

Astronomie

Cursul 13 - Comete, corpuri meteorice, meteori și meteoriți

Cristina Blaga

4 ianuarie 2022

Comete

Cometele sunt corpuri mici din sistemul solar, de dimensiuni comparabile cu asteroizii. Ele diferă de asteroizi prin compoziția chimică.

Definiție

Cometele sunt corpuri mici din sistemul solar, care la apropierea de Soare produc cozi luminoase.

Observație

*Numele de cometă vine de la termenul grecesc **comă** care înseamnă coadă.*



Figura: Cometa West

Orbitele cometelor

Cometele descriu **orbite excentrice** $e \in [0.1, 1)$.

Observație

Datorită perturbațiilor produse de planetele mari, există comete care se mișcă pe ramura unei hiperbole ($e > 1$), pe o orbită deschisă, i.e. pot părăsi sistemul solar, dacă nu se apropie de corpuri masive, în urma cărora li se modifică excentricitatea.

Semiaxa mare a orbitei lor este cuprinsă între 2 u.a. și $4 \cdot 10^4$ u.a., iar **perioada orbitală** $T \in [3, 8 \cdot 10^8]$ ani siderali.

Clasificarea cometelor

În funcție de **perioada orbitală**, cometele se împart în comete

- ▶ de perioadă scurtă - $T < 200$ ani, au înclinarea planului orbital față de ecliptică relativ mică (≈ 0).
- ▶ de perioadă lungă - $T > 200$ ani, au excentricități mari, pot fi observate doar când ajung aproape de Soare și produc cozi luminoase.

Un exemplu de **cometă de perioadă scurtă** este *cometa Halley*, numită după Edmund Halley (1656-1742) care a prezis întoarcerea cometei la un interval de 76 de ani. Cea mai veche consemnare a trecerii la periheliu a acestei comete este din 240 î. Ch..

- ▶ Perioada sa orbitală este de 76 de ani siderali.
- ▶ Mișcarea sa are loc pe o orbită de excentricitate mare, $e = 0,97$, într-un plan care face 162° cu planul eclipticii, de aceea deplasarea cometei pe bolta cerească are loc în sens retrograd.
- ▶ A trecut la periheliu ultima dată în 1986, când sonda spațială *Giotto* a fotografiat nucleul cometei.
- ▶ Următoarea trecere la periheliu va avea loc în 2061.

Un exemplu de **cometă de perioadă lungă** este *cometa Hyakutake*, care a putut fi văzută cu ochiul liber la apropierea sa de Soare în anul 1996. Ea s-a apropiat de Pământ la 0.1 u.a., în 25 martie 1996 și a trecut prin periheliu în 1 mai 1996, la 0.23 u.a. de Soare.

- ▶ Excentricitatea orbitei sale este de 0.9998946.
- ▶ Perioada orbitei sale este de aproximativ 70 mii de ani.
- ▶ Planul orbital al cometei este înclinat față de planul eclipticii cu unghiul $i = 124.92246^\circ$, i.e. mișcarea cometei pe orbită este retrogradă.

Numărul cometelor

- ▶ Se cunosc aproximativ 1000 de comete.
- ▶ Anual se descoperă aproximativ 10 comete.
- ▶ Se presupune că la granița sistemului solar sunt $10^7 \dots 10^{11}$ nuclee de comete în norul lui Oort. Din partea interioară a norului lui Oort provin cometele scurt periodice.

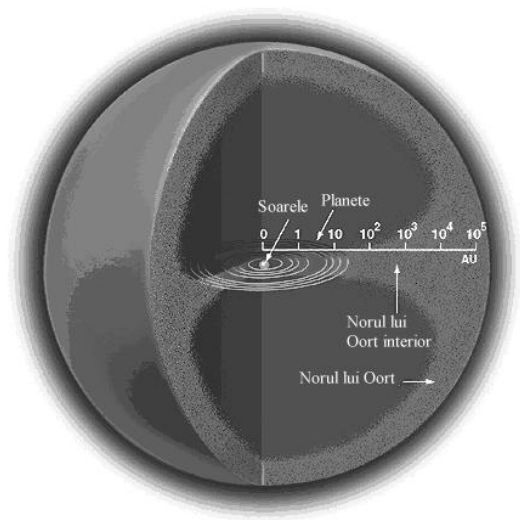


Figura: Norul lui Oort

Există comete care la periheliu se apropie de Soare la aproximativ o rază solară sau chiar mai puțin. Trecerea cometei prin vecinătatea Soarelui poate însemna sfârșitul ei. Aceasta poate pătrunde în atmosfera solară pierzându-se în ea sau poate fi ruptă în bucăți datorită perturbațiilor produse de Soare asupra ei.

Un exemplu de cometă care a fost înghițită de Soare este **cometa Howard-Koomen-Michels** (1979 XI), a cărei apropiere de Soare a fost observată de către satelitul *Solar Maximum Mission*, lansat la 14 februarie 1980, menit a înregistra evoluția Soarelui, în apropierea unui maxim de activitate solară. Aceasta a fost observată aproape de periheliu, cu ajutorul coronografului cu care era echipat satelitul, care înregistra forma coroanei solare, la o distanță mai mare de 2,5 raze solare. Trecerea cometei în interiorul acestei granițe a fost urmărită cu ajutorul acestui aparat, dar ea nu a mai fost văzută de atunci.

Dacă în urma trecerii unei comete prin vecinătatea Soarelui, nucleul său este rupt în bucăți distincte, fragmentele rezultate, care au masă diferită de masa cometei care s-a fragmentat, se mișcă pe traiectorii diferite, cu parametrii orbitali asemănători.

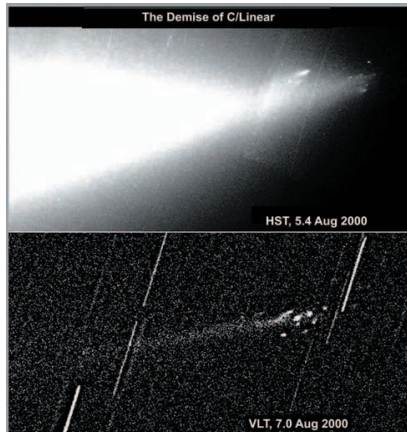


Figura: Fragmentarea unor comete la trecerea la periheliu

Fragmentarea cometelor se poate produce și la apropierea lor de alte corpuri masive din sistemul solar, cum este de exemplu planeta Jupiter. În anul 1994, **cometa Shoemaker-Levi 9** a fost înghițită de planeta gigantă. Ea a fost ruptă în aproximativ 21 de bucăți la apropierea sa de Jupiter care a avut loc în anul 1992. Bucățile fotografiate de telescopul spațial *Hubble*, au fost înghițite succesiv de către Jupiter.



Figura: Cometa Shoemaker-Levy 9

Cea mai mare parte a fragmentelor au căzut pe fața opusă Pământului. De aceea, s-a folosit telescopul spațial **Hubble** pentru urmărirea căderii fragmentelor. Cu ajutorul lui s-au putut observa modificările produse în păturile superioare ale atmosferei planetei în urma acestui fenomen. Petele formate au fost observate pe suprafața planetei câteva zile.

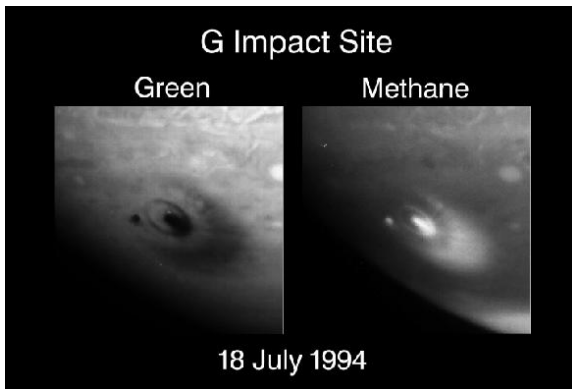


Figura: Urmele impactului între Jupiter și Shoemaker–Levi 9

Proprietățile fizice ale cometelor

Părțile componente ale cometei

La o cometă care se apropie de Soare se pot distinge

- ▶ *capul* și
- ▶ *coada* ei.

Capul cometei este alcătuit din *nucleu* și *coamă* sau *coma*.
Spectrul unei comete conține urme ale luminii solare, reflectate de nucleul cometei, și linii de emisie ale unor molecule.

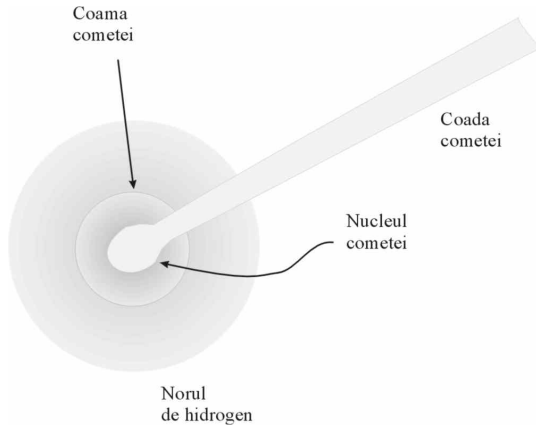


Figura: Nucleul, coama și coada unei comete

Nucleul cometei

- ▶ Aproape întreaga masă a cometei se află în nucleul cometei $M_c \approx 10^{-10} M_{\oplus}$.
- ▶ Diametrul nucleului cometei $D_c \in [1, 100]$ km.
- ▶ Nucleul cometei conține gaze înghețate (amoniac NH_3 , metan CH_4 , CO_2 , dician C_2N_2), apă înghețată și particule (firicele) de praf.

- ▶ La apropierea de Soare, temperatura efectivă la suprafața nucleului cometei crește proporțional cu $1/\sqrt{r}$, unde r este distanța la Soare.
- ▶ Gazele înghețate din interiorul cometei trec din stare solidă direct în stare gazoasă. Evaporarea gazelor conduce scăderea temperaturii la suprafața cometei și încetinirea fenomenului de sublimare a gazelor din nucleul ei.
- ▶ La suprafața nucleului cometei rămân particulele de praf, de aceea nucleul cometei are albedou mic. De exemplu, nucleul cometei Halley are albedou egal cu 0,02-0,04.



Figura: Nucleul cometei Halley fotografiat de **Giotto**

Coama cometei

- ▶ Prin evaporarea gazelor din nucleul cometei se formează **coama** cometei, care are diametrul $D \approx 10^5$ km.
- ▶ Densitatea de particule în coama cometei este $\approx 10^4 - 10^6$ particule/cm³.
- ▶ Din analiza spectrului comelor cometelor s-a ajuns la concluzia că acestea conțin ioni precum OH, C₂, C₃, N₂, CN, CH, CH₂, CO, NH, NH₂ și molecule de NH₃, CO₂ sau H₂O.

Coada cometei

- ▶ La apropierea de Soare, cometele construiesc **cozi** impresionante. Lungimea cozii cometei $L \approx 10^7$ km.
- ▶ Strălucirea și întinderea cozii cometei depinde de modul în care se produc gazele în interiorul cometei.
- ▶ În coada cometei intră particule de praf neutru și particule ionizate. Particulele neutre intră în alcătuirea **cozii de praf** a cometei, iar cele încărcate în **coada de ioni** a cometei.
- ▶ Datorită presiunii radiației solare, coada de praf este orientată în sens opus Soarelui, iar datorită interacțiunii cu câmpul magnetic solar, coada de ioni este orientată în sens opus Soarelui, în planul ecuatorului magnetic al Soarelui.
- ▶ Prin coada cometei se pot vedea stelele din spatele ei.



Figura: Coada de praf (gălbuie) și coada de ioni (albăstruie) a cometei West

- ▶ După trecerea la periheliu, odată cu îndepărtarea de Soare, temperatura la suprafața nucleului cometei scade.
- ▶ O parte din gazele eliberate din nucleul cometei se condensează și intră din nou în alcătuirea lui.
- ▶ O parte din particulele eliberate, sub acțiunea presiunii radiației solare sau a câmpului magnetic solar ajung la distanță prea mare pentru a reveni la suprafața nucleului cometei. Ele rămân împrăștiate pe orbita cometei.
- ▶ La fiecare trecere la periheliu, se consumă o parte din gazele înghețate din nucleul cometei, ca urmare coada cometei va fi din ce în ce mai puțin spectaculoasă.



Figura: Cometa Holmes-24 octombrie 2007

Corpuri meteorice

Meteorii sau **stelele căzătoare** sunt dărele 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**.

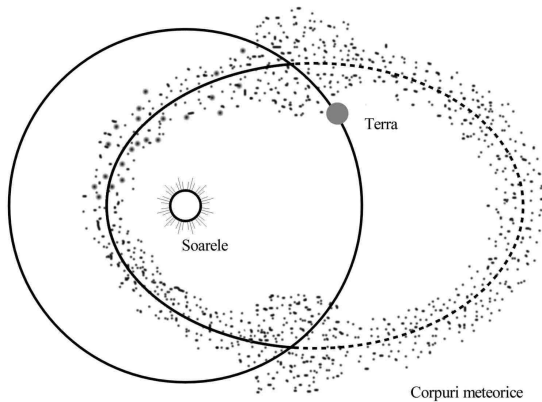


Figura: Particule rămase pe orbita unei comete

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 *curent* sau *roi meteoric*. Acesta poartă numele constelației în care se află radiantul curentului ¹.

¹Există și excepții de la această regulă. De exemplu curentul 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

Meteorii

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 **meteorii**.

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

La căderea lor pe Pământ corpurile meteorice sunt acoperite de o crustă de culoare închisă, neagră sau cenușie cu tonuri albastrui 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 parcurse 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 greutateii 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 ≈ 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 lor ². 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 meteoriților, 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.

Meteorii 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 șanțuri asemănătoare urmelor lăsate de degete într-o bucată de plastelină. Ele sunt alungite și înguste,

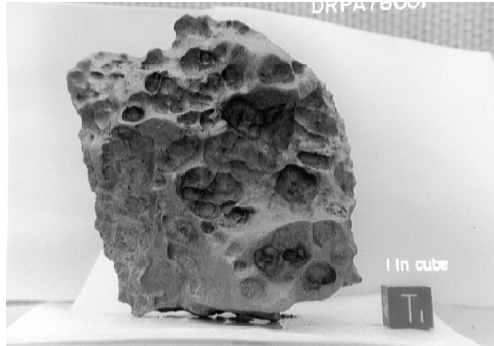


Figura: Adâncituri vizibile pe suprafața unui meteorit

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

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

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

Din punct de vedere morfologic meteorii 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 meteorii pietroși au compoziție chimică asemănătoare cu chondritele, dar așa cum și numele lor sugerează, fără textură chondritică.

Meteoriti chondritici



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

- ▶ 84 % din numărul total a meteoritelor 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 mineralogică este asemănătoare cu cea a rocilor din scoarța terestră.

Meteorii 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 meteoriților 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.

