

Astronomie - Cursul 11
Corpuri meteorice, meteori și meteoriți
Formarea sistemului solar
Stele

Cristina Blaga

8 ianuarie 2026 orele 16-18

Corpuri meteorice

Meteorii sau **stelele căzătoare** sunt dârele luminoase lăsate de particule de praf sau corpuri mici, numite **corpuri meteorice**, care la intrarea în atmosfera terestră, în urma frecării cu aerul, se încălzesc până la incandescență. Unele comete lasă pe orbita lor o mulțime de fragmente. Dacă Pământul trece printr-o zonă cu multe resturi lăsate de o cometă pe orbita ei are loc o **ploaie de meteori** sau este activ un **curent meteoric**.

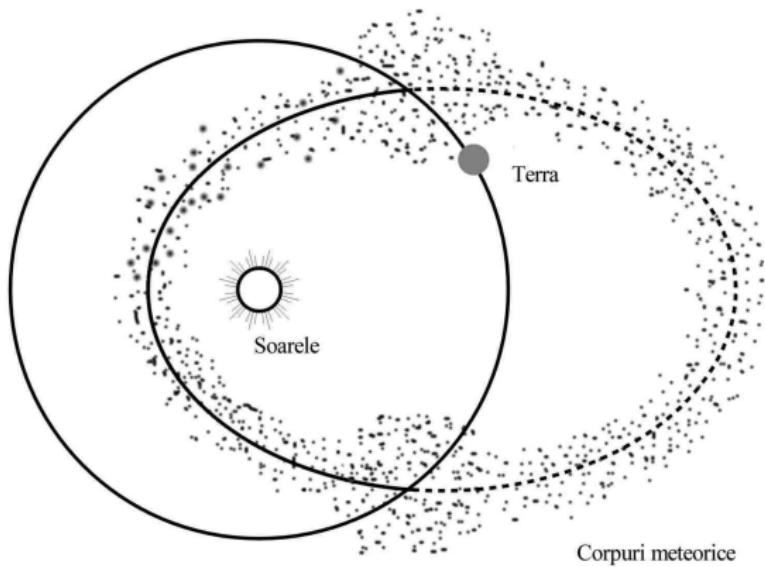


Figura: Particule rămase pe orbita unei comete

Clasificarea meteorilor

În funcție de predictibilitatea apariției lor, meteorii se împart în

- ▶ **sporadici** - meteorii care pot fi văzuți străbătând cerul timp de câteva minute fără a putea prevedea/calcula apariția lor sau
- ▶ meteori care apar la o anumită dată, producând **ploi de stele căzătoare**, care alcătuiesc un *current* sau *roi meteoric*. Acesta poartă numele constelației în care se află radiantul currentului¹.

¹ Există și excepții de la această regulă. De exemplu currentul de meteori format prin fragmentarea cometei Biela, este uneori întâlnit sub numele de *bielide*, pentru a se sublinia legătura sa cu cometa dispărută. Radiantul lor se găsește în constelația *Andromeda*, deci numele lor conform regulii date mai sus este *andromedide*.



Figura: Leonide - ploaie de stele vizibilă la mijlocul lunii noiembrie 1966



Figura: Radiantul unui curent meteoric

<i>Curent meteoric</i>	<i>Maxim de activitate</i>	<i>Activitate zenitală orară</i>	<i>Corpul sursă</i>
quadrantide	3 ianuarie	80	
liride	22 aprilie	15	C Thatcher
η aquaride	4 mai	60	C Halley
perseide	12 august	100	C Swift–Tuttle
orionide	21 octombrie	30	C Halley
leonidele	16 noiembrie	20	C Tempel–Tuttle
geminidele	13 decembrie	90	A Faeton
ursidele	22 decembrie	20	C Tuttle

Meteoriți

Corpurile meteorice dense (cele mai multe au densitate mică), dacă sunt suficient de mari, nu ard în atmosferă și fragmente din ele ajung pe Pământ. Acestea se numesc **meteoriți**.

Masa Pământului crește cu aproximativ 1000 tone/zi datorită meteoriților ce cad pe Pământ.

La căderea lor pe Pământ corpurile meteorice sunt acoperite de o crustă de culoare închisă, neagră sau cenușie cu tonuri albăstrui sau cafenii, în funcție de compoziția chimică a meteoritului, crustă care se formează în timpul trecerii lui prin atmosferă.

Particulele din spațiul interplanetar se mișcă cu viteze de câțiva zeci de km/s.

La pătrunderea lor în atmosfera înaltă a Pământului, datorită rarefierii acesteia, rezistența pe care o întâmpină corpul ceresc din partea mediului este mică.

Odată cu apropierea de Pământ, sub 200 de km, densitatea zonelor parcuse și rezistența opusă de mediu la trecerea meteoritului crește.

Toate acestea conduc la comprimarea și încălzirea aerului aflat pe direcția de mișcare a corpului. Totodată datorită frecării cu aerul se produce încălzirea corpului și formarea la suprafața lui a unei zone de topire.

Particulele incandescente și ionizate care se desprind de pe el contribuie la producerea efectului luminos, pe care îl cunoaștem sub numele de **meteor**.

Toate aceste fenomene de creștere a temperaturii corpului, transformarea lui în vapori și pulberi, apariția fenomenul luminos au loc și pentru corpurile meteorice de câteva grame.

La 20–30 km deasupra suprafeței Pământului este **zona de oprire**, unde corpurile meteorice suficient de mari, care nu au fost transformate în cenușă, în urma frânării lor în atmosferă, au viteza zero.

De aici ele își continuă drumul spre Pământ sub acțiunea greutății lor. Așa se explică vitezele mari atinse de meteoriți în apropierea Pământului și violența impactului lor cu solul.



Figura: Craterul meteoritului Barringer (Arizona). Diametru 1186 km, adâncime 170 m, înălțimea malului 45 m, diametrul meteoritului feros \approx 50 m.

Unele corpuri meteorice, sunt fragmentate înainte de a ajunge pe Pământ, ca urmare a tensiunilor interioare și a celor ce apar pe suprafața lor². Resturile lor cad pe Pământ sub forma unei **ploi de metoriți**.

Dacă explozia s-a produs aproape de Pământ, fragmentele rezultate în urma ei nu vor fi în întregime acoperite de crusta închisă la culoare specifică suprafeței meteoritilor, ci vor avea și suprafațe de spărtură deschise la culoare.

²Un exemplu de acest tip este meteoritul de la Moci (județul Cluj), căzut la 3 februarie 1882, care s-a împrăștiat pe o zonă foarte mare.

Meteoriții care ajung pe Pământ fără a fi supuși unei explozii sunt modelați în timpul trecerii lor prin atmosferă. Ei au formă conică, asemănătoare unui cap de obuz.

Pe suprafața lor se văd săpate sănțuri asemănătoare urmelor lăsate de degete într-o bucată de plastelină. Ele sunt alungite și înguste.

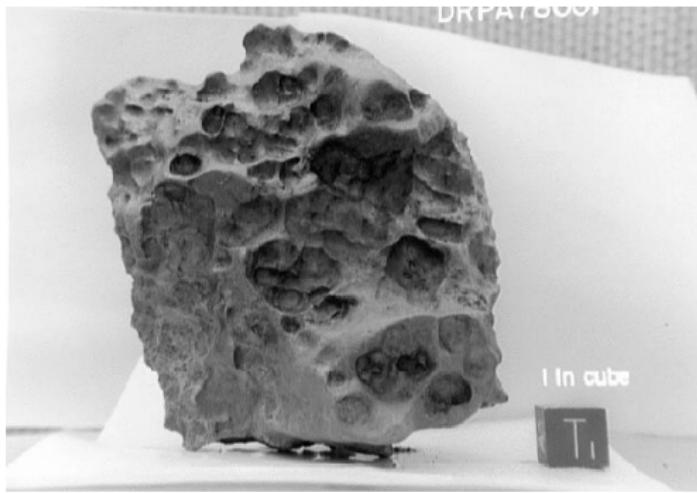


Figura: Adâncituri vizibile pe suprafața unui meteorit

Meteoriții sunt împărțiți în trei clase în funcție de raportul dintre conținutul de silicăți (piatră) și cel de fier.

- ▶ Meteoriții **pietroși** conțin minerale sau grupe de minerale bogate în silicăți, asemenea rocilor din scoarța terestră.
- ▶ Meteoriții **feroși** au în compozitia lor metale, în special fier și puțin nichel.
- ▶ Meteoriții **feroși-pietroși** au o compozitie mineralogică echilibrată 50% aliaje de nichel și fier și 50% silicăți.

Meteoriții pietroși conțin minerale sau grupele de minerale bogate în silicati, precum olivina (40%), piroxenii (30%) sau oligoclazul (10%).

Din punct de vedere morfologic meteoriții pietroși se împart în două grupe *chondrite* și *achondrite*.

- ▶ Numele lor provine de la corpurile sferice mici (1 mm diametru), numite *chondrule*, alcătuite din olivină și piroxeni, cristalizate în picături de topitură silicatică, întâlnite în interiorul lor.
- ▶ A doua clasă de meteoriți pietroși au compoziție chimică asemănătoare cu chondritele, dar aşa cum și numele lor sugerează, fără textură chondritică.

Meteoriți chondritici



Figura: Meteorit chondritic (Snyders Hill, Tucson, Arizona)

- ▶ 84 % din numărul total a meteoriților intră în această clasă.
- ▶ Conțin corpuri sferice mici (1 mm diametru), numite *chondrule*, alcătuite din olivină și piroxeni, cristalizate în picături de topitură silicatică.
- ▶ Vârsta lor este de 4,5 miliarde de ani, s-au format odată cu sistemul solar.

Meteoriți achondritici



Figura: Meteorit achondritic

- ▶ 8% din numărul total de meteoriți intră în această clasă.
- ▶ Au compoziție chimică asemănătoare cu chondritele, dar n-au textură chondritică distrusă, probabil, în urma topirii și recristalizării lor.
- ▶ Structura mineralologică este asemănările cu cea a rocilor din scoarța terestră.

Meteoriți feroși–pietroși

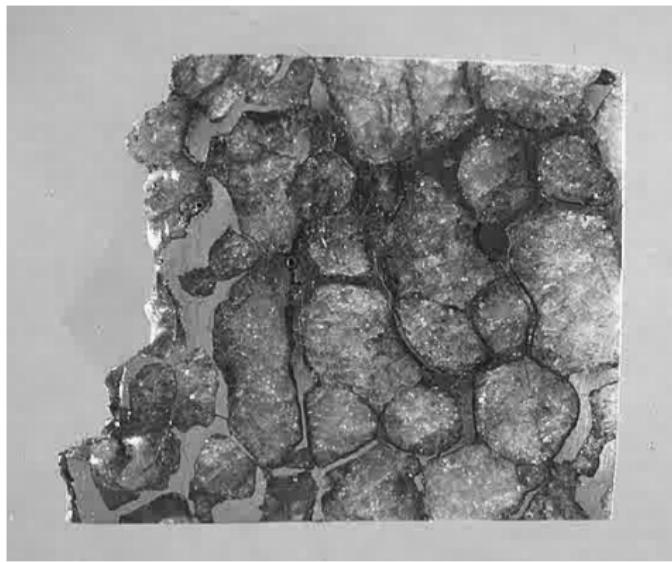


Figura: Secțiune într-un meteorit feros–pietros

- ▶ 2% din numărul total de meteoriți intră în această clasă.
- ▶ Au o compoziție mineralologică echilibrată: 50 % aliaje de fier și nichel și 50 % silicati.
- ▶ Conțin granule de olivină, minerale ce conțin silicati de aluminiu și calciu într-o textură de metal, asemănătoare cu rocile din mantaua Pământului.

Meteoriții feroși sau metalici reprezintă 6 % din totalul de meteoriți găsiți. Numărul mic de meteoriți feroși care s-a păstrat până în zilele noastre poate fi explicat prin importanța lor practică. În compoziția chimică a meteoritilor feroși intră aliaje de fier și nichel.

Deci, din aceste roci căzute pe Pământ se poate extrage relativ ușor fierul. De aceea, se presupune că o parte dintre acești meteoriți au fost folosiți pentru a se fabrica unelte și arme din fier.

Pe de altă parte masa lor este destul de mare, dată fiind compoziția lor chimică, de aceea la cădere se afundă mult în sol sau se distrug în urma impactului.

Figurile lui Widmanstätten



Figura: Figurile lui Widmanstätten

- ▶ Alois Widmanstätten (1754–1849) a fost un chimist austriac.
- ▶ În 1808 a observat că turnând o soluție de acid azotic diluat cu acid clorhidric pe o secțiune a unui meteorit feros proaspăt tăiată, devine vizibilă o rețea de linii de grosimi și orientări diferite, care reflectă modul de aşezare a granulelor diferenților compuși chimici din meteorit.

Formarea sistemului solar

Primele teorii despre originea sistemului solar au apărut după formularea teoriei heliocentrice copernicane. Ele aveau la bază idei ale lui Aristarch din Samos (310-230 î. Ch.), care a susținut că Pământul se mișcă în jurul Soarelui și a propriei axe. Așa apărut *cosmogonia*, ramură a astronomiei care studiază formarea sistemului solar.

În 1755, Immanuel Kant propune *ipoteza nebuloasei*, conform căreia sistemul solar s-a format dintr-o nebuloasă de gaz aflată în rotație.

În 1796, Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) a sugerat ideea că planetele s-au format din materie desprinsă din Soare, care au format inele de materie în planul ecuatorial la Soarelui.

Orice teorie cosmogonică trebuie să explice trăsăturile observate ale corpurilor din sistemul solar, anume:

- ▶ orbitele planetelor clasice sunt situate în plane puțin inclinate față de planul eclipticii,
- ▶ planetele clasice se mișcă pe orbitele lor în sens trigonometric, în sensul de rotație al Soarelui în jurul propriei axe,
- ▶ majoritatea planetelor clasice se rotesc în jurul axelor proprii în sens trigonometric, excepție fac Venus care se rotește în sens opus și Uranus a cărui axă de rotație este inclusă în planul orbital,

- ▶ 98% din momentul cinetic total al sistemului solar este cuprins în planete, deși masa planetelor reprezintă numai 0,15% din masa totală a sistemului solar,
- ▶ planetele terestre se găsesc la distanță mică de Soare, iar toate planetele gazoase se află dincolo brâul principal de asteroizi și
- ▶ cum s-au format corpurile mici din sistemul solar, inelele și sateliții planetelor.

Cu ajutorul teoriilor lui Kant și Laplace nu se puteau explica: distribuția momentului cinetic în sistemul solar și cum se formează planetele din inelele de materie desprinse din Soare. De aceea, Georges-Louis de Buffon a propus *teoria catastrofică*, în care planetele s-au format în urma ciocnirii Soarelui cu o cometă, care a smuls din Soare, materia din care s-au format ele.

În secolul XX, după ce s-a înțeles mai bine ce sunt cometele, Forest Moulton și James Jeans au înlocuit cometa cu o stea. La apropierea de stea, forțele mariice ar fi putut smulge din Soare, materia necesară alcăturii planetelor.

Teoria aceasta continua să aibă neajunsuri. Pe de o parte materia desprinsă din Soare ar fi putut fi capturată de stea. Pe de altă parte, densitatea de stele din galaxia noastră este mică, în ultimii $5 \cdot 10^9$ ani, doar câteva stele s-au apropiat suficient de Soare pentru a pune putea rupe o parte din el. De aceea, teoria catastrofică a fost revizuită în anii '40.

Ținând seama de faptele observaționale se estimează că sistemul solar s-a format acum aproximativ $4,6 \cdot 10^9$ ani dintr-un nor de gaz și praf, aflat în rotație, care a colapsat gravitațional. Densitatea medie a particulelor din nor a fost de 10.000 de particule sau molecule pe cm^3 , iar temperatura de 10-15 K. Norul a fost alcătuit din hidrogen și heliu și urme de elementele mai grele, care s-au format în stele bătrâne. Colapsul gravitațional a fost declanșat de unde de soc, produse în urma unei explozii de supernovă care a avut loc în vecinătatea lui.

Când norul a colapsat, particulele din compoziția sa s-au mișcat spre planul ecuatorial, de aceea majoritatea corpurilor sistemului solar s-au format în această regiune. În centrul discului, presiunea și temperatura au crescut și a început formarea protosoarelui, precursorul Soarelui actual. Masa lui a fost mai mare decât masa Soarelui actual, iar masa discului de materie din planul ecuatorial avea aproximativ 10% din masa solară.

Contractiona gravitațională a protosoarelui a dus creșterea temperaturii și declanșarea reacțiilor termonucleare în nucleu. Astfel, s-a născut o stea, care emite energie produsă în interiorul ei. Radiația și vântul solar au interacționat cu materia din disc. Protosoarele a pierdut moment cinetic pentru că a pierdut masă, prin particulele evadate din câmpul gravitațional pe linii de câmp magnetic.

Particulele din disc s-au ciocnit plastic, formând *planetezimalele*, din care s-au format prin acreție proto-planetele, iar apoi corpurile sistemului solar. Interacțiunea gravitațională, ciocnirile dintre corpurile din disc, fenomenele de rezonanță gravitațională pot explica distanța la care se găsesc planetele de Soare.

Diferența de compoziție chimică dintre planetele terestre și gazoase poate fi explicată pe baza distribuției temperaturii în jurul protosoarelui. Plantele terestre sunt alcătuite din roci, ce au în compoziție fier, siliciu, oxigen, pentru că elementele ușoare, hidrogen, heliu, erau sub formă de vapori la 500 K. La distanța planetelor gigante, temperatura era scăzută, astfel încât în compoziția lor au intrat hidrogen, heliu, gheață.

Pentru a afla vârsta sistemului solar s-au folosit roci terestre, eșantioane aduse de pe alte corpuri din sistemul solar și meteoriți. Folosind metoda de datare radioactivă s-a ajuns la concluzia că vârsta sistemului solar este de $4,657 \cdot 10^9$ ani, nașterea sistemului solar fiind marcată de momentul la care au început să se condenseze materia solidă ce intră în compunerea sistemului solar.

Definiție

O **stea** este un corp ceresc în echilibru hidrostatic care radiază în exterior energie produsă în interior.

Caracteristici ale stelelor deduse din observații

Strălucirea stelei. Constanta solară

O stea emite radiație electromagnetică în diferite lungimi de undă, particule elementare sau atomi ai unor elemente chimice ușoare, neutrini și radiație gravitațională.

Definiție

Energia venită de la o stea, care cade perpendicular pe unitatea de arie a detectorului de pe Pământ, în unitatea de timp se numește **strălucirea stelei** și se notează cu s .

Strălucirea Soarelui este cunoscută sub numele de **constantă solară**

$$s_{\odot} = 1368 \text{ W/m}^2.$$

Luminozitatea stelei

Definiție

Energia radiată de stea în unitatea de timp prin întreaga suprafață se numește **luminozitatea stelei** și se notează cu L .

- ▶ Luminozitatea stelei depinde numai de stea, de aceea este o mărime intrisecă.
- ▶ Prin convenție, unitatea de măsură pentru luminozitatea stelelor este luminozitatea Soarelui $L_{\odot} = 3,85 \times 10^{26} \text{ J/s}$. Exprimată în luminozități solare, luminozitatea stelelor L este cuprinsă în intervalul

$$L/L_{\odot} \in [10^{-5}, 10^5].$$

Legătura dintre strălucirea și luminozitatea stelelor

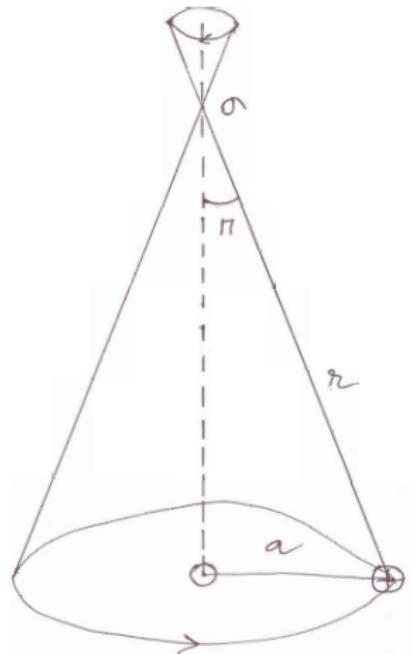
Privite de pe Pământ stelele sunt surse de lumină punctiforme, de aceea între strălucirea și luminozitatea lor are loc relația:

$$s = \frac{L}{4\pi d^2}$$

unde d este distanța stea-observator.

Strălucirea stelei depinde de stea și de observator, de aceea este o mărime extrinsecă.

Distanța la stea



- ▶ În fiecare an, stelele descriu pe bolta cerească o elipsă.
- ▶ Cauza deplasării stelelor este mișcarea de revoluție a Pământului în jurul Soarelui.
- ▶ Unghiul sub care se vede din stea semiaxa mare a orbitei terestre depinde de distanța observator-stea.

Figura: Elipsa de paralaxă

Paralaxă anuală sau trigonometrică a stelei este unghiul, notat cu π , sub care se vede semiaxa mare a orbitei terestre din steaua considerată. Astfel

$$\sin \pi = \frac{a}{r} \quad (1)$$

unde a este distanța medie Soare-Pământ, iar r distanța topocentrică a stelei.

Legătura între distanța la stea și paralaxa ei

- Dacă cunoaștem paralaxă trigonometrică a stelei, π , exprimată în secunde de arc, atunci distanța la stea, exprimată în parseci, este

$$d(pc) = \frac{1}{\pi('')} . \quad (2)$$

sau

- Dacă cunoaștem distanța la stea, exprimată în parseci atunci paralaxă trigonometrică a stelei, π , exprimată în secunde de arc este

$$\pi('') = \frac{1}{d(pc)} .$$

Magnitudinea aparentă

- ▶ Diferențele dintre strălucirea stelelor se exprimă cu ajutorul *magnitudinii aparente*.
- ▶ Împărțirea stelelor în clase de magnitudini a fost făcută de Hipparh în catalogul său de stele fixe întocmit în secolul I î. Ch.
- ▶ În clasa de magnitudine 1^m au fost trecute cele mai strălucitoare stele.
- ▶ Cele mai puțin strălucitoare, la limita vizibilității cu ochiul liber, au fost incluse în clasa de magnitudine 6^m .

- ▶ În secolul al XIX-lea, Pogson a observat că unei diferențe de o clasă de magnitudine îi corespunde un raport de strălucire de aproximativ 2,5.
- ▶ Diferenței de cinci ordine de mărime, de la magnitudinea celor mai strălucitoare stele 1^m la cele aflate la limita vizibilității cu ochiul liber 6^m , îi corespunde un raport egal cu 100.

Legea lui Pogson

Teoremă

Fie m_1, m_2 magnitudinile aparente a două stele, care au strălucirile s_1, s_2 , atunci are loc

$$m_1 - m_2 = -2,5 \lg \frac{s_1}{s_2}$$

unde baza logaritmului este 10, iar semnul minus din membrul drept arată că cu cât magnitudinea este mai mică cu atât strălucirea stelei este mai mare.

Teorema de mai sus este cunoscută sub numele *legea (relația) lui Pogson*.

Din relația lui Pogson poate fi găsit raportul strălucirii a două stele dacă sunt cunoscute magnitudinile lor:

$$\frac{s_1}{s_2} = 10^{-0,4(m_1 - m_2)}.$$

Magnitudinea aparentă a aştrilor strălucitori

- ▶ Magnitudinea aparentă a unei stele poate fi aflată din relația

$$m = C - 2,5 \lg s$$

unde constanta C s-a ales astfel încât steaua Vega să aibă magnitudinea 0^m .

- ▶ Stelele mai strălucitoare decât Vega au magnitudine negativă (de exemplu Sirius are magnitudine $-1,5^m$).
- ▶ Scala magnitudinilor s-a extins și pentru alte corpuri cerești, de exemplu Luna când este în faza de Lună plină are magnitudine aparentă de $-12,7^m$ iar Soarele $-26,8^m$.

Magnitudinea aparentă a aştrilor foarte puțin strălucitori

La limita vizibilității cu ochiul liber se află stelele de magnitudine 6^m . Cu ajutorul instrumentelor astronomice se pot observa stele mai puțin strălucitoare decât acestea. Ele au magnitudine mai mare decât cele vizibile cu ochiul liber. Magnitudinea limită a telescopului spațial Hubble este 29^m , ceea ce înseamnă că folosindu-l putem observa obiecte cerești care au strălucire de 10^{12} ori mai mică decât Sirius.

Magnitudinea absolută

Magnitudinea aparentă a stelei depinde de strălucirea ei, i.e. este o mărime extrinsecă. *Magnitudinea absolută* a stelei este magnitudinea aparentă a stelei aflată la 10 parseci de observator. În acest caz, relația lui Pogson devine

$$M_1 - M_2 = -2,5 \lg \frac{L_1}{L_2}$$

unde M_1 , M_2 sunt magnitudinile absolute a stelelor de luminozitate L_1 , respectiv L_2 .

Modulul distanței

Diferența între magnitudinea aparentă și magnitudinea absolută a unei stele se numește *modulul de distanță*. Din relația lui Pogson scrisă pentru stea, caracterizată prin magnitudinea m și strălucirea $s = L/(4\pi d^2)$ și pentru aceeași stea aflată la 10 parseci de noi, dată de magnitudinea absolută M și strălucirea absolută $S = L/(4\pi D^2)$ unde $D = 10pc$

$$m - M = -2,5 \lg \frac{S}{S}$$

obținem

$$m - M = 5 \lg d(pc) - 5$$

relația *modului de distanță*.

Dacă se cunoaște paralaxa anuală a stelei, ținând seama de relația (2) obținem

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi(''),$$

unde $\pi('')$ este paralaxa stelei exprimată în secunde de arc. Magnitudinea absolută a Soarelui este $4,72^m$, cu alte cuvinte dacă s-ar afla la 10 parseci de noi Soarele s-ar vedea ca o stea puțin strălucitoare.