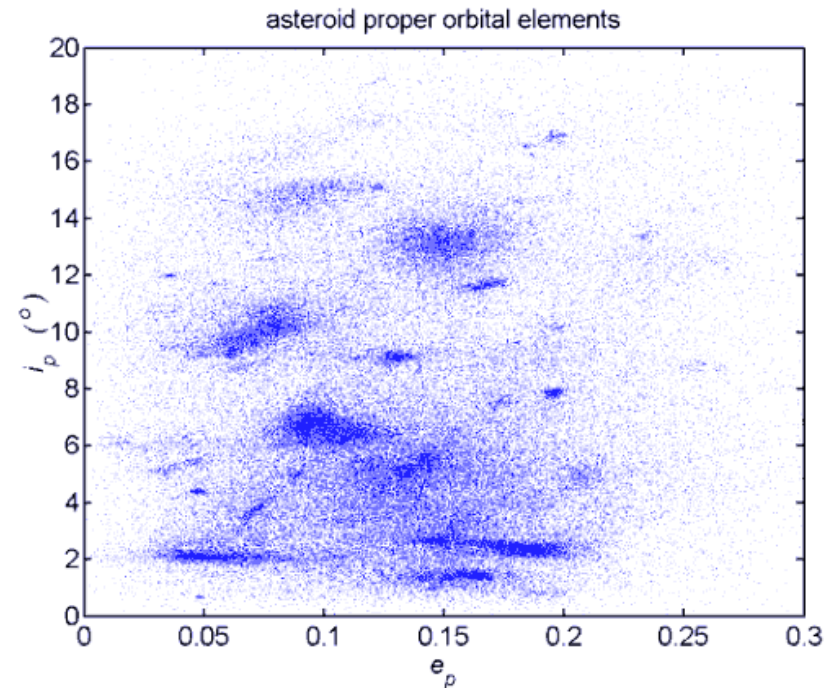
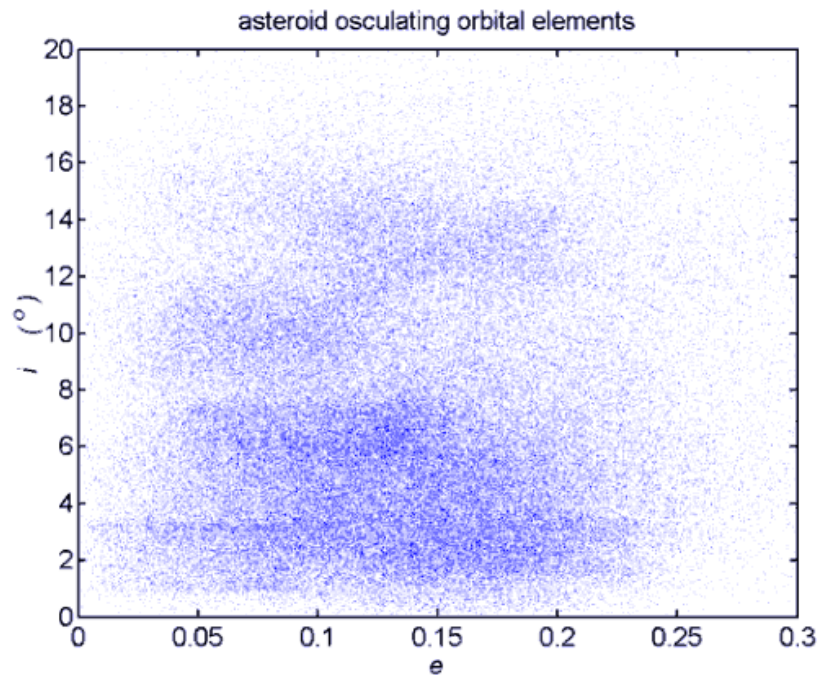


YORP структуре у астероидним фамилијама

Зоран Кнежевић
&
Paolo Paolicchi

Семинар Катедре за астрономију Математичког
факултета, 23. мај 2017

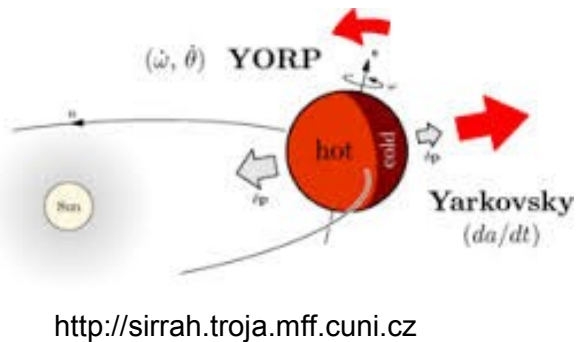
Астероидне фамилије



Credit: Piotr Deuar

Астероидне фамилије настају у сударима, а препознају се као контрасти густине у простору сопствених елемената кретања.

Сопствени елементи су квази-интеграл кретања, приближно константни у времену.



Силе које се јављају услед асиметричног излучивања апсорбоване топлоте, инверзно пропорционалне величини објекта (A/M).

YORP утиче на брзину ротације и “гура” полове према нагибима 0/180°.



YORP циклус (реверзија груписања због ротационе фисије, судари)

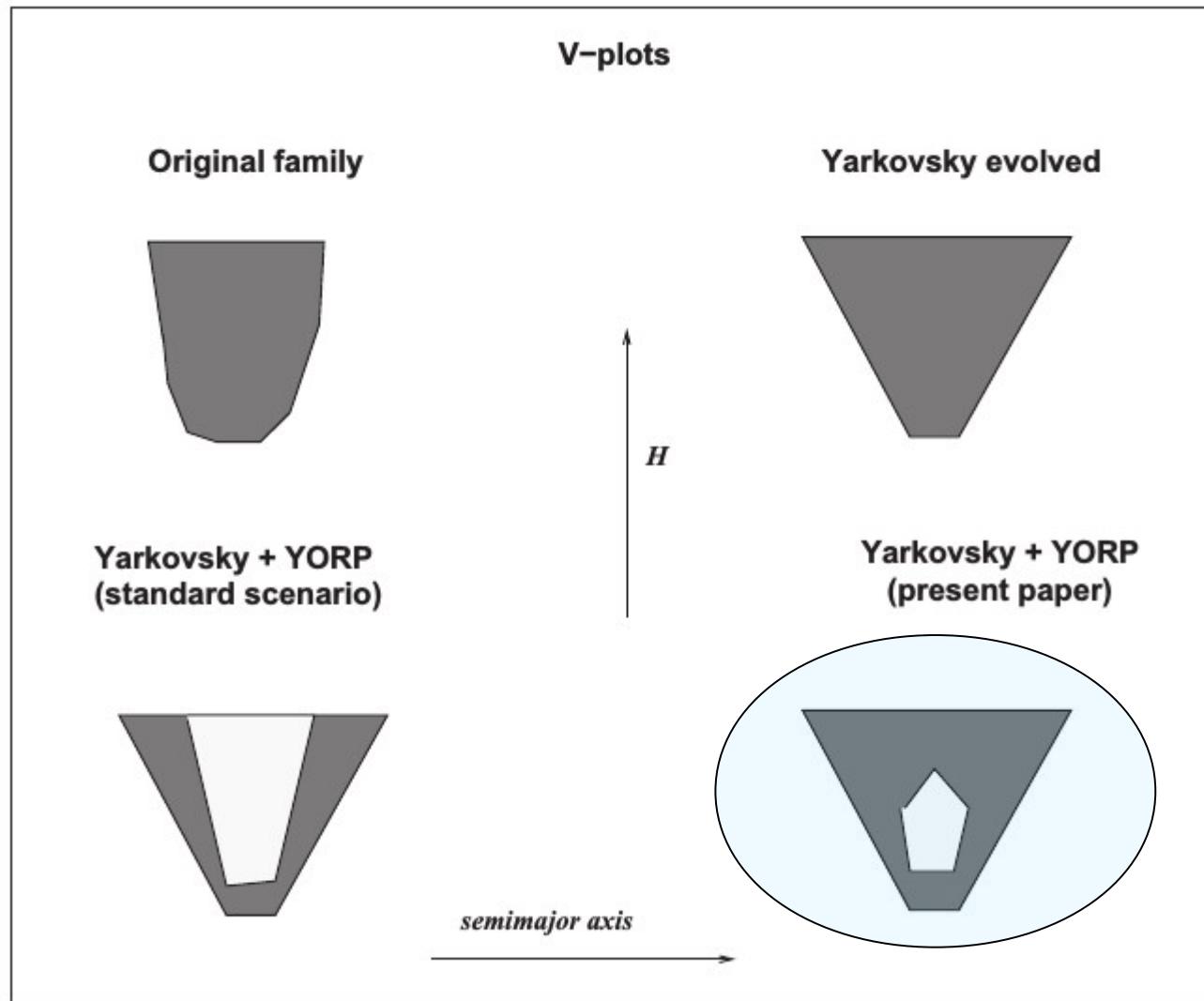


Убрзава померање под дејством ефекта Јарковског.

Фамилија дате старости:

- за велике астероиде недовољно времена да би се ефекти осетили
- за астероиде баш неке одређене величине YORP временска скала \approx старост фамилије
- за мање астероиде прошло више циклуса

YORP око – нова парадигма



Основе теорије YORP ока

- Промена нагиба ε по времену (A – алbedo, r – величина, a – велика полуоса, I – момент инерције):

$$d\varepsilon/dt = \text{const}(f(A)r^3)/(a^2I) = \text{const} f(A)/(a^2r^2)$$

- Временска скала YORP циклуса дефинисана променом нагиба за један **радијан**:

$$\tau_{Y\text{-cycle}} = \text{const} \frac{a^2 Ar^2}{Af(A)} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \rightarrow \boxed{10^{0.4H} \propto 1/(Ar^2)}$$

- Веза YORP циклуса произвољног и референтног објекта:

$$\tau_{Y\text{-cycle}}(H, a, A) = \tau_{Y\text{-cycle}}(H_0, a_0, A_0) \frac{a^2 A_0 f(A_0) 10^{0.4H_0}}{a_0^2 A f(A) 10^{0.4H}}$$

YORP старост

- YORP старост пропорционална је или једнака (via *const*) броју YORP циклуса које је члан фамилије са $H = H_0$ прошао у току свог животног века (једнаког старости фамилије τ_f):

$$Y_{age} = \frac{\tau_f}{\tau_{Y-cycle}(H_0, a, A)} = \frac{\tau_f A f(A) a^{-2}}{\tau_{Y-cycle}(H_0, a_0, A_0) A_0 f(A_0) a_0^{-2}}$$



$$Y_{age} \propto 10^{0.4H_0}$$

- Нормализација даје Y_{age} :

$$Y_{age} = \tau_f A f(A) a^{-2} \quad \leftarrow (\tau_f \text{ у My, } a \text{ у au})$$

Калибрација

Rubincam (2000): подаци за астероид (951) Gaspra

$$\tau_{Y\text{-cycle}} = 1\text{Gy}$$

$$A = 0.22: F(A)=1$$

$$a = 2.2 \text{ au}$$



$$Y_{age} : 45 \simeq 10^3 \cdot 0.22 / (2.2^2)$$

Астероид Gaspra-ине апсолутне магнитуде $H=11.5$ mag, албеда и положаја, и старости ≈ 1 Gy, прошао је тачно један пуни YORP циклус.

Апсолутна магнитуда H за коју тело дате YORP старости пролази тачно један циклус у току свог животног века може се одредити из:

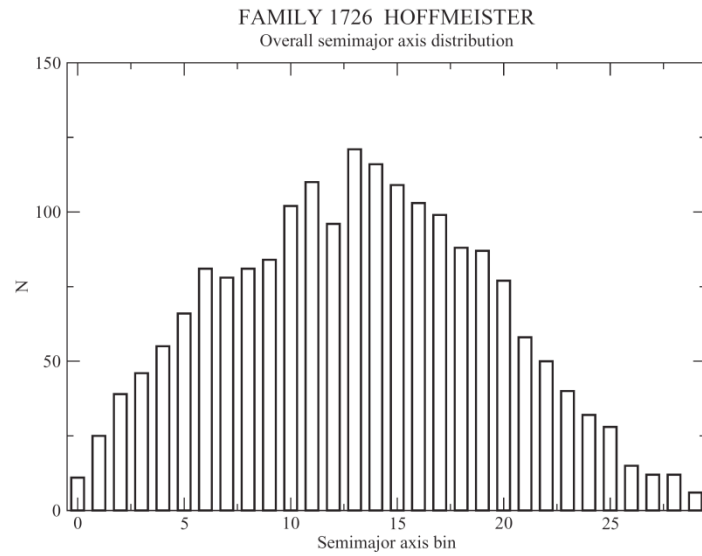
$$H_{1\text{cycle}} \simeq 15.6 - 2.5 \log_{10} Y_{age}$$

!!

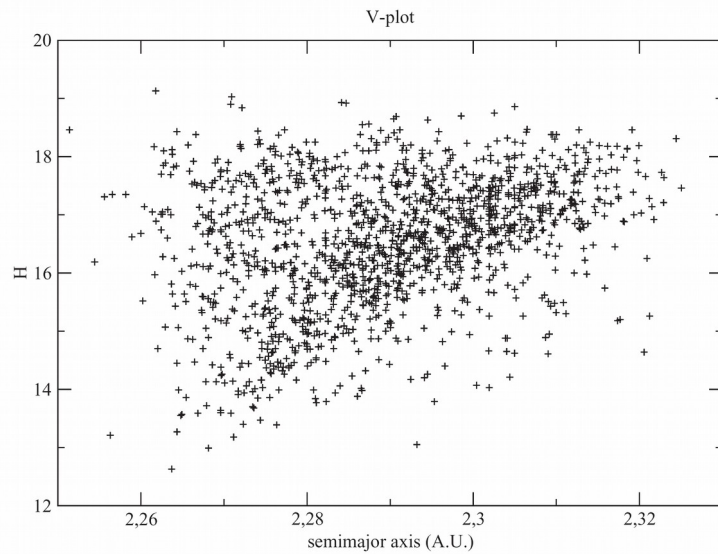
Извори грешака:

- Идентификација чланова фамилија – уљези, помањкање малих чланова;
- Асиметрија фамилија – кратерске фамилије, резонанце ...;
- “Лимб-ефекат” у фамилијама;
- Вишеструки судари;
- Необичне почетне расподеле вектора спина, спин-орбит резонанце;
- Алbedo и термичка проводност површине;
- Грешке апсолутних магнитуда H ;
- YORP код тела разних облика, мале промене облика;
- YORP еволуција у дугим временским интервалима;
- YORP око на сувише малим или сувише великим H .

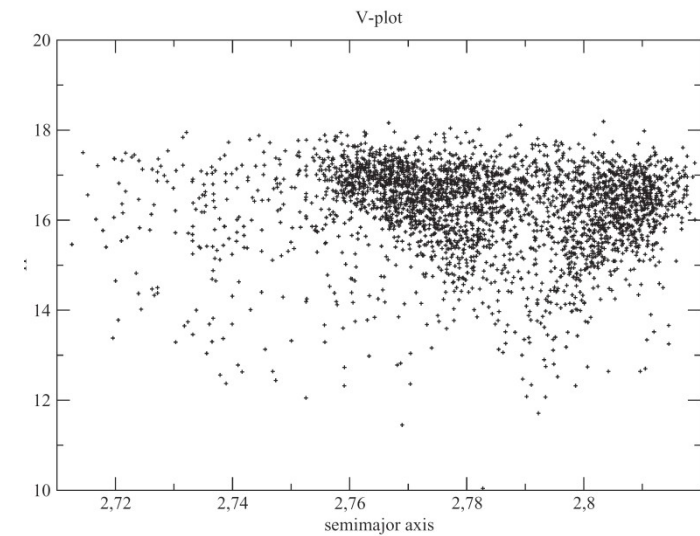
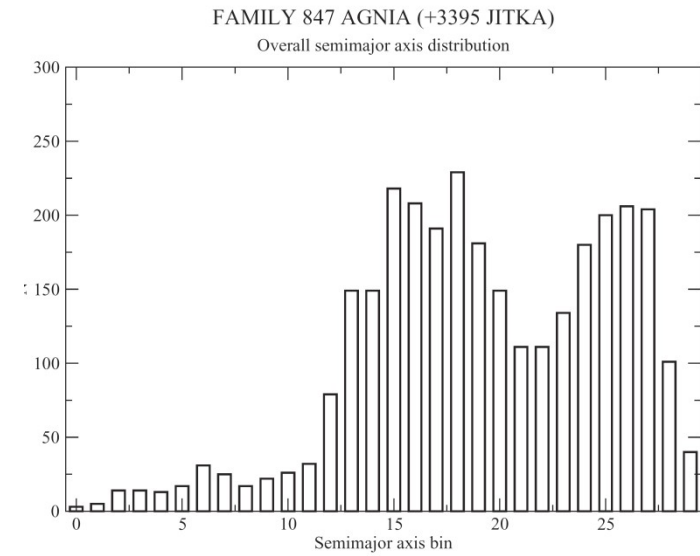
“Лимб-эффект”



Асиметричне фамилије



Вишеструки судари



Параметар централне проређености

Очекивана централна проређеност услед YORP ефекта није увек видљива.



Задатак: идентификовати не само лако препознатљиве празнине (“очи”) на $a - N$ графику, него и оне у знатној мери деградиране.



Како: тражити зависност неког параметра који мери централну проређеност од апсолутне магнитуде N .



Решење: за дати интервал по N , седам бинова по a који одговарају еквидистантним интервалима по синусу угла $\varepsilon - \pi/2$ (ефекат Јарковског); ако су нагиби оса ротације случајно распоређени, очекује се униформна расподела астероида.

Параметар централне проређености

$$R = \frac{3 N_{ext}}{4 N_{int}}$$

N_{ext} – укупан број астероида у четири латерална бина;

N_{int} – укупан број астероида у три централна бина.

$R = 1$ за униформну расподелу , а $R > 1$ за YORP ефектом узроковано груписање у граничним областима.

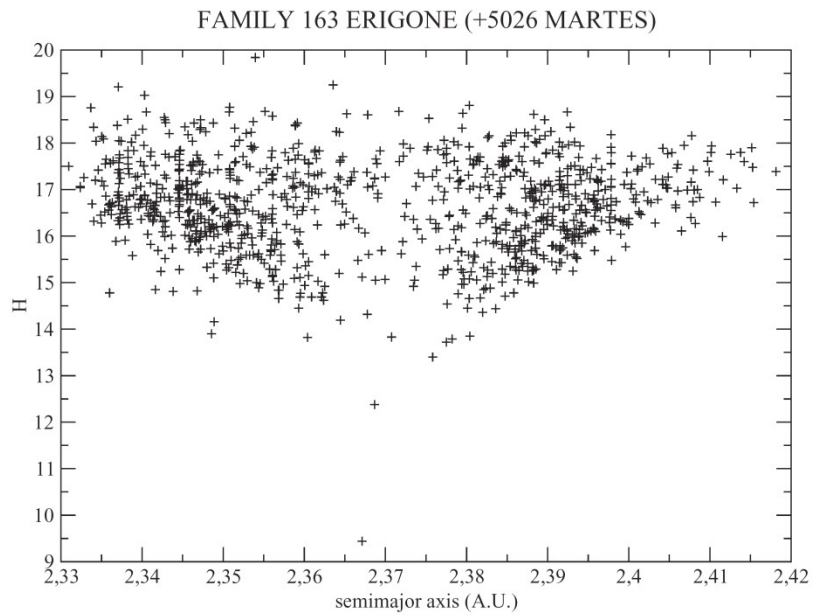
R еквивалентан куртозису

Параметар централног проређења: практични рад

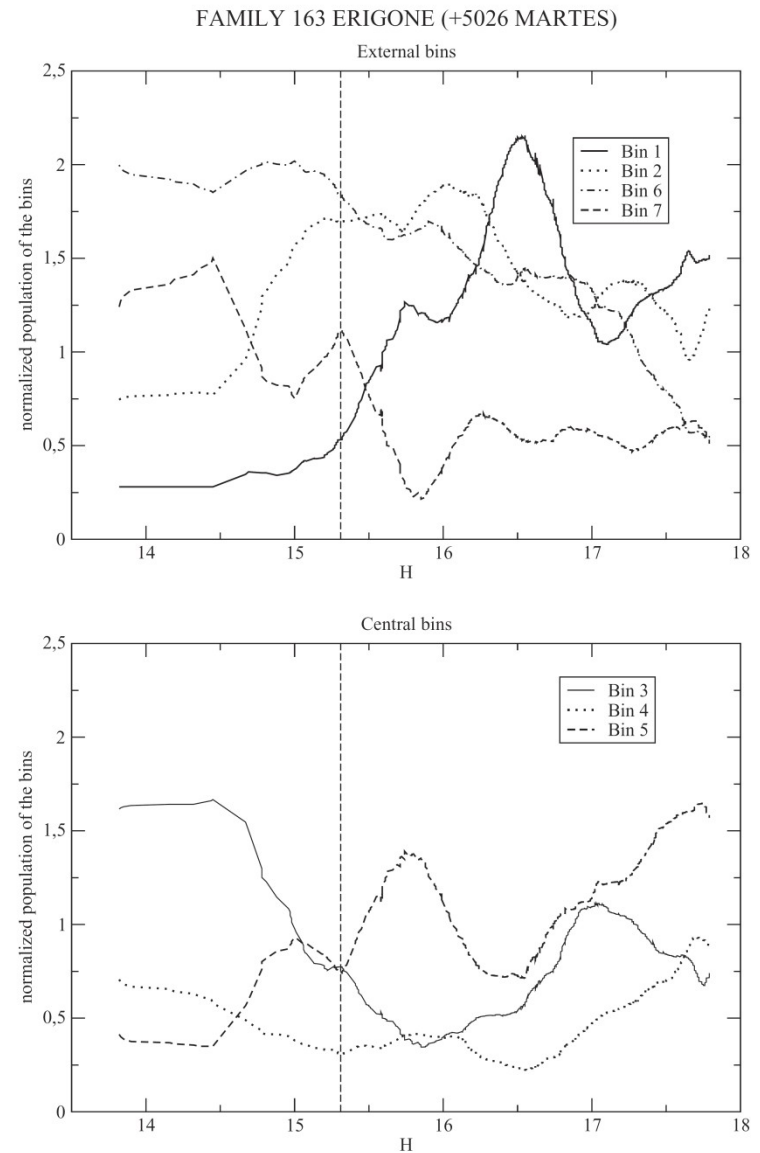
- Одређују се вредности R у функцији H ;
- Величина running box-а 100 објеката;
- Тачке се групишу унутар малог H -интервала;
- Направи се график $R(H)$ за сваки бин (локални максимуми);
- Старости фамилија из Spoto, Milani & Knežević (2015) да би се одредило очекивано $H(R_{\max})$;
- Анализирана 31 фамилија.

У неким случајевима интерпретација компликована (847+3395) !

Пример:

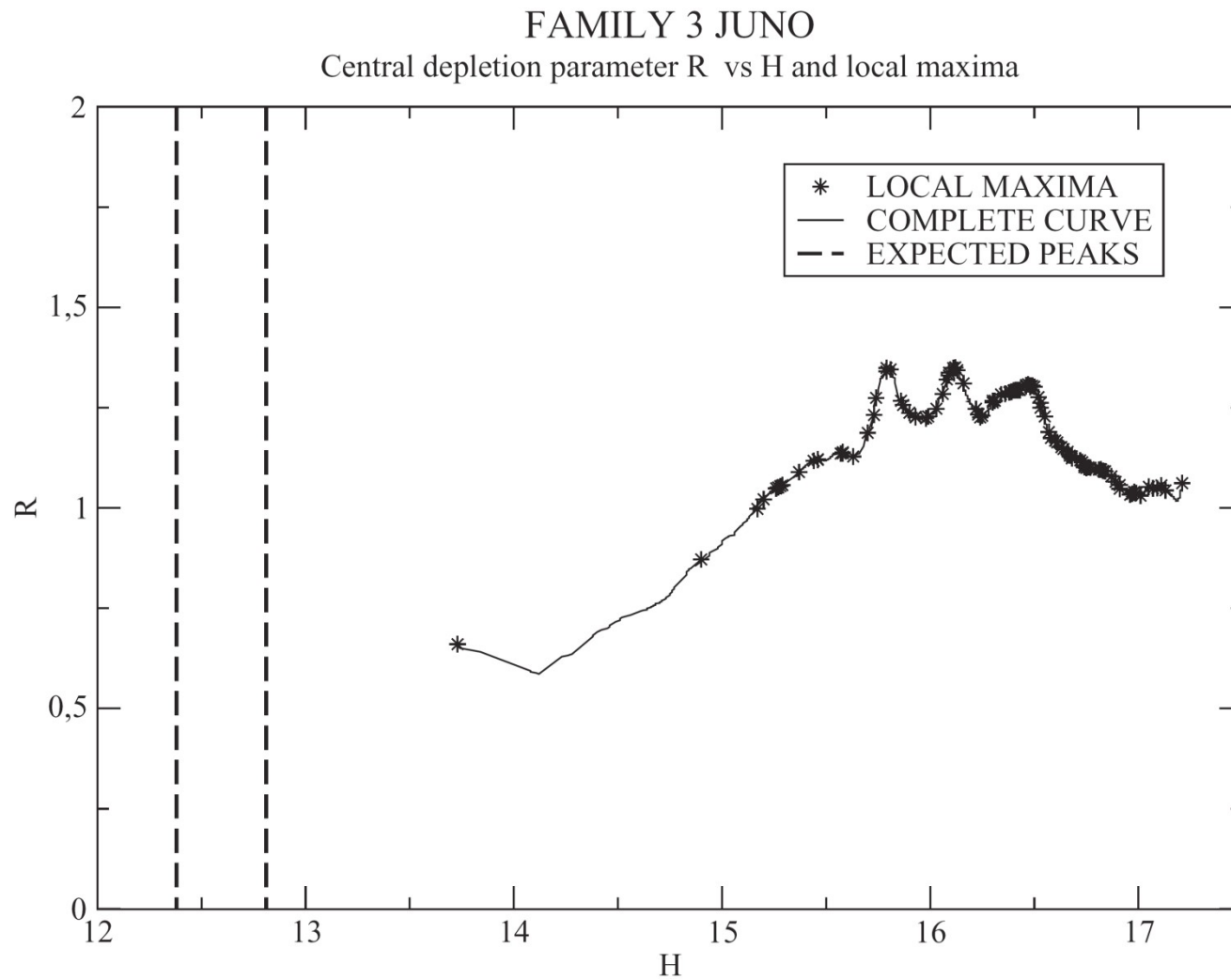


Централно проређење контролисано
биновима 2 и 6; $\varepsilon \approx 25^\circ - 45^\circ$.

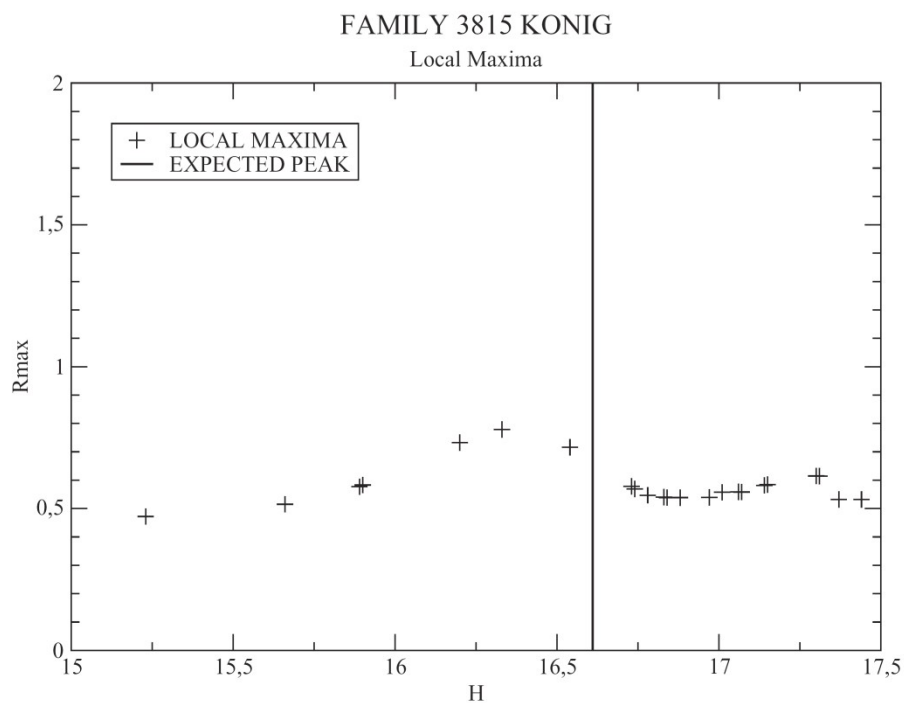


Результати

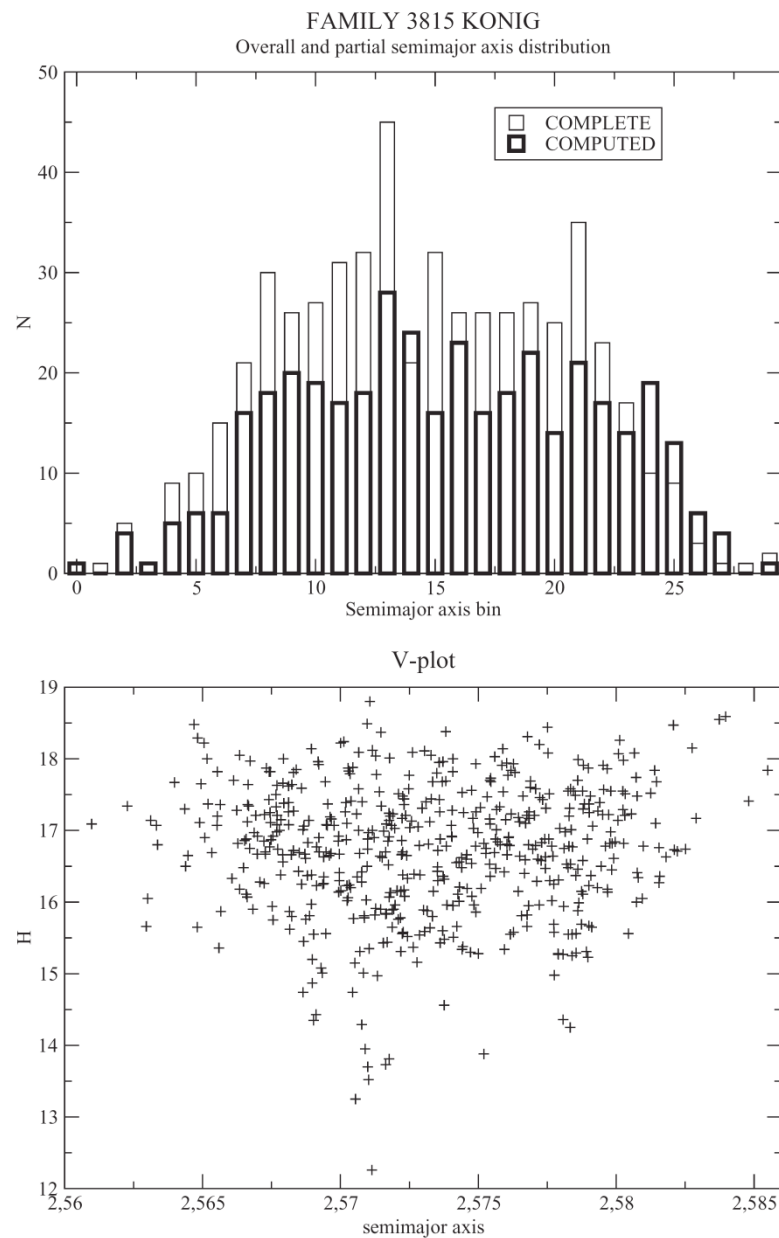
3 ван о



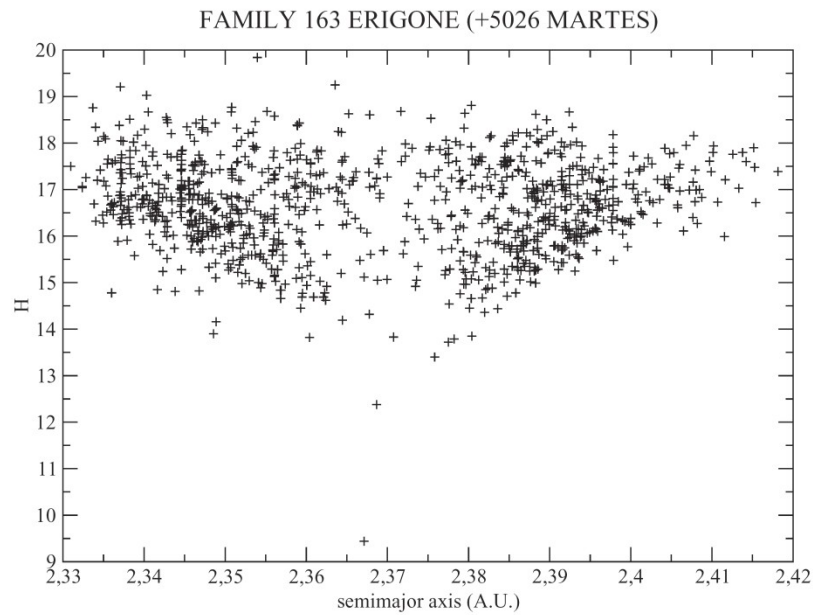
5 ca $R < 1$:



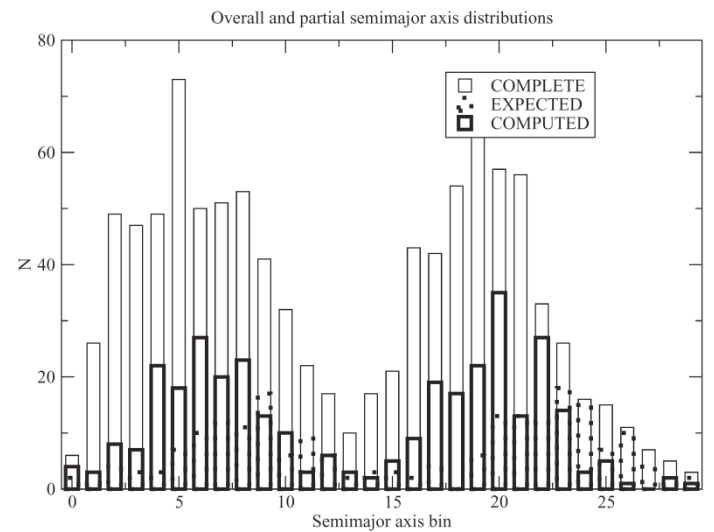
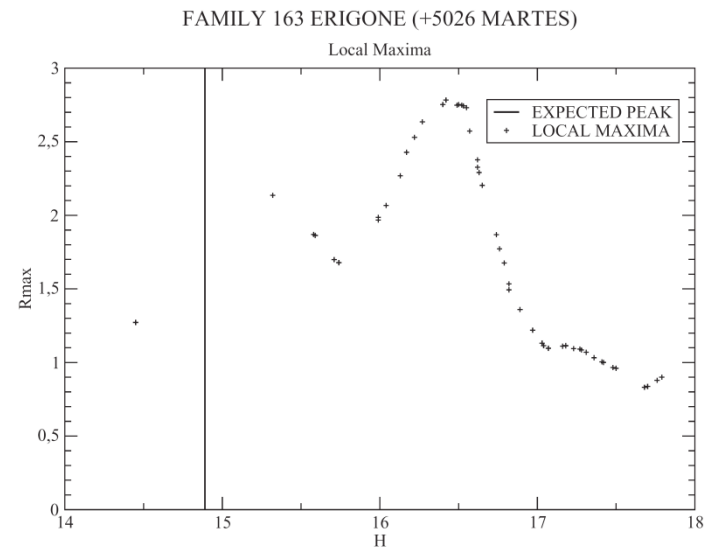
Нема видљивог проређења за H у близини $H(R_{\max})$!



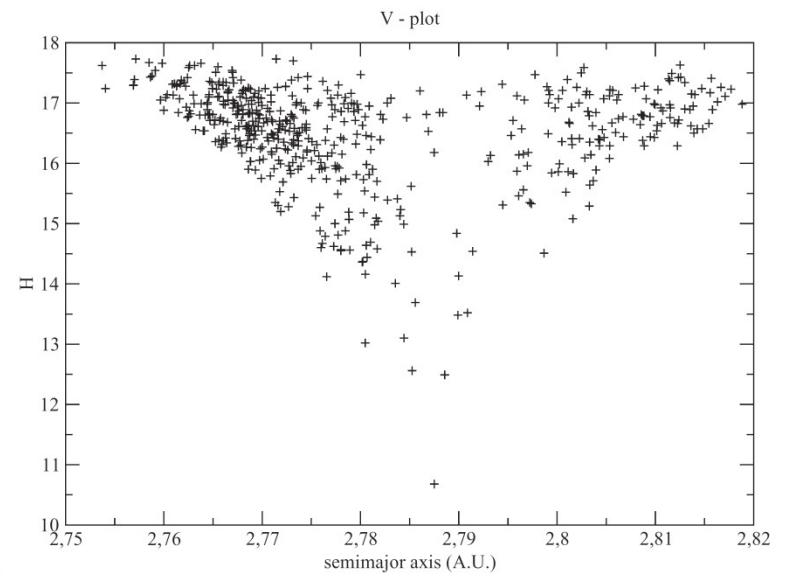
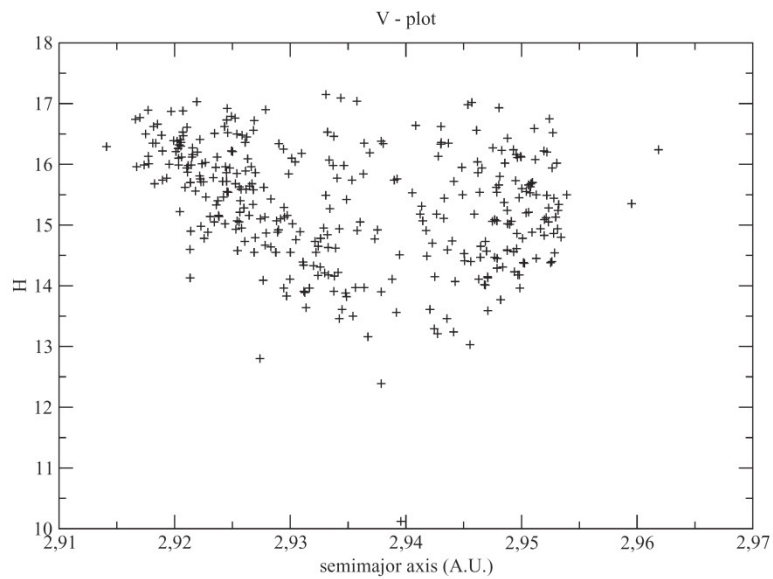
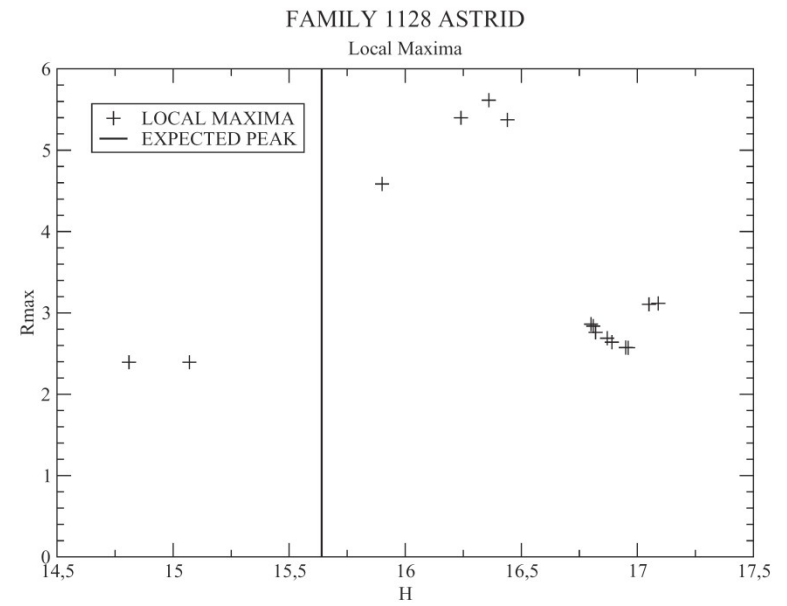
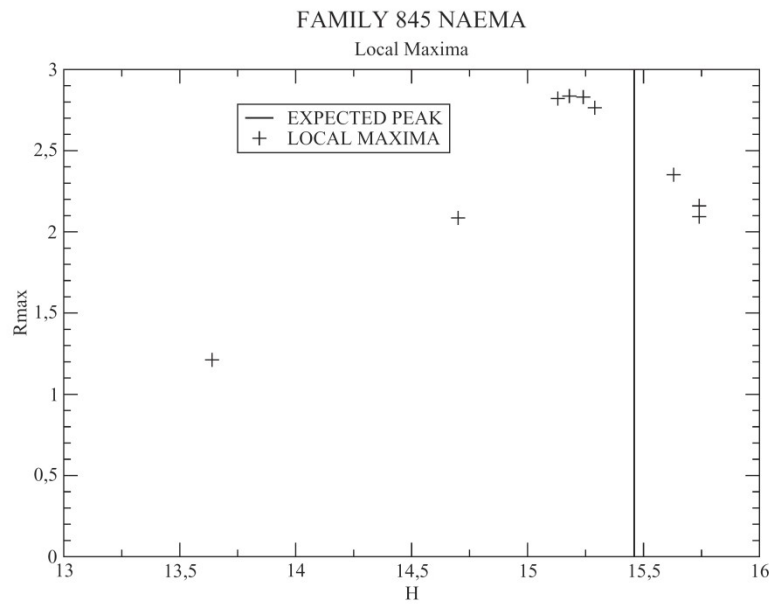
11 са вишеструким максимумима:



Секундарни максимум због концентрације астероида у левом крилу расподеле за $H = 17-18$ mag (секундарни судар !?)



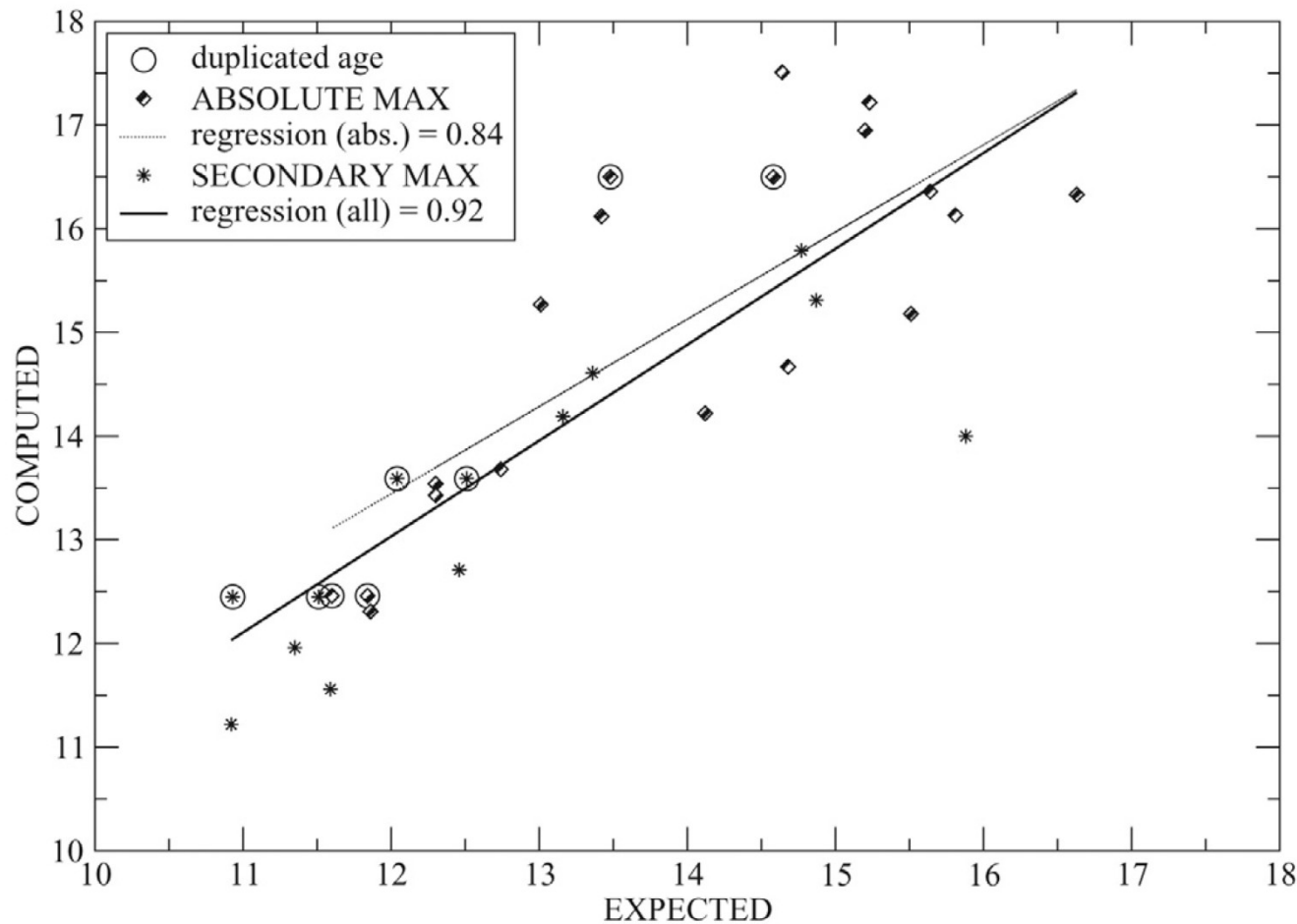
12 задовољавајућих:



Корелација између израчунатих локација максимума R у функцији од H , и очекиваних на основу YORP старости, еквивалентна корелацији оцена старости фамилија:

$$H_{comp} - H_{exp} = 2.5 \log_{10} (\tau_{Yark} / \tau_{YORP})$$

COMPUTED VS EXPECTED MAXIMA



Средње вредности по x,y осама смакнуте за 0.912 mag.

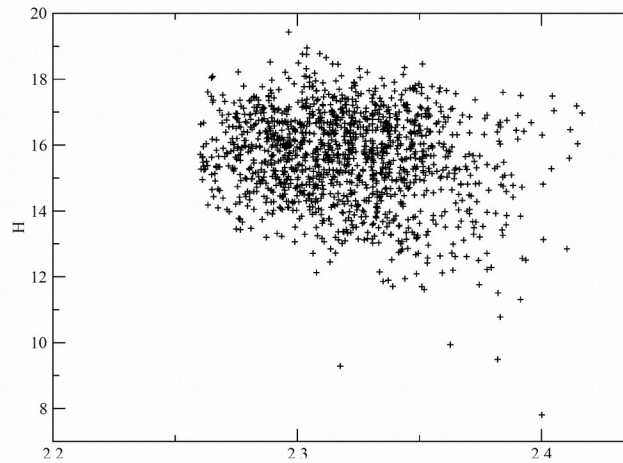
Рекалибрација даје коефицијент корелације 0.97 !



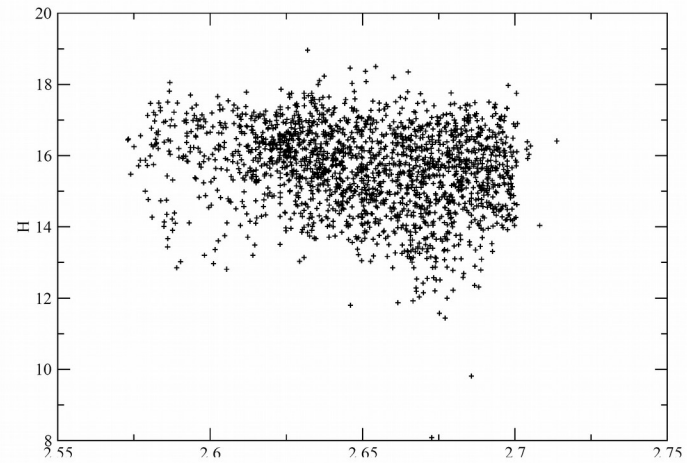
Подесити старости фамилија и/или const у !! и/или претпоставку да је $N(\text{YORP око}) = N(1 \text{ YORP циклус})$.

Једностране фамилије

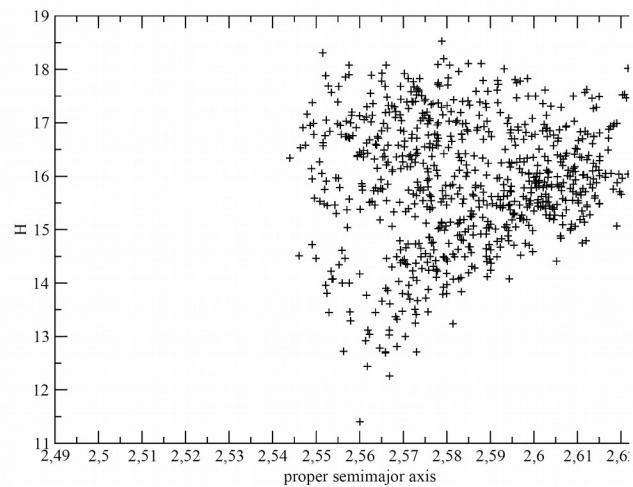
25 Phocaea - V shaped plot



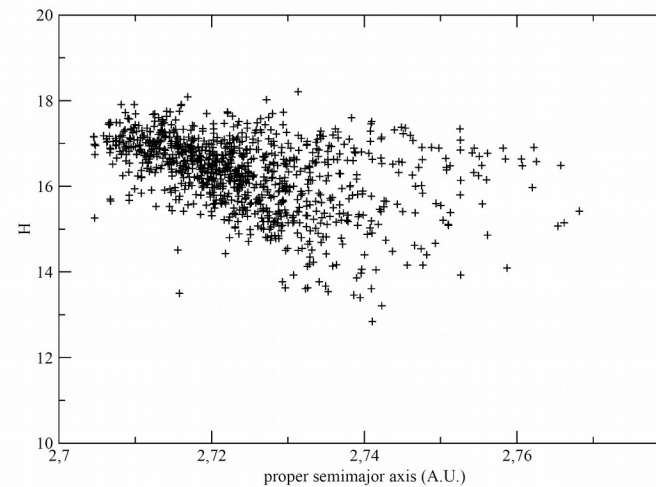
145 Adeona - V shaped plot



1658 Innes - V shaped plot



3827 Zdenekhorsky - V shaped plot



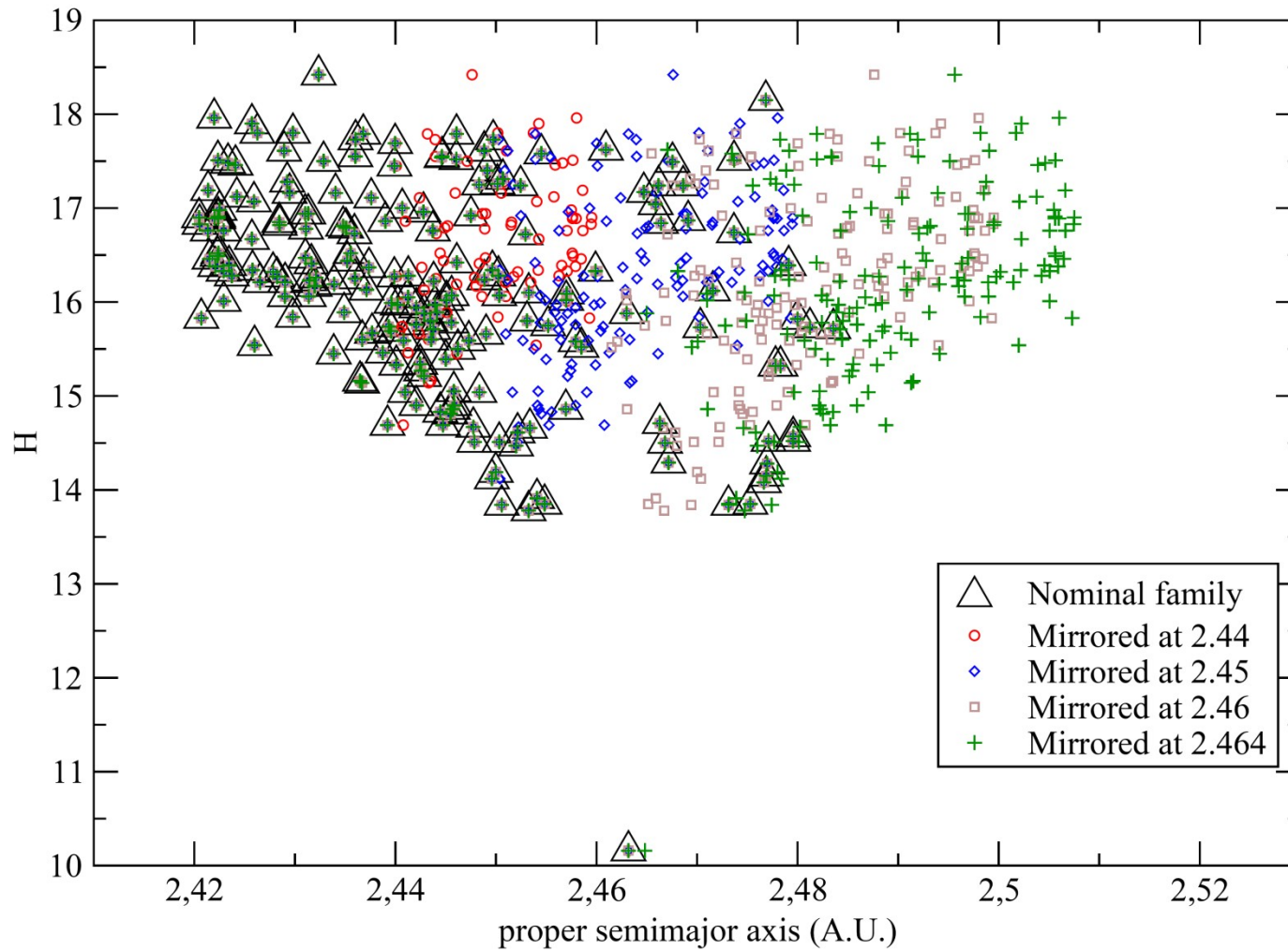
Пресликавање

- Крило које садржи већи број чланова остаје непромењено;
- Фиктивни чланови се додају оригиналним члановима супротног крила;
- Број додатих чланова једнак разлици популација два крила;
- Фиктивни члан се бира случајно међу члановима бројнијег крила;
- Сваком од њих се приписује иста апсолутна магнитуда H и велика полуоса симетрична у односу на изабрану осу.

Пресликавање

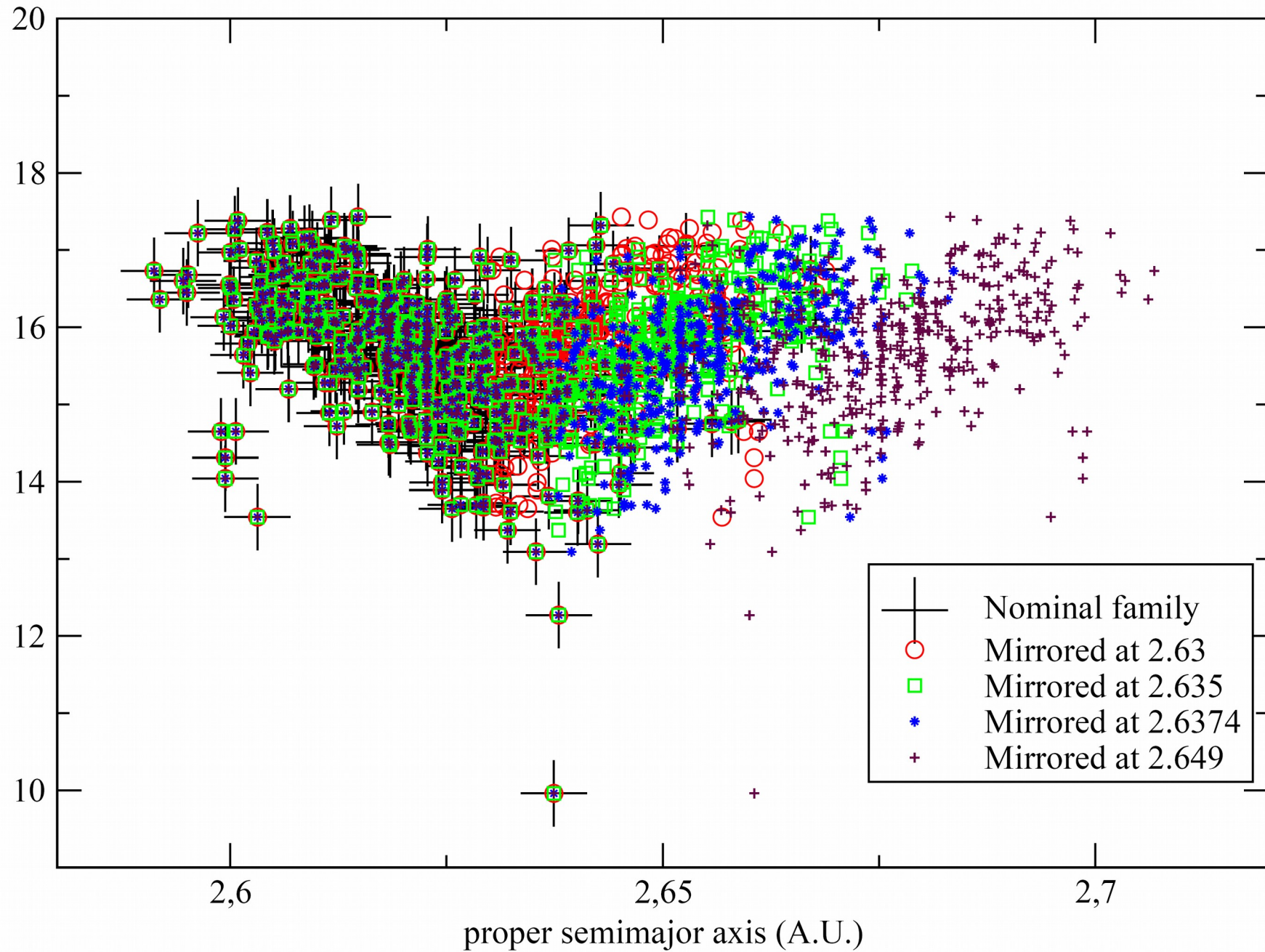
752 Sulamitis and mirrored

V shaped plot



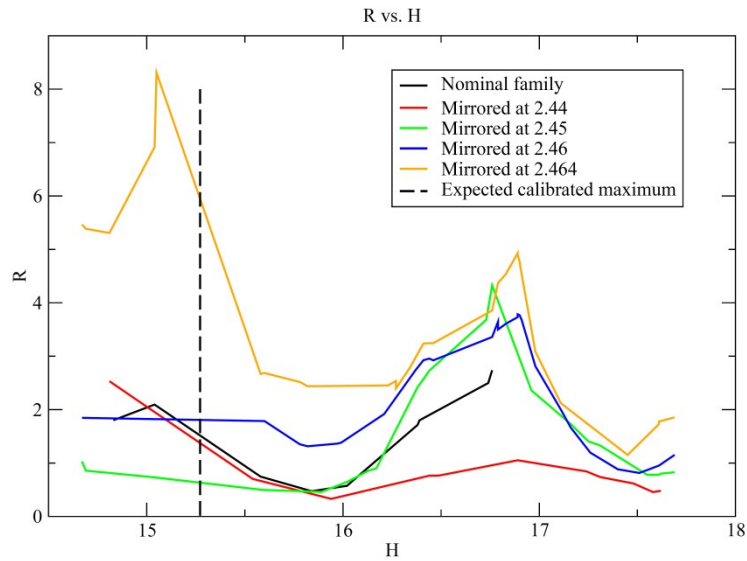
945 Barcelona and mirrored

V shaped plot

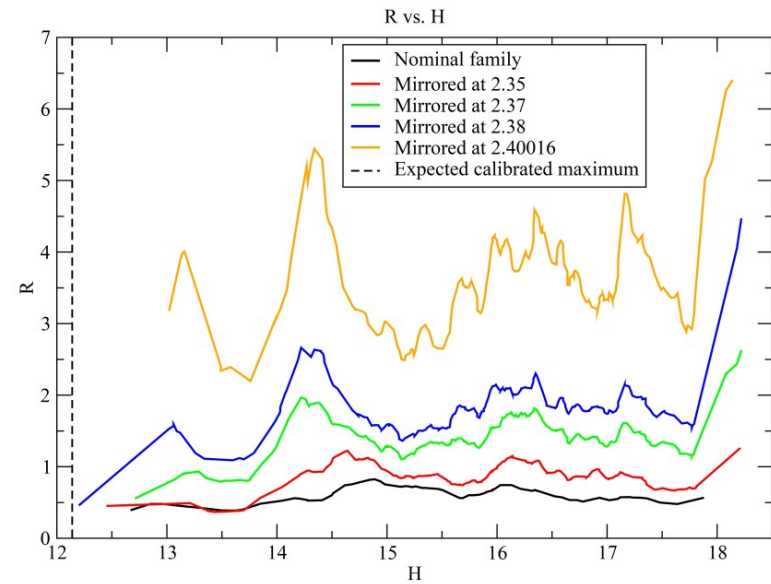


Задовољавајуће:

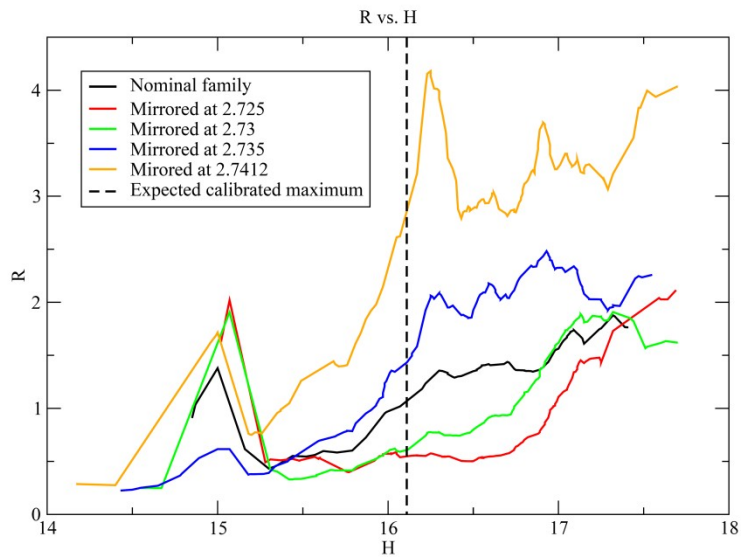
752 Sulamitis and mirrored (BOX=30)



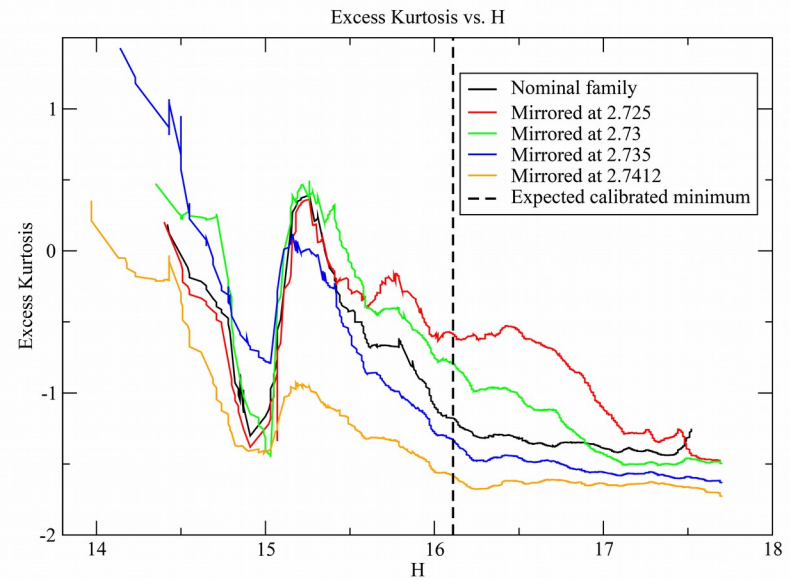
25 Phocaea and mirrored (BOX=50)



3827 Zdenekhorsky and mirrored (BOX=50)

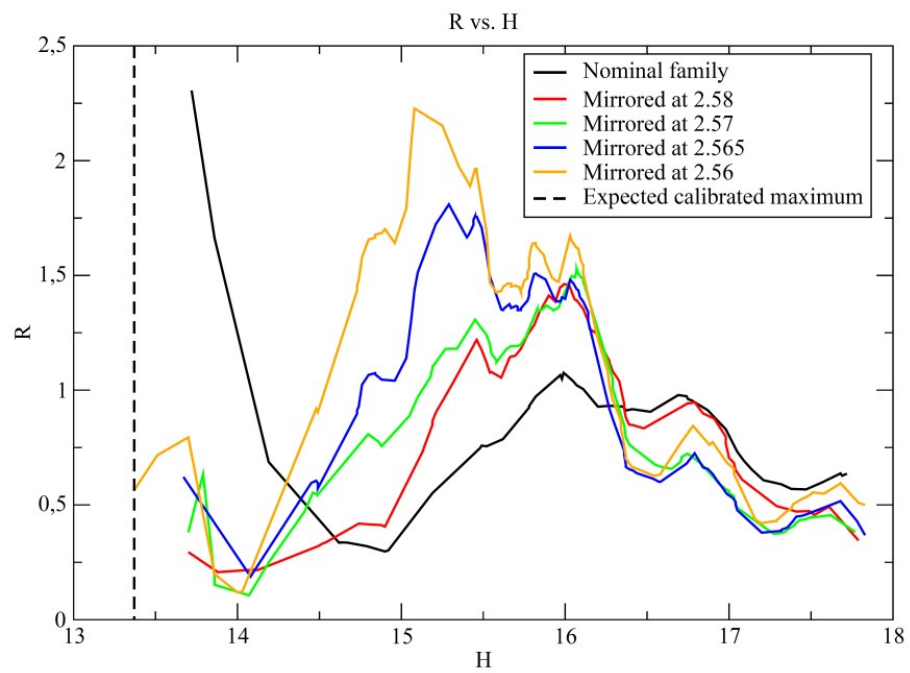


3827 Zdenekhorsky and mirrored (BOX=50)

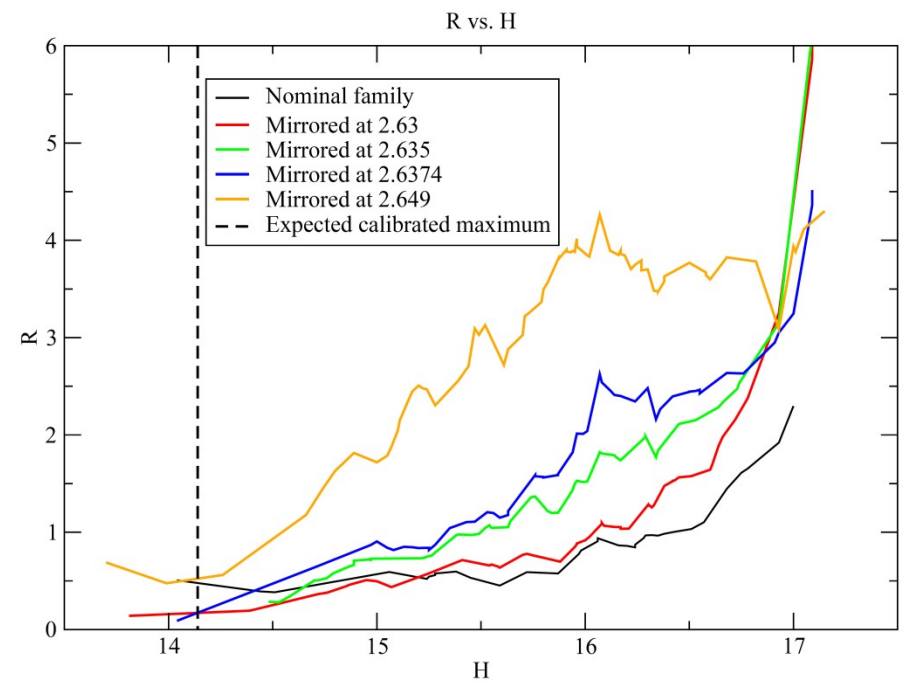


Hejacho:

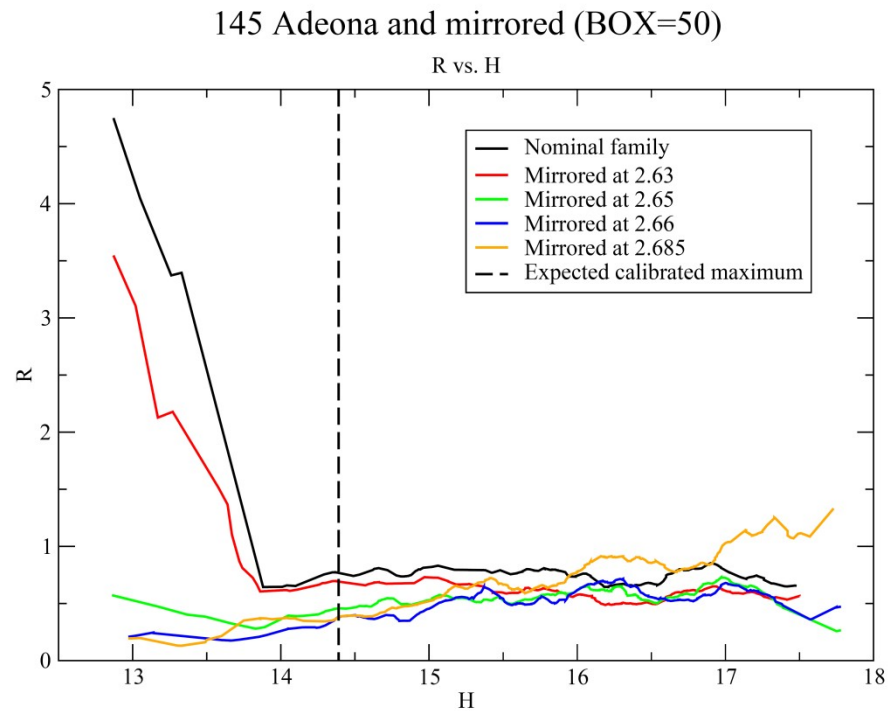
1658 Innes and mirrored (BOX=50)



945 Barcelona and mirrored (BOX=30)



Лоше:



Paolicchi, P., Knežević. Z: 2016, Footprints of the YORP effect in asteroid families, Icarus 274, 314-326.

Paolicchi, P., Knežević. Z, Spoto, F., Milani, A., and Cellino, A.: 2017, Asteroid “one-sided” families: identifying footprints of YORP effect and estimating the age. Proceedings Congress of the Italian Planetology Society, Bormio, in press.



Хвала!