

СОНЯЧНА СИСТЕМА

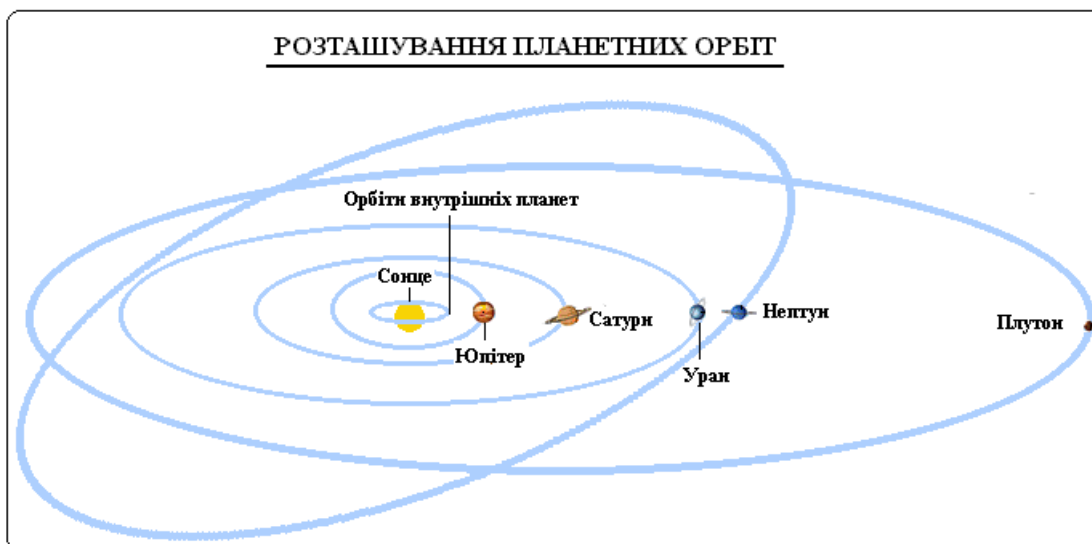
Польоти космічних станцій та апаратів, дані астрономічних спостережень, отриманих за допомогою сучасних гігантських телескопів, в тому числі орбітальних, дозволяють значно розширити наші знання про Сонячну систему, зоряний світ та Всесвіт в цілому.

Неосяжний Всесвіт став для сучасної людини не тільки більш близьким, а і більш зрозумілим. З'явилась можливість перевірити давні гіпотези та теоретичні розрахунки про походження тіл Сонячної системи, зорного світу і Всесвіту в цілому.

Людство переконалось в тому, що наша Сонячна система не є винятковою. Виявилось, що дуже багато з відомих нам зір мають свої планетні системи, спостереження за якими дозволяє глибше зрозуміти процеси в нашому навколосонячному світі.

Сонячна система включає Сонце, яке є центральним тілом системи, зосереджуючи в собі 99,9% її маси, велику кількість космічних тіл, які утримуються сонячним тяжінням, і до яких, крім планет та їх супутників, належать астероїди (не менше 100 тис.), комети і метеорні тіла (в межах 100 млрд.), велетенська кількість дрібних частинок, міжпланетного пилу та газу.

Планети сонячної системи являють собою вісім найбільших космічних тіл – супутників Сонця.



Діаметр Сонячної системи становить 80 а.о., а з врахуванням кометних орбіт 200 а.о.

§1. Сонце та Сонячна система

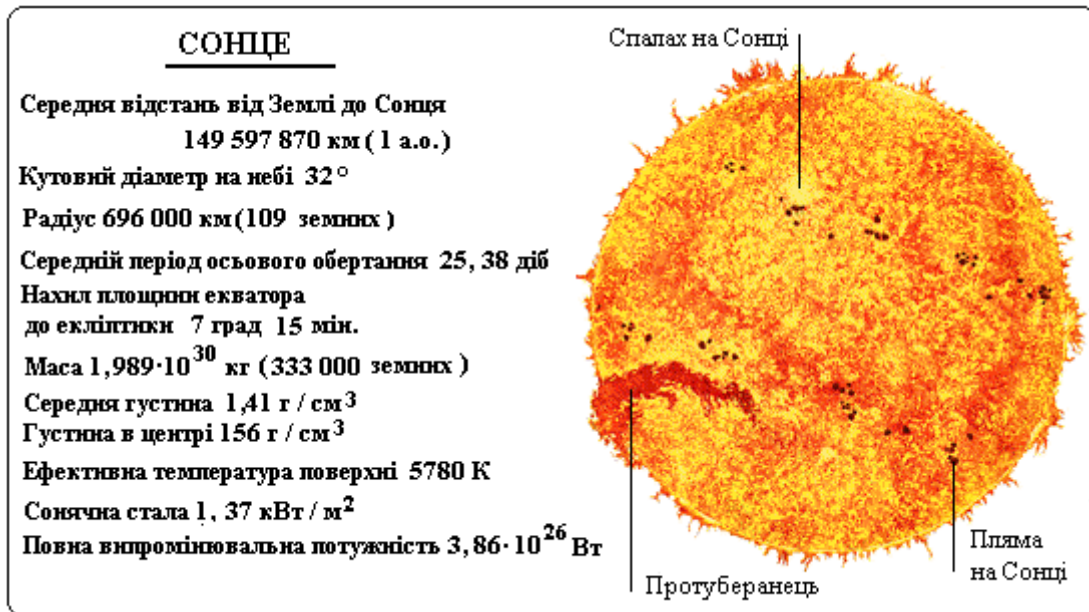
Сонце – центральне тіло Сонячної системи, є зорею з досить середніми характеристиками, але не найбільш типовою в зоряному світі. До типових зір Всесвіту відносять червоних карликів. Досить просто визначаються геометричні характеристики Сонця. Користуючись паралактичним методом, крім цього можна визначити, що *середня відстань від Землі до Сонця рівна 149,6 млн. км*. Обчислення цієї відстані можна також виконати на основі третього закону Кеплера. Пряме визначення точних відстаней до планет здійснюється 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.

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.



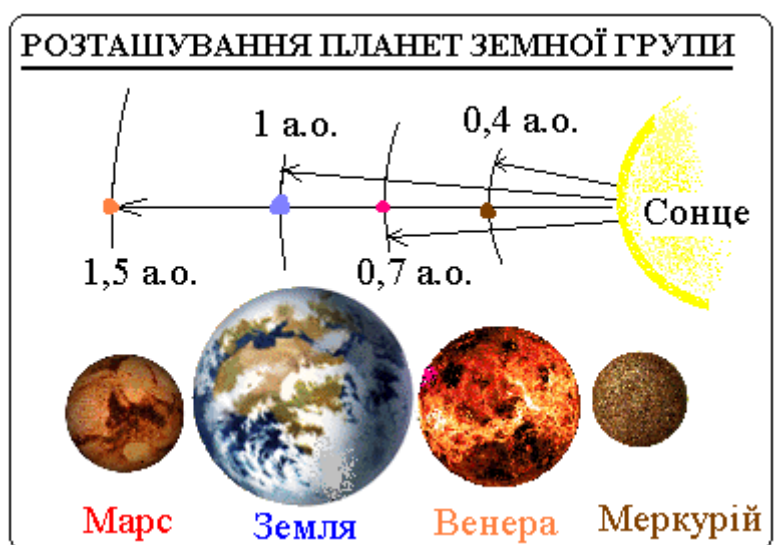
Сонячна речовина містить за масою близько 70% водню, 28% гелію та біля 2% інших елементів. За числом атомів на водень припадає більше 90%.

Прискорення вільного падіння на рівні видимої поверхні Сонця становить 270 м/с².

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. Обертаний 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.

Вік Сонця оцінюють в 4,7 млрд років. Зорі такого типу живуть приблизно 10 млрд років.

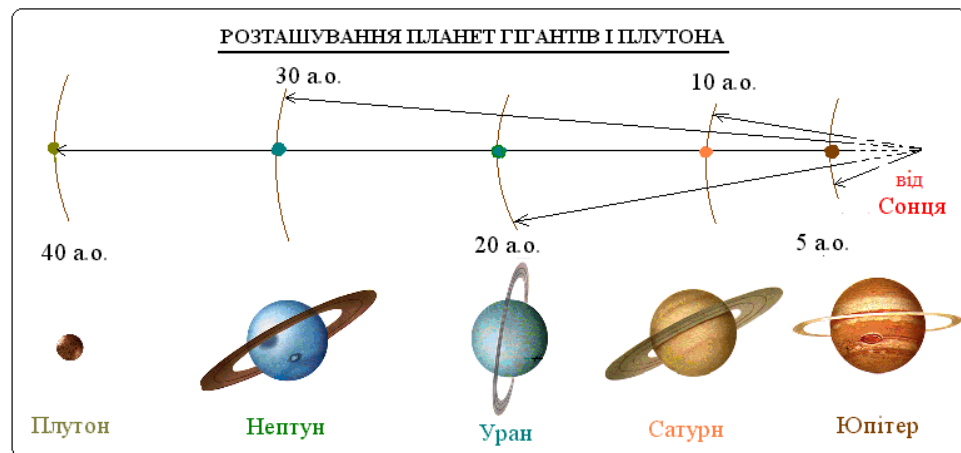
Навколо Сонця обертається 8 планет. До 2006 года їх було 9, але найвіддаленіший Плутон у 2006 році рішенням Міжнародного астрономічного союзу був позбавлений планетного статусу. Орбіти планет є еліптичними, які не дуже відрізняються від колових. В межах Сонячної системи відстані між небесними тілами зручно вимірювати в астрономічних одиницях (а.о.), за яку приймається середня відстань від Сонця до Землі.



Важливою характеристикою планетних орбіт є кути нахилу їх до площини земної орбіти – площини *екліптики*. Ці кути є невеликими - до 7 градусів у Меркурія, на рух якого суттєво впливає притягання сусідніх планет. За своїми характеристиками планети досить сильно відрізняються одна від одної. Найближчі до Сонця планети складають земну групу (Меркурій, Венера, Земля і Марс). На більших відстанях обертаються планети-гіганти, серед яких знаходиться найбільша планета Сонячної системи – Юпітер. Ці планети мають суттєво меншу густину, серед них Сатурн з середньою густиною $0,7 \text{ г/см}^3$.

Важливою відмінністю планет земної групи і гігантів є наявність супутників. У планет-гігантів кількість тільки виявлених супутників обчислюється десятками, і, крім того, у цих планет є кільця, які найлегше спостерігати у Сатурна.

Цікаво, що на межі між планетами земної групи і планетами-гігантами, а також зі зовнішнього боку гігантів розташовуються тіла невеликої маси, які в останній час привертають до себе особливу увагу астрономів.



У кожній з планет земної групи є своя особливість. У Меркурія – це дуже висока густина, яка може бути пояснена наявністю у нього потужного залізного ядра при досить тонкій зовнішній корі. Особливість Венери полягає в її жахливій атмосфері з вуглекислого газу, при температурі біля 700 кельвінів та тиску біля 90 атмосфер.

Звичайно, головною особливістю Землі є життя, але, з фізичної точки зору, такою унікальністю є також наш супутник Місяць. Таких супутників, які за масою і розмірами близькі до маси планети, в Сонячній системі не існує. Завдяки своєму супутнику, загадковому за походженням, Землю часто іменують подвійною планетою.

Орбіти більшості планет мало відрізняються від колових, ексцентриситети їх лежать в межах 0,09 (коло є еліпсом з нульовим ексцентриситетом). Найбільшою еліптичною витягнутістю відрізняються орбіти Меркурія (0,206) та Плутона (0,250), який віднесено до малих тіл Сонячної системи. Напрямок руху планет співпадає з напрямком осевого обертання Сонця.

Майже всі орбіти практично лежать в площині земної (площині екліптики), маючи нахил в межах 4° . Виняток становлять Меркурій (7°) і Нептун ($17,2^\circ$). Внаслідок еліптичності орбіти існує точка найбільшого віддалення від центрального тіла - *апоцентр* (для руху довільної планети навколо Сонця – *афелій*, для Землі – *апогей*) і найменшого – *періцентр*

(відповідно – *перигелій*, *перигей*). Ті планети, орбіти яких лежать всередині земної орбіти, називають внутрішніми, інші – зовнішніми.

2. Конфігурації планет

Конфігураціям планет називають характерні взаєморозташування планет, Землі і Сонця. Якщо внутрішня планета знаходиться на прямій, яка сполучає Землю і Сонце, або поблизу неї, перед Сонцем, то така конфігурація називається *нижнім сполученням*, якщо за Сонцем – *верхнім сполученням*. Кутове віддалення планети від Сонця називається *елонгацією*. Розрізняють *західну* і *східну* елонгації. Найбільша елонгація Меркурія становить 28° , Венери, найяскравішого світила неба – 48° . З цих причин внутрішні планети спостерігаються або в східній частині неба перед сходом Сонця, або в західній, після його заходу.

Зовнішні планети можуть знаходитись в сполученні та в протистоянні, коли Земля знаходиться між сонцем та планетою.

При спостереженні з Північного полюсу світу, планети обертаються навколо Сонця проти годинникової стрілки. Якщо обертання планети навколо своєї осі відбувається в цьому ж напрямку, то таке обертання називається *прямим*, в іншому випадку *зворотним*. Період обертання відносно зір називають *сидеричним*, відносно Сонця – *синодичним*.

Період осевого обертання відносно Сонця визначає тривалість доби на планеті. Щоб пов'язати ці періоди, врахуємо що при прямому обертанні планети її кутова швидкість відносно зір є сумою кутових швидкостей обертання відносно Сонця та орбітальної, а при зворотному обертанні різницею цих кутових швидкостей

$$\omega_o = \omega_s \pm \omega ,$$

або

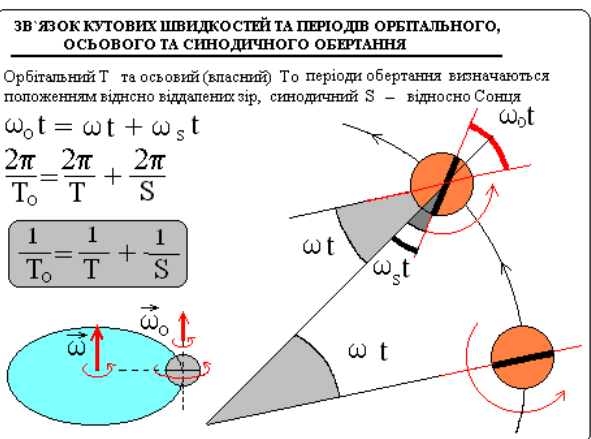
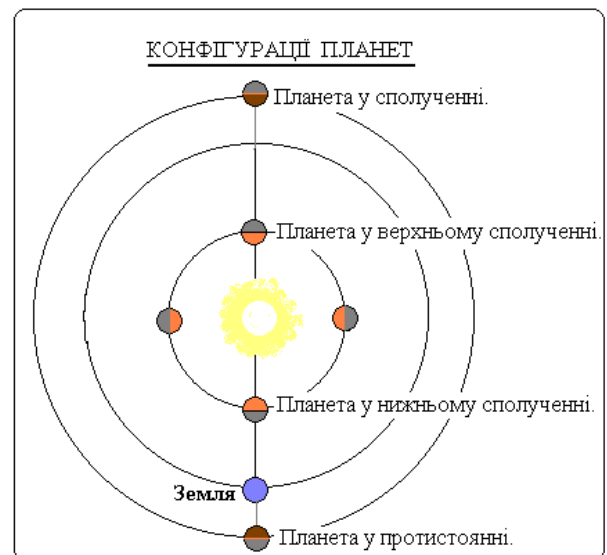
$$\frac{2\pi}{T_o} = \frac{2\pi}{T_s} \pm \frac{2\pi}{T} .$$

Звідси маємо зв'язок сидеричного і синодичного періодів обертання

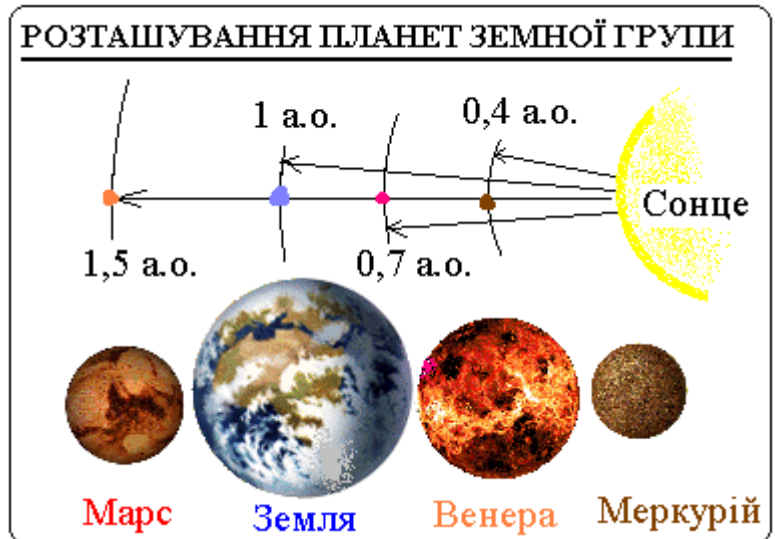
$$\frac{1}{T_o} = \frac{1}{T_s} \pm \frac{1}{T} .$$

3. Загальна характеристика планет

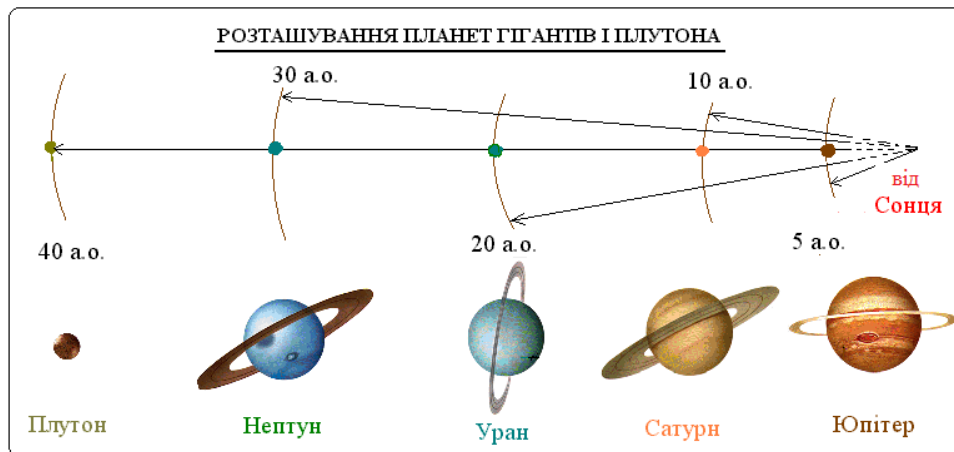
Відрізняють *планети земної групи*, розміри і маса яких близькі до земних (менші): *Меркурій* (відстань до Сонця $0,387 \approx 0,4$ а. о., радіус $0,38$ земних радіусів, приблизно в 2,5 рази менший земного, маса $0,054 \approx 1/20$ земної маси); *Венера* (відстань $0,723 \approx 0,7$ а. о., радіус $0,65 \approx 0,7$ з. р., маса $0,815 \approx 0,8$ з. м.); *Марс* (відстань $1,524 \approx 1,5$ а. о., радіус $0,53 \approx 0,5$ з. р., маса $0,1075 \approx 0,1$ з. м.). Середня густина планет земної групи близька до земної ($\approx 5 \text{ г / см}^3$), за виключенням Марса ($\approx 3 \text{ г / см}^3$).



Іншу групу планет становлять *планети-гіганти*: *Юпітер* (відстань 5,203 \approx 5 а. о., радіус 11,1 \approx 11 з. р., маса 317,88 \approx 318 з. м.); *Сатурн* (відстань 9,539 \approx 10 а. о., радіус 9,43 \approx 9 з. р., маса 95,17 \approx 95 з. м.); *Уран* (відстань 19,18 \approx 20 а. о., радіус 3,73 \approx 4 з. р., маса 14,6 \approx 15 з. м.); *Нептун* (відстань 30,06 \approx 30 а. о., радіус 3,49 \approx 3,5 з. р., маса 17,2 \approx 17 з.м.). Середня густина планет-гігантів порівняна з густиною води, змінюючись від 1,64 г/см³ у Нептуна до 0,7 г/см³ у Сатурна.



Плутон, якого раніше відносили до планет земної групи, в сучасний момент разом з Церерою та Ерідією відносять до категорії карликових планет.



Серед планет земної групи одного великого супутника має Земля та двох дрібних супутників – Марс. Планети-гіганти мають багато супутників та супутню речовину, яка утворює кільця.

До польотів космічних апаратів лише кільце Сатурна було доступним для спостережень.

4. Особливості розташування та руху планет. Правило Тіціуса- Бодє

У 1766 р. Йоганн Даніель *Тіціус* (Titius J.D., 1729 – 1796), професор Віттенбергського університету та у 1772 р. Йоганн Елерт *Бодє* (Bode J. E., 19.01.1747 – 23.11. 1826), співробітник Берлінської обсерваторії, а згодом її директор, який в свій час запропонував назву планети Уран (відкриту 1781), помітили, що в розташуванні планет Сонячної системи спостерігається певна закономірність, яку пізніше назвали *правилом Тіціуса-Бодє*.

Якщо написати послідовність чисел, яка починається з 0 і переходить в послідовність, яка починається з 0,3 і продовжується подвоєнням попереднього числа: 0; 0,3; 0,6; 1,2 і т. д., а потім до кожного числа додати 0,4, то отримаємо наближені значення відстаней планет від Сонця, виражені в астрономічних одиницях.

Описану закономірність *пропонуємо подати формулою*, яка дає гірший результат, ніж описана послідовність, лише для відстані до Меркурія.

$$r = 0,3 \cdot 2^{n-2} + 0,4.$$

За цією формулою відстаней r , отримуємо: для $n = 1$ (Меркурій) – 0,55 а. о. (в дійсності 0,387 а. о.), для $n = 2$ (Венера) – 0,7 а. о. (0,723), $n = 3$ (Земля) – 1 а. о., $n = 4$ (Марс) – 1,6 а. о. (1,524).

Довгий час астрономів бентежило те, що не існувало планети для $n = 5$, з відстанню 2,8 а. о, аж поки, починаючи з 1801 р, в межах такої відстані, почали відкривати малі тіла – астероїди. Існування пасма астероїдів було сприйняте, як підтвердження описаного правила.

Таким чином першим чотирьом цифрам можна співставити наближені відстані до Меркурія, Венери, Землі, Марса в астрономічних одиницях, п'ятій – відстань до пояса малих астероїдів. Наступним чотирьом цифрам – відстані до Юпітера, Сатурна, Урана та Плутона. Проте, відстань до Нептуна не вкладається в це правило. Загальноприйнятого пояснення цієї закономірності та відхилень від неї поки що не існує.

ПЛАНЕТИ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

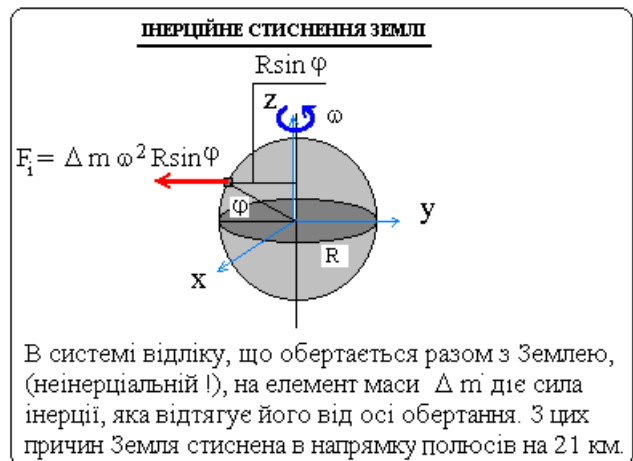
1. Земля

Траєкторія обертання Землі навколо Сонця практично є коловою (ексцентриситет її орбіти становить лише 0,017). Середня відстань Землі від Сонця (велика піввісь земної орбіти) становить 149,6 млн. км (астрономічна одиниця – а.о.). Земля має кулясту форму з екваторіальним радіусом 6378 км, і полярним радіусом на 21 км меншим, внаслідок обертання Землі навколо своєї осі (*інерційне стиснення*). Період обертання Землі навколо власної осі 23,93 год. Період обертання навколо Сонця 365,26 діб. Земний екватор нахилений до площини земної орбіти (площини екліптики) під кутом $23,45^\circ$. Швидкість руху по орбіті 29,79 км/с. Середня густина Землі $5,5 \text{ г/см}^3$.

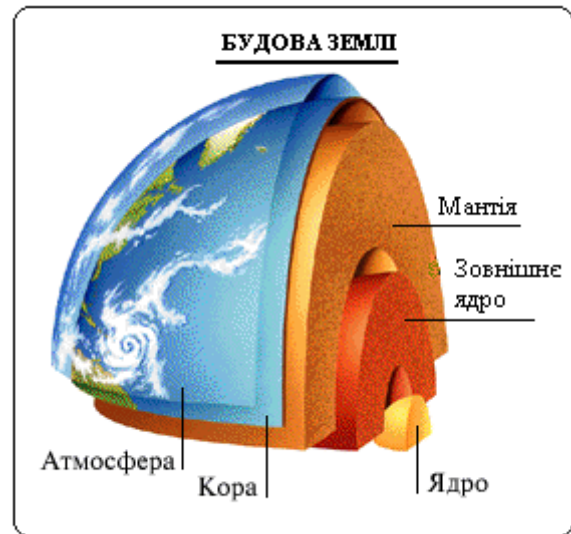


В центрі Землі знаходиться тверде залізо-нікелеве ядро радіусом 1200 км, далі йде розплавлений залізо-нікелевий сферичний шар товщиною 2300 км, який утворює зовнішнє ядро. За ним йде шар мантії з рідких і твердих кремнієвих порід товщиною 2800 км і земна кора з твердих кремнієвих порід, товщина якої, в залежності від місцезнаходження, коливається від 7 до 40 км.

Земля оточена газовою оболонкою – *атмосферою*, яка містить 78% азоту, 21% кисню і в незначній кількості інші гази (водяний пар, вуглекислий газ, тощо). Нижній шар атмосфери, до висоти 10-12 км над поверхнею, називається *тропосферою*. В тропосфері температура з висотою спадає. За ним до висоти 25 км простягається *стратосфера*, яка має приблизно постійну температуру біля -40°C . Далі лежить сильно іонізований шар атмосфери – *іоносфера*.

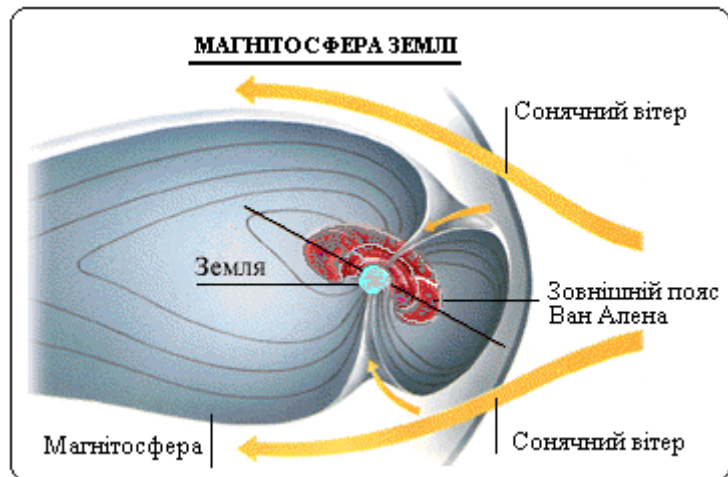


Земля оточена потужним магнітним полем (індукція $B \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{Тл}$) – *магнітосферою*. З боку Сонця на Землю надходить потужне випромінювання (*сонячний вітер*), до складу якого входять, крім видимого світла, інфрачервоні, ультрафіолетові, рентгенівські промені, заряджені атомні частинки – ядра водню (протони), ядра гелію (альфа-частинки), електрони та незаряджені частинки – нейтрони. Саме сонячне випромінювання є причиною існування потужних шарів іонізованих частинок в земній атмосфері, до якого входять і частинки сонячного вітру і ті, які утворюються завдяки іонізації сонячним випромінюванням молекул повітря. Заряджені частинки захоплюються магнітним полем Землі і, кружляючи по спіралям навколо ліній магнітного поля, досягають нижній шарів атмосфери в полярних областях, викликаючи полярні



сайва.

Заряджена частинка, яка прискорено рухається в магнітному полі, сама є джерелом магнітного поля і радіації. Тому магнітне поле Землі деформується потоком сонячних частинок, витягуючись в напрямку від Сонця. Області, заповнені зарядженими частинками та різночастотним випромінюванням утворюють радіаційні пояси.



Вік Землі

Вірогідну оцінку віку Землі дає метод радіоактивних ізотопів.

Довідка

Ізотопи – це елементи, які мають однакове число позитивних частинок – протонів у ядрі, і різне число нейтральних частинок – нейтронів. Однакова кількість протонів визначає для них однаковий номер та місце в таблиці Менделєєва (звідси і назва: гр.«іzos» - рівний, однаковий; «топос» - місце).

Для прикладу: запис ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ означає ізотоп свинцю, який містить 82 протони, при загальній кількості протонів та нейтронів 206.

Природний свинець є сумішшю декількох ізотопів ($\text{Pb} - 204$, $\text{Pb} - 205$, $\text{Pb} - 207$), на що вказує нецілочисленість атомної маси в таблиці Менделєєва, яка визначається середнім питомим значенням атомної маси ізотопів, що входять до складу природного свинцю.

Існують *радіоактивні ізотопи*, ядра яких розпадаються, перетворюючись в інші. Такий розпад ядер супроводжується *радіоактивним випромінюванням*, інтенсивність якого може бути вимірною.

Час T , за який розпадається половина ядер ізотопу називається *періодом напіврозпаду*.

Радіоактивний ізотоп, зазнаючи розпаду, перетворюється в інший, який в свою чергу перетворюється в наступний, і далі, до тих пір, аж поки не утвориться стійкий ізотоп – кінцевий елемент радіоактивного ряду.

Наприклад, кінцевим продуктом розпаду радіоактивного ізотопу урану $^{238}_{92}\text{U}$ є стабільний ізотоп свинцю $^{206}_{82}\text{Pb}$, а ізотопу $^{235}_{92}\text{U}$ відповідає $^{207}_{82}\text{Pb}$.

Визначити вік гірської породи можна *ураново-свинцевим методом*, обравши подібні різновиди мінералу, один з яких містить природний свинець (суміш ізотопів Pb – 204, Pb – 206, Pb – 207) з ураном, інший – без урану. В першому мінералі відсотковий склад свинцю Pb – 206, Pb – 207 буде збільшений за рахунок розпаду ізотопів урану. За періодами напіврозпаду U – 235 та U – 238, рівних відповідно $7,13 \cdot 10^8$ та $4,5 \cdot 10^9$ років, можна знайти час розпаду, і, відтак оцінити вік породи.

Крім вказаного методу, існують калій-аргонний, рубідій-стронційовий та інші методи.

Найдrevніші серед досліджених на землі гірських порід мають вік 3,8 – 3,9 млрд. років.

Земля має великого супутника – Місяць. Завдяки особливості місячної орбіти можна спостерігати таке цікаве явище як сонячне та місячне затемнення.

Діаметр плями повного сонячного затемнення не перевищує 270 км. Відповідна тінь переміщується на схід, утворюючи смугу довжиною декілька тисяч км. Зрозуміло, що затемнення Сонця може відбуватися лише під час нового місяця (молодика). Також необхідно, щоб Місяць в цей час знаходився біля вузла своєї орбіти, тобто поблизу точки перетину цієї орбіти з уявною орбітою Сонця (*екліптикою*). Послідовність затемнень повторюється майже точно через проміжок часу, який називається *саросом* (давньоєгипетське – «повторення»).

Фази Місяця повторюються в середньому через 29, 53 діб, час повернення Місяця до попереднього вузла своєї орбіти 27, 21 доби, а проміжок часу між двома послідовними проходженнями Сонця через один і той же вузол місячної орбіти – драконічний рік (за давніми повір'ями під час затемнень дракон поглинав Сонце), рівний 346,62 доби. Період повторення затемнень (сарос), це проміжок часу, після проходження якого, початки трьох періодів співпадуть. Слід шукати найменше спільне кратне цих чисел, яке лише наближено рівне 19 драконічним рокам.

$19 \text{ драконічних років (сарос)} = 6\,585,78 \text{ діб} \approx 223 \text{ синодичних місяці} \approx 242 \text{ драконічних місяці}$.

Видно, що сарос перевищує ціле числа діб десь на $2/3$, до того ж тривалість 223 синодичних місяців коротша тривалості 242 драконічних. на 0,04 діб.

З цієї причини кожні 18 років область видимості повного затемнення зміщується на захід приблизно на 120°. В даній точці земної поверхні повні сонячні затемнення спостерігаються в середньому один раз в 200 – 300 років.

Останнє повне сонячне затемнення в Європі та Малій Азії спостерігалось 11 серпня 1999 р.

Можливість передбачення повного сонячного затемнення на основі одних спостережень та реєстрації його моментів, виглядає сумнівною. Скоріше, замість очікуваного повного затемнення, спостерігали часткове. Причому така помилка могла бути обернена жерцями лише на свою користь – дозволяла зіграти роль не тільки провидців, а й рятівників Сонця.

Так як відстань до Місяця змінюється від 405500 км до 363300 км, а довжина конуса місячної тіні від Місяця становить біля 374 000 км, то вершина конуса повної тіні інколи не доходить до поверхні Землі. Сонячне затемнення становиться кільцеподібним.

