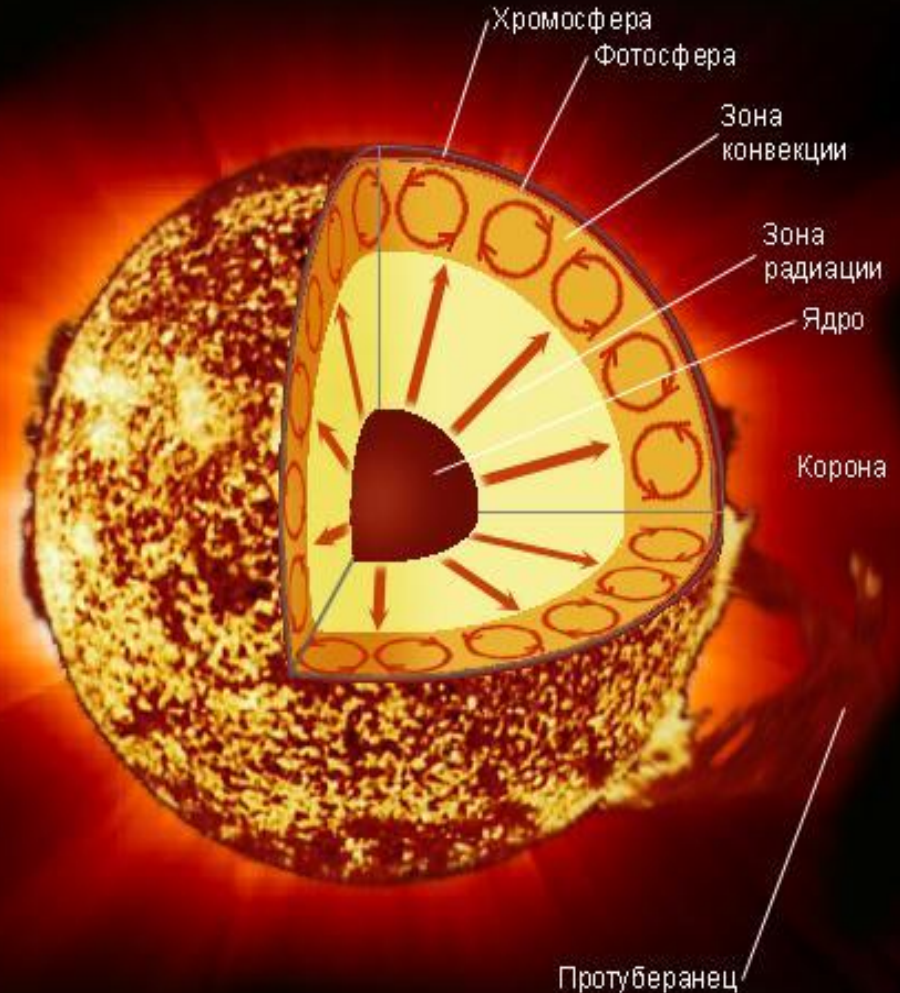


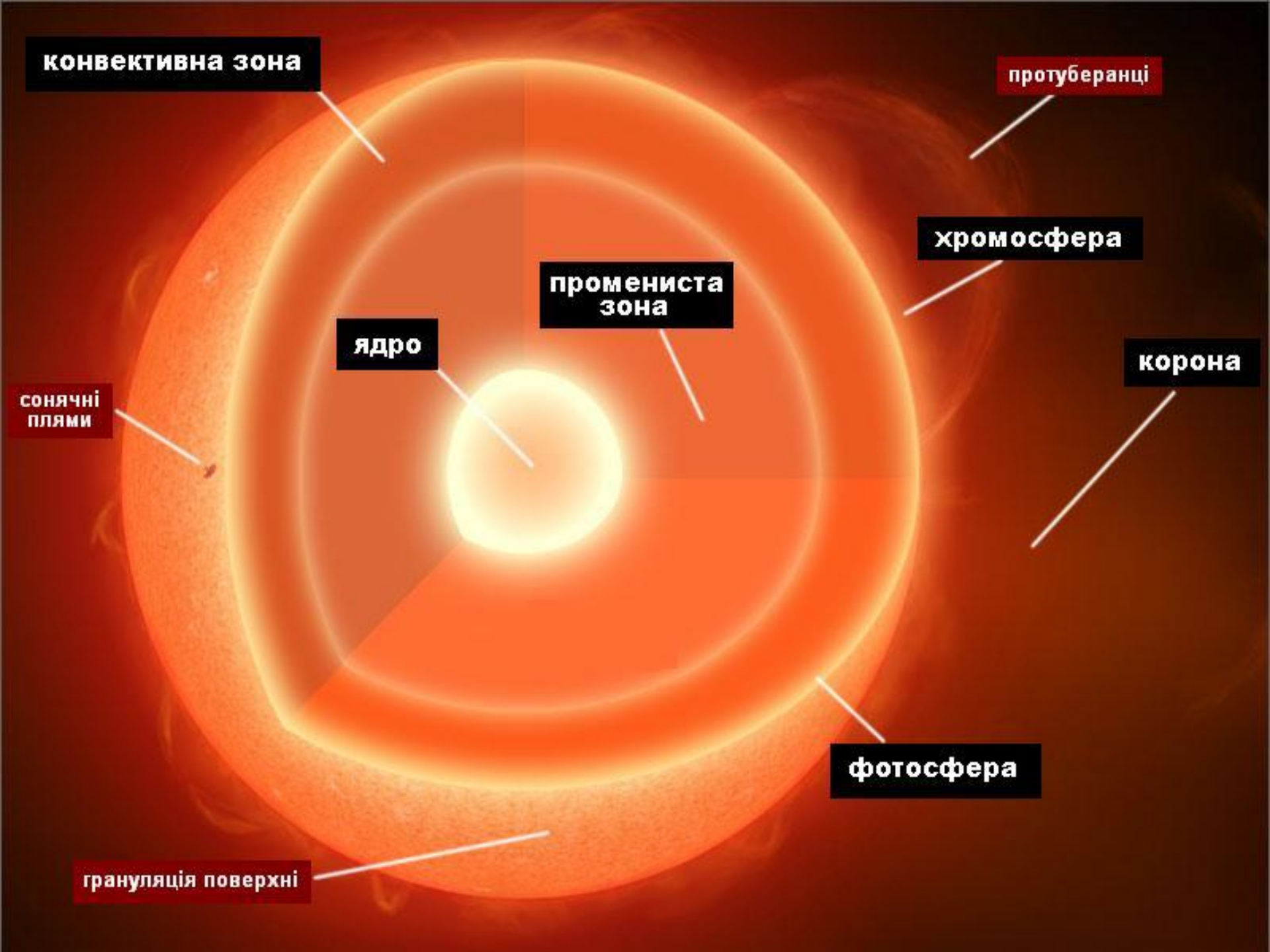
# Під поверхнею

У центральній області (третина радіусу) - **ядрі** - відбуваються термоядерні реакції синтезу гелію.

Поки температура висока - більше 2 мільйонів градусів, - енергія від ядра переноситься перевипромінюванням фотонів – це **промениста зона**. Вона тягнеться приблизно до відстані до  $\frac{2}{3}$  радіусу Сонця.

Приблизно з відстані  $\frac{2}{3} R$  знаходиться **конвективна зона**. У цих шарах непрозорість речовини стає настільки великою а тиск газів настільки зменшується, що виникають великомасштабні конвективні рухи (піднімання гарячих і опускання холодних шарів речовини). Конвективна зона закінчується на видимій поверхні Сонця, де починається **сонячна атмосфера**





конвективна зона

протуберанці

хромосфера

промениста зона

корона

ядро

сонячні плями

фотосфера

грануляція поверхні



# Поверхня

Корона

Пляма  
Факел

Спікули

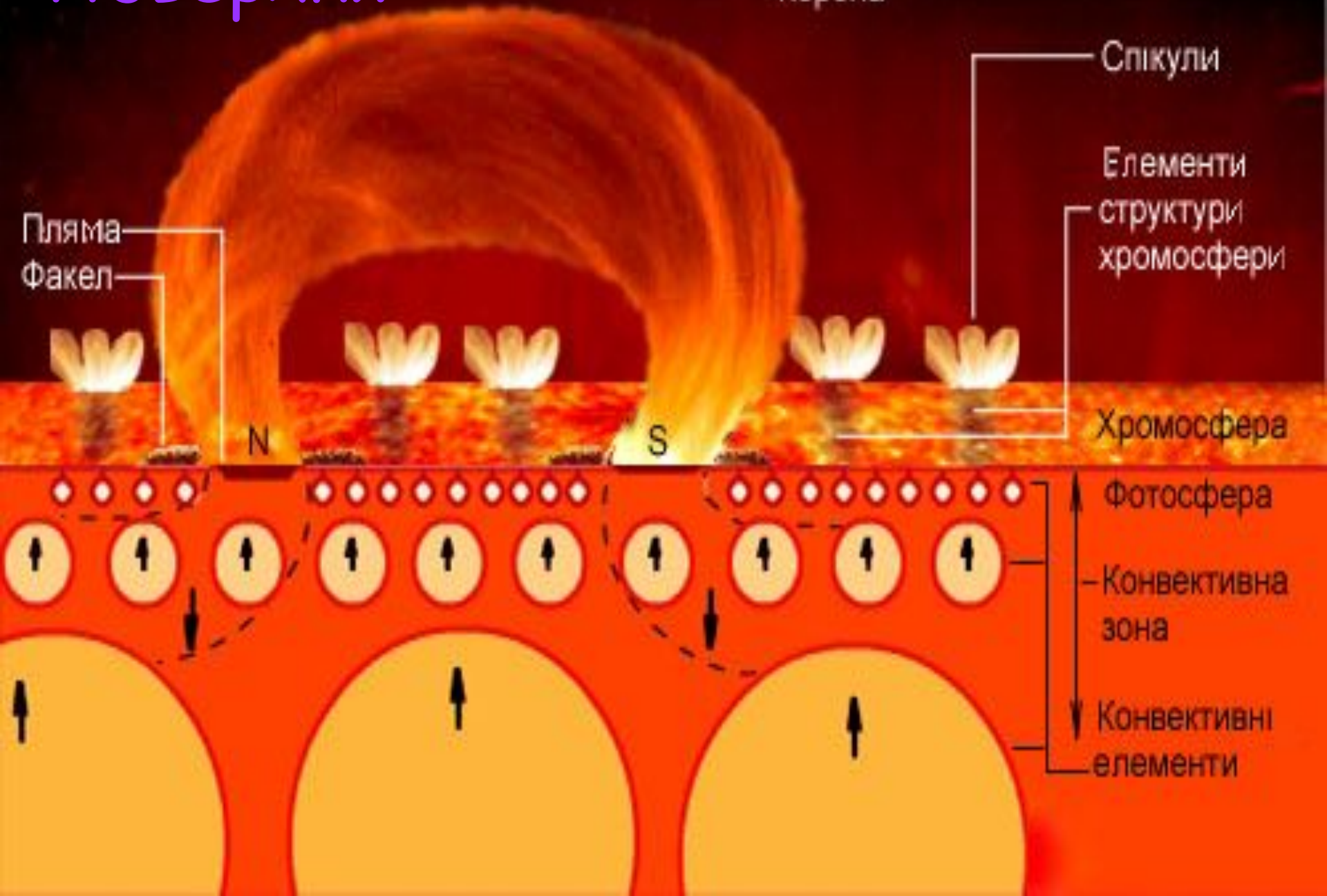
Елементи  
структури  
хромосфери

Хромосфера

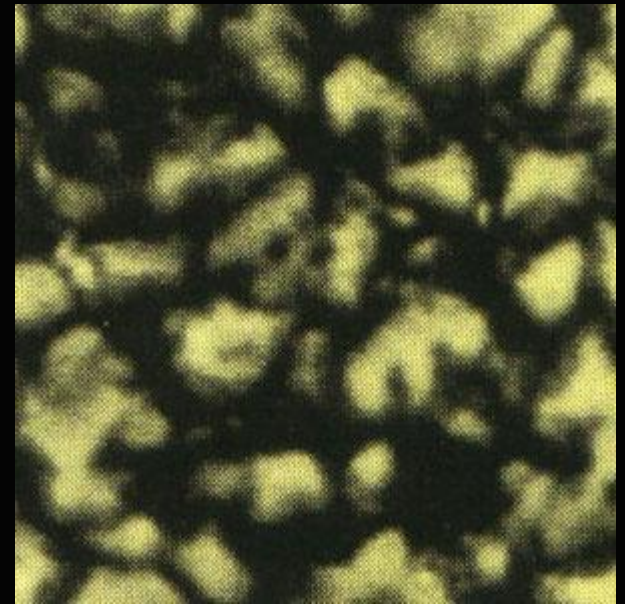
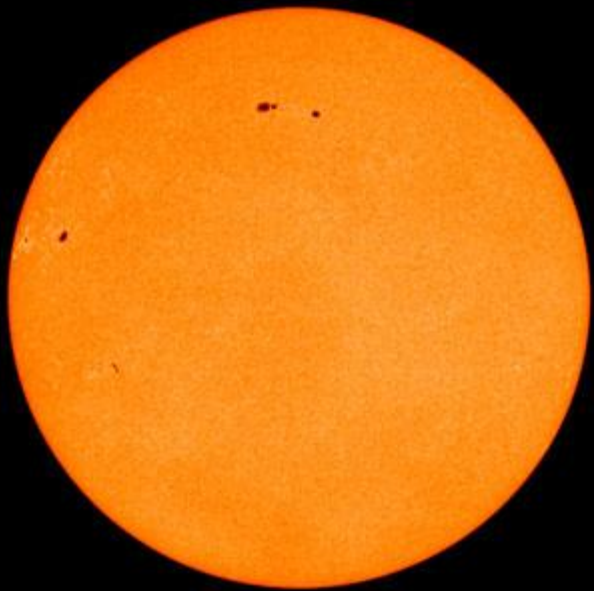
Фотосфера

Конвективна  
зона

Конвективні  
елементи



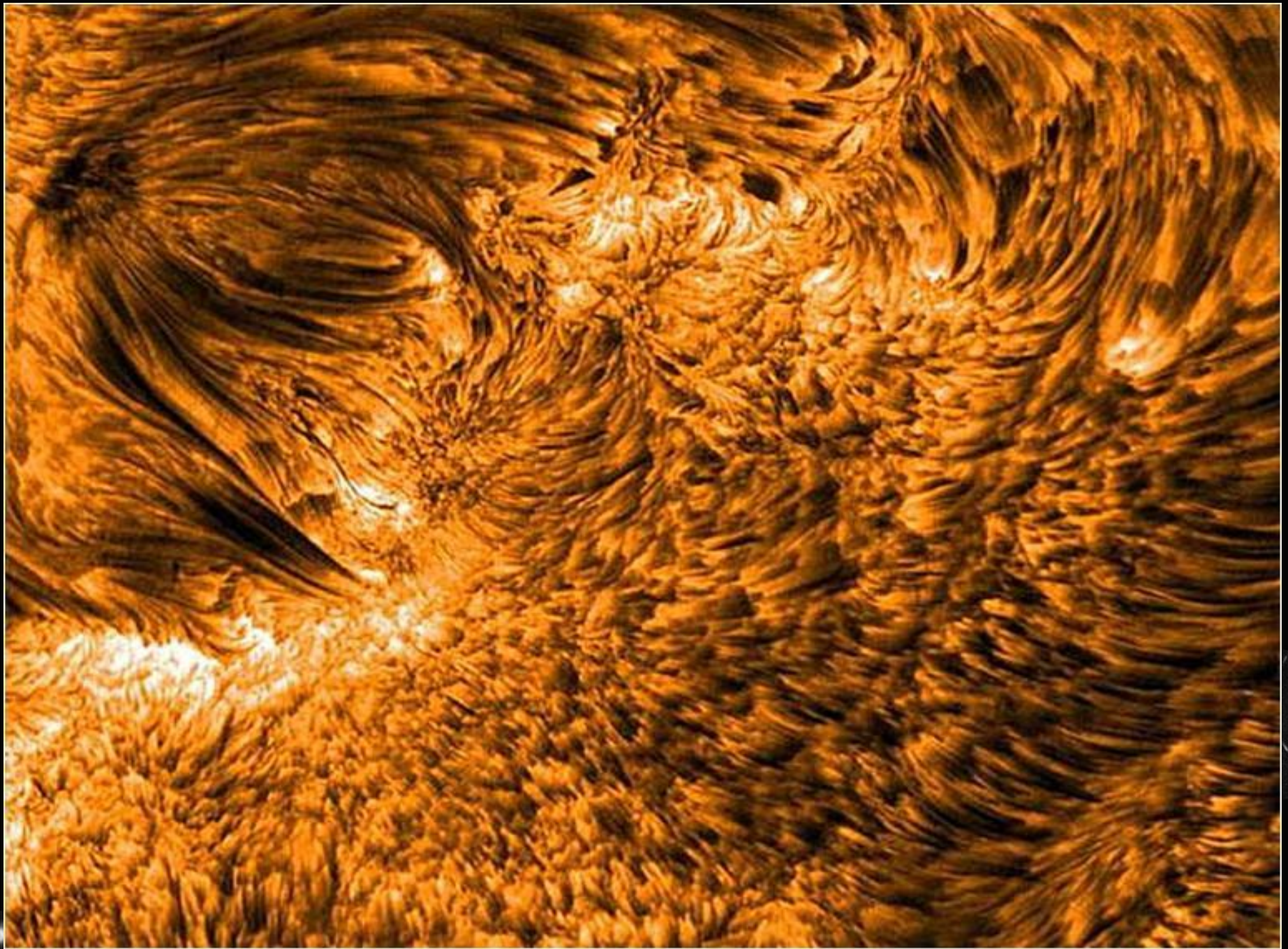
# Фотосфера



Світло Сонця, яке ми бачимо, виникає в його тонкому зовнішньому шарі – нижчому шарі сонячної атмосфери - який називається **фотосферою**. Товщина цього шару  $0,001R = 700$  км.

Уся фотосфера Сонця складається зі світлих зерняток, бульбашок - **гранул**. Розміри гранул невеликі, 1000-2000 км, відстань між ними - 300-600 км. На Сонці спостерігається одночасно близько мільйона гранул. Кожна гранула існує декілька хвилин. У гранулах речовина піднімається, а навколо них - опускається. **Грануляція** - прояв конвекції в глибших шарах Сонця.







# Фотосферні утворення

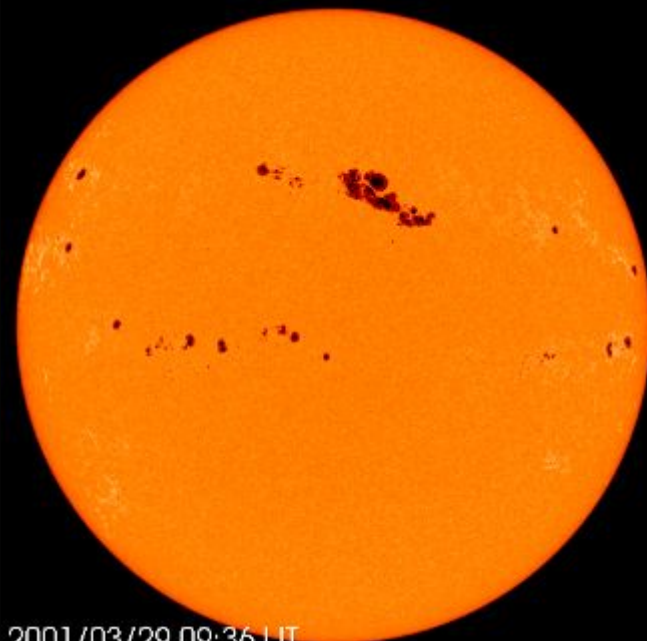
Періодично у фотосфері то з'являються, то зникають **сонячні плями**. Розміри плям в середньому сягають 40 000 кілометрів (втриє більше Землі), проте деякі великі плями досягають 180 000 км.

Зазвичай плями виникають групами. Кількість плям та їх груп періодично змінюється, тому для характеристики плямотворної діяльності Сонця введено число Вольфа:

$$W = 10g + f$$

де  $g$  – кількість груп плям,  $f$  – загальна кількість усіх плям на диску Сонця на цей момент.

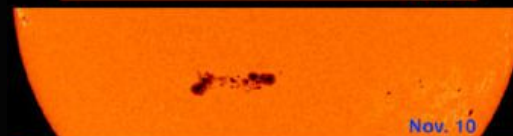
Супутниками плям є яскраві світлі утворення – **факели**.



2001/03/29 09:36 UT



Nov. 7



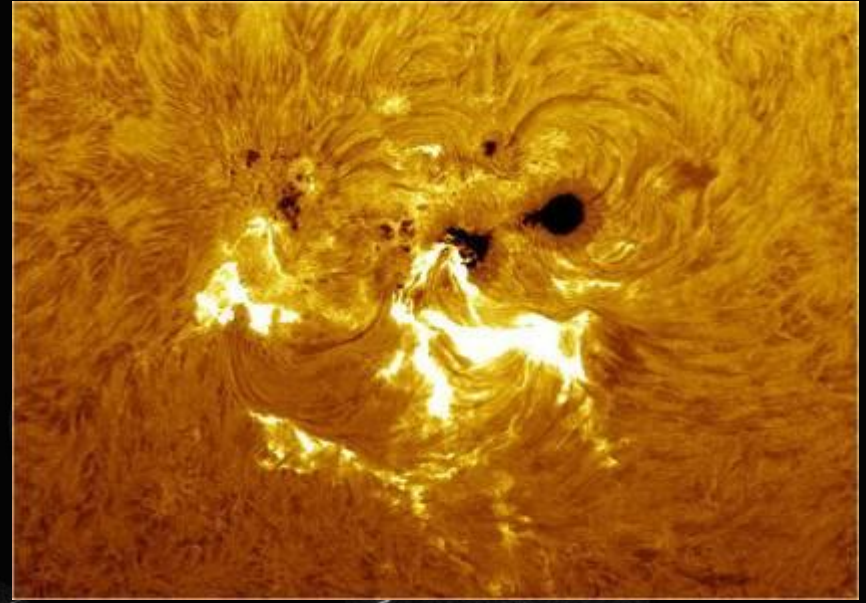
Nov. 10



Nov. 12



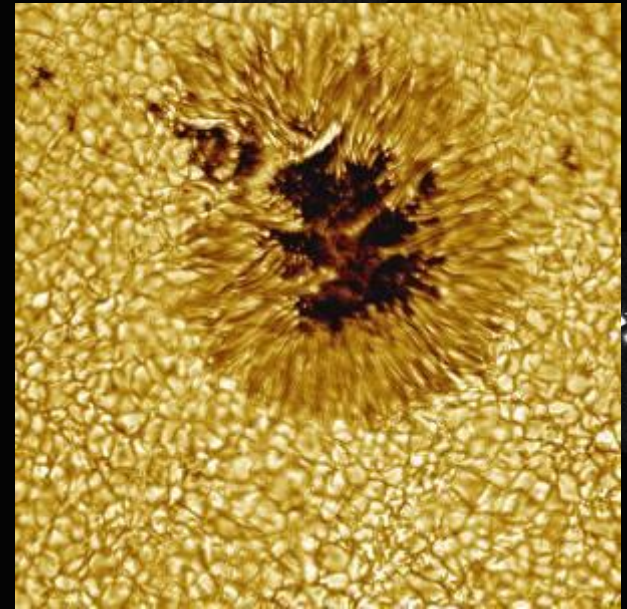
Nov. 14



За контрастом з навколишніми ділянками плями темніші, бо температура у них досягає лише 4500 К – порівняно з навколишньою температурою 6000 К.

У великих плямах видяляють темніше ядро і світлішу півтінь. Час життя плям – від кількох годин до кількох місяців.

Появу плям пов'язують зі зростанням у цьому місці магнітного поля, яке гальмує вихід гарячої сонячної речовини з надр Сонця – саме через це температура у плямах нижча.

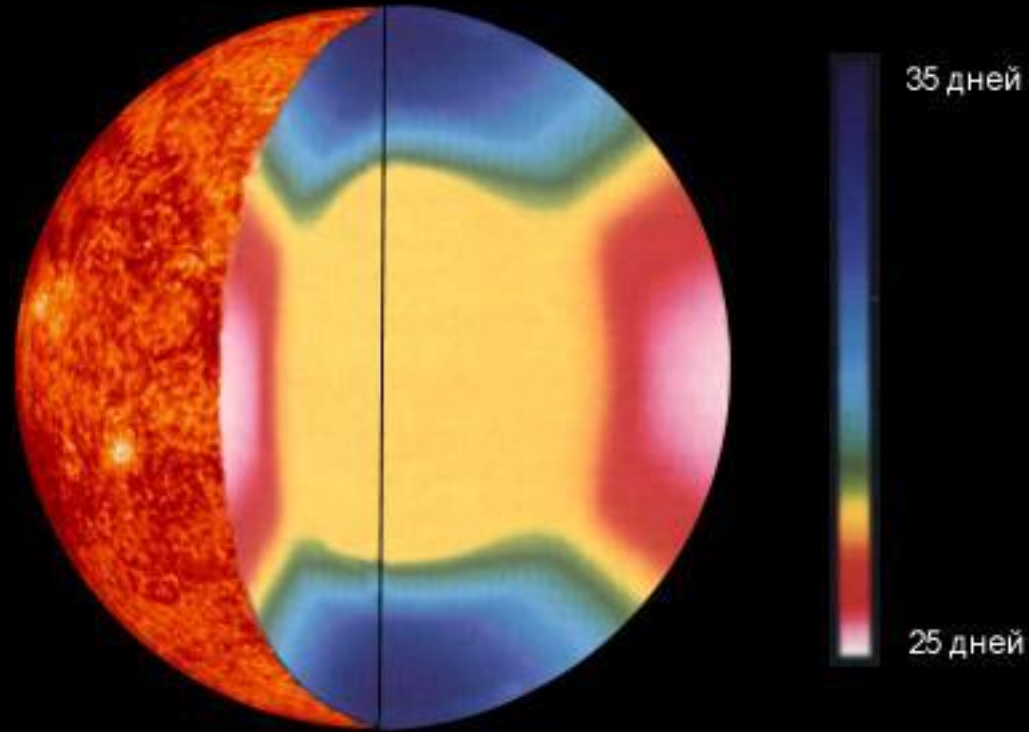




# Геліосейсмологія

Поверхня сонця постійно пульсує. Через це у сонячній атмосфері поширюються **акустичні хвилі** з довжиною в декілька тисяч кілометрів, подібні до звукових хвиль в повітрі. Коливання мають резонансний характер і мають період близько 5 хвилин.

У верхніх шарах сонячної атмосфери хвилі, що виникли в конвективній зоні і у фотосфері, передають сонячній речовині частину механічної енергії конвективних рухів і провокують нагрівання газів наступних шарів атмосфери - хромосфери і корони. В результаті верхні шари фотосфери з температурою близько 4500 К виявляються "найхолоднішими" на Сонці. Як углиб, так і вгору від них температура газів швидко росте.





# Хромосфера

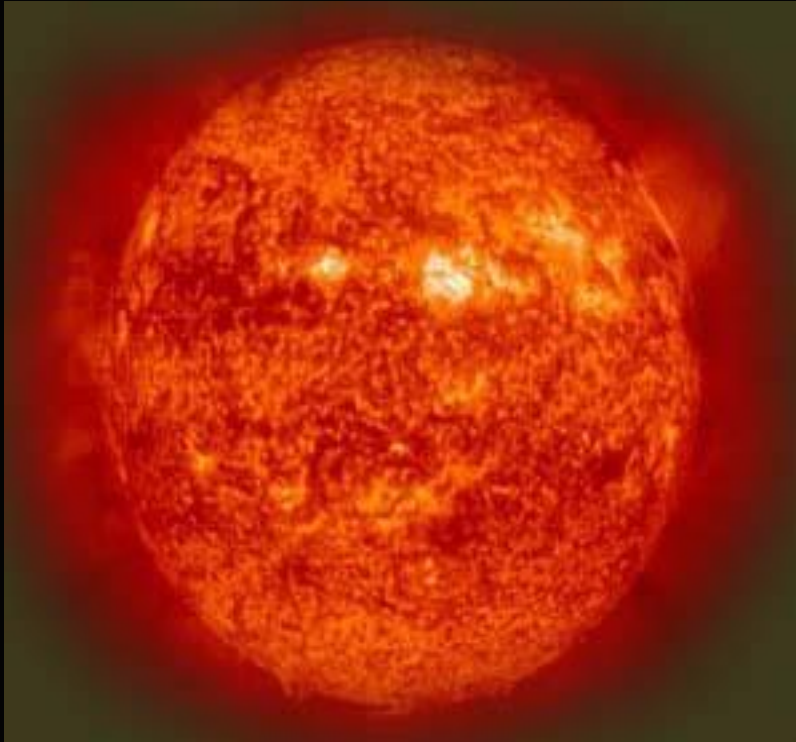
**Хромосфера** Сонця – наступний шар сонячної атмосфери, розташований над фотосферою.

Хромосферу видно тільки в моменти повних сонячних затемнень. Місяць повністю закриває фотосферу, і хромосфера спалахує, як **невелике кільце яскраво-червоного кольору**, оточене перлинно-білою короною. Хромосфера дістала свою назву саме із-за цього явища (в перекладі з грецької - "зabarвлена сфера").

Розміри хромосфери 10-15 тисяч кілометрів, а щільність речовини в сотні тисяч разів менша, ніж у фотосфері.



# Хромосфера

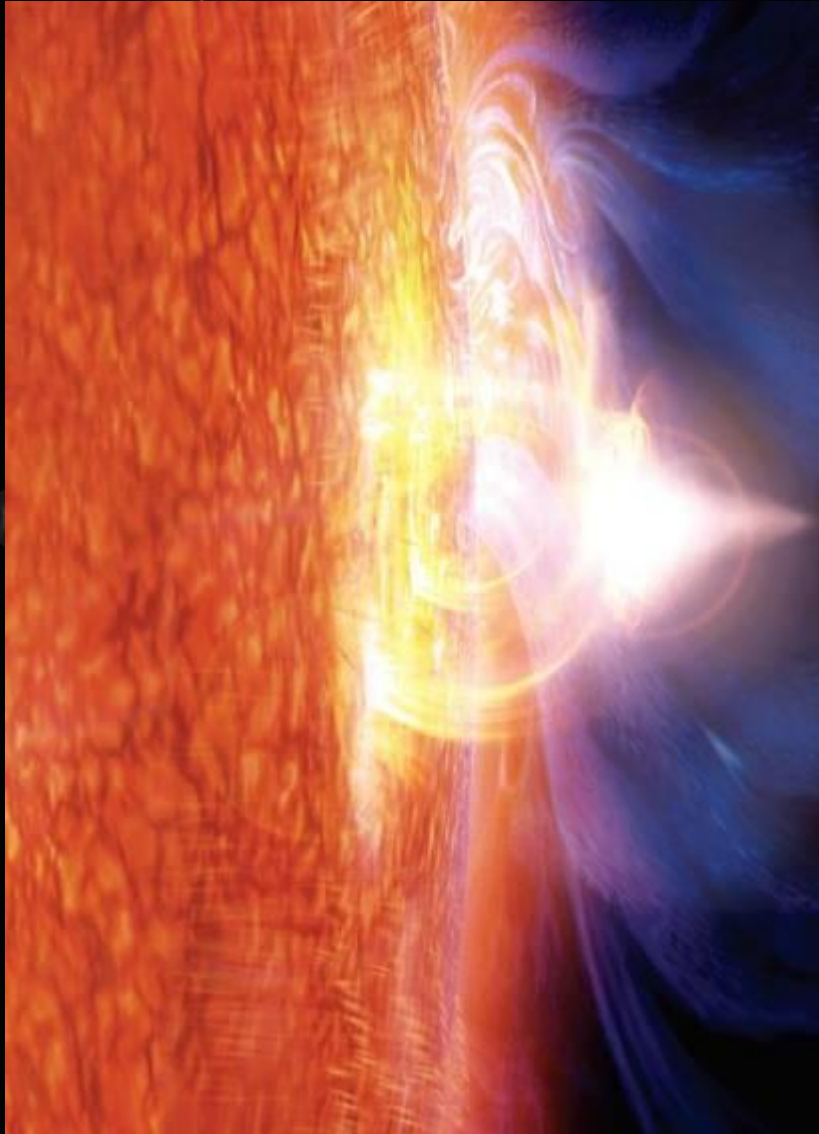


Температура в хромосфері швидко росте – від 4500 К на межі з фотосферою до 100 000 К у верхніх її шарах. Зростання температури пояснюється дією магнітних полів і хвиль, проникаючих в хромосферу із зони конвективних рухів. Тут нагрів відбувається, як в мікрохвильовій печі, тільки гігантських розмірів.

На краю хромосфери спостерігаються виступаючі язички полум'я - **спікули** - витягнуті стовпчики з ущільненого газу. Температура цих струменів у 2-3 рази вища, ніж температура фотосфери. Діаметр основи спікули – до 3000 км, час життя – до 5 хвилин.



# Хромосферні спалахи

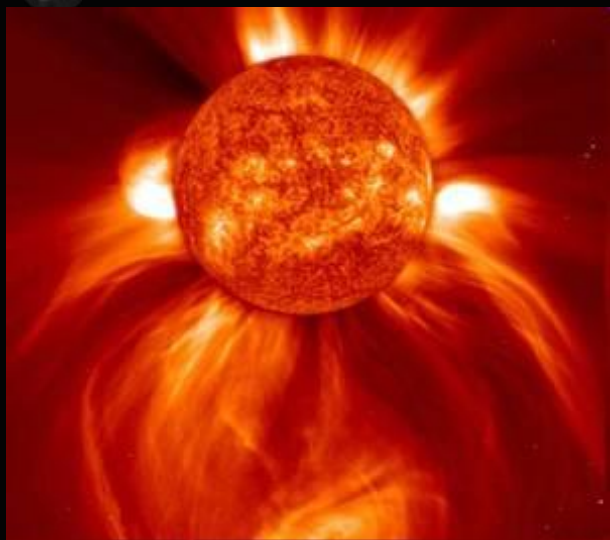


Найграндіознішими активними утвореннями у хромосфері є **хромосферні спалахи** – раптові викиди величезної кількості енергії, накопиченої у магнітному полі активної зони. За час одного спалаху Сонце виділяє енергію, рівну кількості енергії, що її отримує Земля за цілий рік.

Тривалість невеликих спалахів 5-10 хвилин, найпотужніших – до кількох годин. Під час таких спалахів у простір викидається величезна кількість частинок високих енергій (електронів, протонів, нейтронів, альфа-частинок) та потужна доза рентгенівського та гама-випромінювання.



# Хромосферні спалахи



# Сонячна корона



Найрозрідженіша і найгарячіша частина сонячної атмосфери – **корона** – верхній шар сонячної атмосфери. Вона простежується від сонячного диску до відстаней в десятки сонячних радіусів, поступово переходячи у космічний простір. Корона не має чітких обрисів, її вигляд змінюється з часом. Спостерігати корону можна під час сонячних затемнень.

Максимум сонячної активності



Мінімум сонячної активності

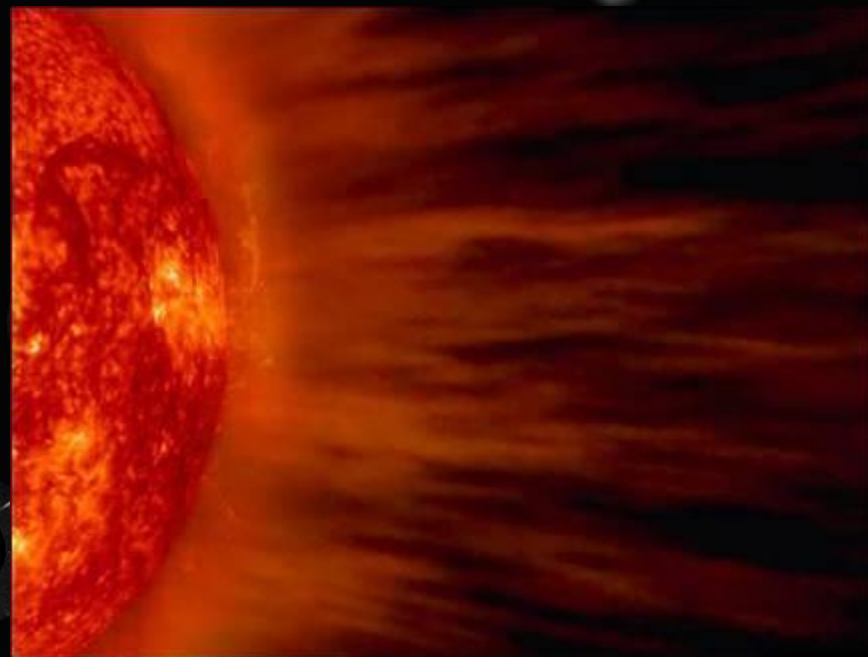
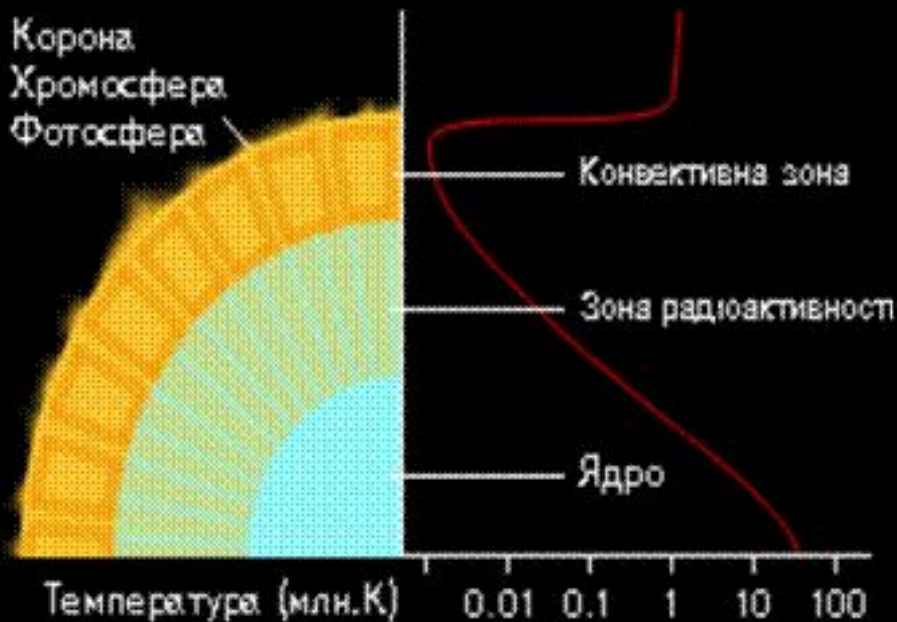








# Сонячна корона



Незважаючи на сильне гравітаційне поле Сонця, існування сонячної корони можливе завдяки величезним швидкостям руху її часток. Корона має температуру **близько мільйона градусів** і складається з високоіонізованого газу. Можливо, причиною такої високої температури є поверхневі викиди сонячної речовини у вигляді петель і арок. Мільйони колосальних фонтанів переносять в корону речовину, нагріту в глибинних шарах Сонця.



# Протуберанці у короні

**Протуберанцями** називаються величезні утворення в короні Сонця – викиди газу, що рухаються у магнітному полі по дугоподібних траєкторіях.

Протуберанці - холодні і щільні утворення з температурою близько 20 000 К. Деякі з них існують декілька місяців, інші з'являються поряд з плямами, рухаються з швидкостями близько 100 км/с і існують декілька тижнів. Окремі протуберанці рухаються з ще більшими швидкостями і несподівано вибухають; вони називаються **еруптивними**.

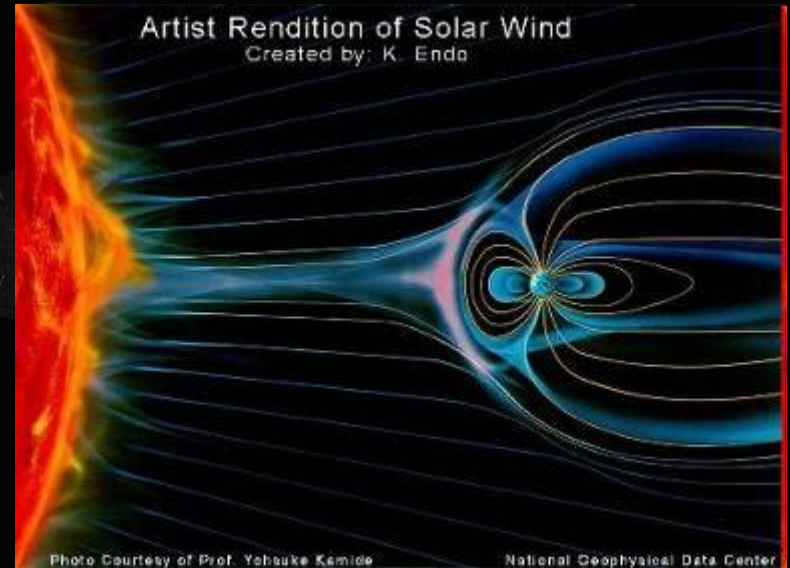
Розміри протуберанців можуть бути різними. Типовий протуберанець має висоту близько 40 000 км і ширину близько 200 000 км. Дугоподібні протуберанці досягають розмірів 800 000 км. Зарєстровані і рекордсмени серед протуберанців, їх розміри перевищували 3 000 000 км.



# Сонячний вітер

Сонце є джерелом постійного потоку часток. Нейтрино, електрони, протони, альфа-частки, а також важчі атомні ядра всі разом складають корпускулярне випромінювання Сонця. Значна частина цього випромінювання є більш менш безперервним витіканням плазми, так званим **сонячним вітром**, що є продовженням зовнішніх шарів сонячної атмосфери, - сонячної корони. Поблизу Землі його швидкість складає зазвичай 400-500 км/с. Потік заряджених часток викидається з Сонця через **корональні діри** - області в атмосфері Сонця з відкритим міжпланетний простір магнітним полем.

Різкі зміни потоку сонячного вітру (спричинені спалахами на Сонці), викликають збурення геомагнітного поля Землі - **магнітні бурі**.





Кінець