

Astronomie
Cursul 8 - Orbita terestră
Sateliți artificiali ai Pământului
Sistemul Soare-Pământ-Lună

Cristina Blaga

24 noiembrie 2025

Orbita terestră

- Pământul descrie o elipsă situată în planul eclipticii, cu Soarele într-unul dintre focare.
- Semiaxa mare a orbitei terestre $a = 149,6$ milioane km, excentricitatea ei este $e = 0,0167$.
- Distanța dintre Soare și Pământ variază între
 $r_{\Pi} = a \cdot (1 - e) = 147$ milioane de km și
 $r_A = a \cdot (1 + e) = 152$ milioane de km.
- Pământul descrie orbita în jurul Soarelui într-un an sideral, $T = 365,25636$ zile solare medii.

Viteza medie cu care Pământul se mișcă pe orbită este de 30 km/s.

El trece prin *periheliul* orbitei în apropierea zilei de 3 ianuarie, iar prin *afeliul* orbitei după o jumătate de an în apropierea zilei de 3 iulie¹.

Conform cu legea a II-a a lui Kepler, viteza Pământului la periheliu este maximă, egală cu 30,3 km/s, iar la afeliu minimă, egală cu 29,3 km/s.

Axa de rotație terestră este înclinată față de ecliptică cu $66^{\circ} 33'$.

¹ Mișcarea Pământului nu este uniformă, perioada orbitală nu are un număr întreg de zile de aceea momentul din an la care Pământul trece printr-un punct dat al orbitei sale diferă de la un an la altul.

Când Pământul trece prin periheliul orbitei, în emisfera nordică este iarnă, iar în cea sudică vară. În timpul verii din emisfera sudică, Pământul se găsește mai aproape de Soare decât atunci când în emisfera nordică este vară.

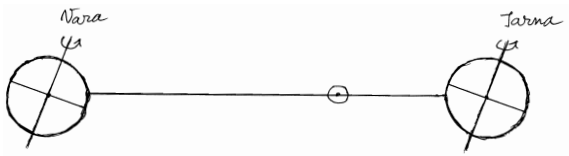


Figura: Poziția axei de rotație terestră și a ecuatorului terestru în raport cu ecliptica

Pentru un observator din emisfera nordică² la trecerea Soarelui din emisfera cerească australă în cea boreală începe primăvara astronomică. Începutul ei este marcat de trecerea Soarelui prin *punctul vernal* sau al *echinocțiului*³ de primăvară, în apropierea zilei de 21 martie, numită *ziua echinocțiului de primăvară*.

²În continuare dăm evenimentele care marchează începutul anotimpurilor astronomice pentru un observator din emisfera nordică. Pentru observatorii din emisfera sudică când începe primăvara astronomică în emisfera nordică începe toamna astronomică.

³Echinocțiu este un cuvânt de origine latină, compus din *equi* = egal și *noctis* = noapte.

Durata anotimpurilor astronomice diferă de cea a anotimpurilor obișnuite. Pentru un observator din emisfera nordică⁴ primăvara astronomică are 92, 75 zile, vara 93, 65 de zile, toamna 89, 85 de zile și iarna 88, 99 de zile⁵. Observăm că, în emisfera nordică, iarna are durata cea mai mică, atunci distanța Soare-Pământ este minimă și viteza de deplasare aparentă a Soarelui atinge valoarea ei maximă.

⁴În emisfera sudică este toamnă când în cea nordică este primăvară, de aceea toamna astronomică are 92, 75 zile, iarna 93, 65 de zile, ș.a.m.d..

⁵Suma duratei lor este egală cu un an tropic, deoarece anotimpurile astronomice se definesc folosind mișcarea aparentă a Soarelui.

Orbitele sateliților artificiali ai Pământului și a sondelor spațiale

Problema celor două corpuri poate fi folosită pentru a descrie mișcarea sateliților artificiali ai Pământului. Dacă Pământul și satelitul sunt corpuri cu distribuție uniformă de masă le putem înlocui cu puncte materiale situate în centrele lor de masă. În timpul mișcării lor sunt îndeplinite legile lui Kepler. Masa sateliților care se mișcă în câmpul gravitațional terestru este mult mai mică decât masa Pământului, de aceea centrul de masă al sistemului alcătuit din Pământ și satelit este aproape de centrul de masă terestru și Pământul joacă în acest caz rolul jucat de Soare la mișcarea planetelor din sistemul solar.

Considerăm un satelit de masă m_s care se mișcă pe o *orbită circulară*, de rază r , în jurul Pământului. Masa Pământului se notează cu M_{\oplus} , iar raza lui cu R_{\oplus} . Masa satelitului este mult mai mică decât masa Pământului, de aceea suma dintre masa Pământului și masa satelitului este aproximativ egală cu masa Pământului. În acest caz, din legea a treia a lui Kepler, perioada orbitală a satelitului devine

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_{\oplus}}}. \quad (1)$$

Viteza liniară a satelitului pe orbita circulară este egală cu

$$v_c = \frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{r}}. \quad (2)$$

Sateliții artificiali ai Pământului se mișcă la diferite distanțe de suprafața lui. Notăm cu $H = r - R_{\oplus}$ distanța de la satelit la suprafața Pământului. Un satelit care se mișcă la altitudinea $H = 100$ km are perioada orbitală egală cu 1 oră 26 minute și viteza liniară de 7,85 km/s. Perioada orbitală a satelitului crește pe măsură ce altitudinea lui crește. Sateliții care se descriu orbite circulare în planul ecuatorului terestru la 35790 km distanță de suprafața Pământului au perioada orbitală egală cu perioada de rotație a Pământului și se numesc *sateliți geostaționari*. Cum perioada lor orbitală este egală cu perioada de rotație a Pământului, sateliții geostaționari se mișcă solidar cu punctul de pe Pământ deasupra căruia se găsesc la un moment dat. Ei sunt folosiți frecvent ca sateliți de telecomunicații sau de telefonie mobilă.

Un satelit artificial al Pământului care se mișcă fără propulsie în câmpul gravitațional terestru poate evada din acest câmp dacă energia lui cinetică este mai mare decât energia lui gravitațională. Energia cinetică a satelitului de masă m este $E_c = mv^2/2$, iar energia gravitațională $E_g = GMm/r$, unde v este viteza satelitului, iar r distanța dintre centrul de masă al satelitului și centrul Pământului. Dacă cele două energii sunt egale, viteza obținută din conservarea energiei se numește *viteză de evadare* și este egală cu:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}. \quad (3)$$

Observăm că $v_e = \sqrt{2}v_c$. Dacă înlocuim r cu raza Pământului obținem viteza de evadare de la suprafața Pământului sau *prima viteză cosmică*, egală cu 11,2 km/s. Satelitul care are această viteză descrie o parabolă cu centrul în centrul Pământului de aceea viteza de evadare se numește și *viteză parabolică*.

Pentru a micșora costurile misiunilor spațiale interplanetare se folosesc orbite *asistate gravitațional*, de exemplu *orbitele Hohmann*. Acestea sunt orbite eliptice cu periheliul pe orbita planetei de pe care pleacă sonda spațială și cu afeliul pe orbita planetei la care trebuie să ajungă. Pe orbita Hohmann sonda nu are nevoie de combustibil pentru propulsie, mișcarea este kepleriană, perioada de mișcare a sondei spațiale fiind determinată din legea a treia a lui Kepler.

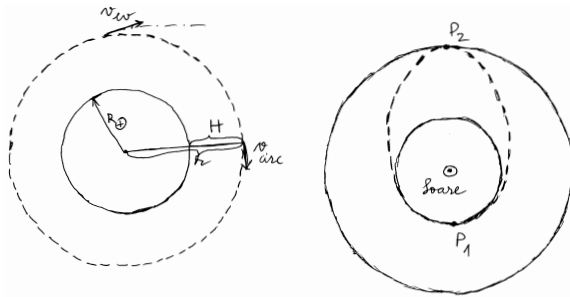


Figura: Satelit artificial al Pământului pe orbită circulară (linie întreruptă) și parabolică (linie punctată (stânga)). Orbită Hohmann între planetele P_1 și P_2 (dreapta)

De exemplu, o sondă spațială trimisă de pe Pământ spre Marte, care se mișcă pe o orbită Hohmann are perioada orbitală de 1,4 ani siderali. Momentul la care sonda spațială este trimisă pe o orbită Hohmann spre Marte trebuie ales astfel încât, după 0,7 ani când ajunge la nivelul orbitei lui Marte să întâlnească planeta.

Sistemul Soare - Pământ - Lună

- Luna este obiectul ceresc pe care îl cunoaștem cel mai bine.
- Poate fi observată cu ochiul liber.
- Luna se mișcă în jurul Pământului, la o distanță mult mai mică decât distanța Pământ-Soare.
- Luna este un corp opac, fără surse proprii de lumină, se vede de pe Pământ dacă îndreaptă el, partea ce reflectă lumina primită de la Soare.

Fazele Lunii

- Aspectul Lunii se schimbă de la o zi la alta - Luna are *faze*.
- Forma sa se modifică de la o seceră luminoasă subțire, ca un D fără bara verticală, ajunge un disc luminos, ca apoi, din discul luminos al Lunii să rămână o seceră luminoasă subțire, care are conturul literei C.

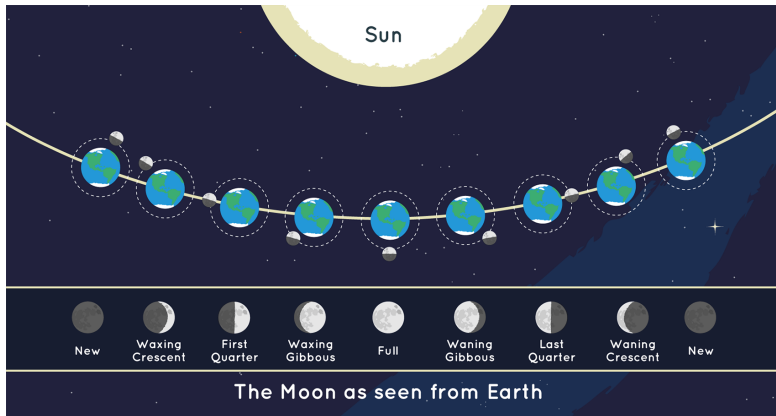


Figura: Fazele Lunii

Cum se explică fazele Lunii?

Presupunem că Luna descrie un cerc cu centrul în centrul Pământului, situat în planul eclipticii, iar Soarele este la distanță foarte mare, astfel încât razele lui să cadă sub forma unui fascicul paralelel care se reflectă pe emisferele lor îndreptate spre Soare.

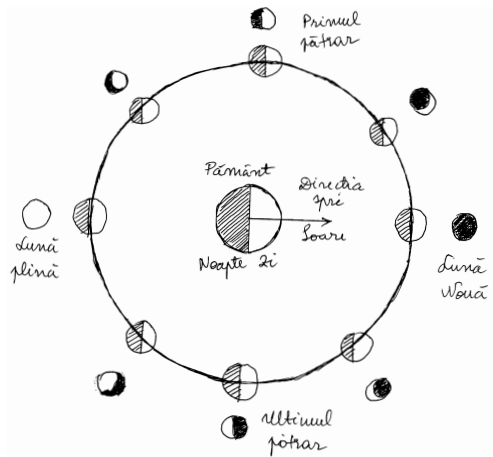


Figura: Fazele Lunii

Luna e mincinoasă

Observăm că între fazele de Lună plină și Lună nouă, Luna este în creștere, conturul ei are forma literei D, prima literă din descreștere, iar între faza de Lună plină și Luna nouă, când Luna descrește, ea are conturul literei C, literă cu care începe creștere, de aceea spunem că, în limba română⁶, *Luna minte*.

⁶În alte limbi, de exemplu în limba germană, când Luna crește are forma literei gotice z, de la *zunehmend* care înseamnă crescător, iar când descrește are conturul literei gotice a, prima literă din cuvântul *abnehmend*, care înseamnă descrescător. De aceea spunem că, în limba germană, Luna nu minte.

Luna minte



Figura: Luna crește - contur D



Figura: Luna descrește - contur C

Luna sinodică

Definiție

Intervalul de timp scurs între două faze consecutive de același tip ale Lunii se numește *lună* sau *perioadă sinodică*.

O lună sinodică are în medie⁷ 29,53059 zile solare medii.

⁷Datorită perturbațiilor asupra mișcării Lunii, intervalul de timp după care ea revine într-un punct al orbitei sale, variază periodic în jurul unei valori medii. Aceasta este dată ca perioadă medie a mișcării, pentru că rămâne aproape constantă pe perioade foarte lungi de timp.

Lumina cenușie a Lunii

Când Luna are forma unei seceri luminoase subțiri, pe lângă partea Lunii ce reflectă lumina Soarelui, vedem și restul globului lunar luminat slab de *lumina cenușie a Lunii*. Sursa luminii cenușii este lumina Soarelui reflectată de Pământ, pentru că atunci când Luna este aproape de faza de Lună nouă, pe fața ei întunecată ajung razele Soarelui care sunt reflectate de păturile superioare ale atmosferei terestre orientate spre Soare.

Limbul Lunii vs. terminatorul Lunii

Definiție

Curba care separă discul luminos al Lunii de spațiul interplanetar se numește *limbul Lunii*, iar cea care delimitează partea luminoasă de cea întunecată a Lunii se numește *terminator*.

Limbul Lunii este un arc de cerc, iar terminatorul un arc de elipsă sau o dreaptă.

Definiție

Punctele de intersecție a celor două curbe se numesc *puncte de întoarcere*.

Luna siderală

Observată de pe Pământ, Luna se mișcă printre stelele constelațiilor zodiacale, spre răsărit, în același sens ca Soarele, cu aproximativ 13° pe zi.

Definiție

Intervalul de timp scurs între două treceri succesive ale Lunii prin dreptul aceleiași stele se numește *lună* sau *periodă siderală*.

O lună siderală are în medie 27,32166 zile. solare medii.

Perioada sinodică

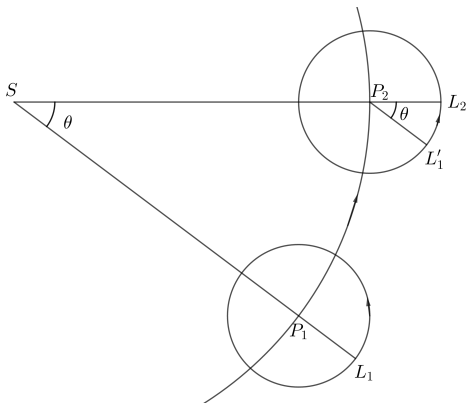


Figura: Luna sinodică vs. luna siderală

- Presupunem că Luna și Pământul descriu orbite circulare din planul eclipticii.
- Fie $P_1 L_1 \parallel P_2 L'_1 \Rightarrow$ între cele două configurații trece o **lună siderală**, P_{sid} .
- Fie L_1 și L_2 două faze de Lună plină \Rightarrow consecutive între cele două configurații trece o **lună sinodică**, P_{sin} .

- Atunci dacă notăm cu θ unghiul descris de Pământ în acest interval de timp și cu T durata unui an sideral, atunci

$$\theta = \frac{360^\circ}{T} \cdot P_{sin}. \quad (4)$$

- Într-o lună sinodică, Luna a parcurs $L_1 L'_1 L_2$, egal cu $2\pi + \theta$. Ea descrie un arc de 2π într-o perioadă siderală, de aceea are loc

$$2\pi + \theta = \frac{2\pi}{P_{sid}} \cdot P_{sin},$$

relație în care dacă înlocuim unghiului θ cu expresia dată de (4), obținem

$$\frac{1}{P_{sin}} + \frac{1}{T} = \frac{1}{P_{sid}} \quad (5)$$

unde $T = 1$ an sideral = 365,25636 zile solare medii.

Orbita Lunii

Pentru a afla distanța medie Pământ-Lună folosim paralaxa orizontală a Lunii. Paralaxa orizontală a Lunii, unghiul sub care se vede din centrul Lunii raza terestră, este egală cu $57'2,2''$. Paralaxa orizontală a Lunii este un unghi de măsură mică, de aceea sinusul lui poate fi aproximat cu măsura unghiului exprimată în radiani, relație care ne conduce la

$$r_L = 60,3 \cdot R_{\oplus},$$

unde r_L este distanța Lună-Pământ, iar R_{\oplus} raza Pământului.

Înlocuind raza medie terestră, $R_{\oplus} = 6371$ km, putem estima distanța Pământ-Lună $r_L = 384400$ km. Diametrul unghiular mediu⁸ al Lunii este egal cu $31'5''$. Cunoscând diametrul unghiular al Lunii și distanța Pământ-Lună, putem obține raza Lunii

$$R_L = 0,272 \cdot R_{\oplus} = 1738 \text{ km.}$$

⁸Orbita Lunii diferă puțin de un cerc, de aceea diametrul ei variază între $29'22''$ și $33'31''$. Pentru a afla distanța medie la Lună folosim valoarea medie a diametrului Lunii văzute de pe Pământ.

Orbita Lunii este o elipsă cu Pământul într-unul dintre focare. Semi-axa mare a orbitei lunare este de 384400 km, iar excentricitatea ei este egală cu 0,05490. Punctul de pe orbita lunară cel mai apropiat de Pământ se numește *perigeu*, notat P , iar cel mai îndepărtat *apogeu*, notat A . Punctele A și P se mai numesc și apside, de aceea dreapta determinată de ele este *linia apsidelor*. Planul orbitei Lunii este înclinat față de ecliptică cu $5^{\circ}9'$. Dreapta de intersecție a planului orbitei Lunii cu planul eclipticii se numește *linia nodurilor*. Punctele în care linia nodurilor taie orbita Lunii se numesc *nodurile orbitei lunare*. Ele se notează cu N și N' .

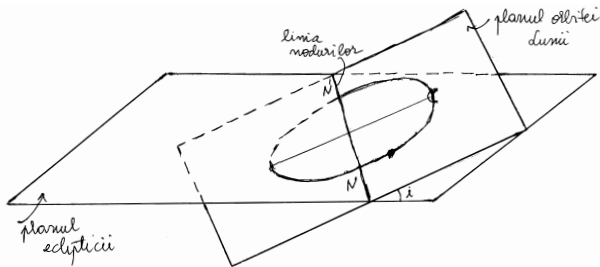


Figura: Înclinarea planului orbitei Lunii și linia nodurilor.

Punctul N este *nodul ascendent*, punctul prin care trece Luna din emisfera cerească sudică în cea nordică, iar N' este *nodul descendent*, punctul prin care trece Luna la traversarea eclipticii din emisfera nordică în cea sudică.

Forța de atracție gravitațională cu care Pământul acționează asupra Lunii este cea care ține Luna pe orbita descrisă mai sus. Acțiunea Soarelui, a planetelor mari și a corpurilor din sistemul solar perturbă mișcarea Lunii. Ca urmare, linia apsidelor se mișcă în planul orbitei Lunii, în sens direct, de la apus spre răsărit, mișcare cunoscută sub numele de *rotația orbitei Lunii*. Perioada acestei mișcări este de 8,85 ani. Linia nodurilor se rotește în planul orbitei Lunii, în sens retrograd, cu o perioadă egală 18,6 ani. Perioada acestei mișcări este egală cu perioada nutației, pentru că ea este consecința nutației astronomice.

La apropierea Lunii de nodurile orbitei sale sunt posibile eclipsele de Lună și de Soare. De aceea introducem *luna draconitică*, timpul scurs între două treceri consecutive ale Lunii printr-unul dintre nodurile orbitei sale. Aceasta are în medie 27,21222 zile solare medii. Între două treceri consecutive ale Lunii la perigeul orbitei sale trec, în medie 27,55455 zile, perioadă cunoscută sub numele de *lună anomalistică*.

Rotația și librațiile Lunii

Pe suprafața Lunii se pot vedea pete întunecate. Studiind mișcarea lor putem afla informații despre rotația Lunii. Considerăm o pată întunecată de pe Lună și studiem mișcarea ei în raport cu un reper solidar legat de Lună. Observăm că poziția petei în raport cu reperul considerat nu se modifică. Acest lucru este posibil dacă în intervalul de timp considerat Luna se rotește în jurul axei sale cu un unghi egal cu cel cu care se deplasează pe orbită în jurul Pământului.

Înseamnă că perioada de rotație a Lunii în jurul axei proprii este egală cu perioada de revoluție în jurul Pământului, adică rotația și revoluția Lunii sunt sincrone. Ca urmare, Luna îndreaptă spre Pământ o jumătate din suprafața ei, numită *fața vizibilă* sau *văzută* a Lunii. Cealaltă jumătate a Lunii se numește *fața invizibilă* sau *nevăzută* a Lunii. Datorită unor oscilații mici în jurul centrului ei, de pe Pământ putem vedea mai mult de o jumătate din suprafața Lunii, și anume, aproximativ 59% din suprafața ei.

Orbita Lunii este o elipsă cu Pământul aflat într-unul dintre focare. Conform legii a II-a lui Kepler, viteza cu care Luna se mișcă pe orbita sa nu este constantă, ea este maximă la perigeu și minimă la apogeu. Amplitudinea acestei mișcări, numită *librație în longitudine*, este de $7,6^\circ$.

Axa de rotație a Lunii este înclinată cu $6,7^\circ$ față de normala la planul orbitei Lunii. De aceea, planul ecuatorului Lunii este înclinat față de planul orbitei Lunii și Luna îndreaptă spre Pământ o jumătate dintr-o lună siderală, emisfera care conține polul nord al Lunii, iar celaltă jumătate de lună siderală, emisfera polului sud al Lunii. Aceasta este *librația în latitudine*. Datorită ei putem vedea regiunile din vecinătatea polilor Lunii. Amplitudinea ei este de $6,7^\circ$.

Distanța dintre Pământ și Lună este suficient de mică, astfel încât emisfera îndreptată de Lună către Pământ, să nu fie aceeași pentru toți observatorii de pe Pământ. Datorită rotației diurne un observator de pe Pământ ocupă poziții diferite în raport cu Luna, la momente diferite din zi. De aceea, fața pe care Luna o îndreaptă spre el când se află la răsărit, de exemplu, diferă de cea îndreptată spre el când Luna se află aproape de apus. Aceasta este *librația diurnă*. Amplitudinea ei este de aproximativ 1° .

Aceste librații sunt determinate de geometria mișcării Lunii în jurul Pământului, de aceea se numesc *librații geometrice*. În afara lor s-au observat oscilații mici ale globului lunar în jurul centrului Lunii, datorate modificării distribuției materiei în interiorul Pământului sau a Lunii. Acestea sunt numite *librații fizice* și sunt greu de modelat. Din observații s-a dedus că amplitudinea lor este mult mai mică decât a celor de natură geometrică.

Eclipse de Soare și de Lună

- Pământul și Luna sunt corpuri opace, fără surse de lumină proprii. Ele primesc lumină de la Soare.
- Pe direcția Soarelui, în sens opus lui, în spatele Pământului și al Lunii, apar regiuni de umbră în care ajunge o parte din lumina Soarelui.
- Când Luna traversează zona de umbră a Pământului are loc o *eclipsă de Lună*, iar când Pământul trece prin regiunea de umbră a Lunii spunem că se produce o *eclipsă de Soare*.

- În timpul unei eclipse de Lună, strălucirea Lunii scade, pentru că la traversarea regiunii de umbră a Pământului, Luna își pierde sursa de lumină.
- În timpul eclipselor de Soare luminozitatea Soarelui **nu** se modifică lucru ce poate fi observat din afara regiunii de umbră a Lunii, strălucirea Soarelui scade pentru observatorii care văd discul Lunii acoperind parțial sau total discul Soarelui.

Eclipse și ocultații

Definiție

La trecerea unui corp ceresc opac prin conul de umbră al altui corp ceresc opac spunem că are loc o *eclipsă*, iar când un corp ceresc opac trece prin fața unei stele spunem că se produce o *ocultație*.

Observație

Eclipsele de Soare sunt ocultații de Soare, dar ele au fost denumite așa de astronomii antichității, care le-au observat și explicat corect, motive pentru care le numim în continuare eclipse de Soare.

Eclipse de Lună

- *Eclipsele de Lună* sunt cunoscute și sub numele de *întunecimi de Lună*, pentru că la intrarea în conul de umbră terestru suprafața Lunii se întuneacă.
- Considerând că Soarele și Pământul sunt corpuri sferice, *conul de umbră terestru* mărginit de tangentele exterioare ale Soarelui și Pământului are înălțimea medie⁹ de aproximativ 217 raze terestre.
- Orbita Lunii, considerată circulară, are raza egală cu 60 de raze terestre, de aceea Luna trece din când în când prin conul de umbră terestru.

⁹Distanța dintre Pământ și Soare variază în timpul unui an din cauza excentricității orbitei terestre. Pentru calculul înălțimii medii a conului de umbră terestru folosim distanța medie Soare-Pământ.

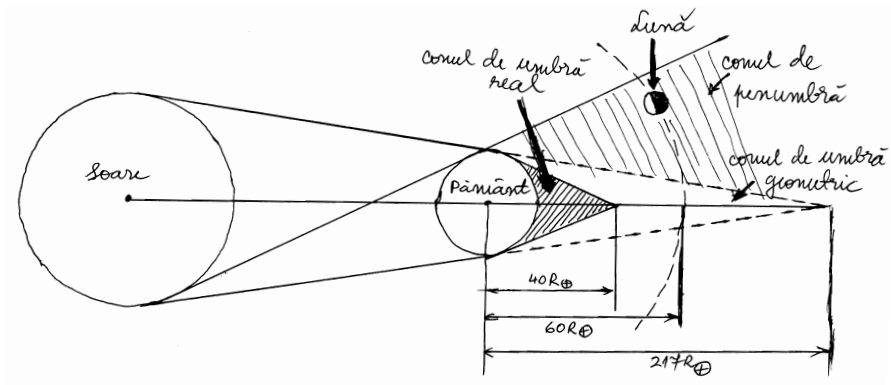


Figura: Conul de umbră geometric, adevărat și conul de penumbră al Pământului

Conurile de umbră ale Pământului

- Din cauza refracției astronomice la trecerea lor prin atmosfera terestră razele de lumină tangente Pământului sunt deviate de la direcția lor inițială și formează un con de umbră cu înălțimea medie de aproximativ 41 raze terestre. Conul de umbră astfel obținut se numește *con de umbră adevărat*.
- Conul de umbră determinat de tangentele exterioare la Pământ și Soare se numește *con de umbră geometric*.
- În spatele Pământului există o regiune în care ajung numai o parte din razele venite de la Soare. Ea este mărginită de tangentele interioare duse la Soare și Pământ, considerate corpuri sferice și se numește *conul de penumbră al Pământului*.

Luna în umbra Pământului

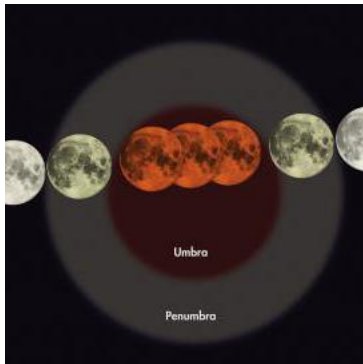


Figura: Luna e gălbuie în penumbră și roșiatică în umbra Pământului

- Dacă secționăm conurile de umbră și penumbră ale Pământului cu un plan perpendicular pe axa lor comună la distanța egală cu semiaxa orbitei Lunii obținem două cercuri cu centrul pe axa conurilor.
- La trecerea prin penumbra și umbra Pământului aspectul Lunii se schimbă.



Figura: Lună roșiatică la trecerea prin conul de umbră al Pământului

Eclipsă totală vs. parțială

- Momentul în care Luna intră în conul de penumbră al Pământului reprezintă începutul eclipsei parțiale.
- În cazul unei eclipse totale momentul în care Luna intră în conul de umbră terestru reprezintă începutul eclipsei totale.
- La ieșirea Lunii din conul de umbră terestru se termină eclipsa totală. Atunci discul Lunii este tangent exterior conului de umbră terestru.
- La ieșirea Lunii din conul de penumbră terestru spunem că eclipsa parțială de Lună a luat sfârșit.

Durata unei eclipse. Maximul eclipsei

- Durata unei eclipse parțiale de Lună, *i.e.* intervalul de timp în care Luna traversează conul de penumbră terestru este de 3-4 ore.
- Conul de umbră terestru este traversat de către Lună în 1-2 ore, aceasta fiind durata totalității eclipsei de Lună.
- Momentul de maxim al eclipsei este momentul în care centrul discului Lunii se află la distanță minimă de linia dată de centrele Soarelui și Pământului. Maximul eclipsei se calculează ca medie aritmetică a momentelor de început și sfârșit a eclipsei totale sau parțiale.

Eclipsele de Soare

- *Eclipsele de Soare* se produc când Pământul trece prin conul de umbră al Lunii.
- Conul de umbră lunar este mărginit de tangentele exterioare ale Soarelui și Lunii considerate corpuri sferice. Înălțimea lui¹⁰ medie este de aproximativ 374000 km.
- Distanța de la Pământ la Lună variază între aproximativ 363300 km și 405504 km.

¹⁰Luna nu are atmosferă de aceea razele de lumină tangente sferei lunare mărginesc conul de umbră real al Lunii.

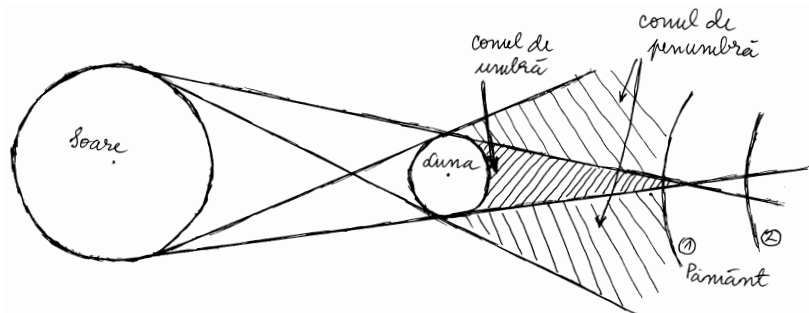


Figura: Geometria eclipselor de Soare totale (Pământul în poziția 1) și inelare (Pământul în poziția 2).

Eclipsă totală. Eclipsă inelară

- Conul de umbră al Lunii intersectează suprafața Pământului numai când Luna este în apropierea perigeului și a unui nod al orbitei sale. Atunci observatorii aflați în interiorul regiunii comune conului de umbră lunar și suprafeței Pământului pot vedea o *eclipsă totală de Soare*.
- Dacă prelungirea conului de umbră intersectează suprafața Pământului atunci observatorii din regiunea de intersecție văd o *eclipsă inelară de Soare*.

- Diametrul unghiular al Soarelui este aproximativ egal cu cel al Lunii. Când Luna este aproape de perigeu, diametrul ei unghiular este mai mare decât al Soarelui. În momentul de maxim al eclipsei Luna acoperă întreg discul Soarelui, de aceea eclipsa se numește *totală*.
- Când Luna este aproape de apogeu, diametrul ei unghiular este mai mic decât diametrul unghiular al Soarelui. În momentul de maxim al eclipsei, coroana circulară din discul Soarelui care nu este acoperită de Lună se vede ca un inel luminos, de aceea eclipsa se numește *inelară*.

- La intersecția conul de umbră al Lunii cu suprafața Pământului apare o pată întunecată, cunoscută sub numele de *pata de umbră* sau *umbra Lunii*. Observatorii aflați la un moment dat în interiorul umbrei Lunii văd discul Soarelui acoperit de Lună.
- Datorită rotației terestre diurne și a mișcării Lunii în raport cu Pământul pata de umbră se mișcă pe suprafața Pământului, descriind *fâșia* sau *banda de totalitate a eclipsei*, zonă din care eclipsa se poate vedea ca totală sau inelară.

Umbra Lunii



Figura: Umbra Lunii văzută de pe ISS (29 martie 2006)

- Diametrul maxim al fâșiei de totalitate este de 265 m, iar lungimea ei poate ajunge la 10-12 mii de km. Punctele care se află la distanțe egale de limitele nordice și sudice ale fâșiei de totalitate alcătuiesc *linia de centralitate a eclipsei*.
- Umbra se deplasează pe Pământ de la vest la est cu aproximativ 0,5 km/s. Pe limita vestică, respectiv estică a benzii de totalitate a eclipsei se găsesc locurile de pe Pământ pentru care eclipsa începe și se sfârșește la răsăritul, respectiv apusul Soarelui.

- Tangentele interioare ale Soarelui și Lunii, considerate corpuri sferice, mărginesc *conul de penumbră al Lunii*. Din locurile de pe Pământ aflate în conul de penumbră al Lunii, o parte din discul Soarelui se vede acoperită de discul lunar, de aceea spunem că observatorii de acolo văd o *eclipsă parțială de Soare*.
- Diametrul maxim al penumbrei este de aproximativ 1000 km, iar lungimea *benzii de penumbră*, zonă de pe Pământ de unde poate fi observată eclipsa parțială, este de 10-12 mii de km.

- În timpul eclipselor de Soare, Luna se mișcă de la vest la est pe discul Soarelui.
- *Primul contact* reprezintă momentul în care discurile celor două corpuri sunt tangente exterior.
- Al *doilea contact* este momentul în care discul Lunii este tangent interior discului Soarelui. În acest moment, la eclipsele totale de Soare, discul Lunii acoperă întreg discul Soarelui.
- Între primul și al doilea contact strălucirea Soarelui scade, pentru că suprafața lui este acoperită treptat de Lună. De regulă Soarele trebuie privit printr-un filtru de protecție sau în proiecție pe un ecran. La eclipsele totale de Soare, după momentul celui de-al doilea contact, putem privi Soarele ocultat de Lună direct, fără filtru de protecție.

- La eclipsele totale, cu foarte puțin timp înainte de al doilea contact, pe marginea discului solar se pot vedea raze de Soare care scapă prin văile de pe marginea discului Lunii, transformând marginea Soarelui într-un șir de sfere minuscule, foarte strălucitoare, cunoscute sub numele de *măgelele lui Bailey*.
- În primele secunde după al doilea contact se poate vedea cromosfera Soarelui, după care devine vizibilă coroana lui. Întinderea coroanei solare este dată de activitatea Soarelui. Ea are dimensiuni reduse în anii de minim de activitate solară și poate să ajungă la zece raze solare la maximul activității lui.

Eclipsă de Soare totală

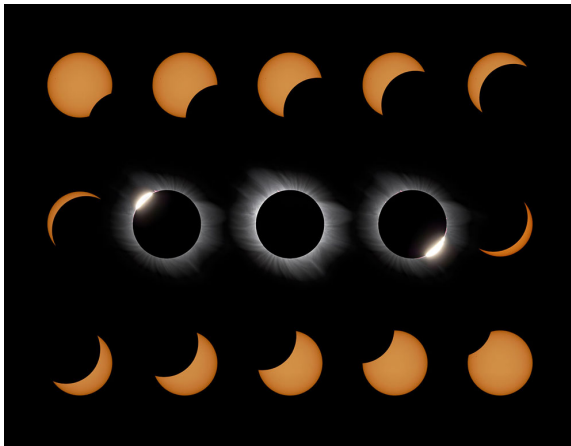


Figura: Aspectul Soarelui în timpul unei eclipse totale de Soare

- Al *treilea contact* reprezintă momentul în care discul Lunii este din nou tangent interior discului Soarelui.
- La eclipsele totale, după cel de-al treilea contact primele raze de Soare care scapă prin regiunile de altitudine joasă aflate la marginea discului Lunii formează *inelul cu diamant*. Al treilea contact reprezintă sfârșitul totalității eclipsei. Din acest moment Soarele trebuie privit din nou printr-un filtru de protecție sau în proiecție pe un ecran.
- Al *patrulea contact* este momentul în care discul Lunii eliberează complet discul Soarelui, cele două discuri fiind tangente exterior. Acesta marchează sfârșitul eclipsei.

Inelul de diamant



Figura: Inelul de diamant și mărgelile lui Bailey

- Intervalul de timp scurs între al doilea și al treilea contact reprezintă durata totalității eclipsei. O eclipsă totală de Soare poate dura maxim $7,3^m$, durata medie a acestor eclipse fiind de 2-3 minute.
- La eclipsele inelare durata maximă a totalității este de aproximativ 11^m . În timpul eclipselor inelare, discul Lunii nu acoperă întreg discul Soarelui, de aceea nu putem vedea cromosfera sau coroana solară și Soarele trebuie privit prin filtru de protecție sau proiectat pe un ecran chiar și în timpul totalității lor.

Eclipsă de Soare inelară

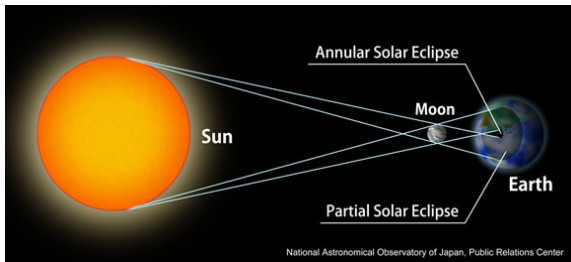


Figura: Prelungirea conului de umbră lunar ajunge pe suprafața Pământului

Eclipsă de Soare inelară



Figura: Aspectul Soarelui în timpul unei eclipse inelare

Eclipsă de Soare hibridă

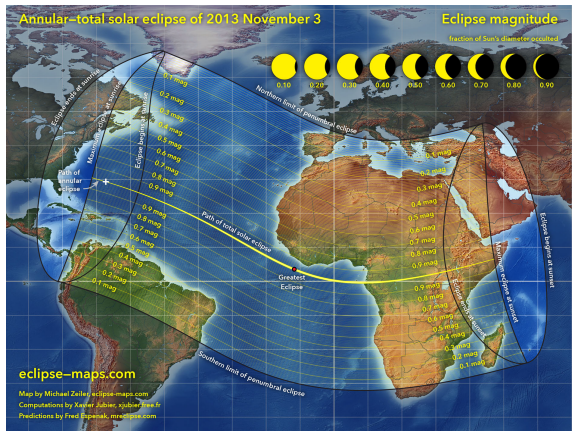


Figura: Eclipsa de Soare din 3 noiembrie 2013 a fost hibridă

Eclipsă de Soare hibridă

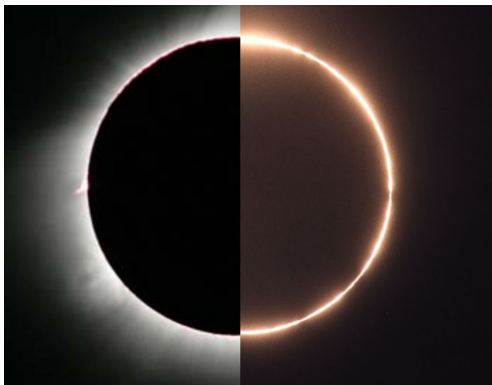


Figura: Aspectul Soarelui pentru doi observatori diferiți

- *Eclipsele* se produc atunci când centrele Soarelui, Pământului și Lunii sunt aproape coliniare.
- La eclipsele de Lună, Pământul se află între Soare și Lună, Luna fiind în faza de Lună plină.
- În timpul mișcării Lunii prin conul de penumbră al Pământului suprafața ei este gălbuie, iar în timpul totalității suprafața Lunii devine roșiatică.

În timpul eclipselor de Soare, Luna este între Soare și Pământ, în faza de Lună nouă, fază în care Luna nu este vizibilă de pe Pământ, pentru că îndreaptă spre noi fața opusă Soarelui. De aceea, modificarea strălucirii Soarelui în plină zi și restul fenomenelor ce se produc în timpul eclipselor de Soare au stârnit interesul, curiozitatea și deseori teama celor care le-au observat.

- Orbita lunară este înclinată pe ecliptică cu $5^{\circ} 9'$, unghi de aproximativ șase ori mai mare decât diametrul unghiular al Soarelui și al Lunii, de aceea eclipsele de Soare sau de Lună nu se produc de fiecare dată când Luna este în faza de Lună nouă sau Lună plină.
- Ele au loc numai când Luna și Soarele se află simultan în vecinătatea liniei nodurilor orbitei lunare.

- În medie dintr-un loc dat de pe Pământ se poate vedea o eclipsă totală de Soare o dată la 300 de ani. În secolul trecut teritoriul țării noastre s-a aflat pe linia de centralitate a eclipselor totale din 15 februarie 1961 și din 11 august 1999, iar în secolul acesta banda de totalitate a eclipsei din 3 septembrie 2081 va trece prin țara noastră.
- Informațiile complete despre eclipsele care se produc într-un an se pot găsi în anuarele astronomice sau pe internet pe pagini speciale dedicate eclipselor, cum sunt cele de la NASA <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html> sau <https://moon.nasa.gov/moon-in-motion/eclipses/>.