Stardust - medjunarodni projekat za proučavanje asteroida i svemirskog otpada

Bojan Novaković

Katedra za astronomiju, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Departman za fiziku, PMF Novi Sad

19 Mart 2015

Sadržaj

1. Projekat STARDUST
   - Šta je Stardust projekat
   - Partneri na projektu
   - Astronomska opservatorija i Stardust
2. Asteroidi
   - Glavne faze nastanka Sunčevog sistema
   - Ostaci procesa formiranja Sunčevog sistema
   - Sastav asteroida i taksonomska klasifikacija
   - Gde se sve asteroidi nalaze?
   - Dinamika asteroida: stabilno vs haotično kretanje
3. Asteroidi u okolini Zemlje
   - Dinamički životni vek
   - Transport iz Glavnog asteroidnog prstena u blizinu Zemlje
   - Familije asteroida kao izvori asteroida u blizini Zemlje
4. Dinamička analiza Hoffmeister familije asteroida
   - Neobična raspodela članova familije
   - Numeričke simulacije
   - Evolucija familije u prostoru sopsvenih orbitalnih elemenata

www.stardust2013.eu

- FP7 projekat finansiran od strane Evropske unije
- Pokriva različite naučne aspekte vezane za asteroide i svemirski otpad
- Mreža institucija širom Evrope
- Glavni cilj je sinteza znanja iz različitih naučnih i inženjerskih oblasti u jedinstvenu i funkcionalnu celinu
- Naglasak na treningu budućih naučnika, inženjera i kreatora politike
- Povezivanje akademskog sektora i industrije

Ko učestvuje u projektu

- 10 punopravnih partnera
- 6 pridruženih institucija
- 10 ESRs + 4 ERs

Uloga Astronomske opservatorije

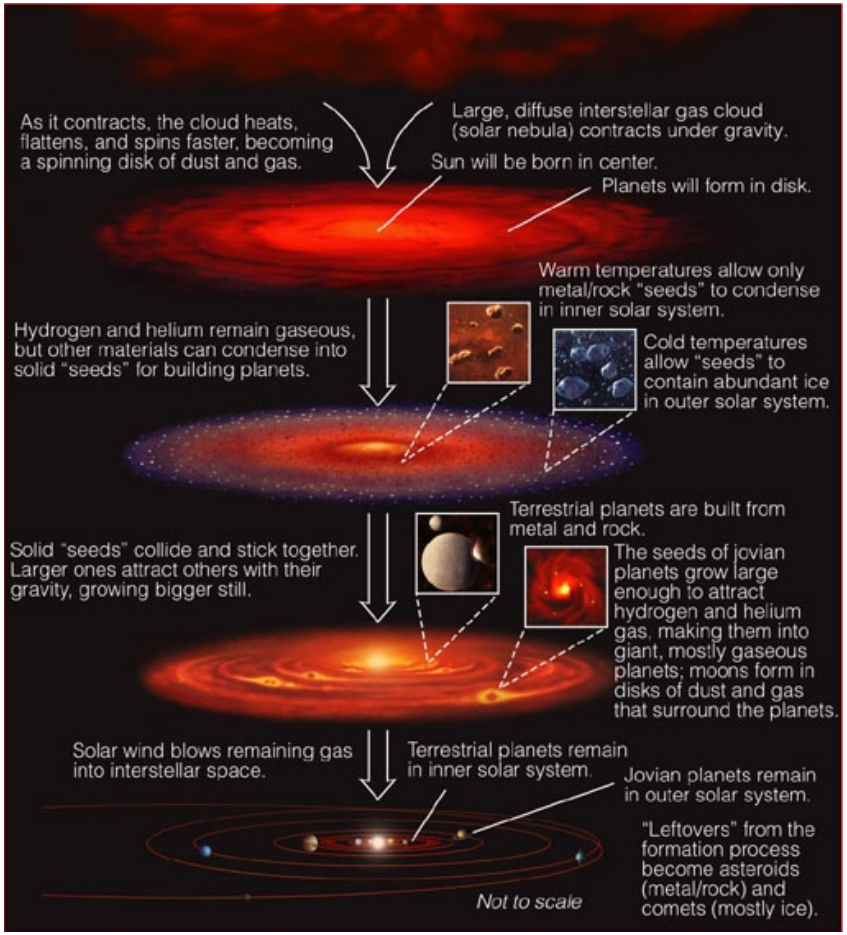
- Istraživanja u okviru Stardust projekta mogu se podeliti u tri velike kategorije:
  - Modeliranje i simulacije
  - Odredjivanje orbita i procena rizika sudara
  - Razvoj tehnologija za uklanjanje/skretanje pretećih nebeskih objekata
- Modeliranje i simulacije:
  - Modeliranje orbitalne dinamike
  - Dugoperiodična evolucija putanja asteroida i veštačkih satelita
  - Modeliranje i simulacija ponašanja oblaka fragmenata
  - Modeliranje i simulacija sudara
  - Modeliranje i simulacija ulaska u atmosferu
  - Poreklo i karakterizacija asteroida

Uloga Astronomske opservatorije

Poreklo i karakterizacija asteroida, glavni ciljevi:

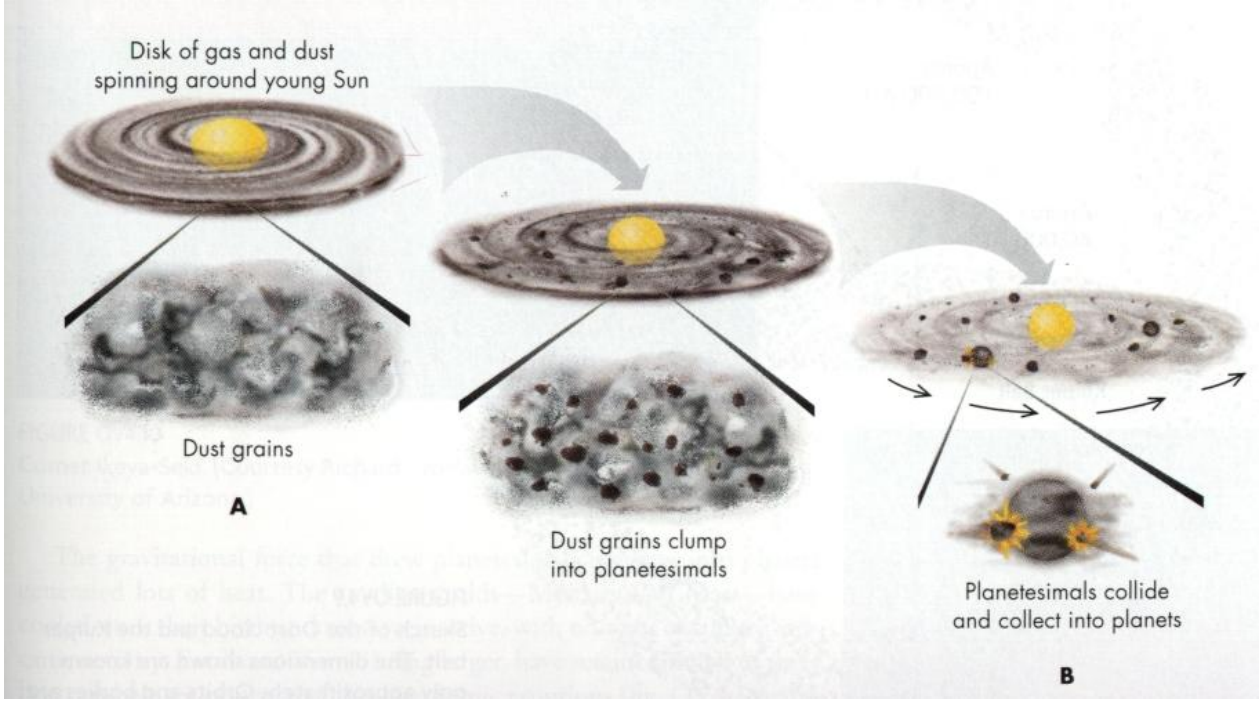
- Dinamička analiza nekih specifičnih grupa asteroida
- Testiranje različitih modela transporta iz Glavnog asteroidnog prstena u okolinu Zemlje
- Precizno odredjivanje iz kojih delova prstena dolaze odredjene grupe asteroida bliskih Zemlji
- Odredjivanje tačnih lokacija sa kojih dolaze neki pojedinačni objekti

Nastanak Sunčevog sistema



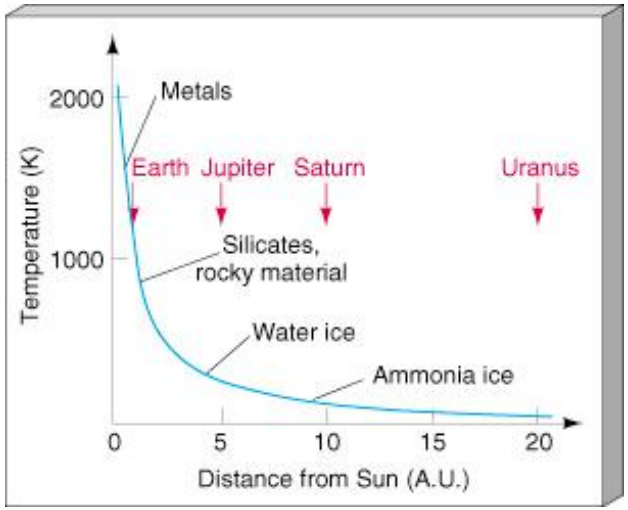
- Hipoteza magline: osnova modernih teorija o nastanku planetarnih sistema
- Glavne faze:
  - Sporo rotirajući oblak gasa se sažima, izravnava i zagreva u centru ...
  - Na taj način od oblaka nastaje disk
  - U disku se radjaju Sunce, planete, sateliti ...
  - ... i asteroidi i komete

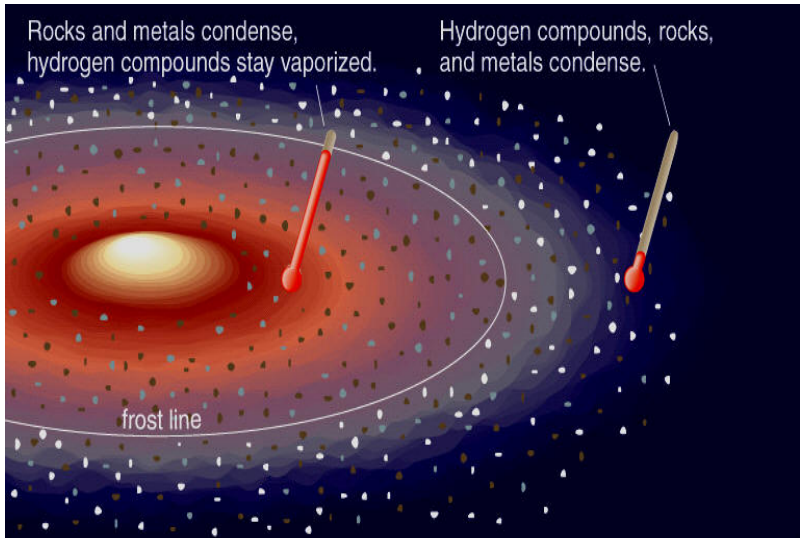
Asteroidi: neupotrebljeni delovi planeta



- Čestice prašine medjusobno interaguju, spajaju se i tako formiraju sve veće i veće objekte, planetezimale
- Kako planetezimali rastu, oni svojom gravitacijom privlače sve više gasa i prašine
- Sudari izmedju planetezimala dovode do formiranje još većih objekata, proto-planeta i konačno samih planeta
- Ipak, neki planetezimali nikada ne postanu deo neke planete

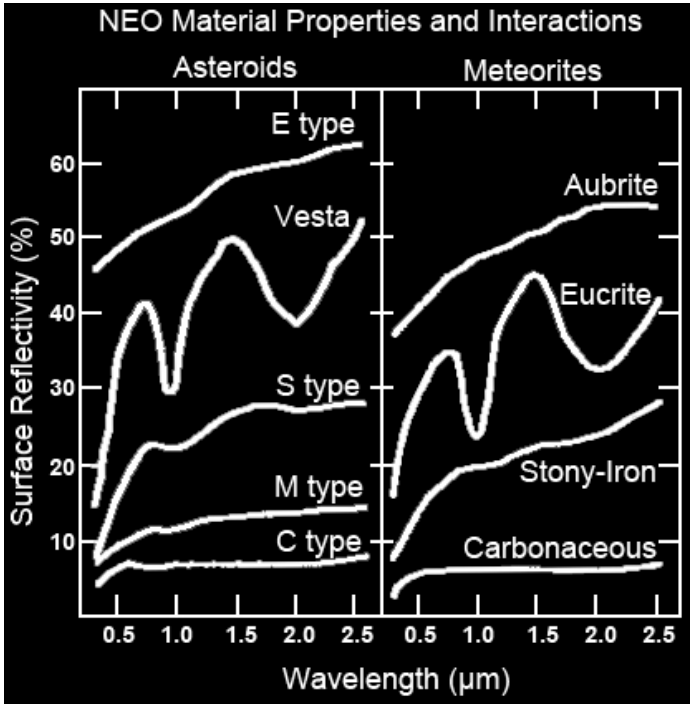
Ostaci iz procesa formiranja planeta

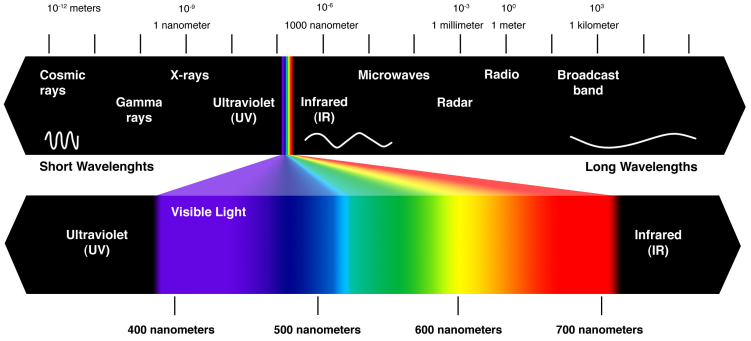




- Asteroidi su planetezimali nastali u unutrašnjem delu Sunčevog sistema
- Komete su planetezimali nastali u spoljašnjim delovima Sunčevog sistema
- Ipak, i sami asteroidi se medjusobno dosta razlikuju

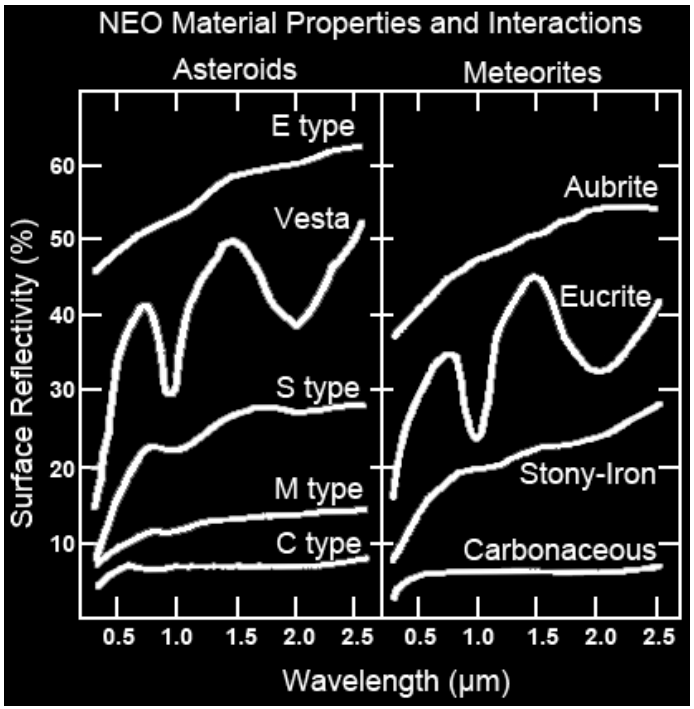
Spektar asteroida





- Albedo je procenat svetlosti koji se odbije od površine na koju padne
- Sunčeva svetlost reflektovana sa površine asteroida daje nam značajne informacije o njihovom sastavu
- Odredjujući odnos reflektovane svetlosti na različitim talasnim dužinama, dobijamo podatke o materijalima na površini

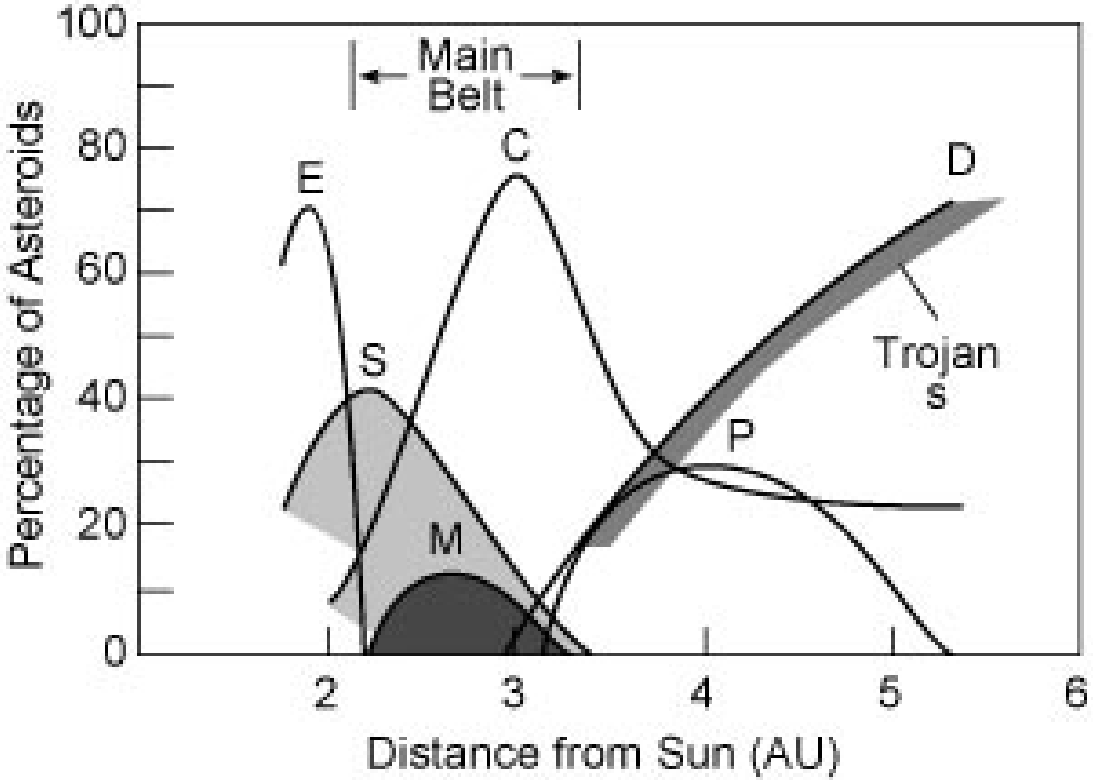
Spektar asteroida



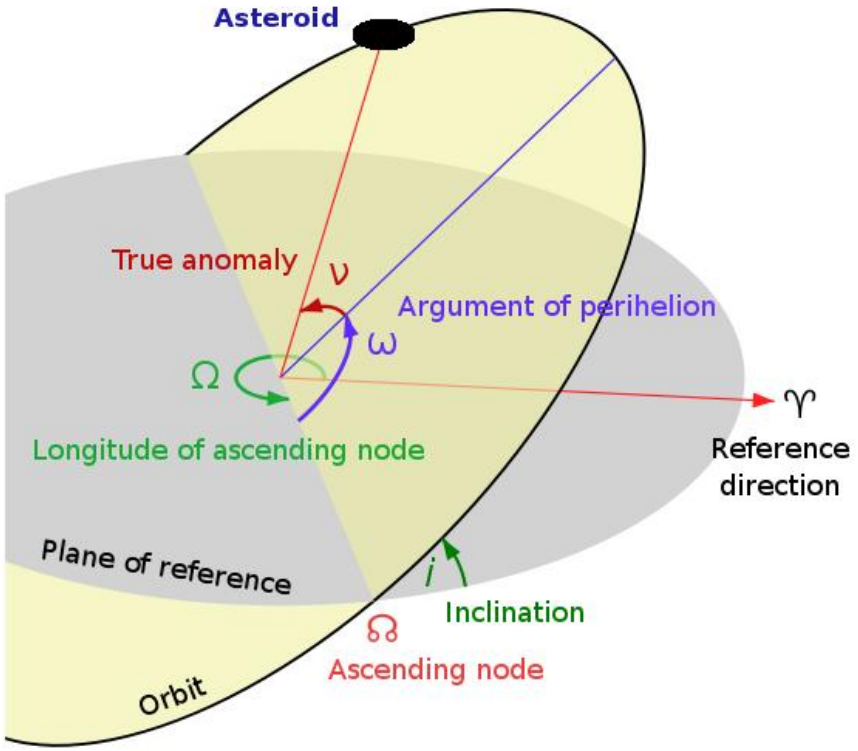
Postoji nekoliko klasifikacija asteroida na osnovu njihovog spektra i albeda:

- Tolenova, SMASS, Bus-DeMeo ...
- Glavna podela je na:
  - C - tamni, ugljenični objekti; tipičan albedo $4 - 8\%$
  - S - silikatni (kameni) objekti; tipičan albedo $12 - 25\%$
  - X - skoro svi ostali

Raspodela spektralnih tipova u Glavnom prstenu



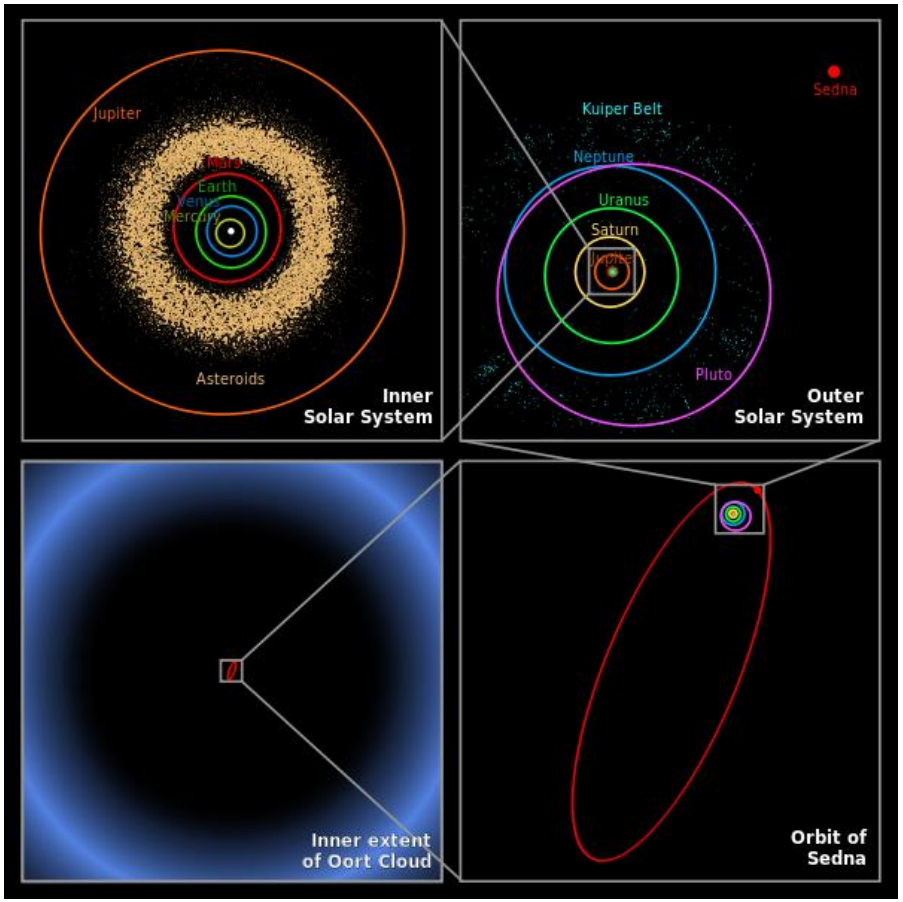
Orbitalni elementi



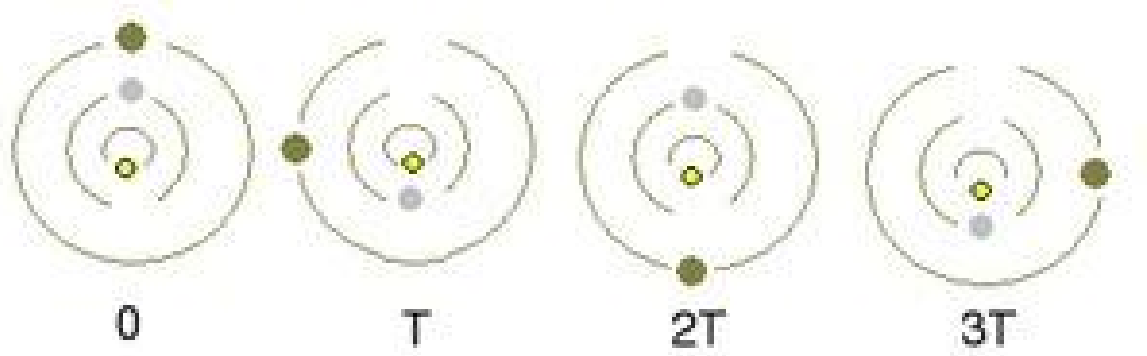
Šest eliptičkih orbitalnih elemenata:

- velika polu-osa: a
- ekscentricitet: e
- nagib putanjske ravni: i
- longituda uzlaznog čvora: Ω
- argument perihela: ω
- srednja anomalija: M

Mala tela: ima ih u svakom delu našeg planetarnog sistema



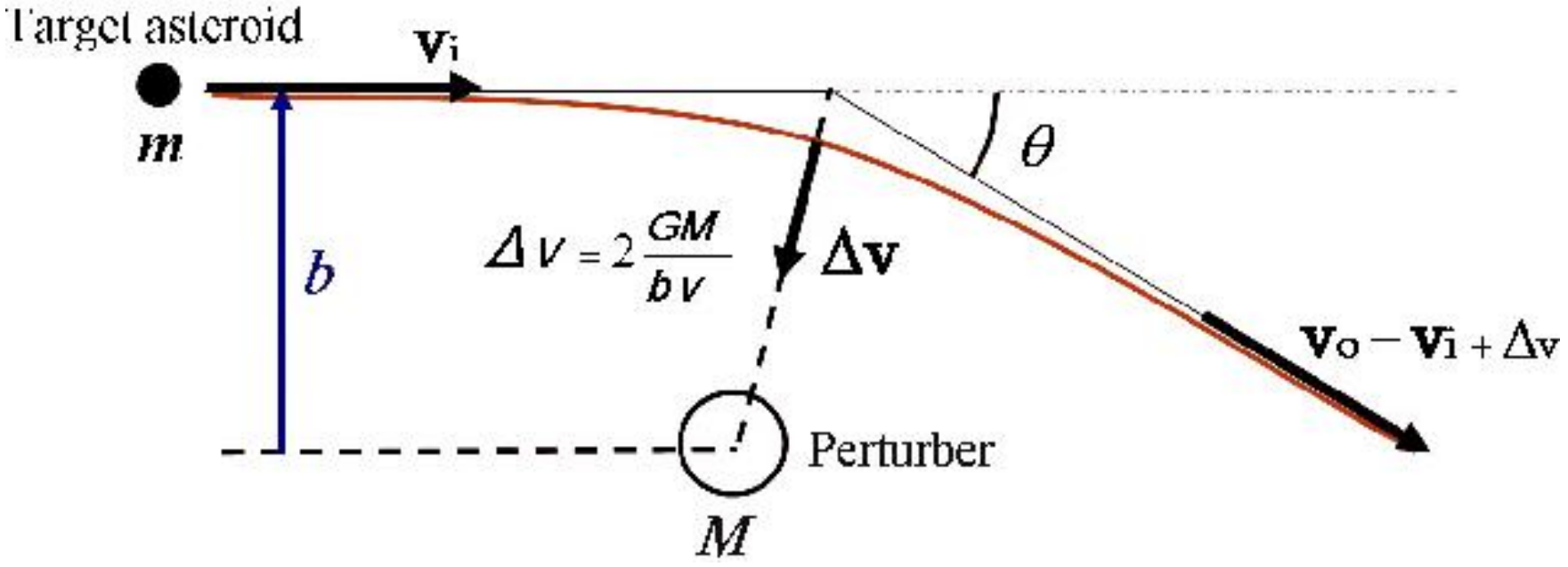
Gravitacioni fenomeni: rezonance



Rezonance su gravitacioni fenomeni koji nastaju kada su periodi obilaska dva tela oko Sunca (ili precesija njihovih orbita u prostoru) medjusobno samerljivi.

- Rezonance u srednjem kretanju
- Sekularne rezonance
- Kozai rezonance ($g = s$)
- Spin-orbit rezonance

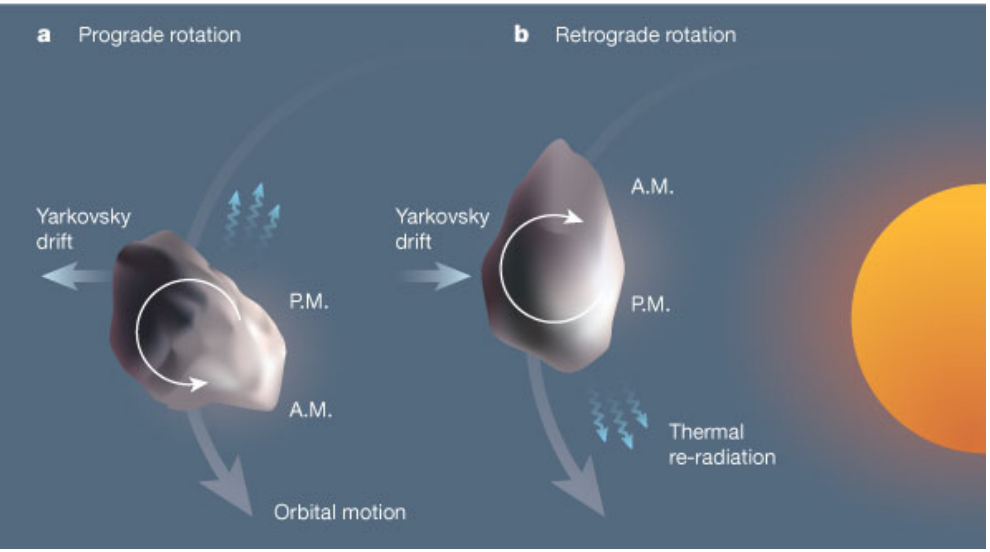
Gravitacioni fenomeni: bliski prolazi



Negravitacioni fenomeni: Efekat Jarkovskog

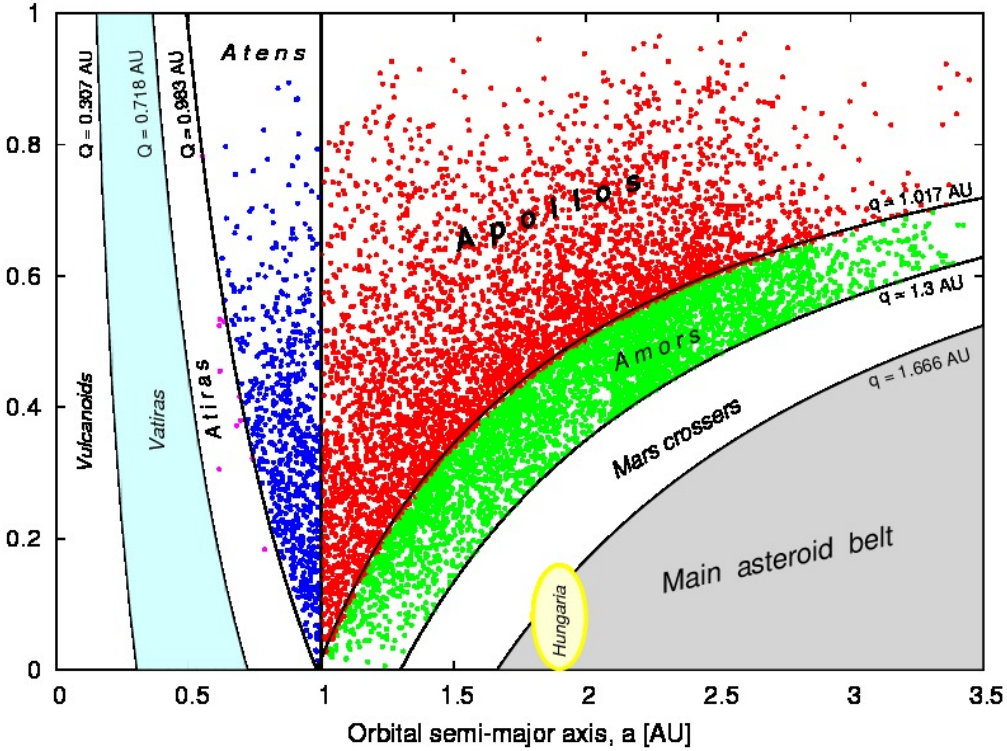
- Efekat Jarkovskog je rezultat nesimetrične re-emisije toplote sa površine asteroida
- Utiče na kretanje asteroida manjih od oko 30 km
- Efekat je proporcionalan $1/D$, gde je D prečnik asteroida
- Efekat se prvenstveno ispoljava kroz promenu velike poluose putanje asteroida
- Brzina promene velike poluose putanje (da/dt) zavisi od više parametara kao što su: termalna inercija, period rotacije, nagib ose rotacije, geometrija orbite, itd.

Negravitacioni fenomeni: Efekat Jarkovskog



$$\left(\frac{da}{dt}\right) = 3.0 \times 10^{-5} \left(\frac{2.5 \text{ g cm}^{-3}}{\rho}\right) \left(\frac{5 \text{ km}}{D}\right) \left(\frac{\text{AU}}{\text{Myr}}\right)$$

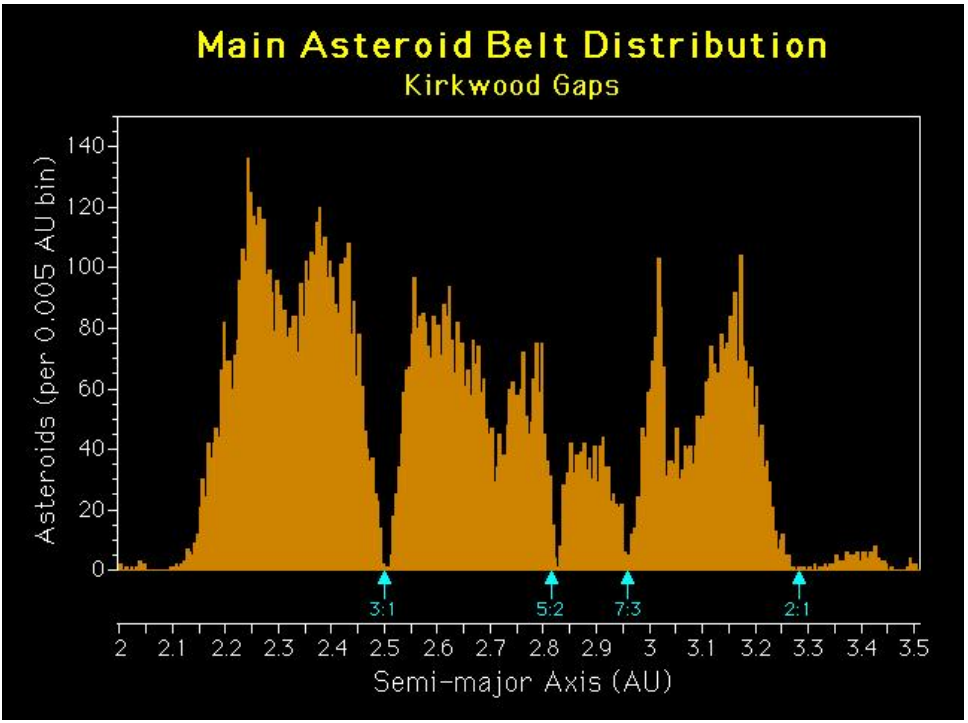
- Dve komponente: dnevna (rotaciono kretanje) i sezonska (orbitalno kretanje)
- Dnevna komponenta: rotacija u direktnom smeru $\Rightarrow$ asteroid se udaljava od Sunca; rotacija u retrogradnom smeru $\Rightarrow$ asteroid se približava Suncu
- Sezonska komponneta: u većini slučajeva mnogo manja od dnevne; uvek smanjuje veliku poluosu putanje
- Tipična brzina promene velike poluose: $1 - 5 \times 10^{-4}$ AU/Myr (za $D = 1$ km)



- Numeričke simulacije su pokazale da je prosečan životni vek asteroida u blizini Zemlje oko 10-20 miliona godina
- Oni nestaju usled "pada" na Sunce, sudara sa planetama, izbacivanjem iz Sunčevog sistema
- Dinamiku asteroida u blizini naše planeta karakteriše kompleksna interakcija izmedju rezonanci i bliskih prilaza planetama

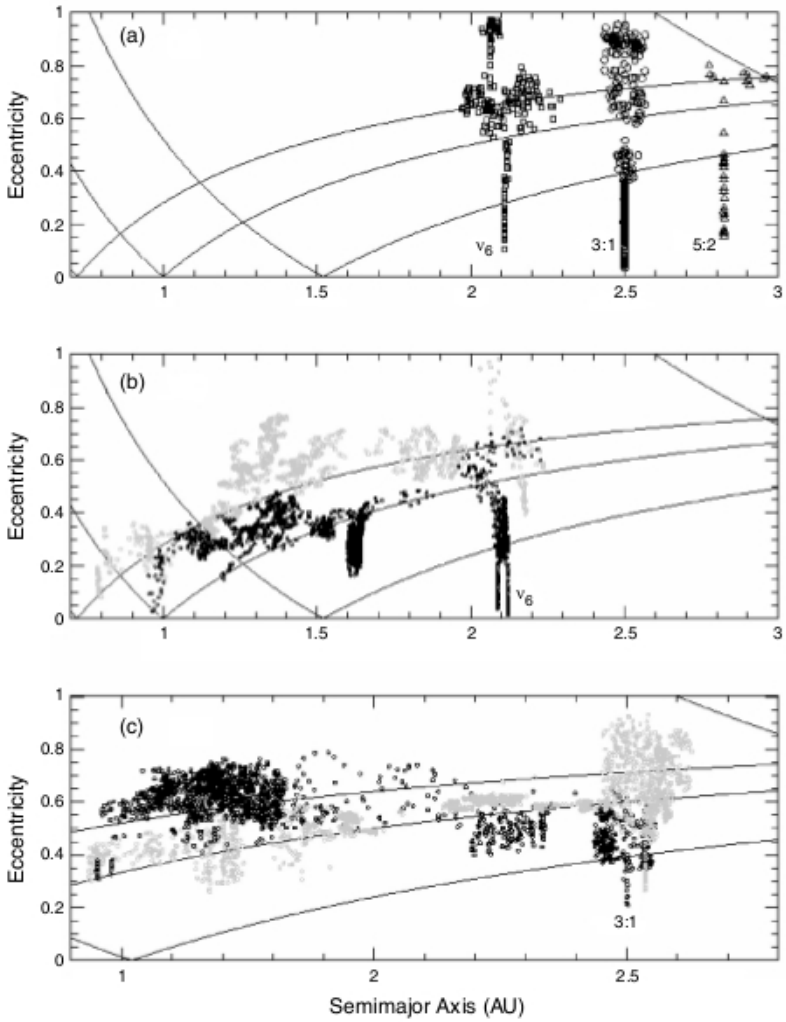
- Relativno kratak životni vek asteroida u blizini Zemlje znači da oni nisu tu nastali, već da konstatno dolaze iz nekog izvora
- Logično se nameće pretpostavka da bi ti izvori mogle biti tzv. Kirkvudove praznine
- Danas je opšte poznato da asteroidi u blizinu Zemlje dolaze iz Glavnog asteroidnog prstena; ili bar velika većina njih
- Objašnjenje ovog transporta zasniva se na interakciji izmedju sudarnih procesa, efekta Jarkovskog i rezonanci

Odakle i kako asteroidi dolaze u okolinu Zemlje



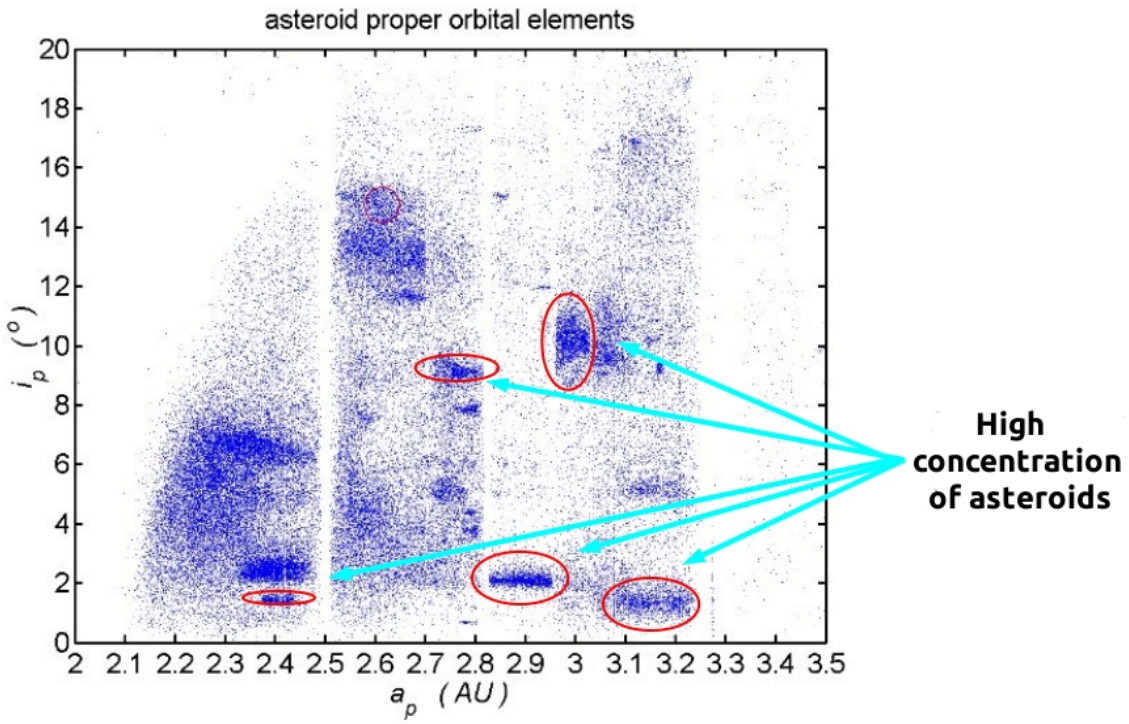
- ν_6 sekularna rezonanca sa Saturnom
- 3/1 rezonanca u srednjem kretanju sa Jupiterom
- 5/2 rezonanca u srednjem kretanju sa Jupiterom
- 2/1 rezonanca u srednjem kretanju sa Jupiterom
- difuzifne rezonance

Transportni mehanizmi



- Mnoge rezonance su sposobne da transportuju objekte na putanje koje presecaju orbitu Marsa
- Gravitacioni uticaj Marsa tada može izvući asteroid iz rezonance, pa on zatim nastavlja da se približava našoj planeti.

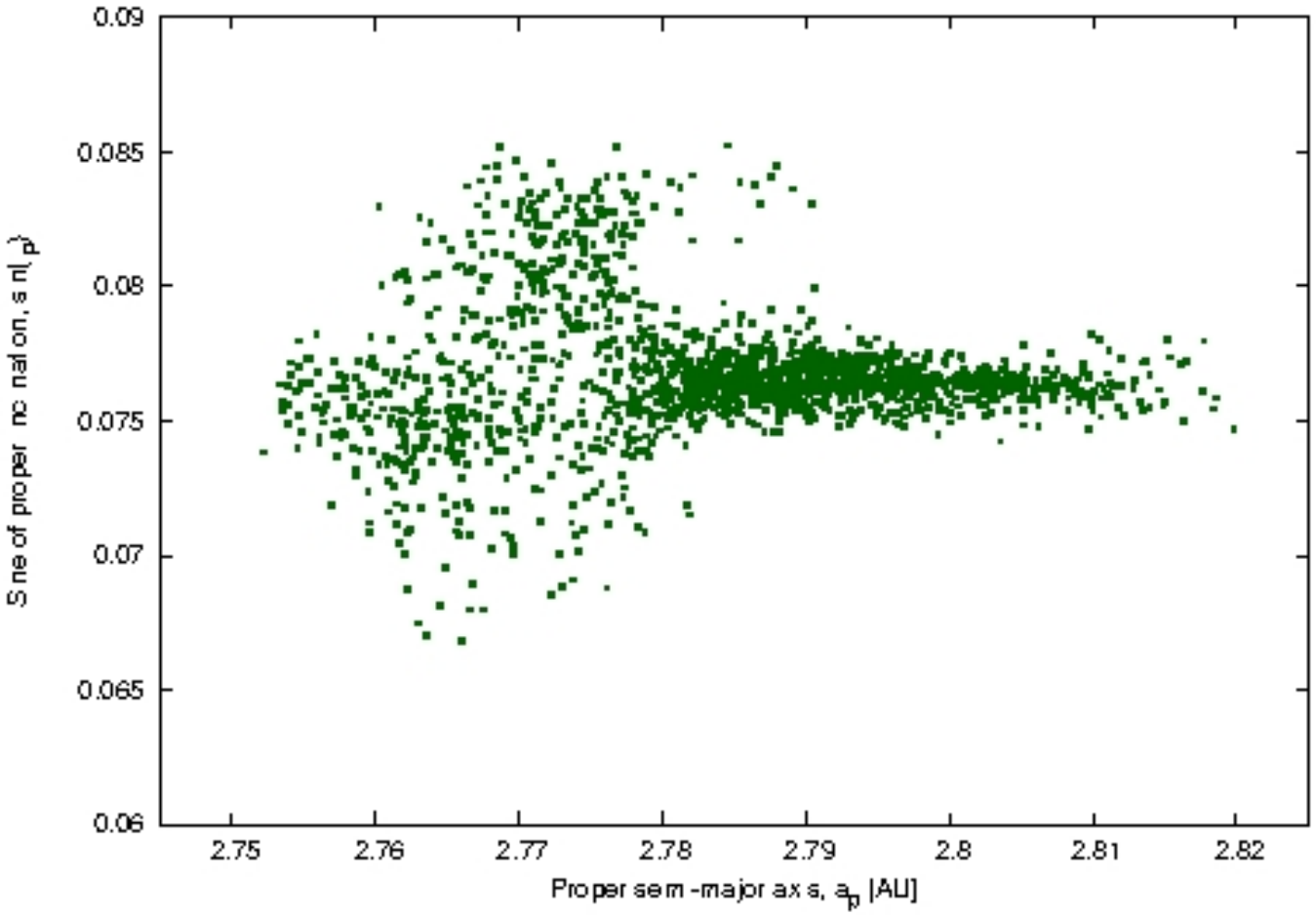
- Familije asteroida nastaju raspadom jednog većeg asteroida u sudaru sa manjim
- Obično se identifikuju u prostoru tri sopstvena orbitalna elementa: velika poluosa, ekscentricitet i nagib
- Objekti koji pripadaju istoj familiji imaju veoma slicne dinamičke i fizičke karakteristike.



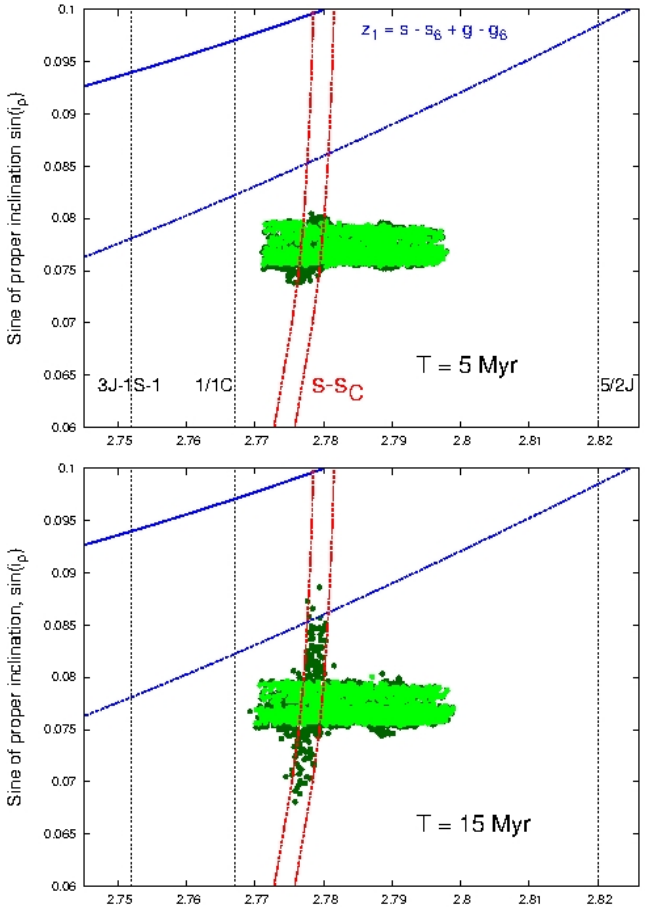
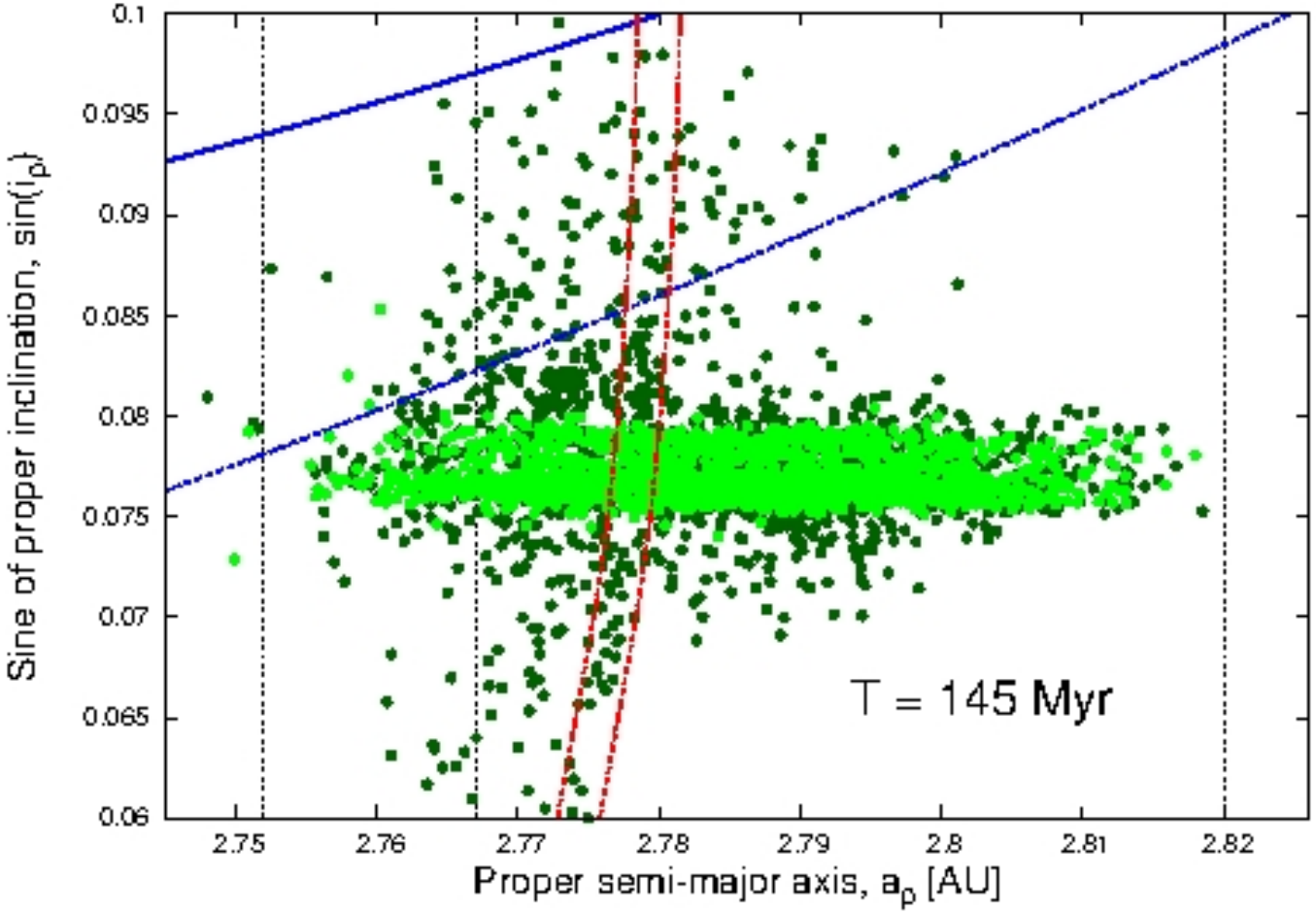
Familije asteroida kao izvori asteroida u blizini Zemlje

- Neke familije se nalaze na samim rubovima rezonanci
- U trenutku nastanka familije, jedan broj članova bude direktno ubačen u rezonance
- članovi koji se nadju u blizini, ali ipak izvan rezonance, mogu kasnije dospeti u rezonancu pod dejstvom efekta Jarkovskog

Neobična raspodela članova familije



Numeričke simulacije



Evolucija familije u vremenu