

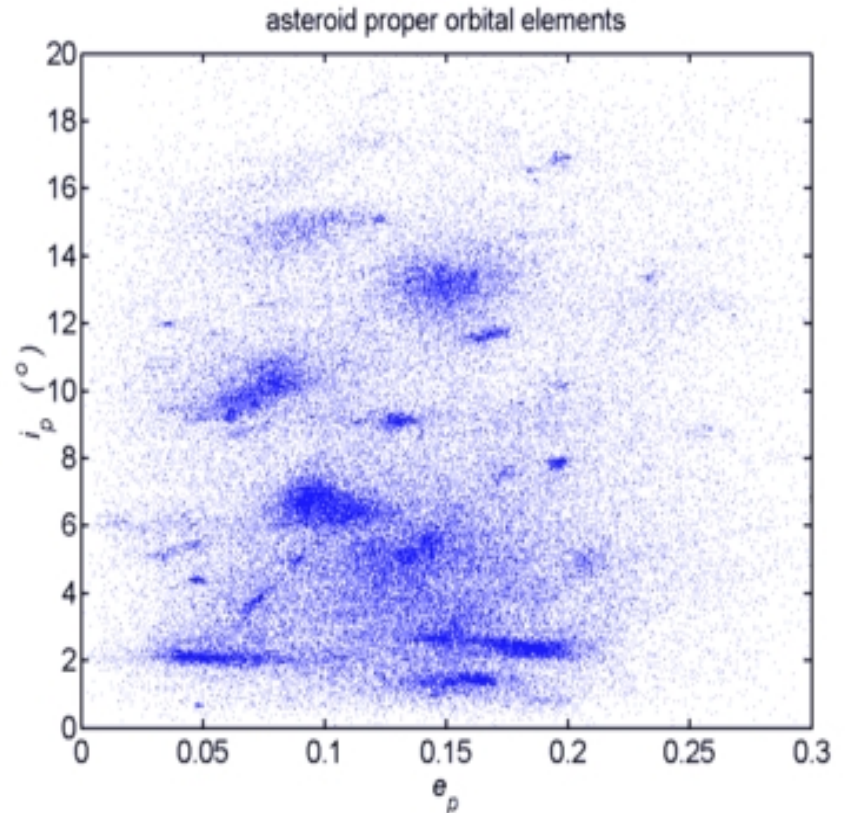
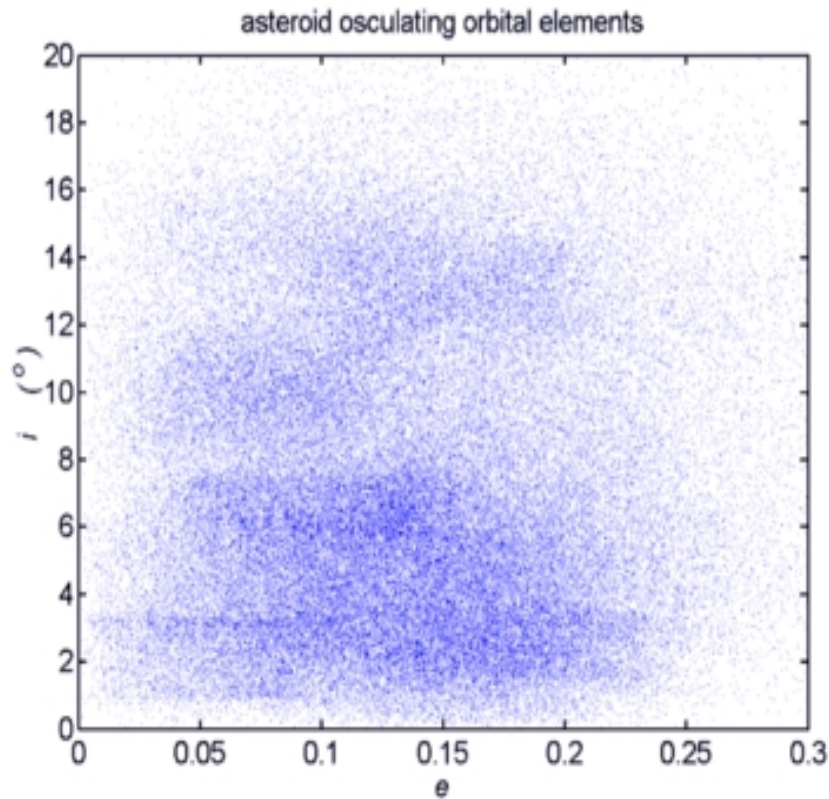
Sopstveni elementi asteroida

Oskulatorni elementi: to su trenutni orbitalni elementi, i oni se menjaju tokom vremena usled poremećaja. Ako bi iz nekog razloga nestali svi poremećaji, telo bi se zauvek kretalo po svojoj oskulatornoj orbiti.

Sopstveni orbitalni elementi predstavljaju kvazi-integrale kretanja pa su samim tim kvazi-konstantni u vremenu. Oni predstavljaju neki vid srednje karakteristike kretanja. Dobijaju se iz oskulatornih eliminacijom kratko- i dugoperiodičnih poremećaja. Zbog svoje stabilnosti pogodni su za ispitivanje dinamičke stabilnosti u dugim vremenskim intervalima.

Sopstveni orbitalni elementi: a_p , e_p , i_p , Ω_p , ϖ_p

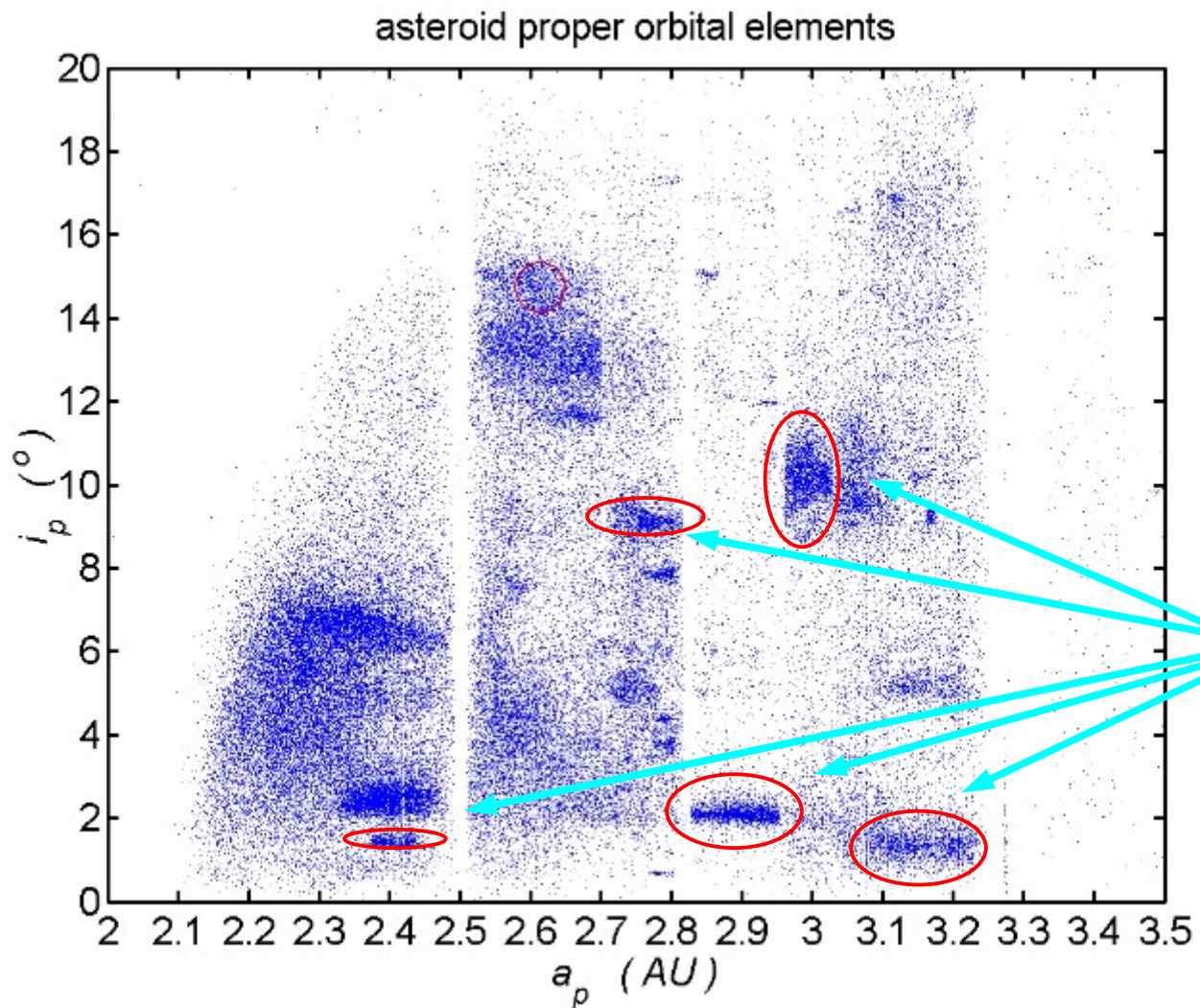
Sopstveni elementi asteroida



Sopstveni orbitalni elementi koriste se za:

- Ispitivanje dinamičke stabilnosti u dugim vremenskim intervalima
- Klasifikaciju asteroida u familije

Sopstveni elementi asteroida



Povećana koncentracija
asteroida na nekim
mestima!

Familije asteroida



Šta su to familije asteroida?

Šta su to familije asteroida?

Familije predstavljaju grupe asteroida na veoma sličnim orbitama, za koje se veruje da su nastale raspadom jednog većeg asteroida (roditeljskog tela) usled sudara sa drugim asteroidom.

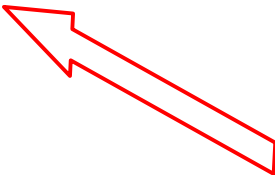
Tipovi sudara (raspada):

- **Kraterskog tipa** (najveći asteroid u familiji je značajno veći od svih ostalih članova zajedno)
- **Katastrofični** (masa najvećeg člana familije je približno ista kao i zbir masa svih ostalih članova)
- **Super-katastrofični** (nema dominantnog asteroida po masi)

Šta su to familije asteroida?

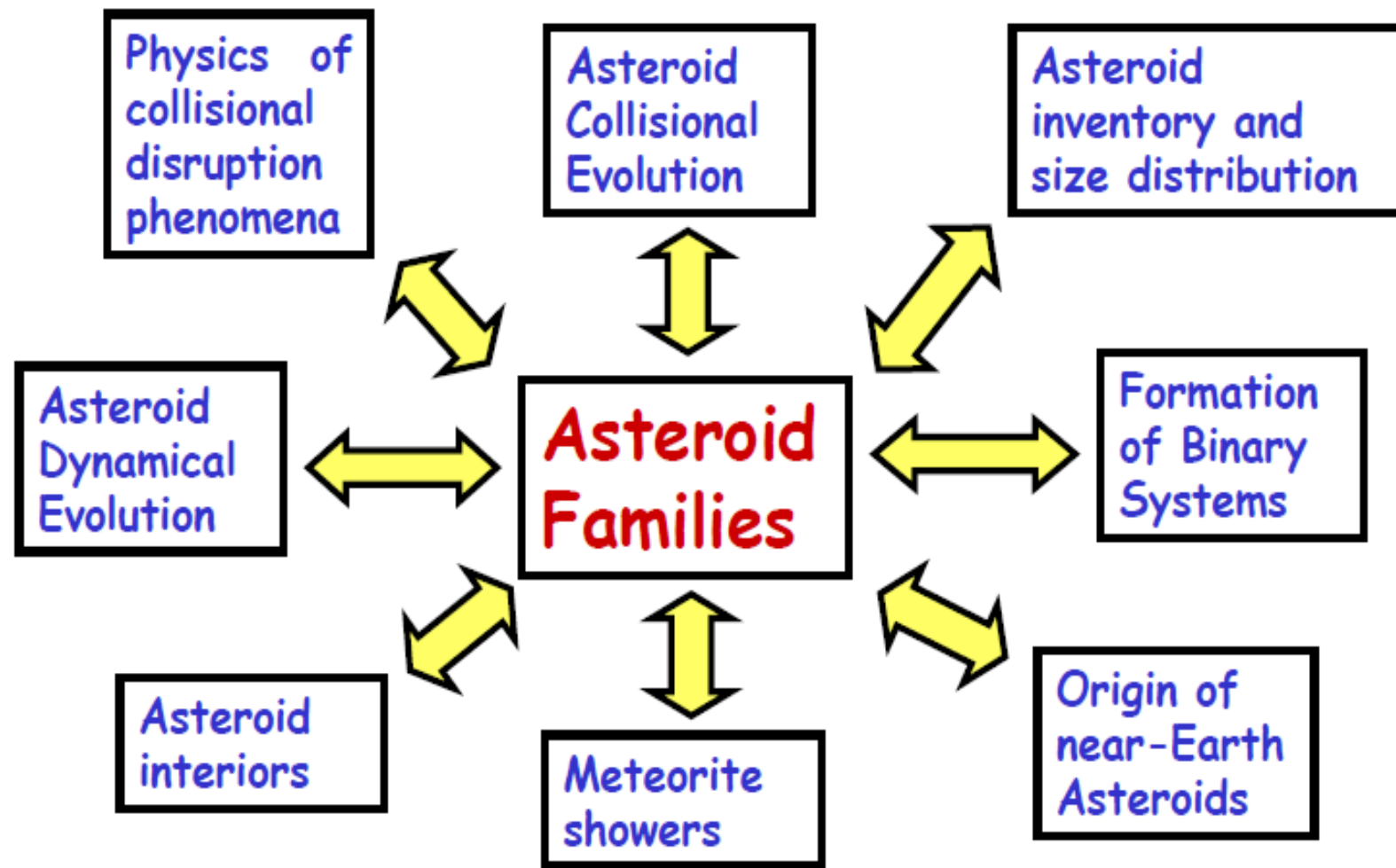
Treba naglasiti da nakon raspada roditeljskog tela, fragmenti koji tada nastaju nastavljaju da se kreću po veoma sličnim orbitama. To je posledica činjenice da su brzine izbacivanja fragmenata prilikom sudara za red veličine manje od orbitalnih brzina asteroida u Glavnom asteroidnom prstenu! Ovo ne važi za objekte u Kajperovom pojasu!

$$\left\{ \begin{aligned} \delta a/a &= \frac{2}{na(1-e^2)^{1/2}} [(1+e\cos f)\delta V_T + (e\sin f)\delta V_R] \\ \delta e &= \frac{(1-e^2)^{1/2}}{na} \left[\frac{e+2\cos f+e\cos^2 f}{1+e\cos f} \delta V_T + (\sin f)\delta V_R \right] \\ \delta I &= \frac{(1-e^2)^{1/2}}{na} \frac{\cos(\omega+f)}{1+e\cos f} \delta V_W \end{aligned} \right.$$



Gausove jednačine

Značaj familija asteroida



Metode za identifikaciju familija

Familije se identifikuju pre svega statističkim metodama:

- Metoda hijerarhijskog grupisanja

- Metrika:

$$\partial v = na' \sqrt{5/4(\delta a'/a')^2 + 2(\delta e')^2 + 2(\delta \sin i')^2},$$

- Metoda talasne analize

Identifikacija se uglavnom vrši u 3-D prostoru sopstvenih elemenata (a_p , e_p , i_p)

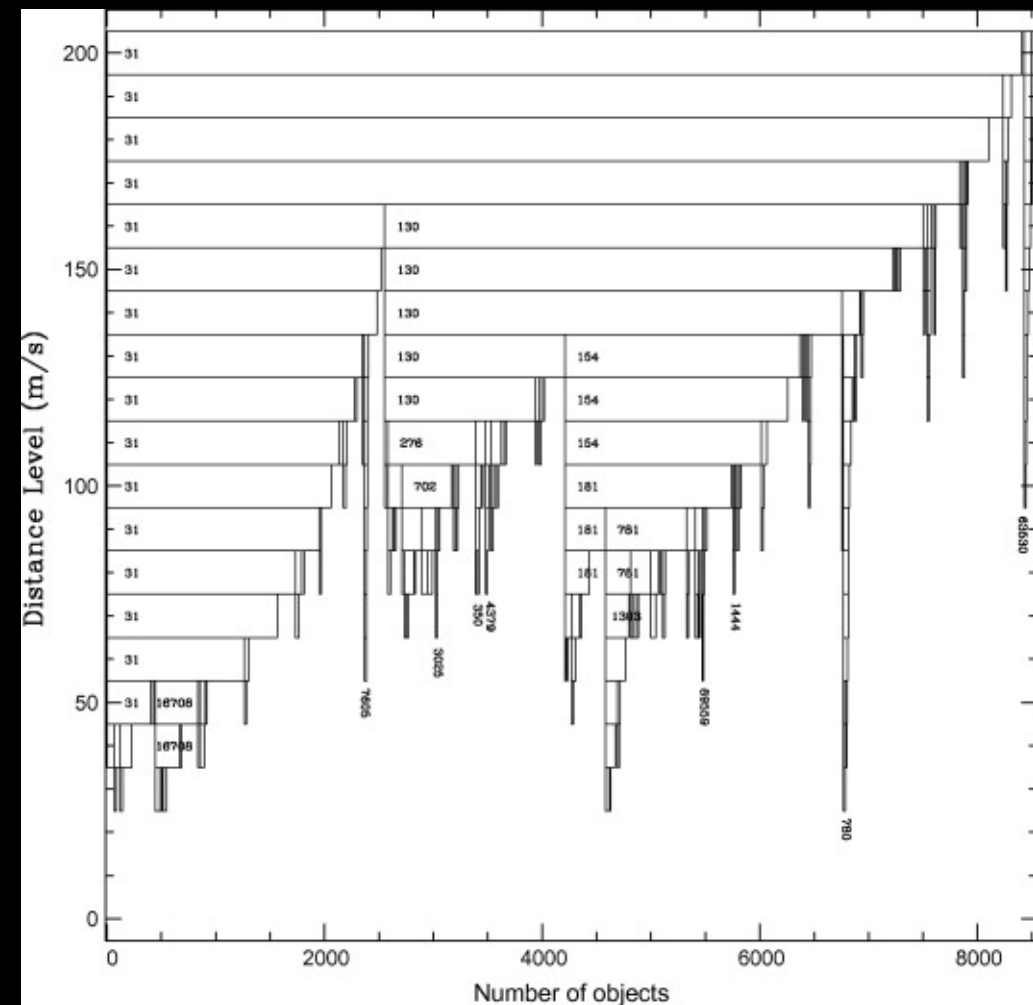
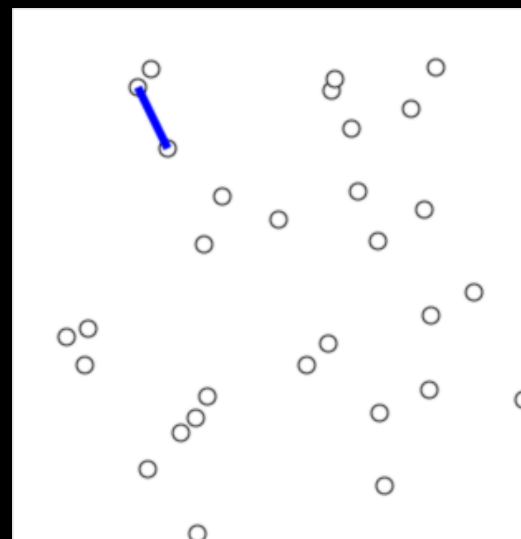
U GAP-u je do sada otkriveno nekoliko desetina familija asteroida

Metode za identifikaciju familija

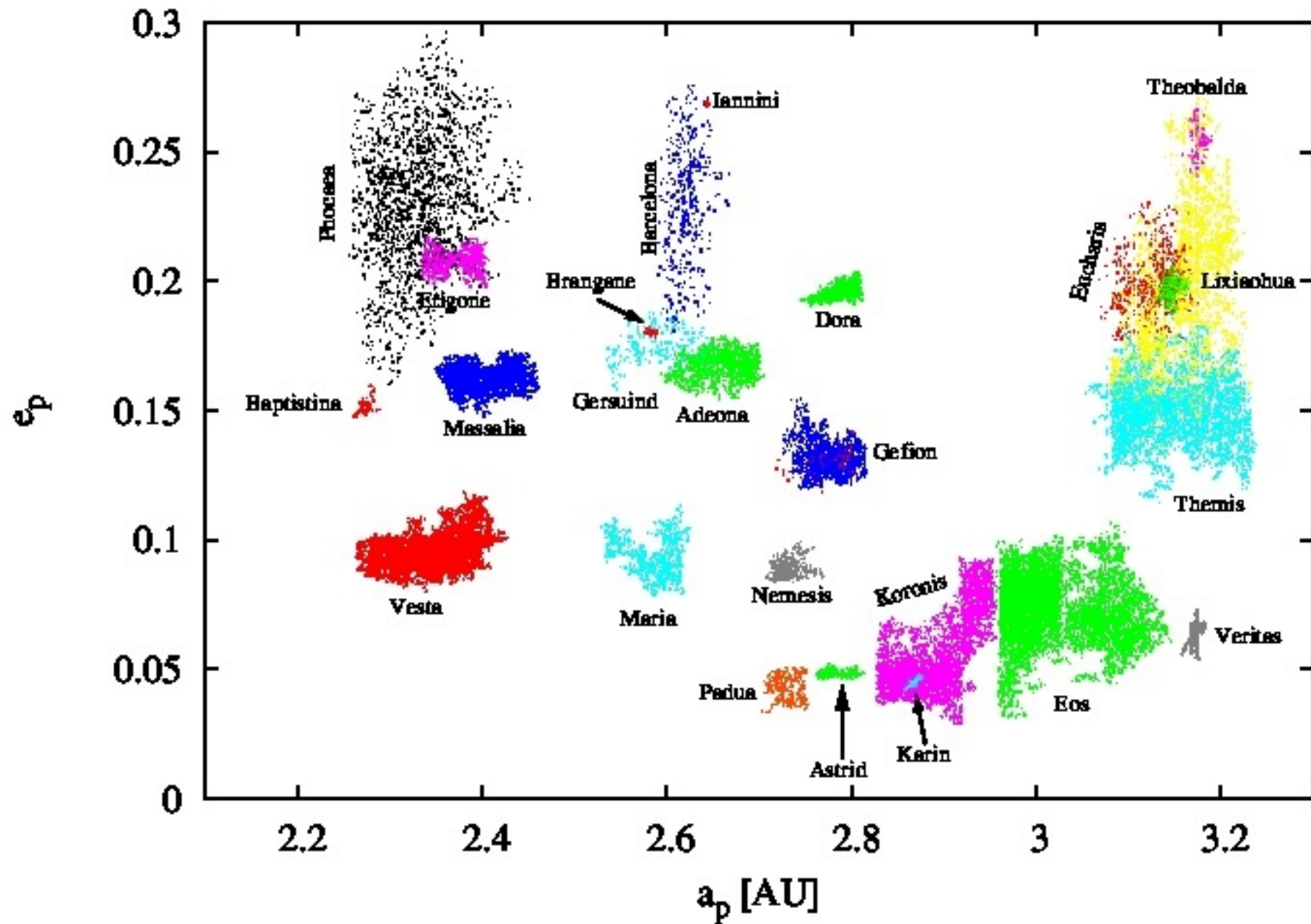
Metoda hijerarhijskog
grupisanja
+ “standardna metriika”

$$\left(\frac{d}{na}\right)^2 = k_a \left(\frac{\delta a}{a}\right)^2 + k_e (\delta e)^2 + k_i (\delta \sin i)^2$$

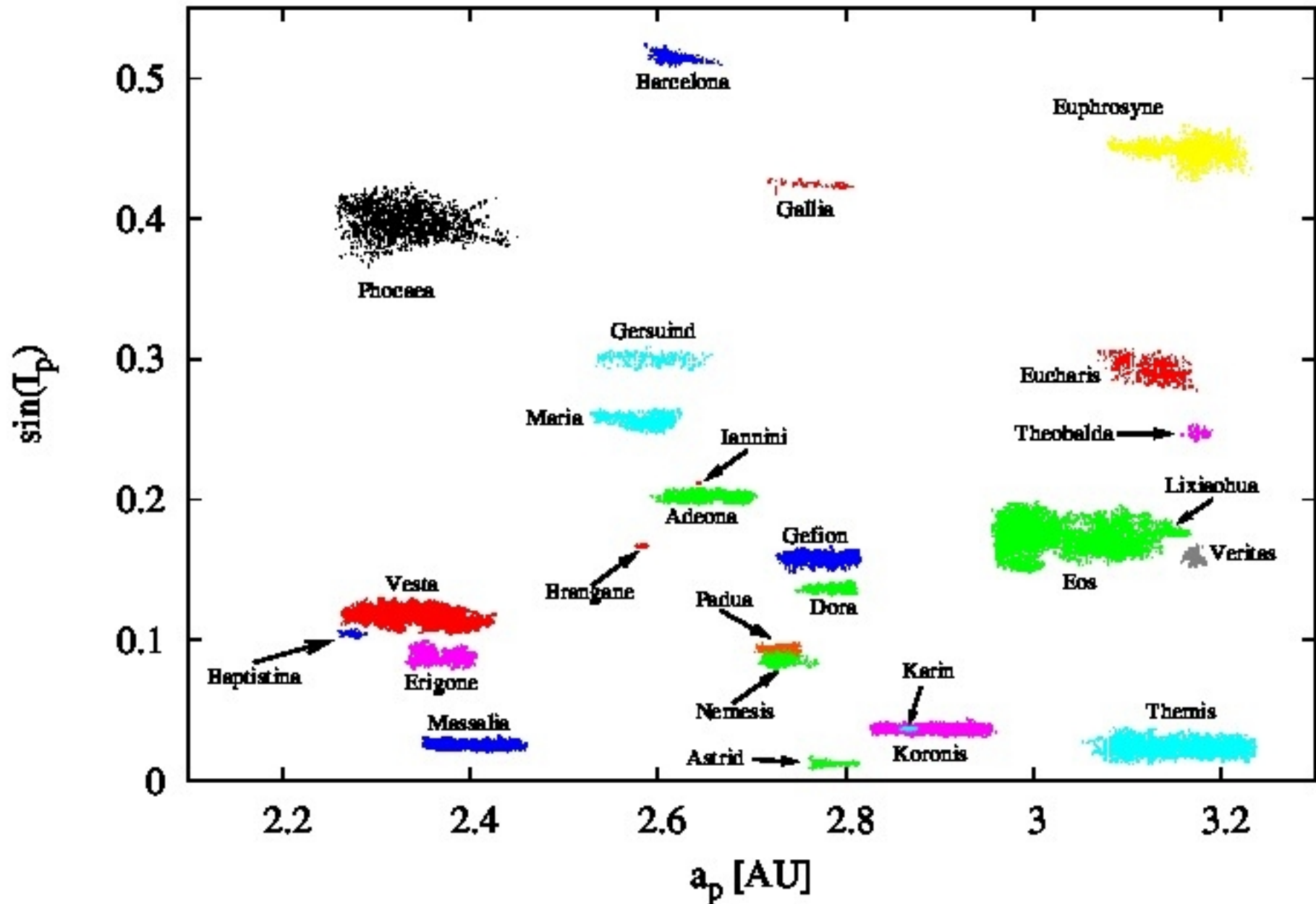
$$(k_a=5/4, k_e=k_i=2)$$



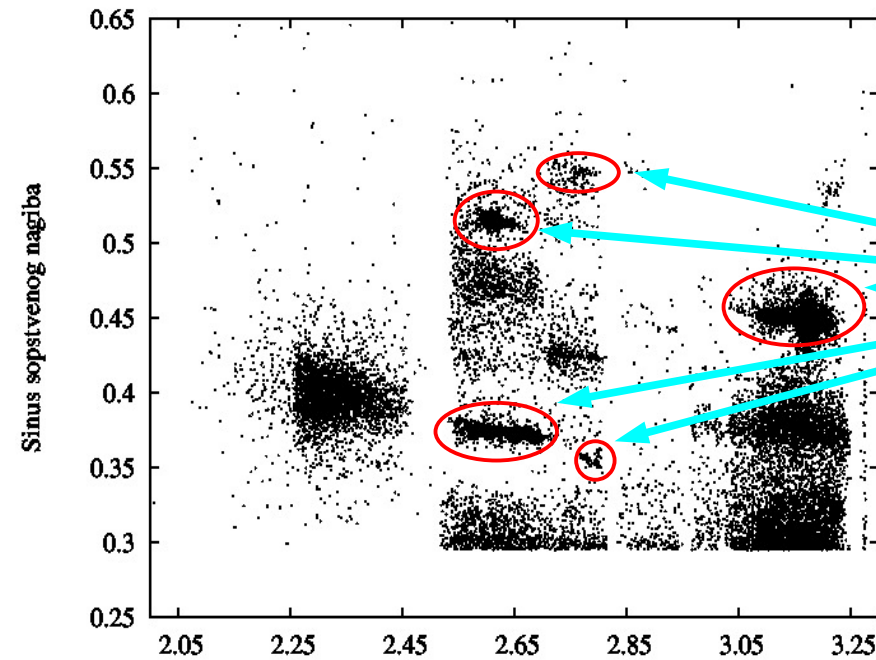
Familije asteroida



Familije asteroida

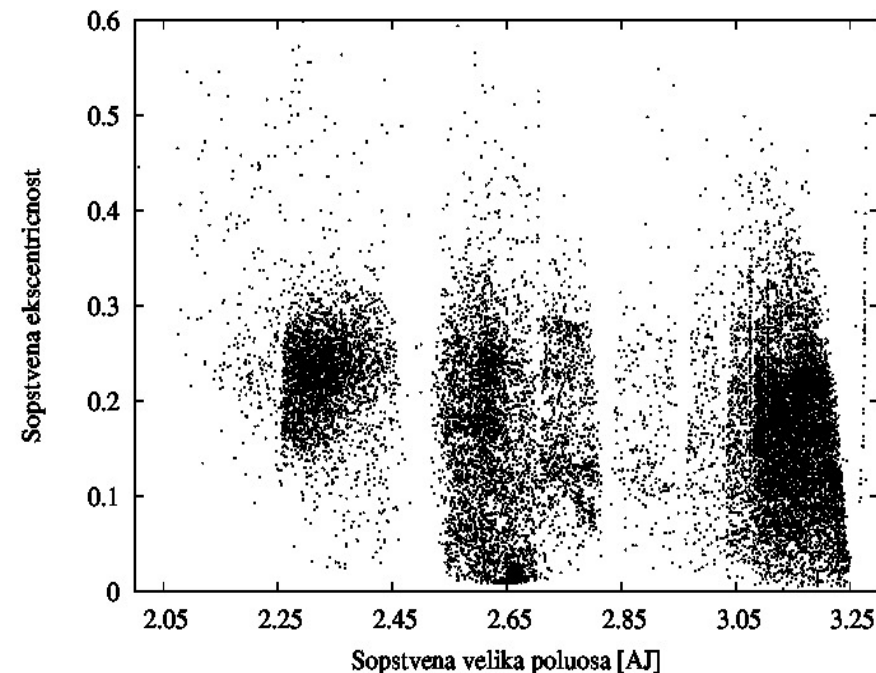


Familije asteroida na visokim nagibima

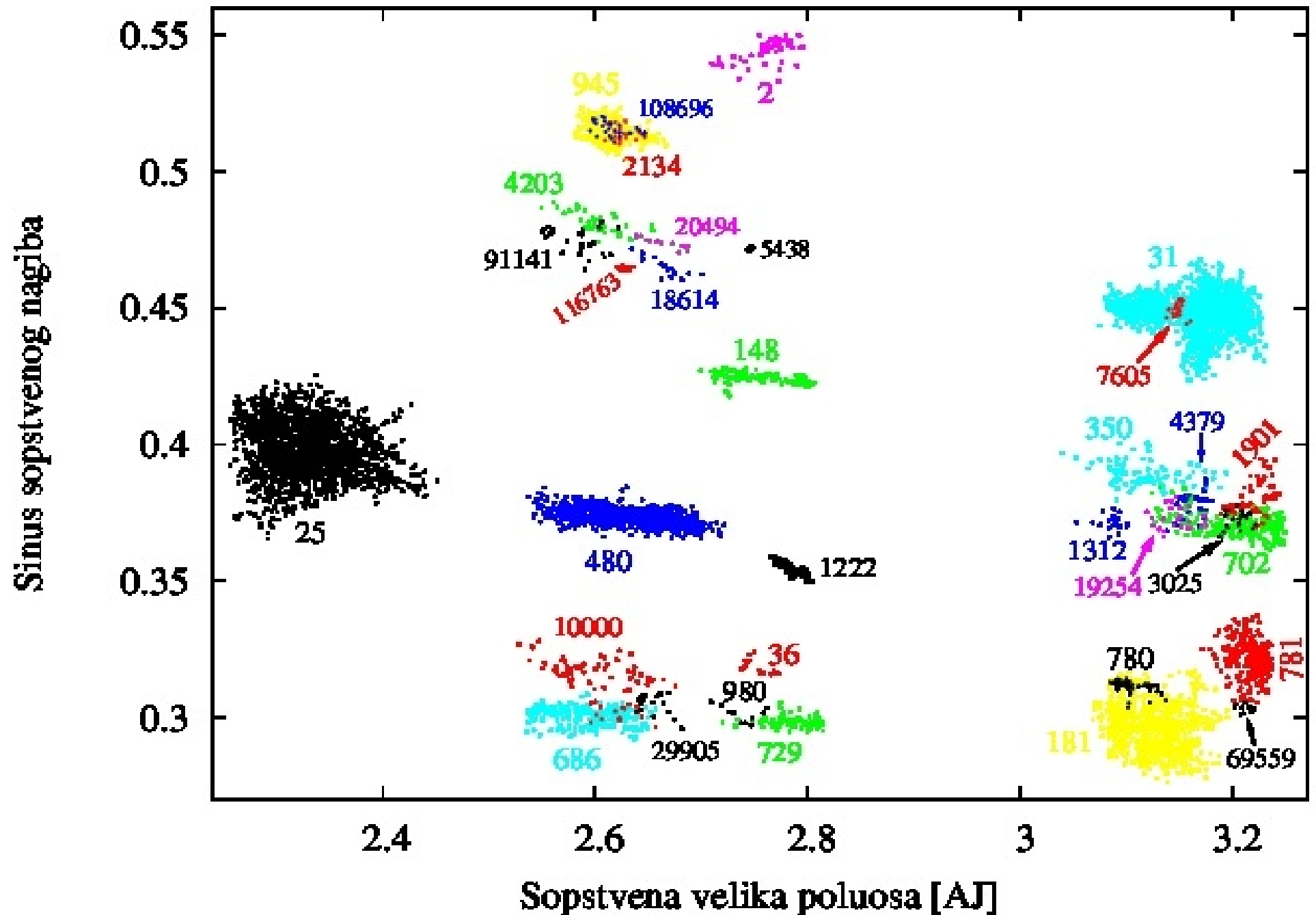


Povećana koncentracija asteroida na nekim mestima

- Orbite na visokim nagibima formiraju dinamički veoma kompleksan region, koji presecaju brojne rezonance, pre svega sekularne.
- **Ostrvo stabilnosti:** oblast u Glavnom asteroidnom prstenu gde su kretanja asteroida stabilna, okružen oblastima nestabilnog kretanja.



Familije asteroida na visokim nagibima



Familije asteroida na visokim nagibima

Najznačajnije familije na visokim nagibima:

- **(25) Phocaea** (velika familija u unutrašnjem delu GAP-na)
- **(2) Pallas** (nalazi se na veoma visokom nagibu; izvor asteroida B-tipa)
- **(1222) Tina** (kompletna se nalazi u sekularnoj rezonanci)
- **(5438) Lorre** (jedna od najgušćih poznatih koncentracija asteroida)
- **(729) Watsonia** (neki od njenih članova su najstariji asteroidi)
- **(181) Eucharis** (velika familija S-tipa u spoljašnjem delu GAP-na)

Evolucija (erozija) familija

Tokom vremena dolazi do evolucije familija u prostoru sopstvenih elemenata koja se ogleda u sve većoj disperziji orbita njenih članova.

Glavni uzroci erozije familija su:

- Haotična difuzija
- Dejstvo efekta Jarkovskog
- Sekundarni sudari
- Nedestruktivni sudari
- Bliski prilazi sa masivnim asteroidima

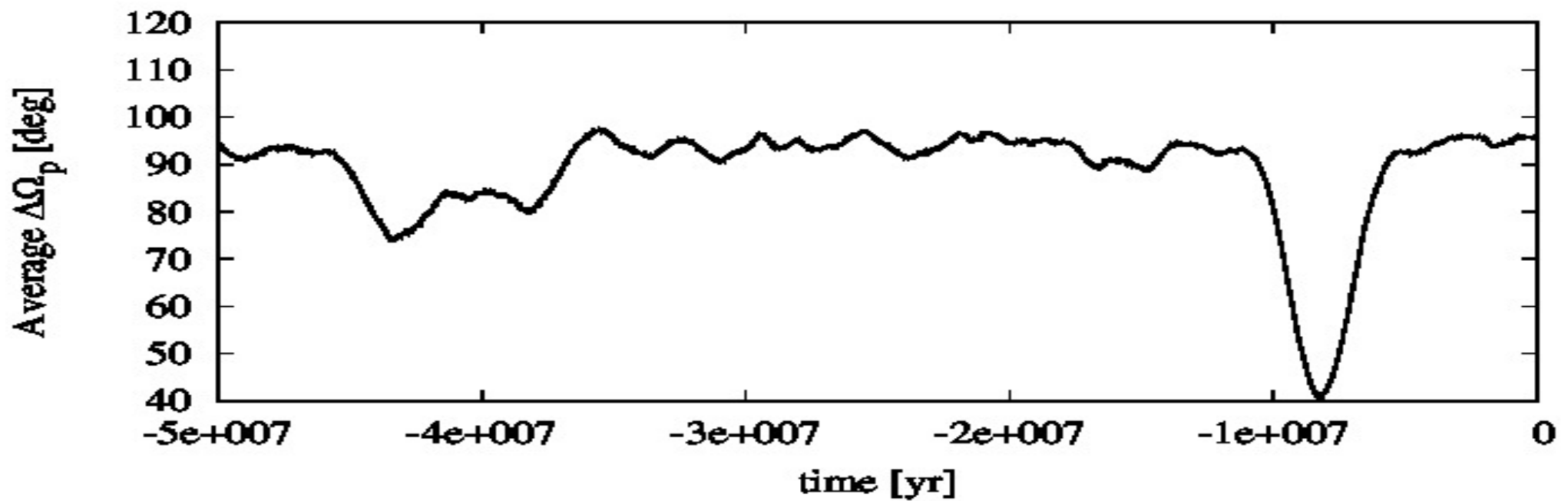
Evolucija (erozija) familija

- Evolucija familija otežava izučavanje pojava povezanih sa njima.
- Većina poznatih familija je **starija 100 miliona godina**, pa su pojave koje dovode do njihove evolucije imale dovoljno vremena da ih značajno modifikuju.
- Mlade familije, **mlađe od oko 10 miliona godina**, su od posebnog interesa jer su se one veoma malo izmenile od trenutka nastanka.

Određivanje starosti familija

- Integracija orbita unazad u vremenu
- Brojanje kratera na površini asteroida članova
- Modeliranje efekta Yarkovskog
- Haotična hronologija
- Modeliranje evolucije raspodele članova po veličinama

Metoda integracija orbita unazad u vremenu



Metoda brojanja kratera na površini asteroida članova

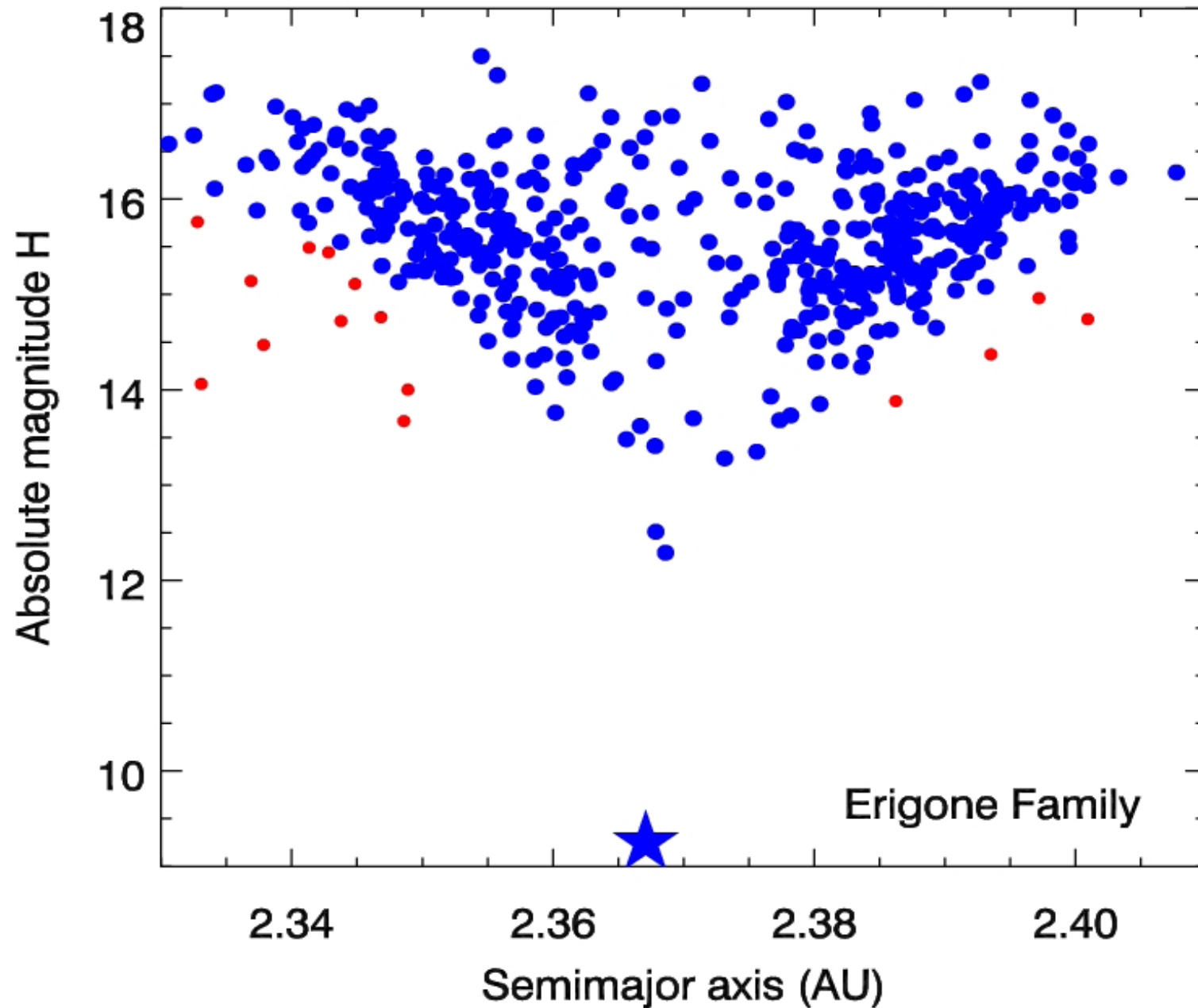
- (951) Gaspra
- 50-300 Myr



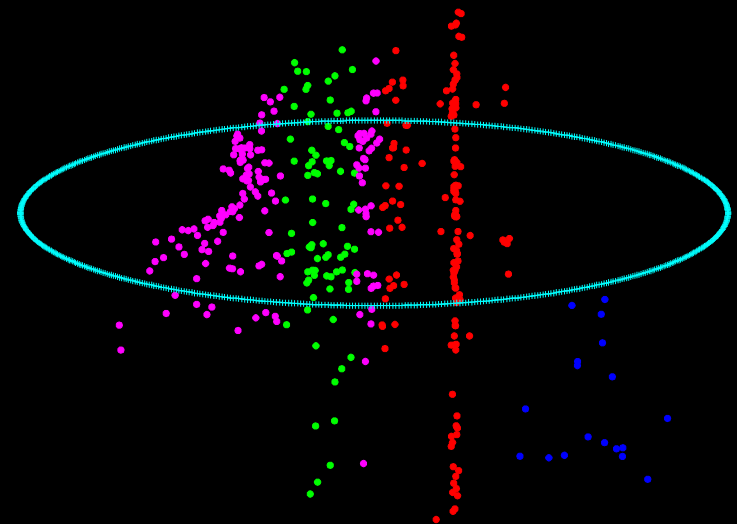
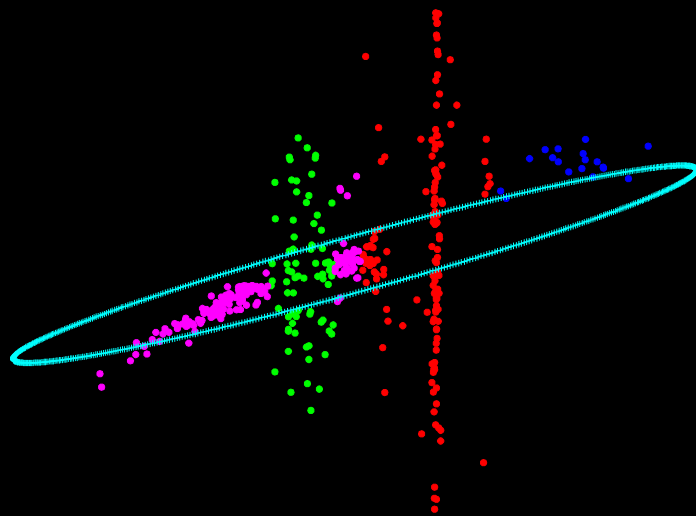
Modeliranje efekta Yarkovskog



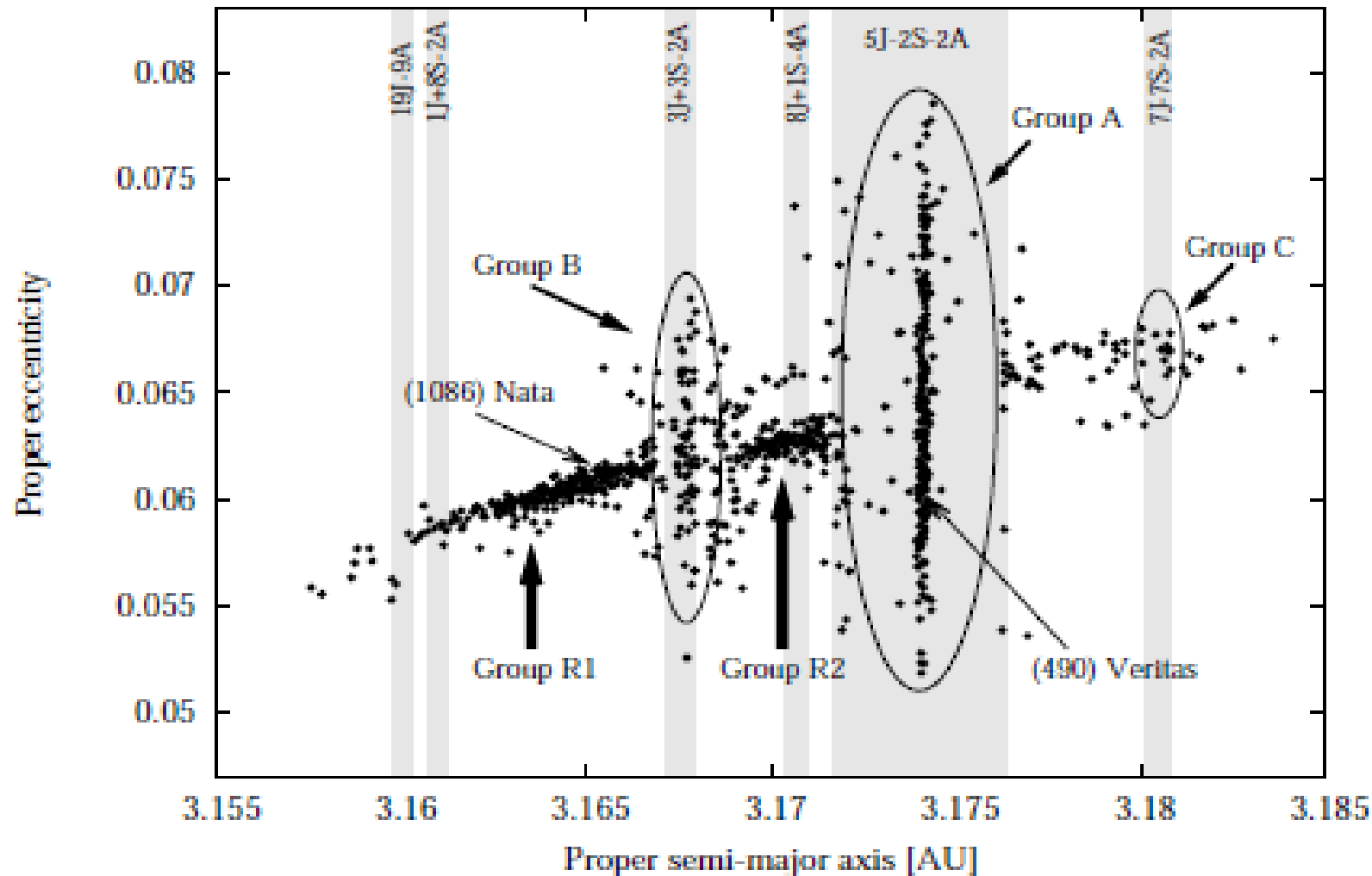
Modeliranje efekta Yarkovskog



Metod haotične hronologije



Metod haotične hronologije



Mlade familije asteroida

(832) Karin – **5.8** miliona godina; S-tipa

(490) Veritas – **8.3** miliona godina; C-tipa

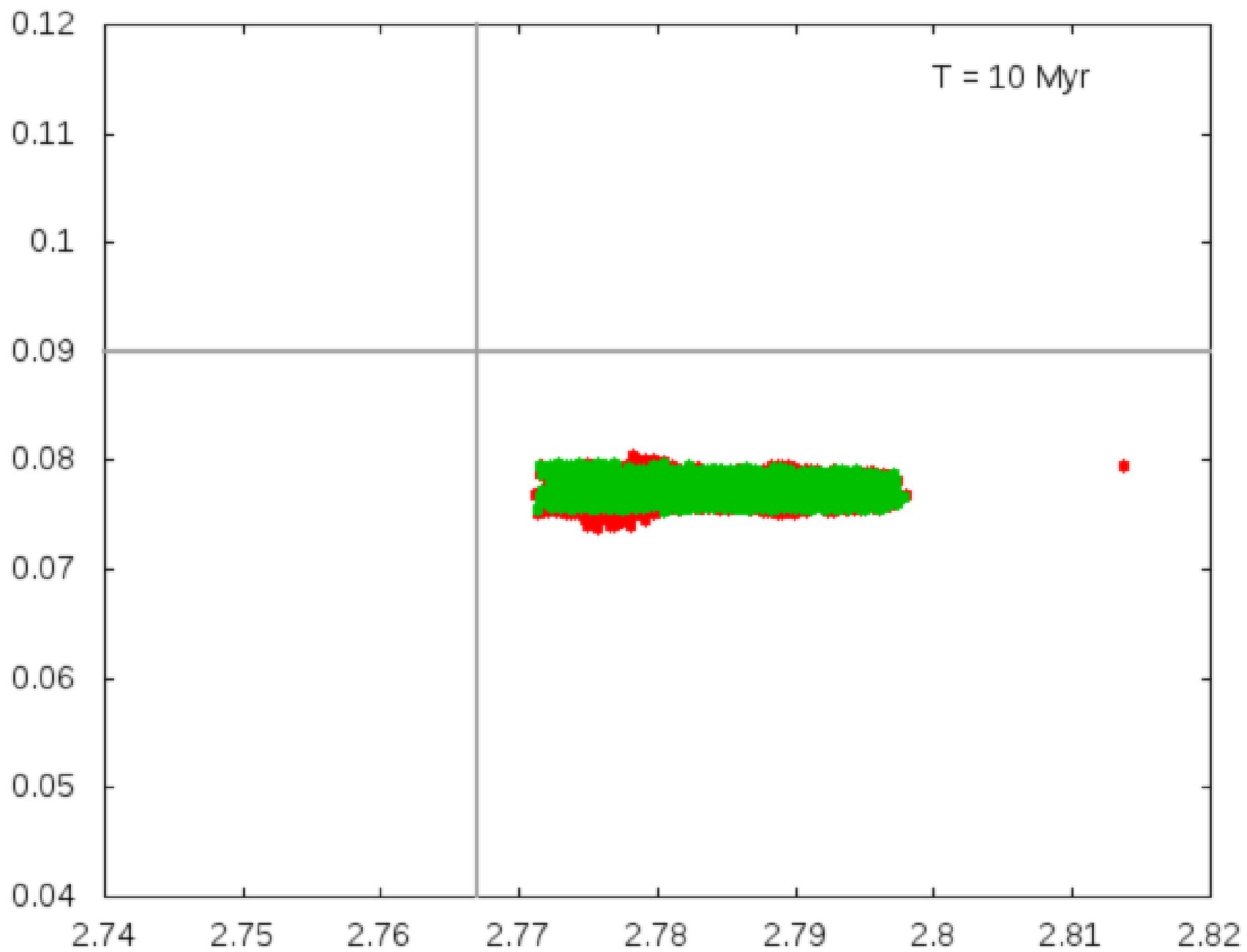
(1270) Datura – **0.45** milioona godina; S-tipa

(656) Beagle – manje od 10 miliona godina; C-tipa

(778) Theobalda – **6.9** miliona godina; C-tipa

(5438) Lorre – **1.9** miliona godina; C-tipa

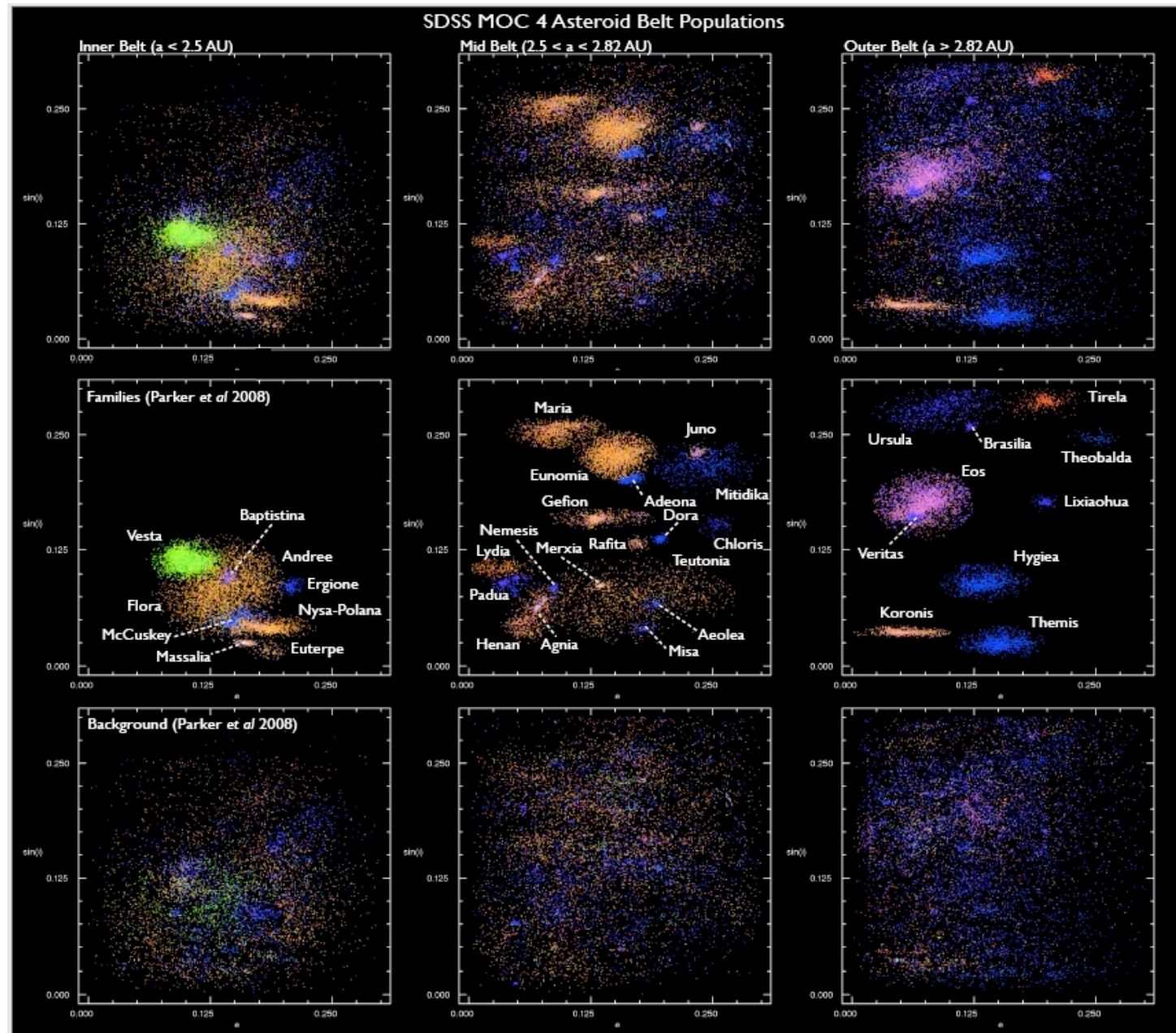
T = 10 Myr



Spektralne karakteristike familija

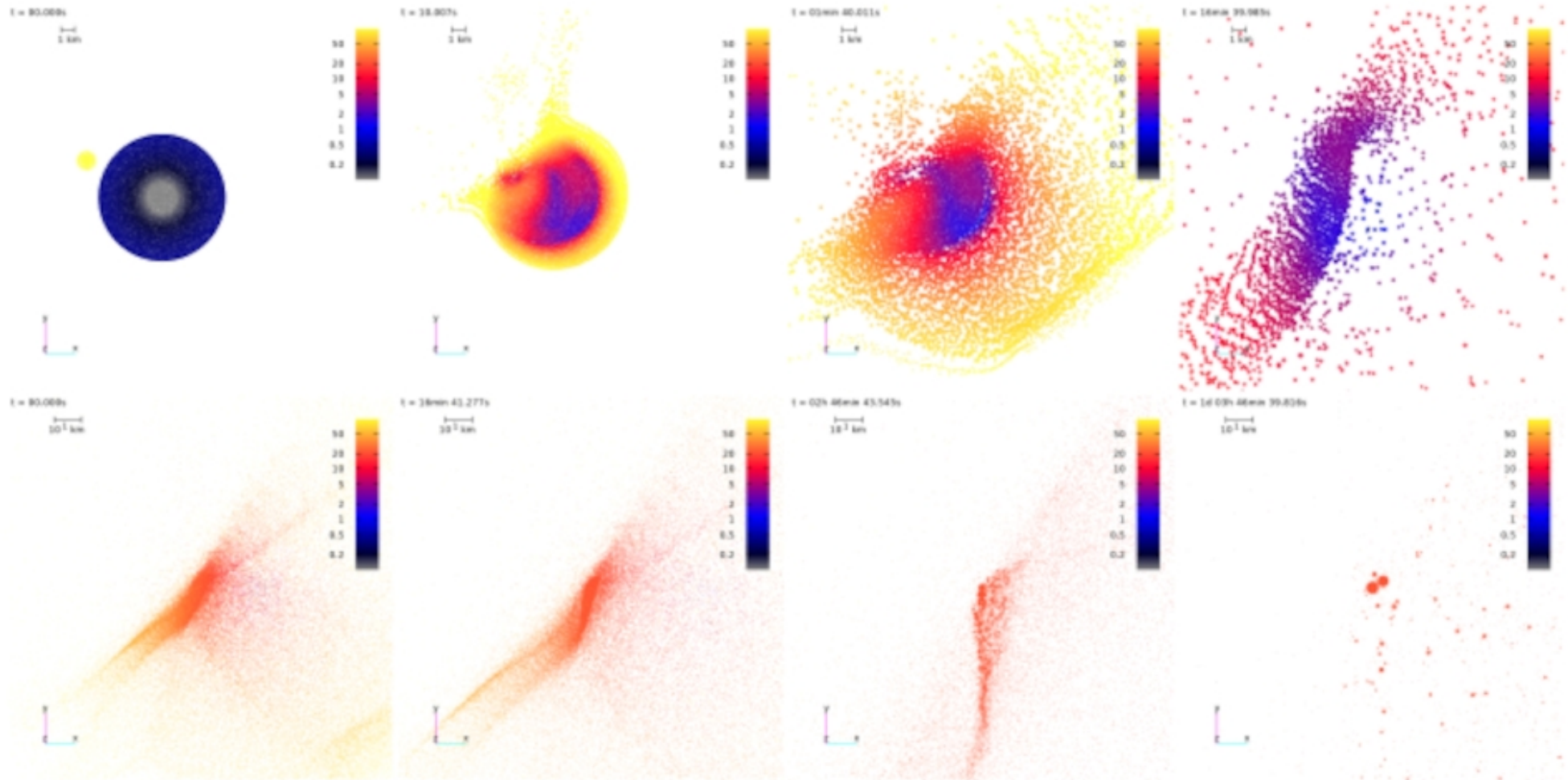
- Pošto većina asteroida nije “diferencirana”, svi članovi jedne iste familije su istog hemijskog sastava, pa samim tim i istih spektralnih karakteristika
- To nije slučaj za par familija čija su roditeljska tela bar delimično diferencirana
- Slične (ili skoro iste) spektralne karakteristike koriste se za potvrđivanje pripadnosti asteroida familijama

Spektralne karakteristike familija



Simulacija nastanka familije

fragmentation



reaccumulation