

Сонце

Загадкове небесне тіло – Сонце привертало увагу людей з давніх-давен. *Геракліт* (б. 520 – б.460 р. до н. е.) вважав, що розмір Сонця рівний людській ступні. На противагу йому *Анаксагор* (б. 500 – 420 р. до н. е.) припускав, що розміри Сонця можуть бути значно більшим, ніж здається, і порівнював його за розмірами з Пелопоннеським півостровом. *Піфагорійці* відносили його до планет, а *Філолай* (V в. до н.е.) вважав, що Сонце, разом з Землею, Місяцем і 5 планетами та вигаданою «протиземлею», невидимою для жителів Землі, обертається навколо центрального вогню. *Лукрецій* (99 – 55 р. до н.е.), який в своїй поемі «Про природу речей» стверджував реальність і безпомилковість людських відчуттів, писав:

Сонячний диск і тепло, що дарує нам Сонце, не можуть

Іншими бути ніж ті, що сприймаються нами...

Розміри Сонця такі, які від Землі нам здаються,

І нерозумно вважати його значно більшим, чи меншим.

Перші міркування наукового характеру, щодо взаємного розташування Землі та Сонця належать *Аристарху Самоському*, який визначив цю відстань в 15-20 разів більшу, ніж до Місяця.

Гіннарх (II ст. до н.е.) знайшов, що паралакс Сонця становить $3'$, що відповідало відстані 1200 земних радіусів.

І, нарешті, *Гюйгенс* у XVII ст. визначив цю відстань у 160 млн. км, що близько до сучасних вимірювань.

Сонце – джерело життя на Землі, є найближчою до нас зорею.

Досить просто визначаються геометричні характеристики Сонця. Користуючись паралактичним методом, в принципі можна визначити, що *середня відстань від Землі до Сонця рівна 149,6 млн. км.* Точні вимірювання здійснюються на основі третього закону Кеплера та визначення точних відстаней до планет радіолокаційним методом. Внаслідок еліптичності земної орбіти, наша відстань від Сонця змінюється на протязі року. В січні вона зменшується на 2,5 млн. км, а в липні на стільки ж збільшується від свого середнього значення.

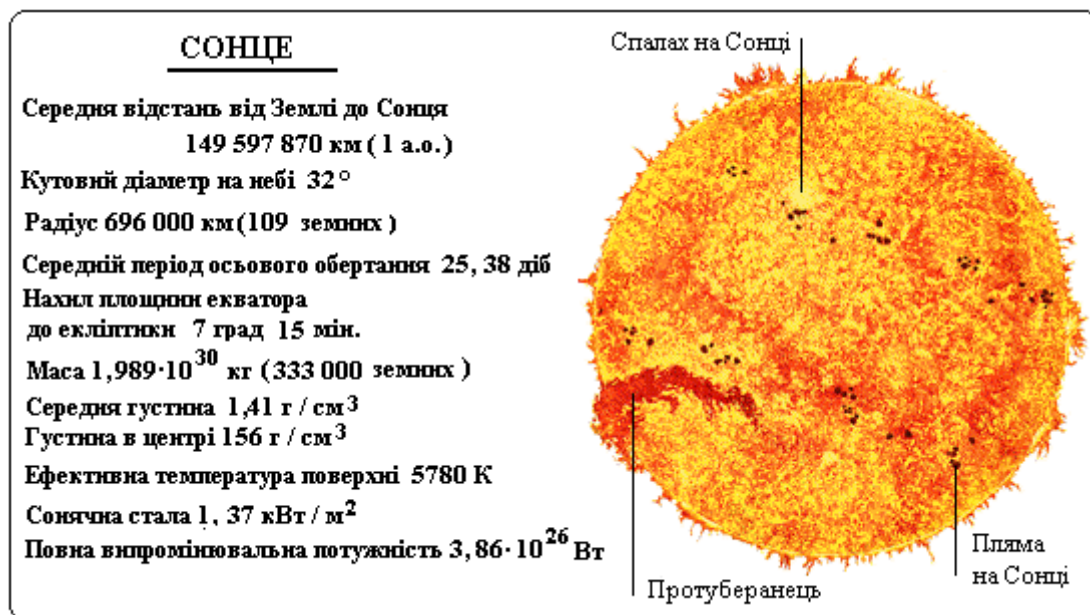
На початку січня (коли Земля в перигелії) кутовий діаметр Сонця становить $32' 35''$, а на початку липня (Земля в афелії) – $31' 31''$.

Радіус Сонця становить $R_0 = 6,96 \cdot 10^8$ м, що у 109 разів більше земного радіуса.

Маса Сонця $M_0 = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг, що в 333 000 більше земної маси. В Сонці зосереджено 99,866% маси всієї Сонячної системи.

Середня густина речовини Сонця $\rho_0 = 1,41$ г/см³, що складає 0,256 середньої густини Землі.

Сонячна речовина містить за масою близько 70% водню, 28% гелію та біля 2% інших



елементів. За числом атомів на водень припадає більше 90%.

Прискорення вільного падіння на рівні видимої поверхні Сонця становить 270 м/с^2 .

Середній період обертання Сонця навколо власної осі 25,38 діб. Відносно Землі, яка обертається навколо Сонця в тому ж напрямку (проти годинникової стрілки, якщо дивитися з північного полюса світу), цей період на дві доби більший. Обертний рух мас сонячної речовини носить роздільний (диференціальний) характер, як це спостерігається в рідинах та газах. Такий результат відповідає нашим уявленням про Сонце, як газову (плазмову) кулю. Цікаво, що *період обертання екваторіальних шарів менший ніж полярних*. Період обертання від екватора до полюса збільшується від 25 до 30 діб (від $14,4^0$ до 10^0 на годину).

Слід зауважити, що причина випереджуючого обертання екваторіальних шарів Сонця точно невідома. Роздільність обертання речовини в газовому, або рідинному об'ємі *звичайно* полягає в тому, що шари більш віддалені від осі обертання, внаслідок взаємного їх ковзання, мають меншу кутову швидкість (і *більший період обертання*), в своєму русі відстаючи від менш віддалених. Можна припустити, що *причиною спостережуваного парадоксу обертання* є потужні конвекційні потоки з надр Сонця. Оскільки величина лінійної швидкості прямопропорційна кутовій швидкості та радіусу траєкторії руху, то конвекційні потоки з надр Сонця при виході на поверхню, зберігаючи в потужних магнітних полях кутову швидкість ω і збільшуючи свою відстань r від осі обертання, набувають лінійної швидкості ($v = \omega r$), більшої ніж у прилеглих зон. Тому спостереження за рухом сонячних плям, які привели до відкриття осьового обертання Сонця, можуть свідчити про швидкість лише поверхневих шарів Сонця.

Лінійна швидкість точок на екваторі 2 км/с .

За величиною *сонячної сталої*, тобто потужності сонячного випромінювання, що припадає на одиницю поверхні Землі за межами її атмосфери, рівної

$$e_0 = 1,37 \text{ кВт/м}^2,$$

можна визначити *потужність випромінювання Сонця*

$$P_0 \approx 3,86 \cdot 10^{26} \text{ Вт.}$$

Щосекунди Сонце втрачає 4 млн. тонн своєї маси на випромінювання. Однак, питома потужність енерговиділення (в розрахунку на одиницю маси) є не такою вражаючою і складає $0,2 \text{ мВт / кг}$. Для порівняння тепловиділення людини, яке в нормальних умовах становить $1,2 \text{ Вт / кг}$, є незрівнянно більшим.

В 1854 році Г.Гельмгольц спробував пояснити випромінювання Сонця його постійним гравітаційним стисненням (контракційна гіпотеза). Гравітаційна енергія Сонця у відповідності з попередніми обчисленнями визначається формулою

$$W = -\frac{3}{5} G \frac{M^2}{r},$$

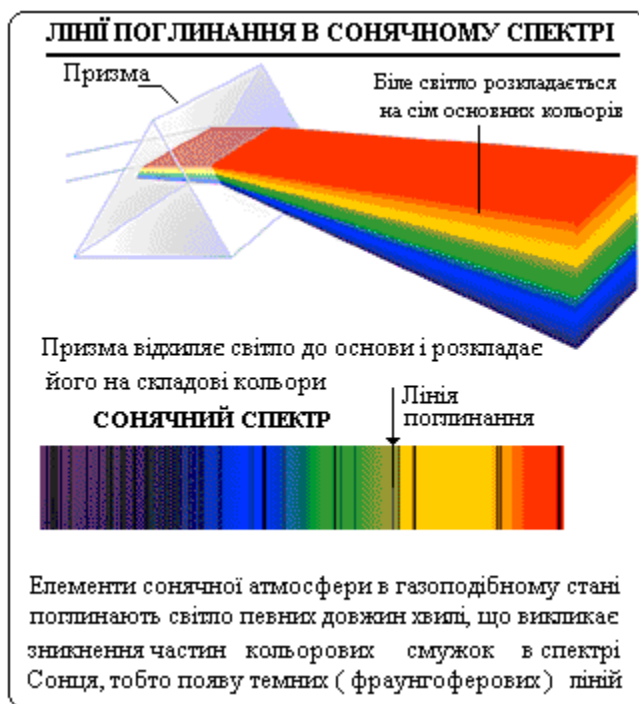
за якою зменшення радіуса тіла означає зменшення його гравітаційної енергії, перехід її в теплову. Згідно цієї формули енергія, яку може витратити Сонце, рівна

$$W_{go} \approx 2,4 \cdot 10^{41} \text{ Дж.}$$

За вказаної потужності сонячного випромінювання, час повної втрати цієї енергії становить

$$\tau \approx \frac{W_{go}}{P_0} \approx 6,3 \cdot 10^{14} \text{ с} \approx 20 \text{ млн. років.}$$

Отже, яки джерелом енергії сонячного випромінювання була гравітація, то отримана



цифра визначала би час, за який Сонце повністю має вичерпати свою енергію (час існування Сонця). Оскільки така цифра є занадто малою і різко протирічить даним геології та біології, то одразу стає зрозумілим, що гравітаційне стиснення не може бути джерелом сонячного випромінювання.

Закони Віна та Стефана-Больцмана дозволяють оцінити *ефективну температуру поверхні Сонця*

$$T_0 \approx 5780 \text{ К.}$$

Можна оцінити *гравітаційний тиск в надрах Сонця*

$$p \approx \frac{G}{16\pi} \frac{M^2}{r^4} \approx 10^{15} \text{ Па.}$$

Спектр сонячного випромінювання є суцільним, на тлі якого спостерігаються чорні лінії поглинання – *фраунгоферові лінії*. Їх відкрив у 1914 р. німецький фізик Йозеф Фраунгофер (1787 – 1826). Понад 10 000 лініям відповідають 72 хімічні елементи.

Завдяки спектральному аналізу сонячного випромінювання, елемент Гелій вперше був виявлений спочатку на Сонці, і лише потім на Землі.

Вивчаючи спектр сонячного випромінювання, з деякою вірогідністю, можна зробити висновок про те, що за числом атомів Сонце приблизно на 90 % складається з водню і десь на 10 % з гелію (за масою відповідно 68 % і 30 %), решта (біля 0,1% за числом та 2% за масою) припадає на інші елементи.

Вважаючи Сонце газовою кулею, для якої справедливі закони ідеального газу, можна наближено оцінити *температуру в надрах Сонця* за величиною тиску. За рівнянням Клапейрона-Менделєєва такий тиск

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT,$$

де $\mu \approx 10^{-3}$ кг/моль – середня молярна маса Сонця, в складі якого домінує водень.

Прирівнявши цей тиск до гравітаційного

$$\frac{GM^2}{16\pi r^4} \approx \frac{\rho RT_{oc}}{\mu},$$

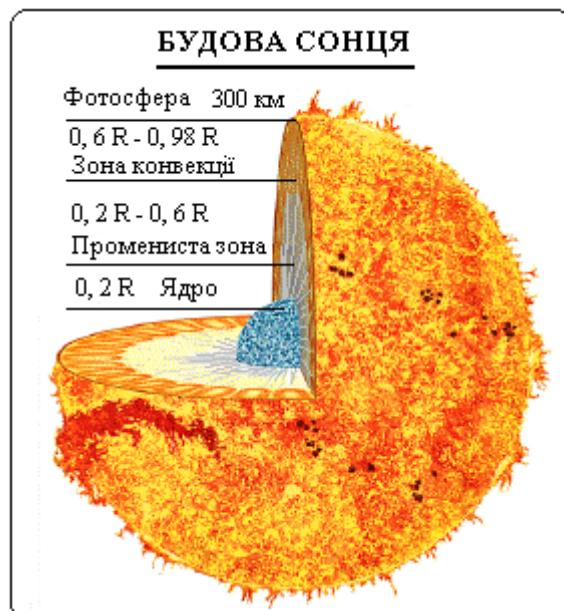
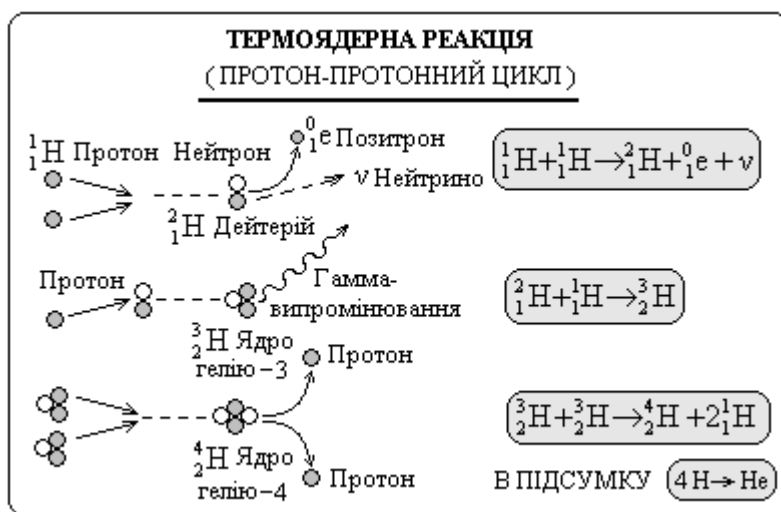
можна знайти, що $T_{oc} \approx 1,5 \cdot 10^7 \text{ К.}$

При цій температурі слід чекати повної іонізації атомів, в результаті якої газ набуває особливих властивостей, переходячи в стан названий *плазмою*.

В такій високотемпературній плазмі можливі *термоядерні реакції синтезу*, кінцевим результатом яких є утворення з ядер водню ядер гелію. Маса утвореного ядра є меншою маси частинок, що склали це ядро. За теорією відносності така різниця мас (дефект маси) Δm мас відповідати енергії ΔE виділеній при утворенні ядра

$$\Delta E = \Delta mc^2.$$

Саме енергія таких реакцій може бути джерелом енергії Сонця, на що вказує і його хімічний склад.

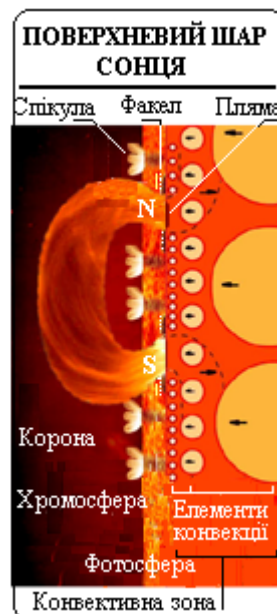
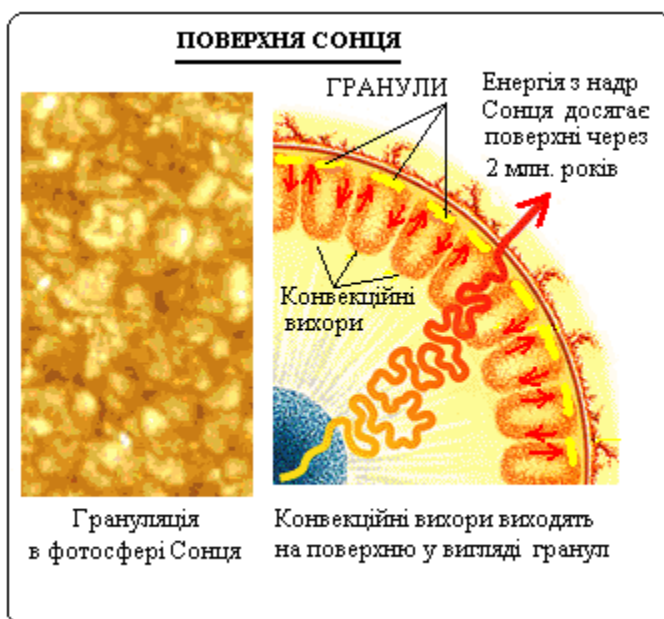


Ймовірність таких реакцій розрахував в 1938 – 39 рр. німецький фізик-теоретик Ганс БЕТЕ, який емігрував в США, втікаючи від германського нацизму.

Термоядерні реакції відбуваються в центральній частині Сонця – *сонячному ядрі*, радіус якого складає близько п'ятої частини сонячного радіусу. Ядро є *зоною ядерних реакцій*. Наступною частиною об'єму, яка простягається до трьох п'ятих радіуса Сонця, є зона переносу енергії виділеної ядрі у вигляді випромінювання – *промениста зона*. Від цієї зони і майже до поверхні Сонця простягається *зона конвекції*, яка переходить в зону, що грає роль видимої поверхні Сонця – *фотосфери*. Товщина цієї зони оцінюється в 300 – 350 км.

Фотосфера являє собою нижній шар сонячної атмосфери, який ми спостерігаємо у вигляді сонячної поверхні і в якому формується неперервний спектр сонячного випромінювання. Ця поверхня при спостереженні в телескоп має зернисту, стільникову (грануляційну) будову. *Зернини (гранули)* являють собою світлі дільниці з середнім розміром 700 – 1000 км, відокремлені між собою темнішими перегородками шириною біля 300 км, які безперервно то виникають, зринаючи з глибини, то, поринаючи, зникають. Середній час існування гранули біля 8 хвилин (5 – 15 хв.). Різниця температур гранули і перегородки біля 500 К. Завдяки безперервному рухові гранул, поверхня Сонця здається киплячою, нагадуючи поверхню киплячої каструлі з рисовими зернами. Можна стверджувати, що гранули є верхівками конвекційних потоків, які у вигляді струменів розпеченого газу вириваються з глибших сонячних шарів, і, охолонувши, розпадаються та осідають на глибину, спостерігаючись у вигляді темних перегородок між новоутвореними гранулами. Швидкість руху протилежних конвекційних потоків складає 1 – 2 км / с. Конвекційні вихори циркулюють у верхньому шарі Сонця товщиною біля 1 – 2 тис. км.

В областях по обидва боки від сонячного екватора з віддаленням біля 30° можна спостерігати *сонячні плями* та *факели*. Плями бувають різного розміру і являють собою темні дільниці (тінь), із характерним розміром близько 35 000 км з температурою на 1500 К меншою оточуючої поверхні, оточену більш світлою напівтіллю вдвічі більшого діаметру. Найбільший розмір спостережуваних плям сягав 100 000 км. Великі плями можна спостерігати навіть озброєним оком перед заходом Сонця. Згадки про такі спостереження зустрічаються в хроніках Давнього Китаю, Риму, Київської Русі. Пониження температури означає зменшення середньої кінетичної енергії частинок в області плями. Було помічено, що в області плям фіксується посилення магнітного поля до 0,5 Тл від звичайного середнього значення 0,0001 – 0,001 Тл. Разом з цим посилюється і електричне поле, яке очевидно і гальмує заряджені частинки сонячної плазми. Темні та світлі радіальні волокна, що



утворюють напівтінь, є струменями газу, вздовж ліній магнітного поля, на які розбивається могутній потік сонячної речовини, що рухається всередині велетенської магнітної трубки з глибин Сонця. В темних волокнах речовина рухається від плями, в світлих – протилежно.

Плями утворюють пари з протилежною магнітною полярністю.

Плями оточуються мережею яскравих ланцюжків з розміром ланок (груп гранул) біля 5 000 км та довжиною в десять разів більшою. Таке утворення, яке називають *факелом*, є досить довгоживучим і може існувати до року, в той час, коли сама пляма живе біля місяця – максимально декілька місяців.

Наступним шаром сонячної атмосфери є *хромосфера*, яку можна спостерігати під час сонячних затемнень у вигляді ореолу рожевого кольору навколо затемненого сонячного диска. Навколо хромосфери на протязі декількох сонячних радіусів простягається сріблясто-біла *сонячна корона*. В короні розташовані порівняно холодні густі, хмароподібні утворення – *протуберанці*, які можуть простягатися в довжину до половини сонячного радіуса. В хромосфері вирізняються *спікули* у вигляді світлих колон, які простягаються на висоту 7 – 12 тис. км. Середня температура хромосфери сягає 20 000 К, а корони в 100 разів більша.

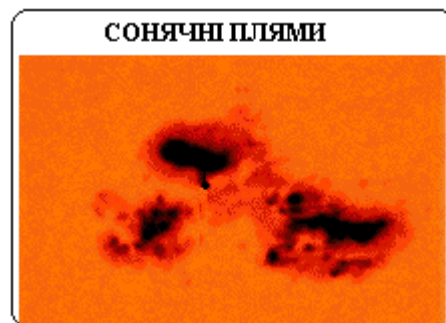
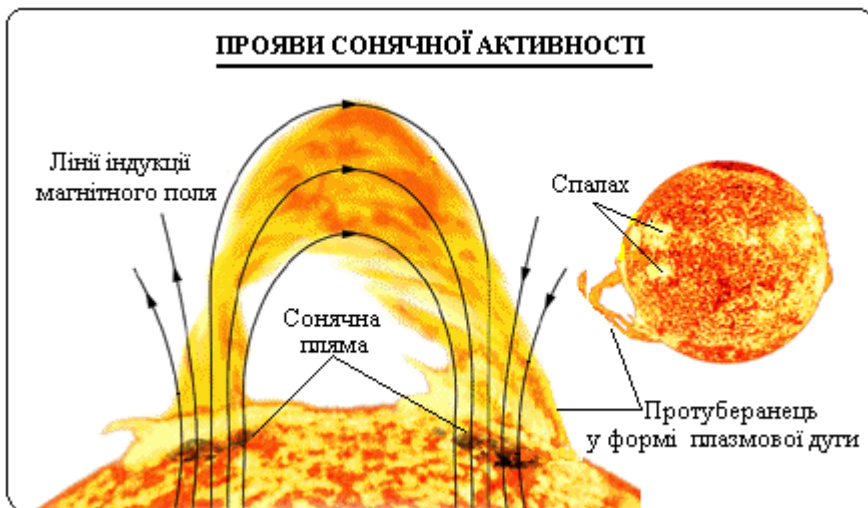
Від сонячної корони в оточуючий простір безперервно стікає потік частинок, в основному протонів та електронів. Весь навколосонячний простір заповнений цими частинками – плазмою, що рухається від Сонця в радіальному напрямку. Таке корпускулярне випромінювання

отримало назву *сонячного вітру*. Якщо хвильове випромінювання, рухаючись зі світловою швидкістю 300 000 км /с, досягає Землі за 8 хвилин, то середня швидкість сонячного вітру є значно нижчою і становить біля 400 км /с, і долає такий шлях приблизно за 4 доби. Густина сонячної плазми в околі Землі наближено рівна 1 – 2 частинки в см³, її енергія складає мільйонну частинку в загальному балансі енергії, що надходить до Землі з боку Сонця.

Сонячна активність

Хоча загальний потік сонячної енергії є практично незмінним (наприклад варіації сонячної сталої не перевищують 0,6 %), процеси, що відбуваються на Сонці, відрізняються значною нестабільністю.

Ці процеси періодично набувають більш бурхливого характеру, що виявляється в підвищенні *сонячної активності*. Систематично, в результаті збурення магнітного поля, в атмосфері Сонця виникають активні



області, які часто називають сонячними бурями. Підвищення напруженості магнітного поля робить активну область плямою. Тому ознакою і мірою активності є число таких плям. Так, однією з мір, пов'язаною з числом плям f та числом їх груп g , служить число Вольфа (Р. Вольф, 1816 – 1893, швейцарський астроном)

$$W = k(f + 10 g),$$

де коефіцієнт k залежить від вимірювальних інструментів. В роки сонячної активності число Вольфа може досягати 100. Сонячна активність виявляється не тільки у збільшенні числа плям, а й у інших проявах, зокрема, факелах, протуберанцях, спалахах. Спалахи виявляються у різкому збільшенні яскравості невеликих ділянок хромосфери над сонячними плямами. Слабкі спалахи тривають декілька хвилин, а потужні, в період сонячної активності, – декілька годин. При дуже потужному спалаху може виділитися до 10^{25} Дж енергії, яка еквівалентна енергії вибуху двох мільярдів водневих бомб з тротиловим еквівалентом в 1 мегатонну. Передбачення такого спалаху є важливим для прогнозування земних явищ. Таку можливість створює явище підвищення при спалаху потужності сонячного випромінювання на хвилі 10,7 см, оскільки електромагнітне випромінювання досягає Землі на 1-2 дні раніше ніж корпускулярне. Якщо побудувати криву сонячної активності, то можна помітити, що мінімуми і максимуми чергуються з інтервалом в середньому рівному 11 років, хоча трапляються відхилення і наведене значення може становити 7 – 17 років.

Важливою особливістю є закон зміни магнітної полярності плям. На протязі 11 річного циклу всі плями – лідери пар мають однакову полярність в північній півкулі і протилежну в південній. В наступному циклі полярність змінюється на протилежну. Тому можна говорити і про 22 - річний сонячний цикл. Такою ж циклічністю характеризується зростання числа факелів, флокул, спалахів, протуберанців, а також форма корони та потужність сонячного вітру. Нумерацію циклів ведуть з того, який почався у 1755 року. В листопаді 2008 розпочався 24 цикл.

Поряд з 11-річним розглядаються також і інші періоди сонячної активності, наприклад 90-річний, 600-річний.

Причини формування 11-річного циклу до кінця не з'ясовані. Висувалась, наприклад, гіпотеза про вплив на Сонце планети-гіганта Юпітера, яка має період обертання навколо Сонця 11,6 років та дуже витягнуту еліптичну орбіту. Однак, розрахунки показують, що зміни гравітаційної енергії пари Сонце-Юпітер є занадто малими для впливу на сонячні процеси. Активність Сонця, очевидно, пов'язана з періодичним розгоранням та затуханням термоядерних реакцій в надрах Сонця. Ця реакція не набуває вибухоподібного ходу, як у водневій бомбі, завдяки механізму саморегуляції, який діє за маятниковим принципом. При розгортанні реакції, зростає число ядер, що вступили в реакцію, і цим одночасно зменшується число ядер, що можуть прореагувати на наступному етапі. Реакція затухає до моменту поповнення зони реакції легкими ядрами з оточуючих шарів і т. д. Проте, слід зазначити, що проблема пояснення циклічності сонячної активності до кінця ще не розв'язана дослідниками.

Вплив сонячної активності на Землю

Ще в античні часи та середньовіччі люди пов'язували різні стихійні явища – землетруси, епідемії, засухи, повені, неврожаї з так званими небесними «знаменнями», до яких відносили і зміни сонячного стану. Цілком можливо, що помічену періодичність процесів на Сонці відбивав 12 – річний східний календар, в якому кожен рік мав назву тварини: миші, буйвола, тигра, кішки, дракона, змії, мавпи, курки, собаки, свині.

Сонячна активність помітно впливає на магнітне поле Землі, стан земної атмосфери, циркуляцію повітряних мас, а відтак на кліматичні умови та погоду. Встановлено, що коловий, циркуляційний рух повітряних мас в середніх широтах охоплює область

протяжністю біля 1000 км. Якщо всередині знаходиться область пониженого тиску (циклон), то рух повітря відбувається за годинниковою стрілкою, а якщо підвищеного (антициклон) – проти. Циркуляційний вітер (геострофічний) напрямлений вздовж лінії рівного тиску з типовою швидкістю 10 м / с. Типова енергія циклона 10^{18} Дж. При цьому в атмосфері періодично встановлюється деякий рівноважний стан. Оскільки рух повітряних мас відбувається практично без тертя, то навіть невеликий розбаланс сил тиску може привести до їх переміщення. Зміну тиску може викликати додаткове нагрівання атмосферних шарів посиленням сонячним випромінюванням в період активного Сонця.

Інтенсивність високочастотного випромінювання Сонця може змінюватися в 4 рази. Така зміна приводить до зміни іоносфери, потужності озонового шару. Сплески випромінювання та потоку частинок в складі сонячного вітру під час спалахів на Сонці не тільки здійснюють підвищену іонізацію атмосферного повітря, а й викликають збурення електромагнітного поля Землі (*магнітні бурі*), внаслідок чого виникають полярні сяйва, порушується радіозв'язок.

Сонячна активність суттєвим чином впливає також і на гідросферу та літосферу Землі. Такий вплив пов'язаний зі зміною таких характеристик, як вологість, кількість опадів, повеней, кількість осадків, коливання стоку та рівня рік, озер, морів. Вплив на тверду оболонку Землі – літосферу здійснюється через атмосферу. Існують аргументи на користь того, що землетруси, виверження вулканів та інші процеси в земній корі можуть бути спровоковані процесами на Сонці.

Встановлений *вплив Сонця і на біосферу Землі*. Радянський дослідник Олександр Леонідович Чижевський (1897 – 1964) помітив, що масові епідемії та пандемії спостерігались в роки активного Сонця. Іншого типу масові захворювання співвідносились з мінімумом сонячної активності.

Від активності Сонця залежать чотири типи хвиль, що поширюються біля поверхня Землі : *хвилі, зумовлені пульсаціями геомагнітного поля, інфразвукові та гравітаційні хвилі, радіохвилі*. Вплив перших двох типів хвиль на біосферу є безсумнівно доведеним. Геомагнітні пульсації є результатом взаємодії геомагнітного поля з потоками сонячної плазми і приводять до синхронних пульсацій вертикальної складової електричного поля Землі з амплітудою $50 - 60 \text{ В} \cdot \text{м}$ (постійне значення цієї складової близьке $130 \text{ В} \cdot \text{м}$). Частоти пульсацій знаходяться в діапазоні $0,005 - 5 \text{ Гц}$ і виявляються резонансними до частот коливань пов'язаних з життєдіяльністю живих організмів та біологічних систем (біоритмів).

Інфразвукові хвилі є звуковими хвилями низької частоти, які не сприймаються на слух, і можуть поширюватись на тисячі кілометрів. Такі хвилі, наприклад можуть виникати при потужних хвильових коливаннях, що дозволяє передбачати надходження штормів. За цими хвилями, можна в Європі реєструвати циклони, які формуються в районі Ісландії. Іншими джерелами інфразвуків є землетруси, виверженням вулканів, вибухи метеорів, сильні грози, тощо. На поверхні Землі створюється певний фон ультразвукових хвиль на рівні хвильової амплітуди 10^{-5} Па , яка при геомагнітних пульсаціях збільшується приблизно в 10 разів на частоті рівній частоті геомагнітних пульсацій.

До речі птахи та інші тварини можуть сприймати ультразвукові коливання , що пояснює їх здатність передчувати наближення різних стихій.

Таким чином життя тваринного і рослинного світу проходить в своєрідному хвильовому океані. Діяльність людського мозку та серця має коливний характер і координується та синхронізується з коливаннями цих хвиль. Електромагнітні коливання в організмі людини фіксуються, зокрема, кардіограмами та енцефалограмами, які мають велике значення в медицині. Таким чином, зміни зовнішнього хвильового поля, викликані процесами на Сонці, можуть суттєво впливати на живі організми. Дослідження показують, що грає роль як посилення, так і послаблення хвильових полів. Наприклад, при довготривалому перебуванні в камерах, захищених від електромагнітних полів екранами, у тварин

з'являлись пухлини. В роки максимуму сонячної активності, більш інтенсивно ростуть дерева, бурхливо розмножуються деякі комахи та хвороботворні бактерії. Відмічається збільшення числа ракових захворювань при зменшенні геомагнітного поля. При спалахах на Сонці погіршується самопочуття людей, провокується критичний стан у хворих на серцево-судинні захворювання, збільшується кількість інфарктів та інсультів.

Можливо механізм сонячної активності грає роль регулятивного фактора у співвідношення кількостей живих організмів в природі.