

Astronomie

Cursul 12 - Planete, planete pitice și asteroizi

Cristina Blaga

14 decembrie 2021

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.
- ▶ Sondele spațiale care s-au apropiat de planete au descoperit corpuri de dimensiuni mici, care se mișcă în jurul planetelor, ce nu pot fi văzute de pe Pământ.
- ▶ În continuare vom descrie cei șase sateliți mari ai planetelor gazoase, 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 Galilei², în 1610, cu ajutorul lunetei sale.

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

²Descoperirea acestor sateliți a însemnat revoluționarea ideilor despre Univers. Atunci se credea că Pământul este centrul Universului, i.e. toate corpurile din Univers: planetele, Soarele, Luna și stelele se mișcă în jurul lui. Descoperirea sateliților galileeni, care se mișcau în jurul altui corp din Univers, contrazicea teoria geocentrică și venea în sprijinul teoriei heliocentrice care afirma că Soarele este în centrul Universului, planetele mișcându-se în jurul lui.



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.

- ▶ Io este satelitul galileean care se mișcă la cea mai mică distanță de planetă.
- ▶ Sondele spațiale care s-au apropiat de el au observat vulcani activi pe suprafața lui acoperită de pete roșii, portocalii, galbene, albe sau întunecate. Activitatea vulcanică a satelitului este rezultatul perturbațiilor mareice produse asupra lui de Jupiter și Europa, satelit vecin cu Io.
- ▶ Regiunile colorate de pe suprafața lui sunt acoperite cu sulfuri și alți compuși ai sulfului, substanțe împrăștiate pe suprafața satelitului în timpul eruptiilor vulcanice.
- ▶ Petele întunecate reprezintă vulcanii activi.

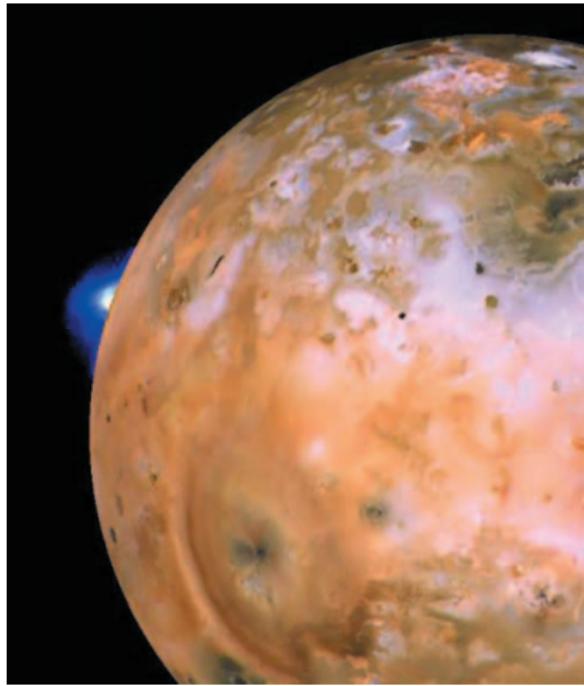


Figura: Io

Europa

- ▶ *Europa* este al doilea satelit galileean ca distanță de la planetă.
- ▶ Suprafața lui netedă, brăzdată de sănțuri adânci închise la culoare, pare a fi înghețată.
- ▶ Orbita satelitului are excentricitatea egală cu 0,0094, de aceea efectul mareic produs de Jupiter asupra lui este relativ mare. Căldura degajată datorită frecării dintre păturile superioare ale satelitului menține în stare fluidă materia de sub scoarța lui.
- ▶ Datorită interacțiunii electromagnetice cu Jupiter în zonele polare ale satelitului s-au observat aurore polare.

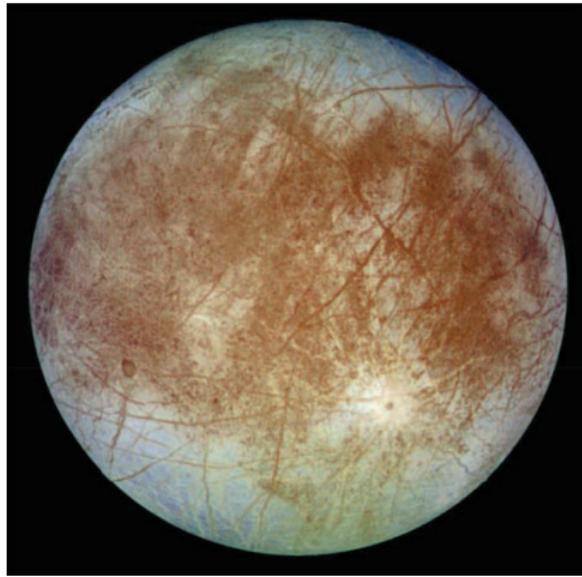


Figura: Europa

Ganymede

- ▶ *Ganymede* este al treilea satelit galileean ca distanță de Jupiter și, ca diametru, cel mai mare satelit din sistemul solar.
- ▶ Raza lui este mai mare decât raza lui Mercur, densitatea medie este aproximativ $\frac{2}{3}$ din densitatea Lunii, de aceea presupunem că satelitul este un amestec de rocă și gheață. Pe suprafața lui s-au observat regiuni întunecate acoperite cu cratere de impact și regiuni deschise la culoare traversate de văi adânci.
- ▶ În vecinătatea lui s-a observat o atmosferă extrem de rarefiată care conține oxigen, vaporii de apă și dioxid de carbon.
- ▶ Se presupune că satelitul are un nucleu bogat în fier topit. Existența lui ar explica câmpul magnetic al lui Ganymede.

Callisto

- ▶ *Callisto* este al patrulea satelit galileean ca distanță de Jupiter.
- ▶ Suprafața lui înghețată este acoperită cu cratere de impact. Densitatea de crater observate pe suprafața lui Callisto este aproximativ egală cu cea de pe cele mai vechi corpuri din sistemul solar, de aceea se presupune că satelitul a fost inactiv din punct de vedere geologic în ultimele mii de milioane de ani.
- ▶ Pe suprafața lui Callisto s-a observat un crater de impact asimetric de aproximativ 500 km diametru - numit Valhalla. El este înconjurat de valuri de scoarță care se întind până la 1500 km depărtare de centrul craterului. Se pare că el s-a format acum câteva mii de milioane de ani în timpul solidificării scoarței satelitului.

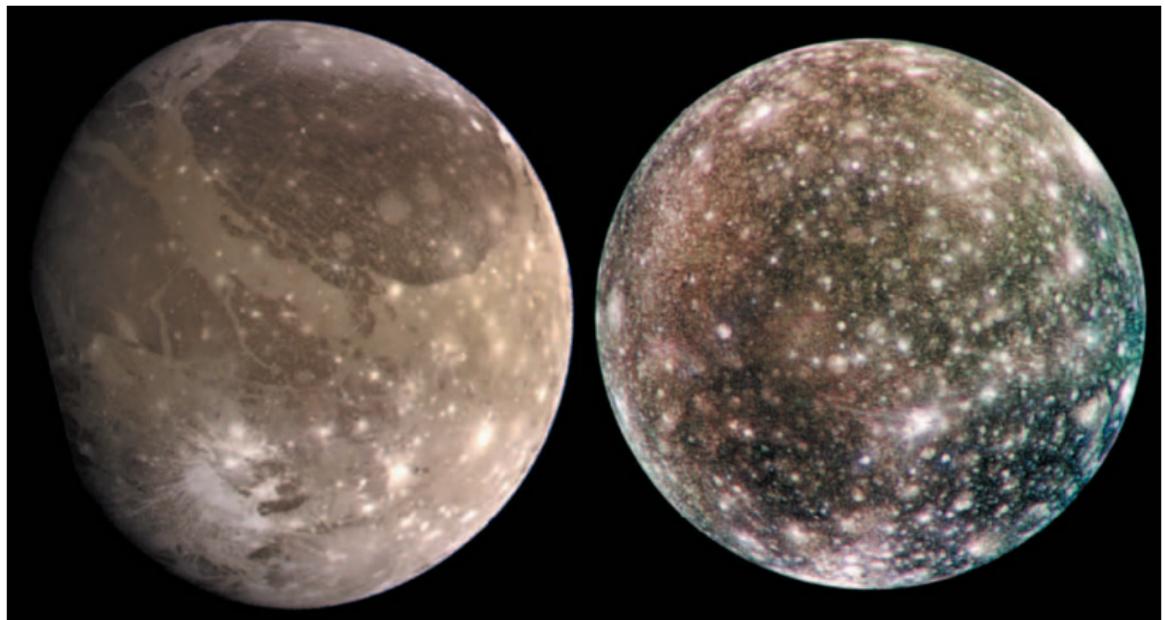


Figura: Ganymede și Callisto

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.

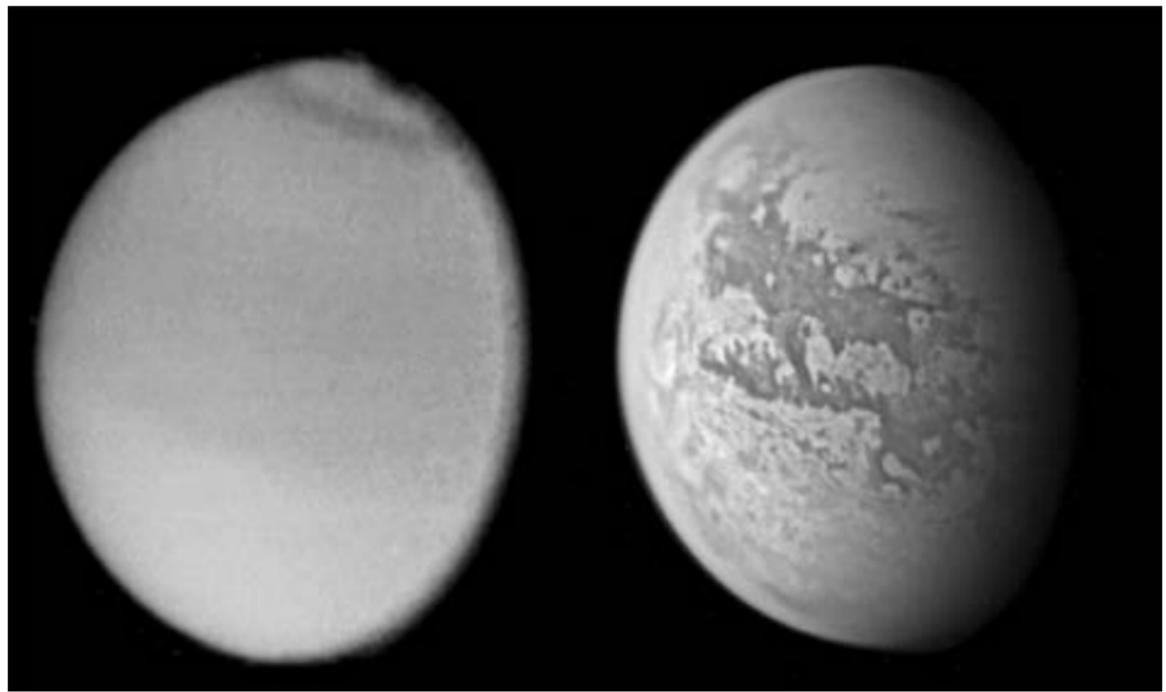


Figura: Titan

- ▶ Suprafața lui Titan este Tânără din punct de vedere geologic.
- ▶ Relieful lui este relativ plat, cei mai înalți munți de pe Titan au 1 kilometru înălțime. Pe suprafața lui sunt puține cratere de impact sau vulcanice. Temperatura medie la suprafața lui Titan fiind foarte scăzută, vulcanii sunt *de gheăță* sau *criovulcani*³, i.e. lava lor conține vaporii de apă, amoniac, metan și alte gaze care se solidifică când ajung în atmosfera satelitului.

³Se presupune că *vulcani de gheăță* există și pe alte corpuri din sistemul solar care au la suprafață temperatură foarte scăzută, precum Europa sau Ganymede.

Triton

- ▶ Triton, cel mai mare satelit al lui Neptun, se mișcă pe o orbită aproape circulară, la o distanță medie de 14,6 raze neptuniene de planetă.
- ▶ Înclinarea planului orbitei sale față de ecliptică este de 157° , mișcarea lui fiind retrogradă⁴.
- ▶ Triton este corpul care are cea mai mică temperatură la suprafață ($T = 38\text{ K}$) și cel mai mare albedou la suprafață ($a = 0,7$) măsurate în sistemul solar.
- ▶ Pentru a explica caracteristicile lui cinematice și fizice s-a emis ipoteza că ar fi un corp capturat de Neptun din centura lui Kuiper.

⁴Restul sateliților mari ai planetelor, despre care am discutat până acum, se mișcă pe orbite în sens direct, *i.e.* de la vest la est. Unii sateliți mici ai planetelor gazoase se mișcă retrograd.

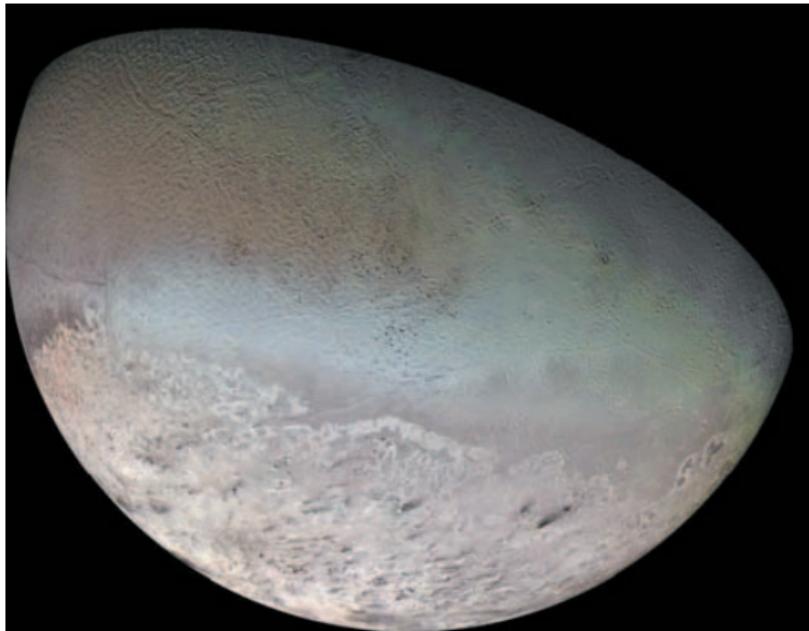


Figura: Triton - cel mai mare satelit al lui Neptun

- ▶ Atmosfera lui Triton conține azot molecular și urme de metan. Ea este foarte rarefiată și stabilă, datorită temperaturii foarte scăzute și a accelerării gravitaționale mari la suprafața satelitului.
- ▶ Relieful este relativ plat, diferența de nivel între blocurile de scoarță și văile care le despart este de câteva sute de metri. Pe suprafața lui există un număr mic de cratere de impact și de vulcani de gheață.
- ▶ S-au observat pete întunecate alungite, de forma unor pene, care este posibil să conțină gaze emise de vulcanii de gheață sau de gheizerale de pe Triton, care se ridică vertical în troposfera satelitului, care are aproximativ 8 kilometri grosime, și care apoi sunt împăraștiate spre vest, pe distanțe de zeci de kilometri.

Inelele planetelor

- ▶ În 1610, după descoperirea sateliților lui Jupiter, Galileo Galilei a cercetat cu atenție vecinătatea planetei Saturn și a avut impresia că vede doi sateliți care se mișcă la distanță foarte mică de planetă. Câțiva ani mai târziu a remarcat dispariția lor.
- ▶ El descoperise inelele lui Saturn care se află în planul ecuatorial al planetei și au grosime neglijabilă în raport cu diametrul planetei.
- ▶ Când Pământul traversează planul ecuatorial al planetei, inelele ei nu se mai văd de pe Pământ. Așa se explică de ce Galileo Galilei a observat dispariția lor.

Limita Roche

- ▶ Inelele lui Saturn au fost studiate de Christiaan Huygens care în 1655 a emis ipoteza că ar fi vorba despre un inel de materie solid care nu atinge planeta.
- ▶ În 1675 Giovanni Cassini a observat că inelul lui Saturn este alcătuit din două părți distincte, zona de separare fiind cunoscută astăzi sub numele de *diviziunea Cassini*.
- ▶ Natura, structura și stabilitatea acestor inele a preocupat multe minți luminate. În 1850 Edouard Roche studiind efectul forței mariice a unei planete asupra unui satelit lichid a observat că există o limită pe care dacă satelitul o trece este distrus.

Definiție

Limita Roche este regiunea din vecinătatea planetei în care corpurile sunt fragmentate din cauza efectului mareic⁵ produs de planetă.

⁵ *Efectul mareic* este apărut datorită dependenței forței gravitaționale de distanța de la planetă la diferitele puncte ale corpului mic.

- ▶ Pentru a obține limita Roche considerăm un corp de dimensiuni mici care se mișcă în câmpul gravitațional al unei planete.
- ▶ Fie o planetă omogenă de masă M , rază R și centru de masă O , în jurul căruia se mișcă un corp de masă mult mai mică. Presupunem că corpul mic este alcătuit din două sfere omogene tangente exterior de masă m și rază r mult mai mici decât masa, respectiv raza planetei. Centrele de masă ale sferelor sunt notate cu O_1 , respectiv O_2 .

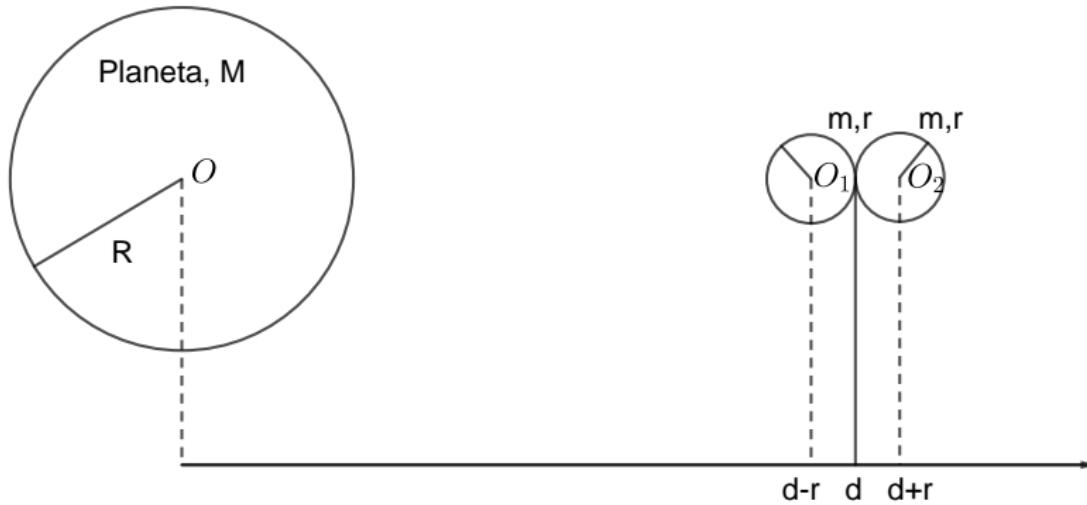


Figura: Limita Roche

- Distanța $OO_1 = d - r$, iar $OO_2 = d + r$, unde $r \ll d$. Forța cu care planeta acționează asupra primei sfere este orientată spre O pe direcția O_1O are mărimea

$$G \frac{Mm}{(d - r)^2},$$

iar cea cu care acționează asupra celei de-a doua este orientată spre O are punctul de aplicație în O_2 și modulul egal cu

$$G \frac{Mm}{(d + r)^2}.$$

Diferența dintre forțele cu care sunt atrase cele două sfere de către planetă este

$$\Delta F = \frac{GMm}{(d-r)^2} - \frac{GMm}{(d+r)^2} = \frac{GMm}{d^2} \left(\frac{1}{\left(1 - \frac{r}{d}\right)^2} - \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{d}\right)^2} \right). \quad (1)$$

Diferența ΔF de mai sus trebuie comparată cu forța de legătură dintre sfere egală cu

$$f = G \frac{m^2}{4r^2}.$$

Pentru a afla aproximativ ΔF dezvoltăm în serie Taylor descăzutul și scăzătorul din relația (1) pentru $r/d \ll 1$. Pentru aceasta calculăm polinoamele Taylor atașate funcțiilor

$$f_1(x) = \frac{1}{(1-x)^2} \quad \text{și} \quad f_2(x) = \frac{1}{(1+x)^2} \quad (2)$$

în vecinătatea punctului $x = 0$,

$$f_1(x) = f_1(0) + \frac{1}{1!} f'_1(0)(x - 0) + \mathcal{O}(x^2) = 1 + 2x + \mathcal{O}(x^2), \quad (3)$$

$$f_2(x) = f_2(0) + \frac{1}{1!} f'_2(0)(x - 0) + \mathcal{O}(x^2) = 1 - 2x + \mathcal{O}(x^2). \quad (4)$$

Înlocuind în (1) obținem

$$\Delta F = \frac{GMm}{d^2} \left[1 + 2\frac{r}{d} - 1 + 2\frac{r}{d} + \mathcal{O}\left(\frac{r}{d}\right)^2 \right] = \frac{GMm}{d^2} 4\frac{r}{d} + \mathcal{O}\left(\frac{r}{d}\right)^2.$$

Cum $r/d \ll 1$, neglijând termenii de ordinul doi în r/d , găsim

$$\Delta F \approx 4 \frac{GMm}{d^3} r. \quad (5)$$

Reamintim că forța de legătură dintre sfere este

$$f = G \frac{m^2}{4r^2}.$$

- ▶ Dacă $\Delta F \leq f$ legătura dintre cele două sfere de masă m nu poate fi ruptă.
- ▶ Dacă $\Delta F > f$ forța cu care este atrasă prima sferă de către corpul central este mai mare decât forța de leagătură dintre sfere și ele se desprind una de cealaltă.

Definiție

Valoarea lui d pentru care forța perturbatoare este egală cu forța de legătură se numește *limita Roche* sau *distanța Roche*.

Limita Roche

Se notează cu d_R și are expresia aproximativă

$$d_R \approx \sqrt[3]{16r^3 \frac{M}{m}} \approx 2,52 \sqrt[3]{\frac{\bar{\rho}_p}{\bar{\rho}_c}} R \quad (6)$$

unde $\bar{\rho}_p$ este densitatea medie a planetei, $\bar{\rho}_c$ densitatea medie a corpului mic, iar R raza planetei.

Dacă în interiorul corpului mic există forțe care contribuie la rigidizarea corpului, coeficientul din fața radicalului din relația (6) are altă valoare. De exemplu, dacă se consideră un satelit solid și forțele mărețice care acționează asupra lui se obține

$$d_R \approx 1,44 \sqrt[3]{\frac{\bar{\rho}_p}{\bar{\rho}_c}} R. \quad (7)$$

Constanta de proporționalitate depinde de cât de puternice sunt forțele de legătură din interiorul corpului mic.

Sateliții artificiali ai planetelor sunt corpuri rigide, ei se pot mișca pe orbite cu raze mai mici decât limita Roche fără a se fragmenta, dar de regulă sateliții naturali cu rază mai mare de 40 km se mișcă în afara limitei Roche a planetei.

Despre inelele planetelor care se află în interiorul limitei lor Roche, se presupune că sunt alcătuite din particule care nu s-au putut condensa pentru a forma un satelit din cauza efectului mareic al planetei.



Figura: Inelele lui Saturn fotografiate de telescopul spațial Hubble

- ▶ De pe Pământ au fost descoperite inelele planetelor Saturn, Uranus și Neptun, dar din spațiu s-a observat existența inelelor de materie din vecinătatea lui Jupiter.
- ▶ Dimensiunea particulelor din inelele planetelor diferă de la o planetă la alta. Cele mai mici sunt în inelul lui Jupiter, cu diametru de $1\text{-}2 \mu$, iar cele mai mari în inelul lui Saturn, cu diametre între câțiva centimetri și câțiva metri.
- ▶ În inelele lui Uranus și Neptun se găsesc particule de dimensiuni mici, cu diametru de câțiva microni până la câțiva centimetri.

- ▶ În interiorul limitei Roche au fost descoperiți sateliți mici ai planetelor, cu masă mică și rază sub 40 km, care contribuie la stabilitatea inelelor planetelor. În funcție de rolul pe care îl joacă ei pot fi împărțiți în clase diferite.
- ▶ *Sateliții ciobănești* mențin pe orbite stabile particulele din inelele în vecinătatea cărora se mișcă, ca și câinii de întors oile care au grija ca oile din turmă să nu se îndepărteze de ea și să se piardă.

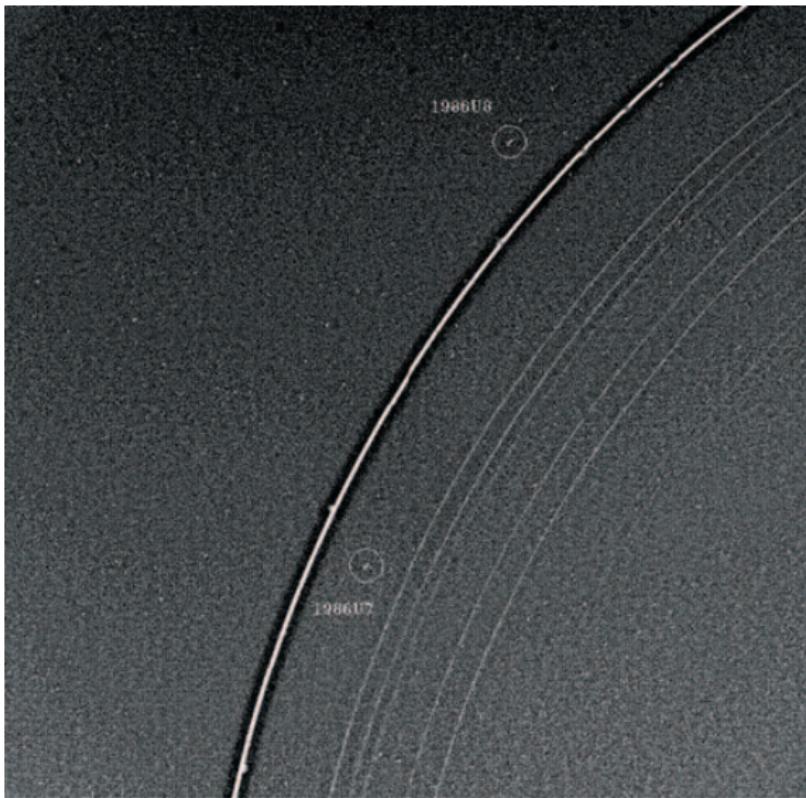


Figura: Sateliți ciobănești observați la inelul lui Neptun

- ▶ În primă aproximatie putem presupune că particulele din inelele planetelor se mișcă pe orbite kepleriene în jurul planetei.
- ▶ S-a observat că raportul dintre perioada orbitală a sateliților din vecinătatea inelelor lui Saturn și a particulelor care ar fi trebuit să se afle în diviziunea Encke sau Cassini este un număr rațional, fapt care a condus la concluzia că pentru a înțelege distribuția particulelor din inelele planetelor și stabilitatea lor trebuie considerată interacțiunea gravitațională dintre planetă, particulele din inele și sateliții din vecinătatea lor.



Figura: Satelit în diviziunea lui Encke care asigură stabilitatea inelelor lui Saturn.

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*⁶ și *Makemake*⁷ au fost incluse în clasa *planetelor pitice*.

Din septembrie 2009 planeta mică *Haumea*⁸ face parte din această clasă.

⁶Numele 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.

⁷Această planetă a fost descoperită în 2005. Trei ani mai târziu a fost botezată *Makemake* după numele creatorului umanității și zeul fertilității din mitologia polineziană.

⁸Planeta, 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.

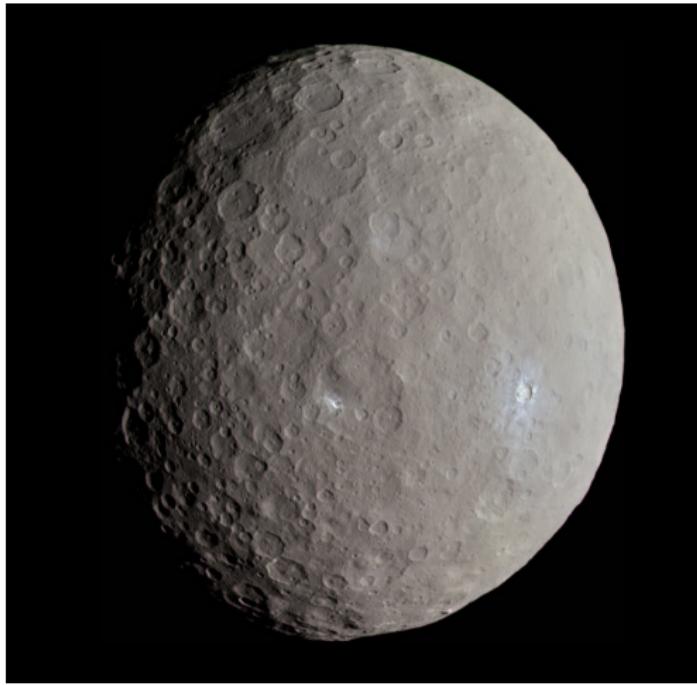


Figura: Ceres

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.

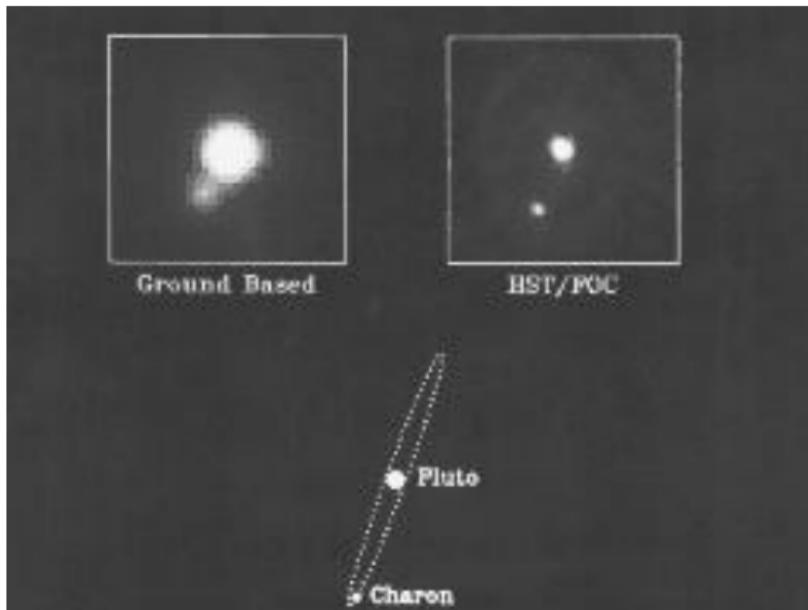


Figura: Pluto și Caron

- ▶ 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.



Figura: Suprafața planetei Pluto

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 inclinate 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 terestre. Eris are nevoie de 561 ani terestre 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.

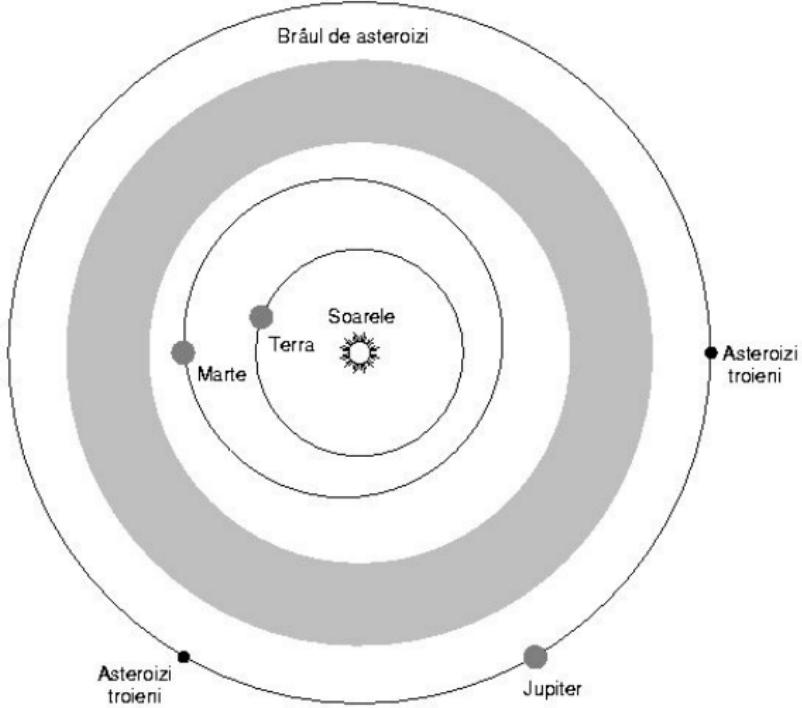


Figura: Inelul principal de asteroizi și *planetele troiene*

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.

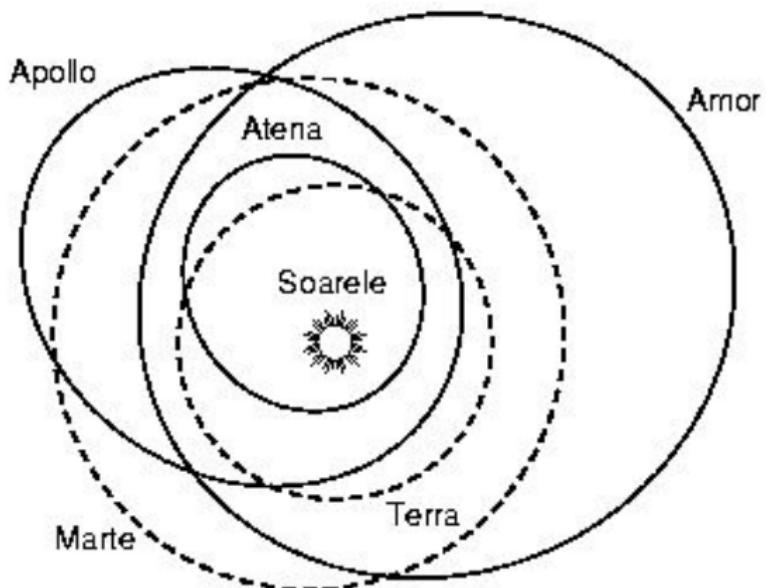


Figura: Orbitele asteroizilor din clasele *Apollo*, *Atena* și *Amor*

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 metalici ⁹ au albedoul de circa 10 %, iar cei pietroși de peste 15 %.

⁹Aceștia 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*¹⁰. *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 să aibă origine comună.

¹⁰ Numele 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.





Figura: Asteroizii Ida și Dactyl