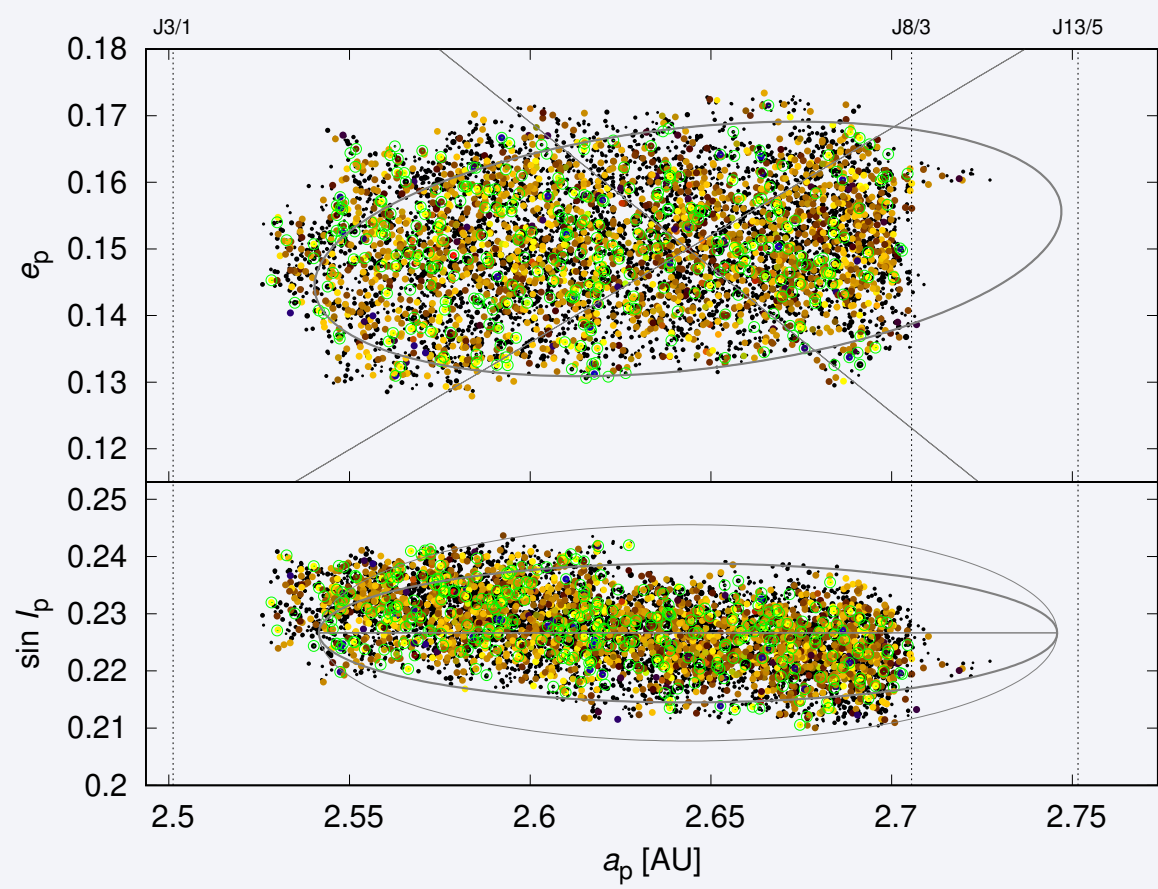
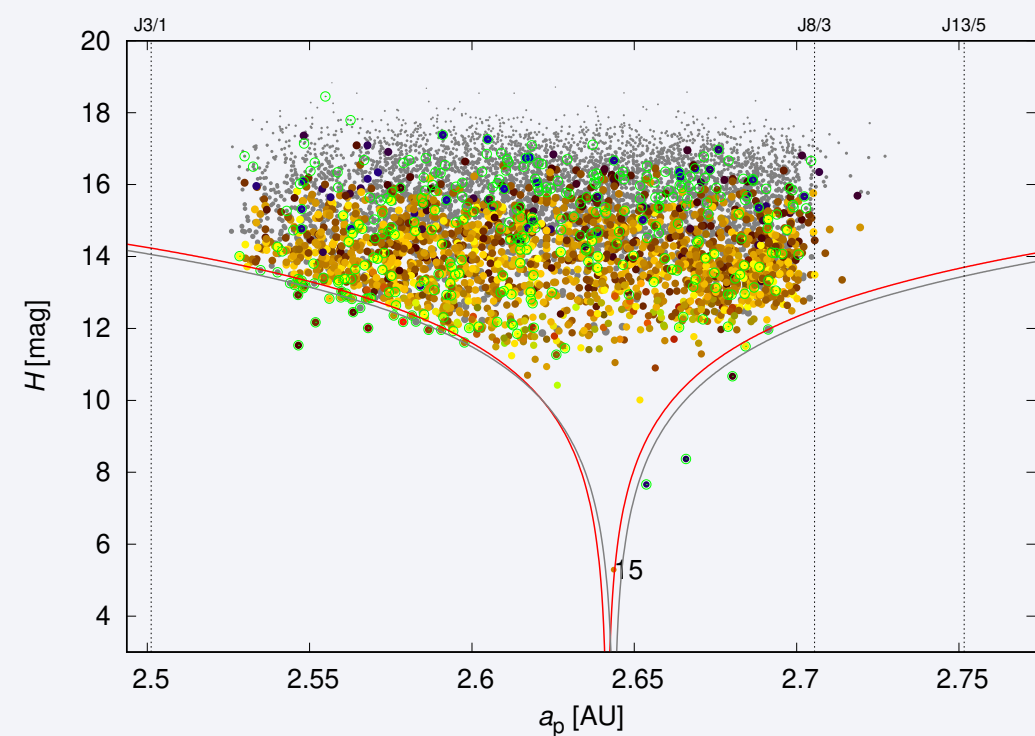


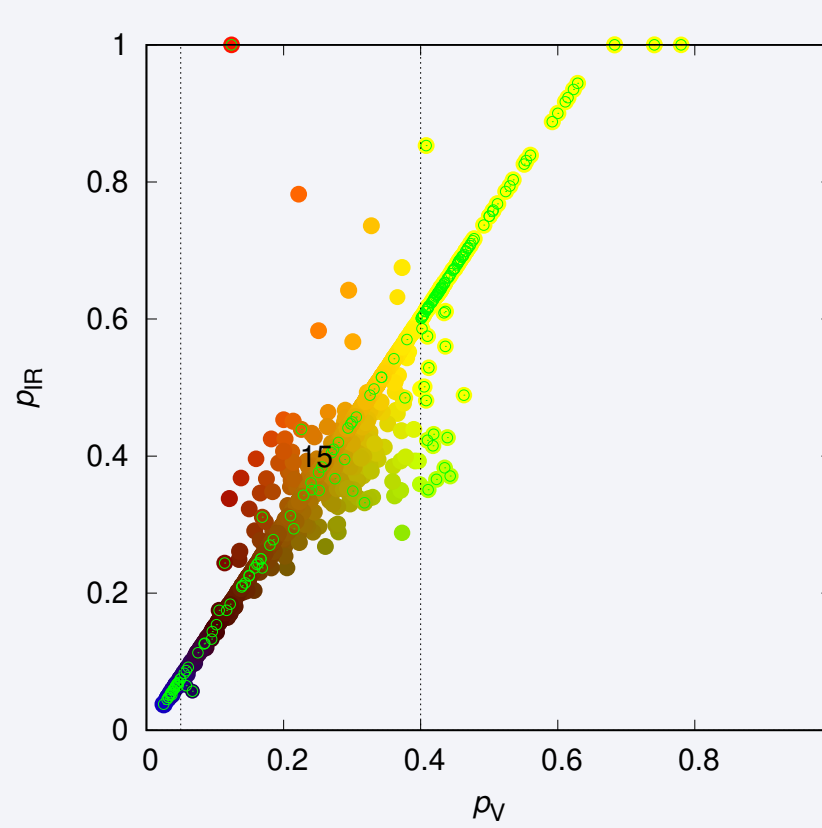
# Výsledky



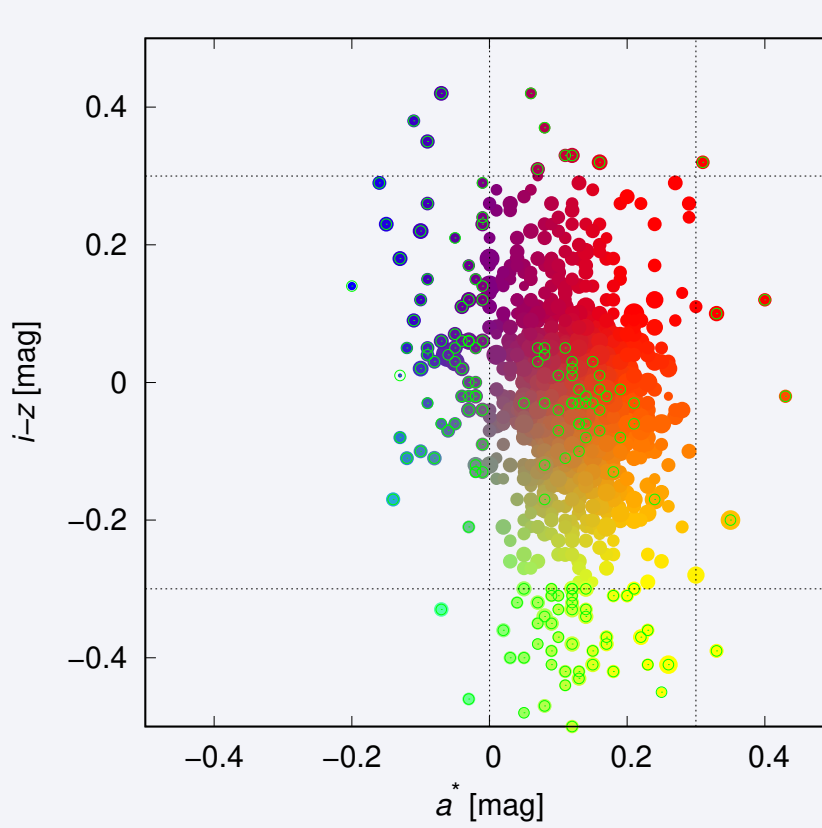
(a) Pozorovaná rodina *Eunomia* určená HCM s hodnotou  $v_{\text{cutoff}} = 44 \text{ m/s}$  v rovině **vlastní hlavní poloosy**  $a_p$  a **vlastní excentricity**  $e_p$  (nahore) a v rovině **vlastní hlavní poloosy**  $a_p$  a **vlastního sklonu**  $\sin i_p$  (dole). Barevná škála odpovídá **albedu**  $p_V$  a  $p_{\text{IR}}$  z katalogu WISE [3]. Nápis J3/1, J8/3 a J13/5 označují polohu **rezonancí středního pohybu** s *Jupiterem*. Šedé elipsy a úsečky (degenerované elipsy) naznačují předpokládaný tvar rodiny, při rozpadu v bodě oběžné dráhy s hodnotami **pravé anomálie**  $f = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  (nahore) a jejího součtu s **argumentem pericentra**  $\omega + f = 0^\circ, 50^\circ, 90^\circ$  (dole), kde elipsou zvolenou pro další výpočty je elipsa pro hodnoty  $f = 90^\circ$  a  $\omega + f = 50^\circ$ .



(b) Pozorovaná rodina *Eunomia* v rovině **vlastní hlavní poloosy**  $a_p$  a **absolutní hvězdné velikosti**  $H$ . Lze pozorovat typický tvar „V“, který je způsobem počátečním **rychlostním polem** a **Jarkovského jevem**, jenž je ještě zesílen vlivem **YORPů**, což způsobuje zvýšenou koncentraci malých planetek při okrajích rodiny.



(c) **Albeda**  $p_V$  (ve viditelném spektru) a  $p_{\text{IR}}$  (v infračerveném) z katalogu WISE. Barvy neodpovídají reálnému zbarvení. Pro vyřazení **přímísených těles** touto metodou byly zvoleny hraniční hodnoty  $0,05 \leq p_V \leq 0,4$ .

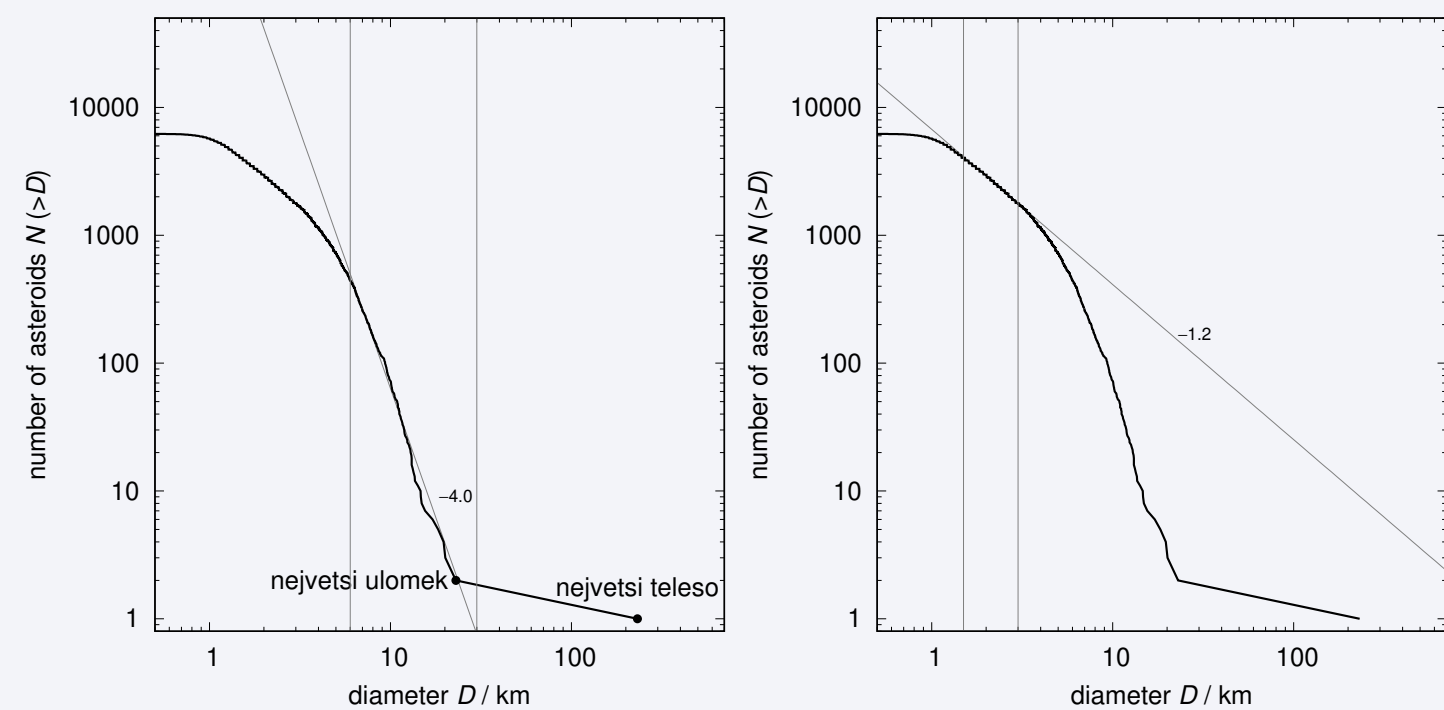


(d) **Barevné indexy**  $a^*$  a  $i - z$  z katalogu Sloan [4]. Barvy neodpovídají reálnému zbarvení. Pro vyřazení **přímísených těles** byly zvoleny hraniční hodnoty  $0 \leq a^* \leq 0,3$  a  $-0,3 \leq i - z \leq 0,3$ .

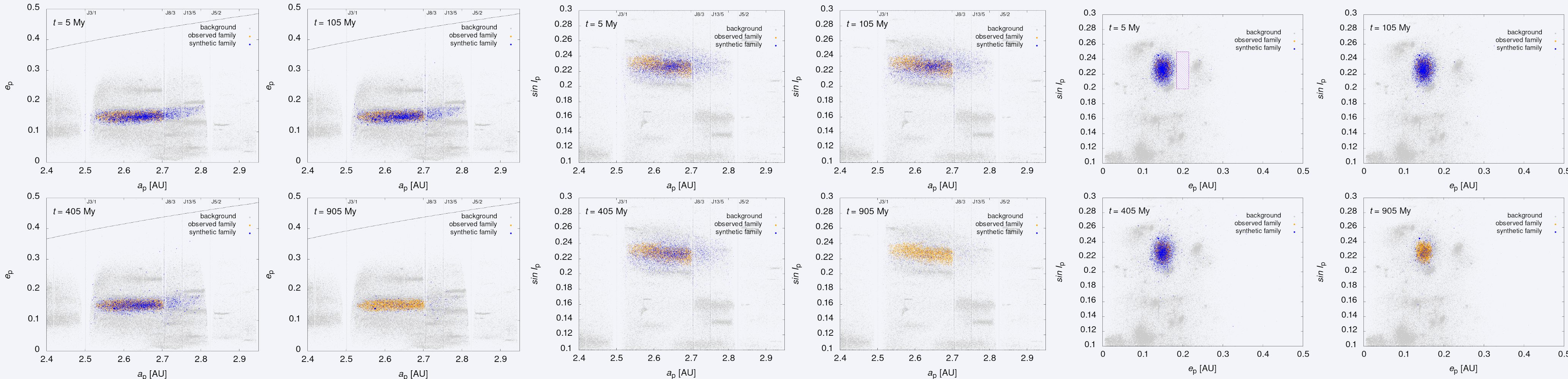
Při vytváření **syntetické** populace planetek jsme částicím přiřadili **průměry**, **albeda** a **orientace rotačních os** (vliv na **Jarkovského jev**) podle pozorované rodiny nebo náhodně. U průměrů jsme zohlednili **rozdělení velikostí** a při zpracovávání simulace jsme rozdělení korigovali tak, aby odpovídalo pozorovanému.

Dále jsme částicím přiřadili **úvodní rychlosti** jako při **izotropním rozpadu** v bodě oběžné dráhy s hodnotami  $f = 90^\circ$  a  $\omega + f = 50^\circ$ .

Po dobu **jedné miliardy let** jsem simulovali populaci 6210 částic s tím, že přibližně v půlce došlo ke ztrátě dat. Simulace byla spuštěna na **výpočetním clusteru Astronomického ústavu Univerzity Karlovy** a celkově se spotřebovalo 23040 **CPU hodin**. Protože jsme z ladících důvodů nechali ukládat nejen **vlastní**, ale i **střední** elementy, je celkový objem **binárních dat** roven 164 GB.



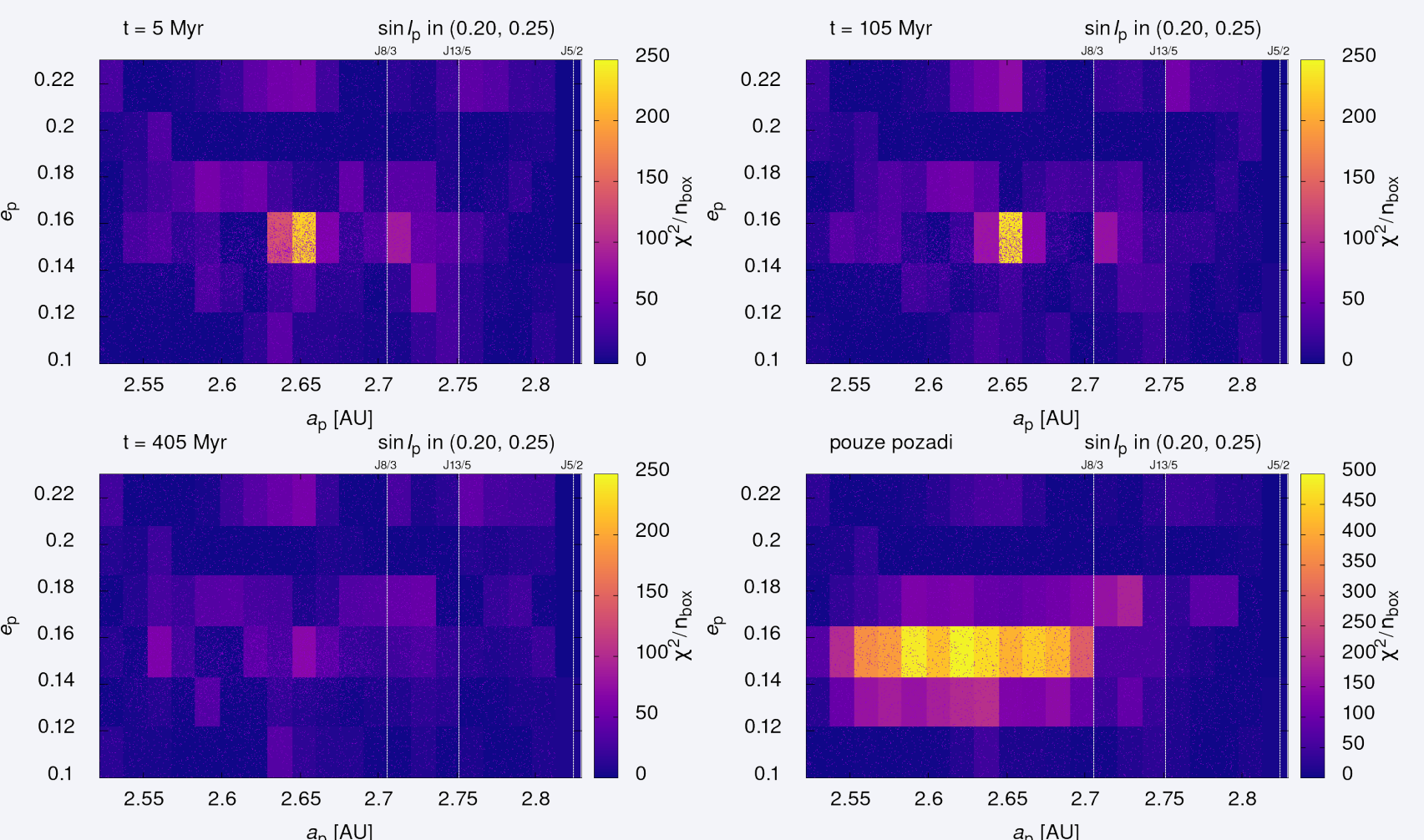
**Obrázek:** **Histogram** četnosti velikostí planetek rodiny *Eunomia*, kde veličina  $N(>D)$  označuje počet planetek s **průměrem** větším než  $D$ . Jedná se o **logaritmický graf** ( $\log D, \log N(>D)$ ), na kterém lze vztah mezi danými veličinami aproximovat přímkou, což znamená, že vztah mezi veličinami  $D$  a  $N(>D)$  je **mocninový**. Vodorovná část zcela vlevo je způsobena observační nedostatečností. Změna sklonu přímky prvního intervalu  $D$  (vlevo,  $q = -4$ ) na druhý interval  $D$  (vpravo,  $q = -1,2$ ) je důsledkem jednak prvotního rozpadu a jednak druhotného vývoje — tělesa se nadále srážejí, vytvářejí menší tělesa, která snáze opouštějí rodinu.



**Obrázek:** Výsledky simulace v prostorech  $(a_p, e_p)$ ,  $(a_p, \sin i_p)$  a  $(e_p, \sin i_p)$  v časech postupně  $t = 5, 105, 405, 905$  miliónů let. Modré body označují **simulovanou** rodinu, žluté body **pozorovanou** rodinu identifikovanou HCM a šedé body **pozadí** a jiné okolní rodiny. Jsou také značeny nejvýznamnější **rezonance** s *Jupiterem* J3/1, J8/3, J13/5 a J5/2. Černá křivka nahore označuje hranici oblasti, kde je hlavní poloosa a excentricita tělesa taková, že dráha kříží dráhu *Marsu*. Podobná hranice existuje i pro **Jupiter**, ale ta se nachází mimo tyto grafy (přibližně kolem  $e = 0,65$ ). Fialový obdélník označuje oblast vybranou pro vzorek populace **pozadí**.

Kvůli specifickému výpočtu **vlastních elementů dráhy** z počátečních rychlostí můžeme v čase 5 miliónů let pozorovat mírně nesymetrický tvar simulované rodiny. Lze vidět vliv **rezonancí středního pohybu** J3/1, J5/2, J8/3 a J13/5 — v jejich blízkosti se **excentricity** planetek začnou zvyšovat, až se dostanou do oblasti, kde kříží dráhy *Marsu* nebo *Jupitera*, což znamená, že se planetka dříve nebo později některé z těchto planet přiblíží a její **hlavní poloosa** se náhle změní. **Rezonance** J8/3 a J13/5 jasně rozdělují planetky do oblastí, ze kterých planetky zřídka kdy vystupují. Na prvním obrázku jsou data již zprůměrována z prvních 10 miliónů let, takže můžeme vidět, že se planetky, které se zřejmě na počátku nacházely v blízkosti **rezonancí** J3/1, J8/3 a J13/5, stihly rozptýlit a narušily tak jinak zatím pravidelný tvar rodiny. Potvrzuje se, že **rezonance** J8/3 je silnější než **rezonance** J13/5 (planetky v její blízkosti se v čase 105 miliónů let rozšířily do pásu o velikosti  $0,05 < e_p < 0,5$ , zatímco v blízkosti **rezonance** J13/5 pouze do pásu o velikosti  $0,1 < e_p < 0,23$ )

Na grafu  $(a_p, \sin i_p)$  můžeme pozorovat mírné „naklonění“ pozorované rodiny (část pod  $a \approx 2,62 \text{ AU}$  má vyšší sklon  $i_p$ ), čehož si na rodině simulované bohužel zatím všimnout nemůžeme.



**Obrázek:** Hodnota **chi kvadrátu**  $\chi^2$  pro každý **box** v prostoru  $(a_p, e_p)$ . Na prvních třech obrázcích lze vidět rozdělení **chi kvadrátu** pro  $t = 5, 105, 405$  miliónů let, na posledním obrázku lze vidět rozdělení **chi kvadrátu** při vygenerování pouze **pozadí** bez použití částic simulované rodiny. Tečky označují **syntetickou** populaci i s přidáním **pozadí**.

K odhadu **stáří rodiny** jsme použili metodu nazvanou příznačně „**blackbox**“ popsanou v [5], která funguje na principu rozdělení planetek jak pozorované, tak simulované rodiny do „boxů“ v prostoru  $(a_p, e_p, \sin i_p)$  a následném porovnání počtů pozorovaných a simulovaných planetek v jednotlivých **boxech**. Simulovanou populaci ještě „smícháváme“ se vzorkem **pozadí**, přičemž dodržuje **rozdělení velikostí**.

Na tento jednoduchý princip je pak použita standardní statistická metoda rozdělení **chi kvadrátu**  $\chi^2$  — pro každý **box** vypočteme jeho příspěvek k  $\chi^2$  jako

$$\frac{(N_{\text{sim}} - N_{\text{obs}})^2}{N_{\text{sim}} + N_{\text{obs}}},$$

kde  $N_{\text{sim}}$ , resp.  $N_{\text{obs}}$  označuje počet simulovaných, resp. pozorovaných těles v daném **boxu**. Výslednou hodnotu  $\chi^2$  potom dostaneme prostým sečtením všech příspěvků. Můžeme vidět, že nejvíce se odlišuje jádro rodiny kolem 2,65 AU (moc **syntetických** částic) a oblast nalevo od jádra v oblasti  $a_p \in (2,55 \text{ AU}; 2,5 \text{ AU})$  a  $e_p \in (0,14; 0,16)$  (málo **syntetických** těles). Kvůli silné **kontaminaci** rodinou *Adeona* v oblasti  $0,16 < e < 0,18$  jsme byli nuceni pozorované členy této rodiny ručně odstranit