

## DETERMINAREA VALORII UNITĂȚII ASTRONOMICE DIN OBSERVAȚIILE TRANZITULUI PLANETEI MERCUR

Vitalie CHISTOL, dr. conf. univ.

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Rezumat.** Pentru prima dată tranzitul planetei Mercur a fost prezis de astronomul german Johannes Kepler, iar Edmond Halley a propus ca observațiile tranzitului planetelor Mercur și Venus să fie utilizate pentru determinarea valorii unității astronomice. În lucrare sunt prezentate rezultatele observării tranzitului planetei Mercur la Observatorul Astronomic al Universității Tehnice a Moldovei care a avut loc la 11 noiembrie 2019 și este descrisă metodologia determinării valorii unității astronomice din rezultatele observării acestui tranzit.

**Abstract.** For the first time, the transit of Mercury was predicted by the German astronomer Johannes Kepler, and Edmond Halley proposed that the observations of the transit of Mercury and Venus planets to be used to determine the value of the astronomical unit. The paper presents the results of observing the transit of the planet Mercury at the Astronomical Observatory of the Technical University of Moldova which took place on November 11, 2019 and describes the methodology for determining the value of the astronomical unit from the results of observing this transit.

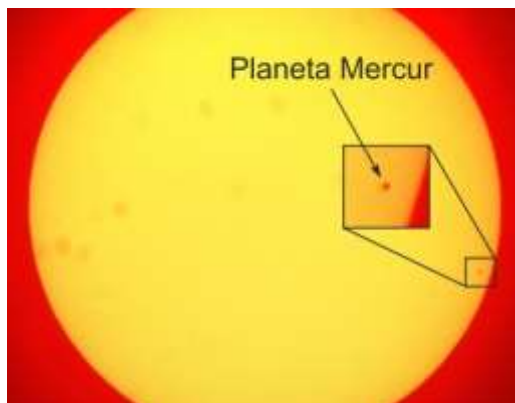
**Cuvinte – cheie:** tranzitul planetei Mercur, paralaxă, unitate astronomică.

**Key words:** the transit of the planet Mercury, parallax, astronomical unit.

### 1. Introducere

Apropierea aparentă maximă pe sfera cerească a două corpuri cerești văzute de pe Pământ se numește conjuncție a acestor corpuri. Dacă orbitele planetelor Mercur și Venus s-ar afla exact în planul eclipticii (planul orbitei Pământului), atunci în timpul conjuncției planeta, Soarele și Pământul s-ar găsi exact pe o linie dreaptă.

În realitate orbita lui Marte este înclinată față de planul eclipticii sub un unghi de  $7^{\circ}$ , iar cea a planetei Venus – sub un unghi de  $3,4^{\circ}$ . De aceea, în timpul rotației lor în jurul Soarelui planetele intersectează planul eclipticii în două puncte numite nodurile orbitei. Dacă la momentul conjuncției inferioare planeta se găsește în apropiere de nodul orbitei sale, atunci de pe Pământ putem observa trecerea planetei peste discul Soarelui. Fenomenul acesta se numește tranzitul planetei.



**Figura 1. Tranzitul planetei Mercur observat la Observatorul Astronomic al Universității Tehnice a Moldovei la 11 noiembrie 2019, 14<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> 15<sup>s</sup>**

Tranzitul planetelor Mercur și Venus este analogic eclipsei de Soare. Doar că diametrul unghiular al Lunii este aproape egal cu cel al Soarelui. De aceea în timpul eclipsei Luna acoperă în întregime (sau aproape în întregime) discul Soarelui. Diametrele unghiulare ale planetelor Mercur și Venus sunt mult mai mici decât cel al Soarelui și de aceea în timpul tranzitului planeta se vede doar ca un punct mic negru care traversează discul Soarelui (fig. 1).

Dacă nu ar exista înclinația dintre planul orbitei planetei (Mercur sau Venus) și planul eclipticii, atunci tranzitul planetei se va observa de fiecare dată când planeta, Pământul și Soarele s-ar afla pe o linie dreaptă (minimum o dată în an).

În realitate, datorită înclinației orbitei planetei față de planul eclipticii, tranzitul lui Mercur are loc de 13-14 ori într-un secol. Ultimul tranzit a avut loc pe 11 noiembrie 2019, iar următorul va avea loc pe 13 noiembrie 2032.

Tranzitul planetei Venus are loc aproximativ de 2 ori într-un secol. Ultimul tranzit a avut loc pe 6 iunie 2012, iar următorul va avea loc pe 11 decembrie 2117.

## **2. Metodologia observațiilor**

Tranzitul planetei Mercur din 11 noiembrie 2019 a fost observat la Observatorul Astronomic al Universității Tehnice a Moldovei. Observațiile au fost efectuate cu telescopul solar Lunt LS80THa cu diametrul obiectivului de 80 mm și distanța focală de 560 mm. Imaginile au fost înregistrate cu ajutorul camerei astronomice DBK 21AU618.AS. Primul contact al planetei Mercur cu discul solar la Chișinău a avut loc la ora 14.35 [1], iar ultimul la 20.04. În Chișinău la momentul primului contact cerul era înnorat, iar la momentul ultimului contact Soarele se afla deja sub orizont. Din cauza aceasta prima imagine a fost obținută la ora 14<sup>h</sup> 42<sup>m</sup> 12<sup>s</sup>, iar ultima – la ora 16<sup>h</sup> 09<sup>m</sup> 06<sup>s</sup>. Imaginile obținute au fost prelucrate la calculator pentru a obține linia tranzitului planetei.

## **3. Istoria tranziturilor planetei Mercur**

Astronomul german Johannes Kepler (1571–1630), bazându-se pe cele trei legi ale mișcării planetelor descoperite de el, pentru prima dată a prezis tranzitul lui Mercur la sfârșitul lunii mai 1607. La 28 mai 1607 Kepler, folosind o cameră obscură, a observat un punct negru pe Soare și a considerat că este vorba de tranzitul planetei Mercur, dar mai târziu își dă seama că ceea ce a observat el în realitate nu a fost tranzitul lui Mercur ci doar o pată solară.

Kepler prezice următorul tranzit al lui Mercur pentru anul 1631. Mai mult decât atât, el prezice că în acel an vor avea loc, la o diferență de timp de mai puțin de o lună, tranziturile atât a planetei Mercur cât și a planetei Venus. O întâmplare norocoasă, deoarece tranziturile ambelor planete la un interval de timp atât de mic se întâmplă foarte rar. Următorul tranzit al ambelor planete, la un interval de timp atât de mic va avea loc tocmai în anul 13425 [2]!

La începutul lunii noiembrie 1631 în marea parte a Europei a fost o vreme foarte ploioasă și nefavorabilă pentru observații astronomice. Doar astronomul francez Pierre

Gassendi (1592-1655), a lăsat o relatare detaliată despre observarea de către el la Paris a tranzitului planetei Mercur. Aceasta a fost prima observare a tranzitului unei planete.

Observarea tranzitului planetei Mercur de către Gassendi a însemnat un triumf al lucrărilor lui Kepler, care, în continuare, a adus un aport deosebit în descoperirea de către Newton a legii atracției universale și a legilor de bază ale mecanicii.

Gassendi a încercat să observe și tranzitul planetei Venus la 6 decembrie 1631, însă nu a observat nimic deoarece tranzitul planetei în Europa nu a fost vizibil.

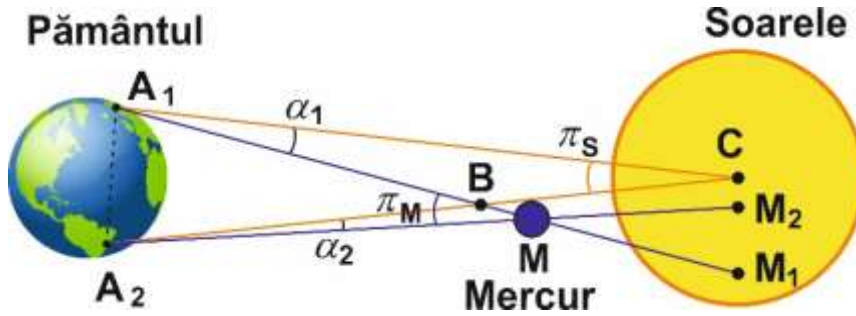
După calculele lui Kepler, următorul tranzit al planetei Venus trebuia să se petreacă în anul 1700. Astronomul englez Jeremiah Horrocks (1618 – 1641), la vârsta fragedă de doar 20 de ani, a descoperit unele inexactități în tabelele publicate de Kepler despre pozițiile planetelor și stelelor. Efectuând calculele sale, el obține că următorul tranzit al planetei Venus trebuie să aibă loc nu în anul 1700, ci la 4 decembrie 1639.

Folosind un mic refractor pentru a proiecta imaginea Soarelui, Horrocks a reușit să fixeze câteva poziții ale planetei și să calculeze diametrul aparent al ei. Horrocks obține pentru Venus un diametru unghiular egal cu  $76''$  [3]. Pentru planeta Mercur, Gassendi a obținut un diametru unghiular egal cu  $20''$ . La acea vreme, din legea a treia a lui Kepler, puteau fi determinate doar distanțele relative dintre planete. Distanța dintre Pământ și Soare, numită unitate astronomică (au) nu era cunoscută. De exemplu, se cunoștea că distanța dintre Soare și Mercur este egală cu  $0,39$  au, iar distanța dintre Venus și Soare este egală cu  $0,72$  au. Determinarea distanței Pământ – Soare era foarte importantă pentru a afla dimensiunile sistemului solar și a corpurilor cerești din sistem. Cunoscând distanțele relative dintre planete, Horrocks obține că, privite de pe Soare, atât Mercur cât și Venus s-ar vedea sub același unghi de  $28''$ . Tânărul astronom se întreabă: de ce nu am putea presupune că toate planetele se văd de pe Soare sub unghiul de  $28''$ . În acest caz, el obține că distanța de la Pământ până la Soare ar trebui să fie egală cu  $15000$  de diametre ale Pământului, sau  $95$  milioane km. Faptul că Mercur și Venus se văd de pe Soare sub același unghi s-a dovedit a fi o simplă coincidență, de aceea presupunerea că și Pământul ar putea fi văzut de pe Soare sub același unghi este greșită. Astfel, valoarea unității astronomice obținută de Horrocks se deosebește cu mult de cea adevărată ( $150$  milioane km), însă, totuși, aceasta a fost prima încercare de a utiliza tranzitul unei planete pentru determinarea valorii unității astronomice.

În anul 1677 astronomul englez Edmond Halley observă tranzitul planetei Mercur pe insula Sfânta Elena. Inspirat de ideea matematicianului scoțian James Gregory, Halley propune de a utiliza tranzitul planetelor pentru determinarea distanței dintre Soare și Pământ. Pentru aceasta el propune ca tranzitul planetei să fie observat din diferite puncte ale Pământului, cât mai depărtate una de alta. Dacă două persoane observă planeta din diferite poziții, atunci ei o văd sub diferite unghiuri față de Soare. Măsurând diferența dintre aceste unghiuri, numită paralaxa planetei și, măsurând distanța dintre observatori, din construcții geometrice simple, se poate determina distanța Pământ – Soare.

## Determinarea valorii unității astronomice

Fie că doi observatori sunt situați în punctele  $A_1$  și  $A_2$  situate în emisfere diferite ale globului pământesc [4], dar la aceeași longitudine (fig. 2). Vom nota prin  $\pi_S$  și  $\pi_M$  paralaxele Soarelui și, corespunzător, a planetei Mercur. Unghiul dintre direcțiile spre centrul Soarelui și spre centrul planetei Mercur văzută din punctul  $A_1$  îl notăm prin  $\alpha_1$ , iar văzută din punctul  $A_2$  îl notăm prin  $\alpha_2$ .



**Figura 2. Observarea tranzitului planetei Mercur din diferite puncte ale globului pământesc**

În triunghiurile  $A_1BC$  și  $A_2BM$  unghiul  $B$  este același. De aceea  $\alpha_1 + \pi_S = \alpha_2 + \pi_M$ , sau:

$$\Delta\pi = \alpha_1 - \alpha_2 = \pi_M - \pi_S = \pi_S((\pi_M/\pi_S) - 1). \quad (1)$$

Deoarece unghiul  $\pi_M$  este foarte mic, putem scrie  $\text{tg}\pi_M \approx \pi_M = d(r_p - r_M)$ , și  $\pi_S = d/r_p$ , unde  $d$  este distanța dintre punctele  $A_1$  și  $A_2$ , iar  $r_p$  și  $r_M$  sunt distanțele de la Soare până la Pământ și, corespunzător, până la Mercur. Introducând ultimele expresii în (1) obținem formula pentru determinarea paralaxei Soarelui:

$$\pi_S = \Delta\pi(r_p/r_M - 1). \quad (2)$$

Din legea III a lui Kepler avem

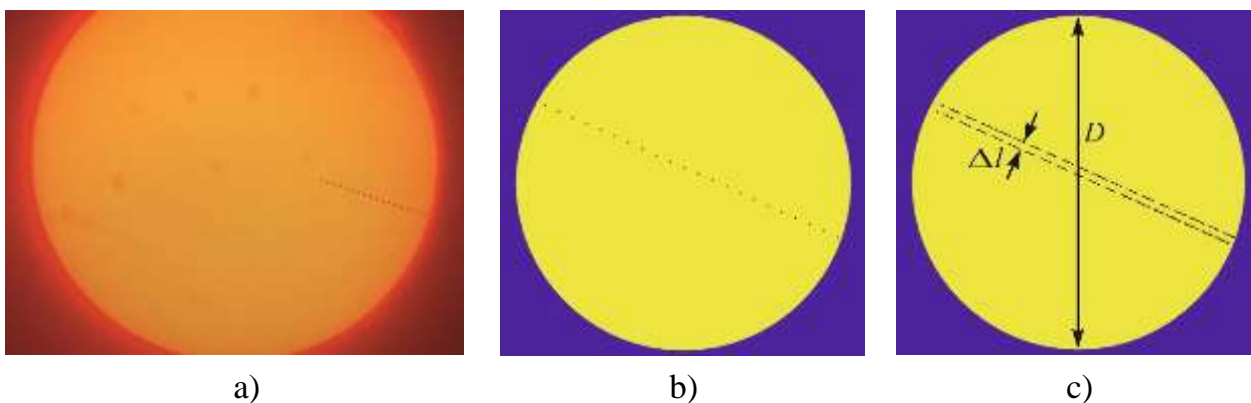
$$(T_P/T_M)^2 = (r_P/r_M)^3, \quad (3)$$

unde  $T_P$  și  $T_M$  sunt perioadele de revoluție ale planetelor Pământ și, corespunzător, Mercur. Introducând în (3) valorile  $T_P = 365,26$  zile și  $T_M = 87,97$  zile, obținem  $r_P/r_M = 2,58$ . Introducem rezultatul obținut în (2), obținem  $\pi_S = 1,58\Delta\pi$ .

Pentru determinarea valorii lui  $\Delta\pi$  comparăm imaginile tranzitului planetei de la 11 noiembrie 2019 obținute la Chișinău, latitudinea  $47^{\circ} 01'$  (fig. 3a) (Observatorul Astronomic și Planetariu UTM), și la Ushuaia (Argentina) latitudinea  $-54^{\circ} 48'$  (fig. 3b) [5].

Suprapunând aceste două imagini, măsurând distanța dintre liniile de tranzit ale planetei Mercur  $\Delta l$  și diametrul Soarelui  $D$  și, știind că diametrul unghiular al Soarelui  $\alpha \approx 32'$ , din expresia  $D/\Delta l = \varphi/\Delta\pi$  putem determina paralaxa planetei Mercur. În această metodă nu contează longitudinea punctelor din care au fost obținute imaginile.

Introducând valorile lui  $d$  și  $\Delta\pi$  în expresia  $\pi_S = d/r_p$ , putem calcula valoarea unității astronomice.



**Figura 3.**

Distanța  $\Delta l$  dintre liniile de tranzit ale planetei Mercur (fig. 3c) este foarte mică (în fig.3c această distanță intenționat a fost mărită). Din cauza aceasta, eroarea în determinarea unității astronomice este foarte mare. Această eroare va fi mult mai mică dacă vom utiliza tranzitul planetei Venus, dar, totuși, insuficient de mică pentru a obține o precizie mare a măsurărilor. În prezent, o valoare mult mai exactă a unității astronomice a fost obținută prin utilizarea radarului. În prezent determinarea valorii unității astronomice prin utilizarea tranzitului planetei Mercur are o importanță mai mult istorică, dar totuși această metodă poate fi utilizată cel puțin la o frumoasă lucrare de laborator pentru elevii de liceu.

În august 2012 a 28-a Adunare Generală a Uniunii Astronomice Internaționale de la Beijing a decis ca în Sistemul Internațional de Unități valoarea unității astronomice să fie considerată egală cu  $149.597.870.700 \pm 3$  m. În plus, IAU a recomandat ca unicul simbol utilizat pentru unitatea astronomică să fie „au” [6].

### **Bibliografie**

1. <https://www.timeanddate.com/eclipse/transit/2019-november-11>
2. MEEUS, J.; VITAGLIANO, A. Simultaneous transits. In: *J. Br. Astron. Assoc.* 114, 3, 2004, pp 132-135.
3. <http://www.victorianweb.org/painting/fmb/paintings/11.html>
4. <https://www.monografias.com/trabajos907/distancia-tierra-sol/distancia-tierra-sol.shtml>
5. <http://www.transit-of-mercury2019.de/example.php>
6. International Astronomical Union, ed. (31 August 2012), *RESOLUTION B2 on the re-definition of the astronomical unit of length.*