

Astronomie

Cursul 5 - Timpul în astronomie (II)

Fenomene care modifică poziția astrilor pe cer

Cristina Blaga

3 noiembrie 2025

Momentul de timp solar mediu corespunzător unui moment de timp sideral dat

Considerăm două fenomene astronomice, care s-au produs la momente de timp sideral cunoscute și notate θ , respectiv θ_0 . Momentele de timp solar mediu corespunzătoare sunt notate t_m , respectiv t_{m_0} .

Cunoscând momentul de timp solar mediu t_{m_0} pentru a afla momentul de timp solar t_m , la care s-a produs evenimentul de la momentul de timp sideral θ , folosim relația

$$t_m - t_{m_0} = \frac{365,2422}{366,2422}(\theta - \theta_0). \quad (1)$$

Timpul sideral la miezul nopții

La miezul nopții, Soarele este la culminația inferioară și timpul solar mediu local este 0^h .

Timpul sideral corespunzător la Greenwich notat $\theta_{0\ Gr}$ este publicat în anuarele astronomice.

Timpul sideral la miezul nopții într-o localitate de longitudine L se poate afla cu ajutorul formulei

$$\theta_0(L) = \theta_{0\ Gr} - 9,856^s L \quad (2)$$

unde L se exprimă în ore și fracțiuni de oră, constantă fără dimensiune, cu semn plus pentru emisfera estică și minus în emisfera vestică¹.

¹ Coeficientul lui L reprezintă avansul timpul sideral pe oră față de timpul solar mediu, iar semnul longitudinii arată că miezul nopții vine cu L ore mai repede într-o localitate aflată la răsărit de Greenwich.

Momentul de timp sideral corespunzător unui moment de timp solar mediu dat

Analog un moment de timp solar mediu t_m se poate transforma în timp sideral, θ , cu ajutorul relației:

$$\theta = \theta_0 + \frac{366,2422}{365,2422} \cdot (t_m - t_{m_0}) \quad (3)$$

unde timpul solar mediu t_{m_0} și timpul sideral corespunzător θ_0 sunt cunoscute.

Timpul și longitudinea

Dacă un eveniment astronomic este observat simultan din două locuri de pe Pământ A și B, diferența de timp dintre măsurătorile efectuate este egală cu diferența dintre longitudinile celor două localități

$$t_A - t_B = L_A - L_B \quad (4)$$

unde t poate fi timp sideral, timp solar mediu sau adevărat ori unghi orar, iar longitudinea locului de pe Pământ din care se face observația, exprimată în unități de timp, ore, minute secunde, este pozitivă pentru localitățile din emisfera terestră estică și negativă în cea vestică.

Pentru un loc dat de pe glob timpul solar mediu este

$$t_m = H_{\odot} + 12^h - \eta \quad (5)$$

unde H_{\odot} este unghiul orar al Soarelui măsurat din locul considerat, iar η ecuația timpului. Pentru un observator de la Greenwich ($L_{Gr} = 0^h$) și

$$t_{mGr} = t_m - L = H_{\odot} + 12^h - \eta - L, \quad (6)$$

unde unghiul orar al Soarelui este măsurat din locul de longitudine L .

Timpul legal, ora legală de vară

Ne aducem aminte că ziua solară medie începe odată cu trecerea Soarelui la meridianul locului spre sud. Evenimentul are loc simultan pentru toți observatorii aflați pe același meridian terestru. Timpul depinde de poziția observatorului pe glob, de aceea introducem *timpul local* și observăm că ora indicată de ceasurile obișnuite (timpul solar mediu), depinde de meridianul terestru pe care ne aflăm.

Fuse orare

Prin convenție meridianul geografic ce trece prin localitatea Greenwich, meridianul Greenwich, este considerat meridianul origine pentru timp.

Globul pământesc este împărțit în 24 de fuse orare, un fus orar având o lățime de 15° de longitudine geografică.

Meridianul central al fusului orar zero este meridianul Greenwich, de longitudine geografică 0° , granițele acestui fus orar fiind meridianele de longitudine vestică $7^\circ 30'$, respectiv $7^\circ 30'$ longitudine estică.

Timpul local al meridianul Greenwich este numit *timp universal*, notat *TU*. El se folosește la calculul timpului pe fusele orare și la înregistrarea momentul de timp la care au loc fenomenele astronomice.

Timpul local

Timpul local pentru un observator aflat la longitudinea L , exprimată în grade și fracțiuni de grad, este dat de formula

$$T = TU \pm n \quad \text{unde } n = [(|L| + 7,5) : 15] \quad (7)$$

unde semnul $+$ este pentru longitudine estică, iar semnul $-$ pentru longitudine vestică, iar prin $[a]$ se înțelege partea întreagă a numărului a . În formula de determinare a timpului local (7), apare modulul longitudinii observatorului, $|L|$, pentru că în problemele de timp longitudinea are semn: pozitiv în emisfera estică și negativ în cea vestică.

Timpul legal

De regulă, într-o țară care nu are întindere prea mare, ora legală este ora fusului pe care se află capitala țării. Țările care au întindere foarte mare, cum sunt Rusia, China sau Statele Unite ale Americii, fac excepție de la această regulă. Pe teritoriul lor sunt folosite ore locale, de aceea când călătorim în interiorul lor, ceasul trebuie reglat ținând seama de ora legală a regiunii în care ne găsim.

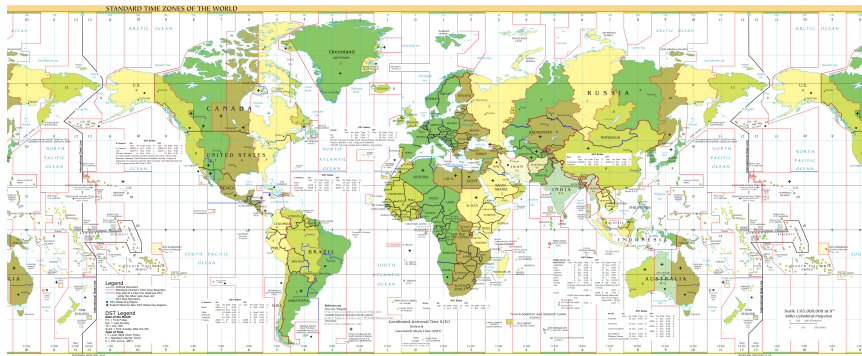


Figura: Ora pe glob

Timpul legal român

În țara noastră se folosește *timpul legal român* (TLR). El se calculează cu ajutorul longitudinii Bucureștiului $26^{\circ} 10' E$ și este timpul celui de-al doilea fus orar

$$TLR = TU + 2^h. \quad (8)$$

Ora legală a României, dată de timpul legal român, este ora *Europei de răsărit*, notată prescurtat EET (Eastern European Time).

Ora de vară

Din rațiuni economice vara se folosește ora oficială de vară egală cu ora legală la care se adaugă o oră. La noi în țară trecerea la ora de vară se face la ultimul sfârșit de săptămână din luna martie, când în noaptea de sâmbătă spre duminică ora 3 devine ora 4. Revenirea la ora de iarnă se face în ultimul sfârșit de săptămână din luna octombrie, când în noaptea de sâmbătă spre duminică ora 4 devine ora 3. Anul acesta ora s-a schimbat în noaptea dintre 25 spre 26 octombrie.

Linia de schimbare a datei

Meridianul opus meridianului Greenwich ($L \sim 180^\circ$) este meridianul de la care se pornește pentru a defini *linia de schimbare a datei*. Aceasta se stabilește prin convenție astfel încât să se evite zonele populate sau uscatul. La traversarea ei spre est se păstrează fila de calendar, iar la trecerea ei spre vest se rup două file din calendar.

Anul tropic

Pentru a defini ziua am utilizat mișcarea diurnă a Pământului. Anul se introduce folosind mișcarea de revoluție a Pământului în jurul Soarelui. *Anul tropic*² este perioada după care Soarele revine la punctul vernal. Durata lui este 365,24219 zile solare medii, adică 365 zile 5 ore 48 minute și 45 secunde. Trecerea Soarelui prin punctul vernal reprezintă începutul anului astronomic și a primăverii astronomice. După un an tropic Soarele revine în punctele remarcabile ale traiectoriei sale pe bolta cerească și se reiau anotimpurile astronomice³.

² *Tropic* înseamnă în limba greacă *întoarcere*.

³ Despre anotimpurile astronomice vom vorbi în capitolul următor în paragraful destinat orbitei terestre.

Anul civil sau calendaristic

Anul tropic conține un număr fracționar de zile, ce nu poate fi exprimat printr-o fracție continuă și de aceea în cronologie folosim *anul civil* sau *calendaristic*⁴, aproximație a anului tropic, a cărui durată este egală cu un număr rațional de zile solare medii și care pe perioade lungi de timp conduce la acumularea unor diferențe mici față de anii tropici.

⁴Numele acesta provine din latină, *calendele* reprezentau pentru romani zilele de început ale lunii când ei se adunau pentru a discuta problemele cetății.

Anul gregorian

În prezent folosim *anul gregorian* care are 365,2425 zile solare medii, adică 365 zile 5 ore 49 minute și 12 secunde solare medii. Anii obișnuți au 365 de zile solare medii. La fiecare patru ani adaugăm o zi suplimentară, cu excepția anilor divizibili cu 100, dar nu și cu 400 la care ziua suplimentară nu se adaugă. Pentru intervale mari de timp durata medie a anului gregorian este

$$365 + 1/4 - 3/400 = 365,2425 \text{ zile solare medii} \quad (9)$$


cu aproximativ $0,00031^z$, adică 27 secunde solare medii mai mult decât anul tropic.

An bisect

Observăm că în aproximativ 3200 de ani de ani gregorieni, secunde suplimentare conduc la o diferență de o zi în plus față de durata a anilor tropici corepunzători, de aceea spunem că anul gregorian poate fi folosit pentru perioade lungi de timp. Ziua suplimentară se adaugă la sfârșitul lunii februarie, între 28 februarie și 1 martie intercalându-se 29 februarie. Anii la care s-a adăugat ziua suplimentară se numesc *ani bisecți*⁵.

⁵La început ziua suplimentară adăugată la fiecare patru ani în calendar a fost între 23 și 24 februarie, ea însemna repetarea zilei a șasea înaintea începutului (calendelor) lunii martie și era numită *bis sexto ante calendas Marte*, de aici numele de an bisect pentru anii în care se adaugă această zi suplimentară.

Anul gregorian fost introdus în 1582 în timpul Papei Grigore al XIII-lea în țările aflate sub influența bisericii catolice. Până atunci s-a folosit anul iulian a cărui durată medie era de 365.25 zile solare medii. Un an iulian obișnuit avea 365 de zile, toți anii divizibili cu 4 erau ani bisecți, de aceea durată medie a anilor iulieni era de 365.25 zile, cu aproximativ 11 minute mai mult decât anul tropic. *Anul iulian* a fost introdus în 45 î. Ch în timpul împăratul Iuliu Cezar⁶.

⁶Actul oficial prin care s-a legiferat anul iulian a fost dat în 46 î. Ch. 

Reforma calendarului

Din vremea lui Iuliu Cezar până la reforma calendarului din țările catolice, între anii tropici și cei iulieni s-au acumulat aproximativ 10 zile suplimentare, lucru remarcat la calculul datei Paștelui. Algoritmul folosit de biserica catolică pentru calculul datei Paștelui este simplu, Paștele catolic este sărbătorit în prima duminică după prima Lună plină după trecerea Soarelui prin punctul vernal. Astfel, în biserica catolică data Paștelui trebuie să fie între 22 martie și 25 aprilie, dar în secolul al XVI-lea, datorită diferenței dintre durata anului iulian și cel tropic, data Paștelui nu mai era în acest interval.

Reforma calendarului la noi

De aceea s-a introdus anul gregorian și s-au suprimat 10 zile din calendar, ziua de joi 4 octombrie 1582 fiind urmată de vineri 15 octombrie 1582. La noi în țară reforma calendarului, trecerea de la calendarul iulian la cel gregorian, s-a împlinit în anul 1919, când s-au șters 13 zile din calendar, ziua de 31 martie fiind urmată de 14 aprilie⁷.

⁷ Adoptarea calendarului gregorian s-a făcut printr-un decret-lege (numărul 1053 din 6 martie 1919) care se referea la activitățile civile. Biserica Ortodoxă Română a trecut la calendarul gregorian în 1924.

Anul sideral

Anul sideral se definește raportând mișcarea Soarelui la stelele fixe. Astfel, *anul sideral* este intervalul de timp scurs între două treceri consecutive ale Soarelui prin dreptul aceleleași stele fixate pe bolta cerească. Datorită mișcării de precesie, punctul vernal iese în întâmpinarea Soarelui cu $50,4''/\text{an}$, și anul sideral este mai lung decât cel tropic cu aproximativ 20 de minute. El are 365,25636 zile solare medii.

Anul anomalistic

Între două treceri consecutive ale Pământului la periheliul orbitei sale trece un *an anomalistic*.

Acesta are 365,25964 zile de timp solar mediu. Durata anului anomalistic nu este constantă datorită perturbațiilor asupra mișcării Pământului.

Măsurarea timpului

Măsurarea timpului pe baza observațiilor astronomice constă în determinarea precisă a timpului sideral.

În acest scop se folosește cercul meridian, instrument cu ajutorul căruia se poate înregistra precis momentul trecerii unei stele la meridian în direcția sud, când

$$\alpha = \theta.$$

Ceasuri atomice

Măsurarea timpului cu ajutorul fenomenelor periodice ce au loc la nivel atomic, oscilații ale cristalelor de cuarț.

Precizia acestora este foarte bună, mai mică decât perioada oscilatorului folosit, în cazul ceasurilor de cuarț perioada de oscilație este de aproximativ 10^{-6} secunde.

Secunda suplimentară

Creșterea preciziei de determinare a timpului ne-a permis să observăm că pe perioade lungi durata zilei scade cu aproximativ 10^{-6} secunde pe zi, datorită în special a frecărilor dintre diferitele straturi ale scoarței terestre în timpul mareelor uscatului sau ale mărilor sau oceanelor, și crește cu aproximativ 10^{-2} secunde pe zi, în urma redistribuirii momentului cinetic terestru, efect al modificării momentului de inerție al Pământului, datorită mișcării maselor fluide din interiorul lui sau a aerului din atmosfera terestră.

Secunda efemeridelor

Timpul efemeridelor. Unitatea de timp folosită în sistemul internațional de unități este *secunda efemeridelor*. Ea este egală cu a 31556925,9747-a parte din durata anului tropic de la începutul secolului XX, adică a anului 1901.

Numărul care apare în definiția secunde efemeridelor este durata anului tropic exprimată în secunde, adică 365,242198 zile înmulțit cu 86400 secunde de timp solar mediu dintr-o zi solară medie.

Fenomene care modifică poziția astrilor pe cer

Poziția astrului este modificată datorită unor fenomene precum

- ▶ refracția astronomică,
- ▶ aberația luminii și
- ▶ paralaxa.

Aceste fenomene apar datorită curbării razelor de lumină venite de la astru la trecerea ei prin atmosfera terestră, a finitudinii vitezei de propagare a luminii și a mișcării observatorului terestru în raport cu astrul dat.

Refracția astronomică

Trecerea unei raze de lumină prin atmosfera terestră are ca efect devierea de la direcția inițială și apropierea ei de verticala locului. De aceea înălțimea deasupra orizontului la care este observat un astru de la suprafața Pământului este mai mare decât cea la care îl vede un observator de la granița superioară a atmosferei terestre.

Comportamentul razelor de lumină la trecerea prin medii diferite este studiat de optica geometrică.

Legile refracției

Prima lege afirmă că raza de lumină care trece dintr-un mediu de indicele de refracție n_1 , numită *rază incidentă*, normala la suprafața de separare în punctul de incidență și raza refractată în cel de-al doilea mediu, de indice de refracție n_2 , *raza emergentă*, se găsesc în același plan.

Legea lui Snell

Dacă notăm cu α_1 unghiul dintre raza incidentă și normala la suprafața de separare în punctul de incidență, respectiv cu α_2 unghiul dintre raza emergentă și normala la suprafața de separare în punctul de incidență, *legea a doua* sau *legea lui Snell*, spune că are loc

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2. \quad (10)$$

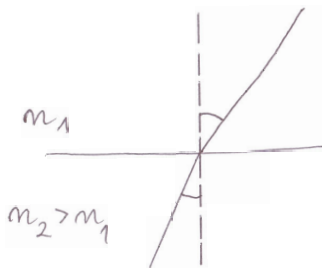


Figura: Legea lui Snell

Refracția astronomică

Pentru a explica refracția astronomică presupunem, în primă aproximație, că atmosfera terestră este alcătuită din straturi plan-paralele. Fiecare strat are indice de refracție constant, acesta crește uniform cu apropierea de suprafața Pământului, deoarece densitatea păturilor atmosferei este din ce în ce mai mare pe măsură ce ne apropiem de suprafața lui.

La granița superioară a atmosferei terestre indicele de refracție, notat cu n_v , este egal cu 1, indicele de refracție al vidului.

Ultima pătură a atmosferei ce se învecinează cu suprafața terestră, indicele de refracție este notat cu n_0 .

Între indicii de refracție ai straturilor considerate există relația

$$n_v < n_1 < n_2 < \dots < n_n < n_0. \quad (11)$$

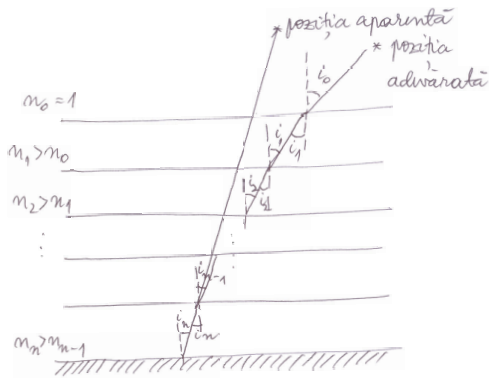


Figura: Refracția astronomică într-o atmosferă plan-paralelă

Dacă notăm cu α_V unghiul dintre raza venită de la stea și normala în punctul de incidență la granița superioară a atmosferei, cu α_0 unghiul dintre aceeași rază de lumină și normala în punctul de incidență la suprafața Pământului, respectiv cu α_i , $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, unghiul sub care intră raza de lumină în stratul i , aplicând succesiv legea refracției obținem

$$n_V \sin \alpha_V = n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 = \dots = n_n \sin \alpha_n = n_0 \sin \alpha_0. \quad (12)$$

Dacă introducem *unghiul de refracție*, notat R , prin

$$R = \alpha_v - \alpha_0, \quad (13)$$

și folosim primul și ultimul termen din șirul de egalități dat de legea lui Snell găsim următoarea relație

$$n_0 \sin \alpha_0 = \sin(R + \alpha_0), \quad (14)$$

pentru că $n_v = 1$.

De regulă, unghiul de refracție este mic, de aceea în dezvoltarea lui $\sin(R + \alpha_0)$ putem înlocui $\cos R$ cu 1 iar $\sin R$ cu R , exprimat în radiani. Astfel

$$n_0 \sin \alpha_0 = R \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0 \quad (15)$$

de unde unghiul de refracție, în radiani, este dat de

$$R = (n_0 - 1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (16)$$

unde α_0 reprezintă distanța zenitală a stelei măsurată de un observator aflat la suprafața Pământului.

Exprimat în secunde de arc, unghiul de refracție este dat de relația

$$R = k \cdot \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (17)$$

unde $k = 206265 \cdot (n_0 - 1)$ este constanta refracției. Valorile ei depind de indicele de refracție al păturii din atmosfera terestră ce se învecinează cu suprafața Pământului și se află cu ajutorul unor formule sau din tabele. În condiții de temperatură și presiune normale valoarea constantei refracției este $60.3''$.

Relația (17) ne permite să aflăm cu o precizie bună unghiul de refracție pentru aștrii aflați la distanțe zenitale de cel mult 70° . Astfel pentru $\alpha_0 = 0^\circ$ obținem $R = 0''$, $\alpha_0 = 10^\circ$, $R = 10''$, $\alpha_0 = 45^\circ$, $R = 1'$, respectiv $\alpha_0 = 70^\circ$, $R = 2.8'$. Observăm că poziția unui astru aflat la Zenit ($\alpha_0 = 0^\circ$) nu se modifică din cauza refracției astronomice, dar cu cât ne apropiem de orizontul matematic efectul ei este mai mare. Pentru a afla cum se modifică poziția aștrilor aflați la distanță mică de orizontul matematic trebuie să ținem seama de curbura pământului atmosferei terestre. Pentru un astru aflat la orizont unghiul de refracție este egal cu $35'$, adică astrul pare mai sus decât se află în realitate cu un unghi de $35'$, mai mare decât diametrul unghiular sub care se văd Soarele sau Luna, care este de aproximativ $30'$.