

Astronomie - Cursul 10

Sateliții mari ai planetelor

Planete pitice

Corpuri mici din sistemul solar

Cristina Blaga

15 decembrie 2025

Sateliții mari ai planetelor

Definiții

Spunem că un corp descrie o *orbită kepleriană* dacă în timpul mișcării sale sunt îndeplinite cele trei legi deduse empiric de Kepler.

Prin *satelit* al unei planete înțelegem un corp care se mișcă în câmpul gravitațional al planetei pe o orbită kepleriană.

Planete terestre

Planetele terestre au puțini sateliți:

- ▶ Mercur și Venus nu au nici un satelit.
- ▶ Pământul are un satelit mare - Luna.
- ▶ Marte are doi sateliți mici: Phobos și Deimos¹.

¹Sateliții planetei Marte au primit numele unor personaje din mitologia greacă - Phobos și Deimos - Spaima și Furia - însotitori ai zeului războiului Marte.

Planete gigante

- ▶ Planetele gigante au un număr mare de sateliți, cei mai mulți descoperiți în urma analizei datelor de observație ale misiunilor spațiale.
- ▶ În sistemul solar sunt șase sateliți care au dimensiuni comparabile cu Luna
 - ▶ Io, Europa, Ganymede și Callisto - sateliții galileeni ai lui Jupiter,
 - ▶ Titan - satelitul lui Saturn,
 - ▶ Triton - satelitul lui Neptun.

Sateliții galileeni

Jupiter are patru sateliți mari - Io, Europa, Ganymede și Callisto.

Ei sunt numiți *sateliți galileeni* pentru că au fost descoperiți de Galileo Galilei, în 1610, cu ajutorul lunetei sale.

Sateliții galileeni au orbite aproape circulare situate în planul ecuatorial al planetei.

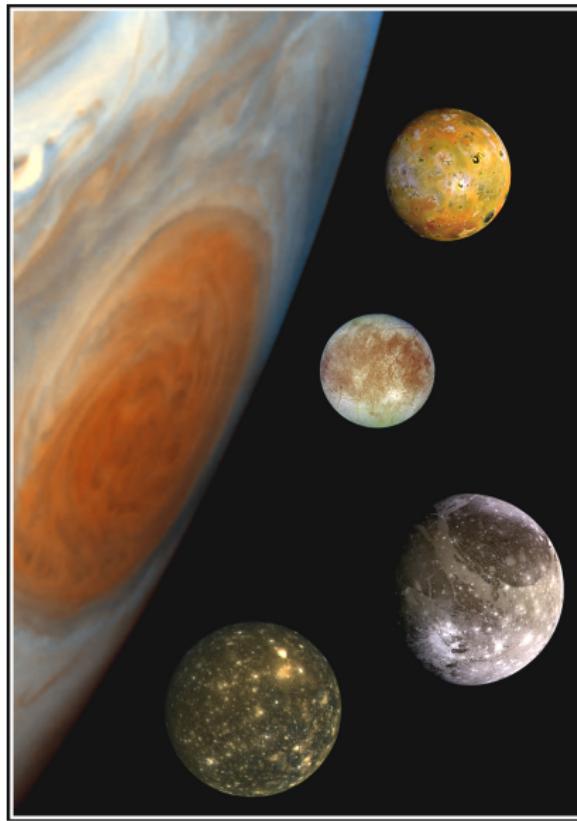


Figura: Sateliții galileeni

Titan și Triton

- ▶ Saturn are un satelit mare - Titan - descoperit de Christian Huygens în 1655.
- ▶ Cel mai mare satelit al lui Neptun, numit Triton, a fost descoperit de William Lassell, în 1846, la câteva săptămâni după ce planeta Neptun a fost văzută prima dată de Johann Galle.

- ▶ Ganymede, Titan și Callisto au diametrul asemănător cu Mercur, ceilalți trei au dimensiuni comparabile cu Luna.
- ▶ Densitatea medie a sateliților Io și Europa este comparabilă cu densitatea Lunii, restul sateliților au densitate cam 2/3 din densitatea Lunii, *i.e.* aproximativ 2000 kg/m^3 .
- ▶ Rotația sateliților este sincronă, *i.e.* perioada de rotație în jurul axei proprii este egală cu perioada orbitală, satelitul îndreptând mereu aceeași față spre planeta în jurul căreia se mișcă.

Titan

- ▶ *Titan* este cel mai mare satelit al lui Saturn și al doilea satelit din sistemul solar ca diametru.
- ▶ El are atmosferă densă, bogată în molecule de azot, metan, hidrogen și urme de hidrocarburi precum etan, acetilenă sau propan.
- ▶ Suprafața lui n-a putut fi văzută de pe Pământ din cauza norilor groși care îi acoperă permanent discul.
- ▶ Atmosfera lui are 600 kilometri grosime, raza medie a satelitului fiind egală cu 2576 kilometri.

Planete pitice

Planetele pitice sunt corpuși care (a) orbitează în jurul Soarelui, (b) au masă suficient de mare pentru ca forțele de atracție gravitațională dintre părțile sale componente să fie egale cu forțele de presiune internă astfel încât acestea să fie în echilibru hidrostatic, forma lor de echilibru fiind aproape sferică și (c) nu au curățat gravitațional vecinătatea orbitei pe care o descriu.

Ultima condiție din definiția planetelor clasice, respectiv pitice este cea care ne ajută să facem distincția între corpurile ce intră în prima sau a doua clasă.

După adoptarea rezoluției UAI privind clasificarea corpurilor din sistemul solar, *Ceres* (prima planetă mică descoperită în 1801) și *Pluto* au devenit *planete pitice*.

În iulie 2008, două corperi care se mișcă dincolo de orbita lui Neptun, *Eris*² și *Makemake*³ au fost incluse în clasa *planetelor pitice*.

Din septembrie 2009 planeta mică *Haumea*⁴ face parte din această clasă.

²Numele acestei planete mici descoperită în 2003 provine din mitologia greacă, unde *Eris* este zeița vrajbei. Satelitul planetei este numit *Dysmonia* după numele fiicei lui zeiței Eris.

³Această planetă a fost descoperită în 2005. Trei ani mai târziu a fost botezată *Makemake* după numele creatorului umanității și zeul fertilității din mitologia polineziană.

⁴Planeta, descoperită în 2003, a fost numită *Haumea* după numele zeiței hawaiene a fertilității. Sateliții ei au primit numele zeiței protectoare a insulei Hawai și a dansatorilor de hula *Hi'aka*, respectiv *Namaka* - spiritul apei în mitologia hawaiiană.

Ceres

- ▶ Ceres a fost prima planetă mică, descoperită în 1801 de Giuseppe Piazzi, din Sicilia. Ea a primit numele zeiței romane, protectoare a Siciliei.
- ▶ Semiaxa mare a orbitei este de 2,8 u.a., iar excentricitatea orbitei este 0,08, inclinarea planului orbital față de ecliptică este de 11°.
- ▶ Diametrul planetei este de aproximativ 930 km, masa este de $9,47 \cdot 10^{20}$ kg, $\bar{\rho} = 2,09\text{g/cm}^3$. Este de aproximativ 14 ori mai masiv decât Pluto.
- ▶ Interiorul lui Ceres este asemănător cu cel al unei planete terestre. Suprafața ei seamănă cu suprafața Lunii.

Pluto

- ▶ A fost descoperită în 1930 de pe Pământ de Clyde Tombaugh care căuta corpul care perturbă orbita planetei Neptun.
- ▶ În anii '70 s-a observat că planeta are un satelit, numit *Caron*. Pluto și Charon apar în câmpul instrumentelor de pe Pământ, ca o pată lunguiată. Figura următoare conține imaginea sistemului Pluto–*Caron*, obținută de la sol și cu ajutorul telescopului spațial Hubble, de la 4400 milioane de km distanță de acesta și orbita lui *Caron* în jurul planetei.

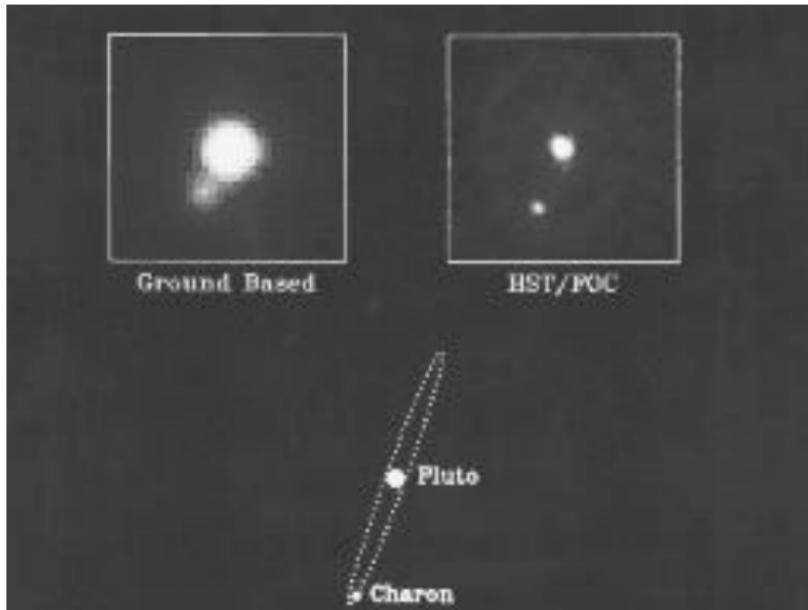


Figura: Pluto și Caron

- ▶ Cu ajutorul telescopului Hubble s-au descoperit încă patru sateliți ai planetei.
- ▶ Semiaxa mare a orbitei este de 40 u.a., iar excentricitatea orbitei este 0,25 și înclinarea planului orbital față de ecliptică este de 17° .
- ▶ Perioada orbitală a lui Pluto este de 248 de ani.
- ▶ Din 1979 până în 1999, când planeta s-a aflat aproape de periheliul orbitei sale, Pluto a fost mai aproape de Soare decât planeta Neptun.

Observație

*Planetele pitice care se mișcă dincolo de orbita lui Neptun sunt denumite **plutoizi**, pentru că seamănă cu planeta Pluto, i.e. se mișcă pe orbite alungite, situate în plane înclinate față de ecliptică, masa lor fiind comparabilă cu masa lui Pluto.*

Cu excepția planetei pitice Makemake, plutoizii au sateliți naturali, lucru care a permis determinarea masei lor. Planeta pitică *Eris* are masa cu aproximativ 27% mai mare decât masa lui Pluto.

Eris, Makemake, Haumea

- ▶ Orbita planetei este într-un plan înclinat față de ecliptică cu 47° .
- ▶ Semiaxa mare a orbitei lui Eris este egală cu aproximativ 68 unități astronomice, iar excentricitatea ei este egală cu 0,44.
- ▶ Restul plutoizilor au orbite situate în plane mai puțin inclinate față de ecliptică, mai mici de 30° , semiaxe mari cuprinse între 40 și 45 unități astronomice, iar excentricitatea sub 0,25.
- ▶ Perioadele lor orbitale sunt mai mici de 306 ani terestri. Eris are nevoie de 561 ani terestri pentru o revoluție completă în jurul Soarelui.

Planete mici

Planetele mici sunt numite și asteroizi, deoarece văzute printr-un telescop de dimensiuni medii, ele par să fie punctiforme ca și stelele. Există puține planete mici care se văd cu ochiul liber, ca o stea puțin strălucitoare, ca de exemplu *Vesta*, care atunci când este aproape de Pământ se poate vedea cu ochiul liber. Primele planete mici care au fost descoperite în secolul al XIX-lea se mișcă între orbita lui Marte și Jupiter, de aceea s-a crezut că mișcarea lor are loc doar în aceea regiune. În secolul XX s-au descoperit planete mici care au traiectorii care intersectează orbita Pământului sau care se mișcă dincolo de orbita lui Neptun.

Prima planetă mică descoperită

Conform legii lui Titius-Bode, între orbita lui Marte și Jupiter, la 2,8 u.a. depărtare de Soare, s-ar afla o planetă. În aceea regiune, la 1 ianuarie 1801, astronomul italian Giuseppe Piazzi (1746-1826) a observat prima planetă mică, pe care a numit-o *Ceres*. Aceasta se mișcă pe o traiectorie aproape circulară, la aproximativ 2,7 u.a. de Soare. Diametrul mic al planetei, sub 1000 km, explica de ce ea nu a fost observată mai devreme. Din 2006, această planetă mică a fost inclusă în clasa planetelor pitice.

Brâul principal de asteroizi

În 1802, încercând să găsească planeta *Ceres*, astronomul german Wilhelm Olbers (1758-1840), a descoperit în vecinătatea ei o altă planetă mică, pe care a numit-o *Pallas*. El a formulat ipoteza că cele două planete mici, care se mișcă la aproximativ aceeași distanță de Soare ar fi fragmentele unui corp care a explodat în urma perturbațiilor produse de Marte și Jupiter. Era puțin probabil ca în urma exploziei să fi rezultat numai două fragmente, de aceea el sugera continuarea căutării rămășițelor corpului ceresc.

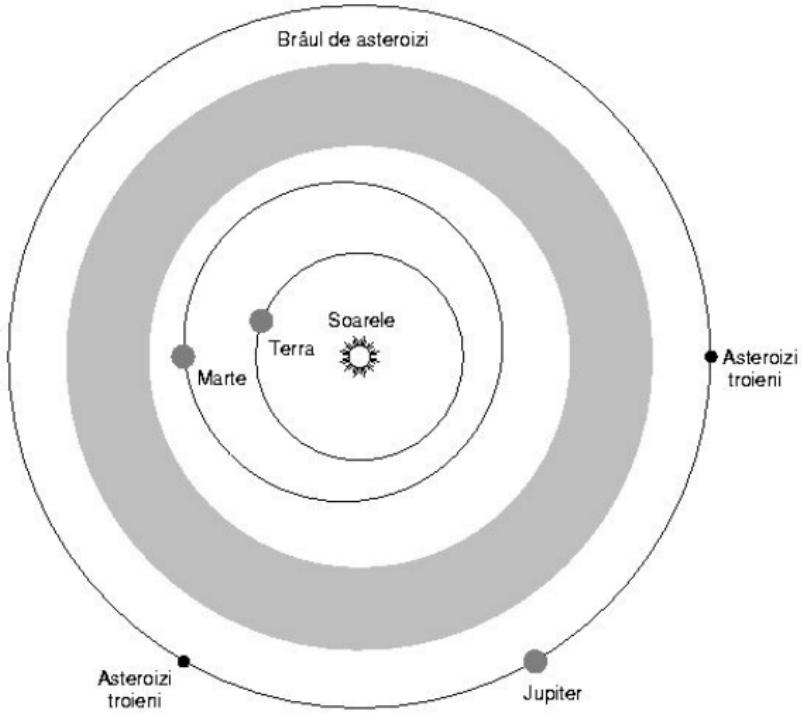


Figura: Inelul principal de asteroizi și *planetele troiene*

Asteroizi din vecinătatea orbitei terestre

În anii '30 s-au găsit planete mici care au traiectorii care traversează orbita Pământului. Astfel, în 1932, Delporte a descoperit planeta mică numită *Amor* care ajunge la aproximativ 16 milioane distanță de orbita Pământului. În același an Reimunth a văzut pentru prima dată planeta mică numită *Apollo* care se apropie la 4,6 milioane de orbita Pământului. În 1936, Delporte găsește o altă planetă mică, denumită *Adonis* care are periheliul aproape de orbita lui Mercur. În anul următor, Reimunth a descoperit un alt asteroid, numit *Hermes* care se apropia mai tare de Pământ.

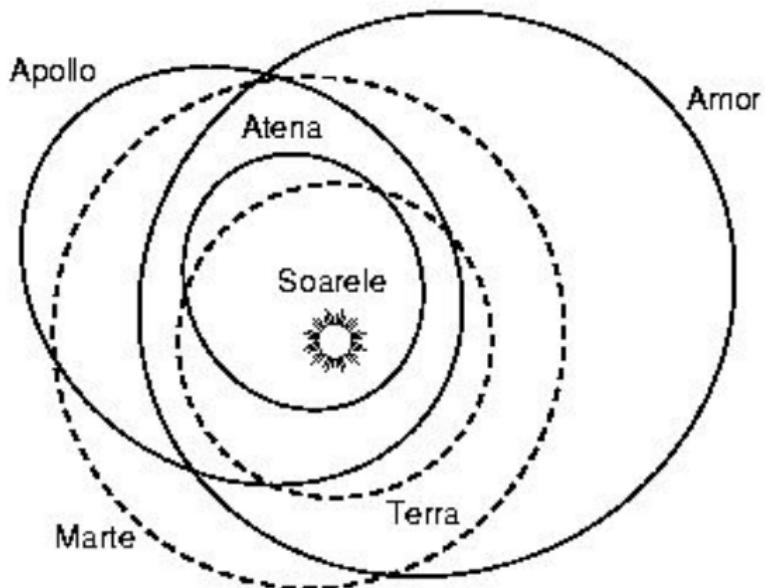


Figura: Orbitele asteroizilor din clasele *Apollo*, *Atena* și *Amor*

Obiecte transneptuniene

- ▶ Obiectele transneptuniene (OT) sau asteroizii din centura lui Kuiper sunt corpuri mici înghețate care se mișcă dincolo de orbita lui Neptun.
- ▶ Două treimi din OT se mișcă pe orbite cvasicirculare, excentricitatea lor este de aproximativ 0,07, înclinarea planului orbital este mai mică decât 32° și semiaxa mare este cuprinsă între 42 și 47 u.a.
- ▶ Restul corpurilor par a fi în rezonanță cu Neptun, i.e. raportul dintre perioada lor orbitală și perioada lui Neptun este un număr rațional. Adică, în timpul în care Neptun descrie un anumit număr de orbite, OT descrie și el un alt număr întreg de orbite. De exemplu Neptun și Pluto sunt în rezonanță 3:2.

- ▶ În urma analizei spectrelor asteroiziilor ei au fost împărțiti în trei grupe: pietroși, metalici și cu conținut mare de carbon. În asteroizii pietroși sunt predominantă silicătii. Cei metalici, conțin aliaje de fier și nichel, iar în ultima grupă intră asteroizi în care apare carbonul și compușii lui. Ei se disting și prin valorile diferite ale albedoului. Astfel, asteroizii bogăți în carbon au albedou mic, cuprins între 2% și 5 %. Asteroizii metalici⁵ au albedoul de circa 10 %, iar cei pietroși de peste 15 %.

⁵Aceștia reprezintă circa 5 % din numărul total de asteroizi.



Figura: Asteroidul Gaspra

La 28 august 1993 sonda **Galileo** a survolat un alt asteroid. Este vorba de *Ida*, de care s-a apropiat la 2400 de km. Pe imaginile realizate cu această ocazie s-a descoperit satelitul acestei planete mici. El se mișcă la aproximativ 100 de km distanță de *Ida* și a fost numit *Dactyl*⁶. *Ida* este un asteroid alungit asemănător unui elipsoid cu semiaxele de 56, 24 și 21 km, iar *Dactyl* are aproximativ 1,5 km diametru. Cele două corpuși par a avea origine comună.

⁶Numele a fost ales din mitologia greacă. *Ida* era una dintre doicile lui Zeus, dar este și numele unui munte din Creta. Dactylii erau învățați din vechime care locuiau pe muntele Ida și care au ocrotit copilăria lui Zeus.



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 apropiie de corpuri masive, în urma căroror 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.

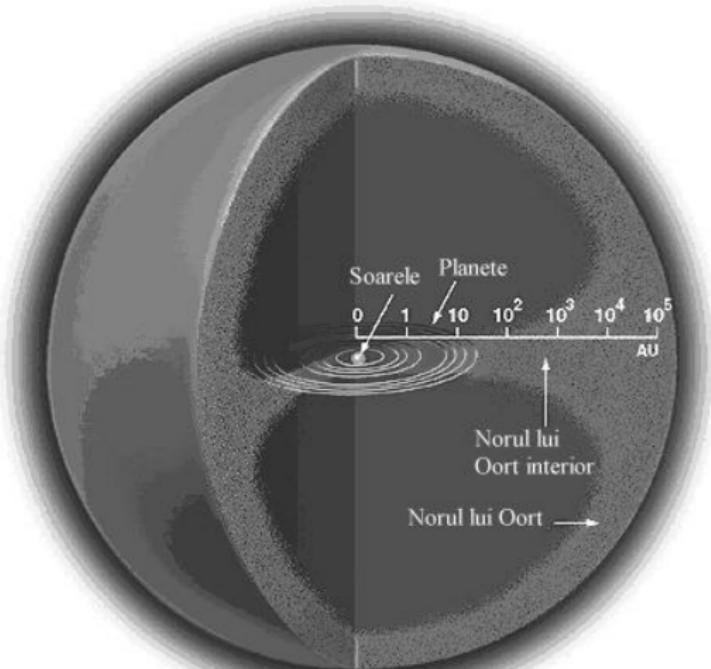


Figura: Norul lui Oort

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 să înregistreze 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 distințe, fragmentele rezultate, care au masă diferită de masa cometei care s-a fragmentat, se mișcă pe traекторii diferite, cu parametrii orbitali asemănători.

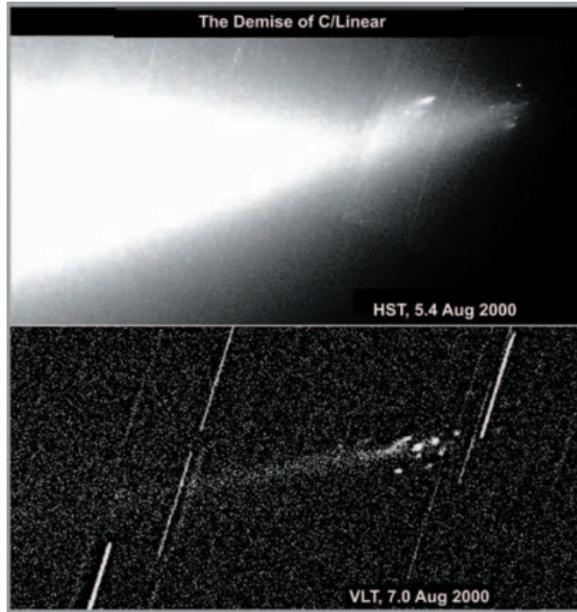


Figura: Fragmentarea unor comete la trecerea la periheliu

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.

Comet P/Shoemaker-Levy 9 (1993e) • May 1994



Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

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.

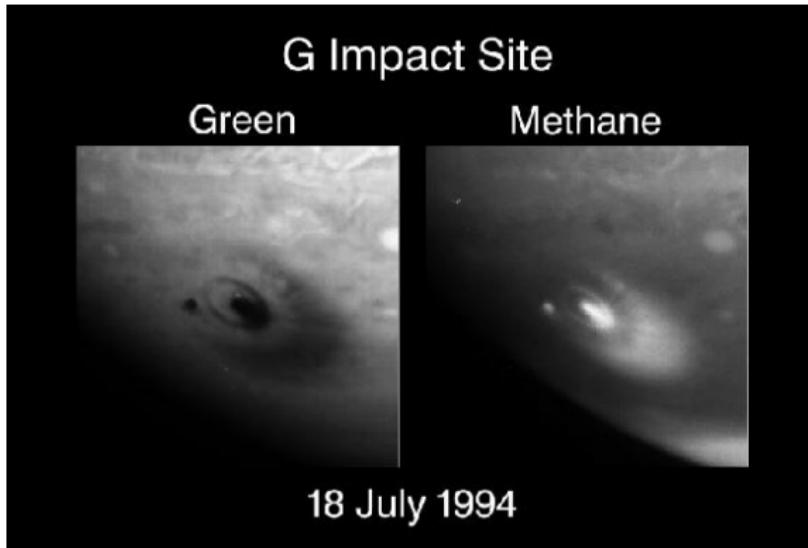


Figura: Urmele impactului între Jupiter și Shoemaker–Levi 9

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.

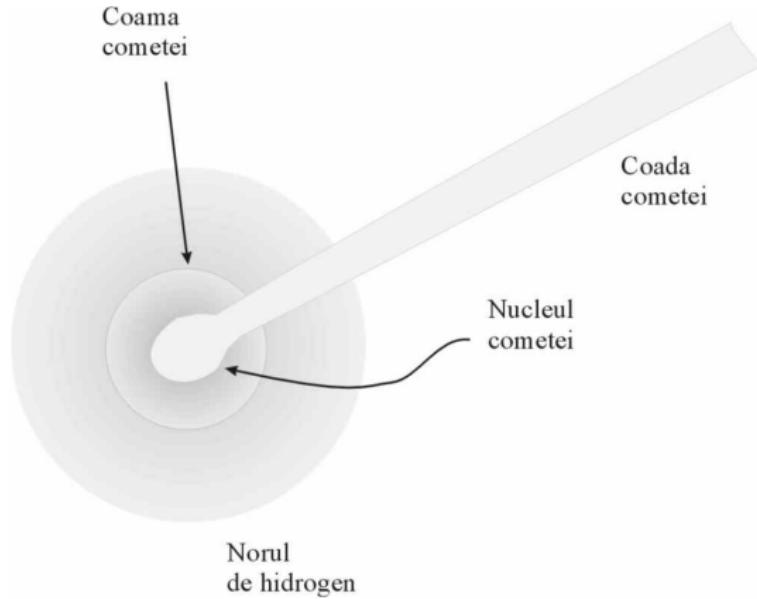


Figura: Nucleul, coama și coada unei comete

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 (gălbui) și coada de ioni (albăstrui) a cometei West

- ▶ După trecerea la periheliu, odată cu îndepărțarea 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