Jacek LELIWA-KOPYSTYŃSKI

UNIWERSYTET WARSZAWSKI, INSTYTUT GEOFIZYKI

RODZINY ASTEROID

ASTEROID FAMILIES

Asteroidy: podstawowe informacje

Do początków XVII wieku Układ Słoneczny składał się z zaledwie ośmiu ciał znanych ludzkości „od zawsze", a mianowicie: ze Słońca, z sześciu planet (Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn) oraz z Księżyca. Do tej ósemki trzeba dołączyć obiekty obserwowane okazjonalnie przez miesiące, tygodnie lub zaledwie dni (komety) oraz meteory widoczne na niebie zaledwie przez sekundy. Jednak pochodzenie a także lokalizacja zarówno komet jak meteorów budziło różne, nawet bardzo fantastyczne wątpliwości. Zidentyfikowanie tych ciał, jako obiektów należących do Układu Słonecznego, nastąpiło dopiero w latach po Newtonie (1643-1727) i Halleyu (1656-1742).

Przewrót w odkryciach obiektów Układu Słonecznego nie obserwowalnych gołym okiem nastąpił od chwili zastosowania lunety. W 1610 roku odkryto cztery „Galileuszowe" księżyce Jowisza (Io, Europa, Ganimedes, Kallisto), a w 1655 r. Huygens odkrył Tytana, największego satelitę Saturna. Pierwszą planetą odkrytą dzięki obserwacjom teleskopowym był Uran (Herschel 1781), którego orbita ma promień większy niż orbita Saturna. Potem nastąpiła dwudziestoletnia przerwa w odkrywaniu dotychczas nieznanych ciał „planetopodobnych" w Układzie Słonecznym. Przerwa zakończyła się 1 stycznia 1801 r., gdy Giuseppe Piazzi, z Uniwersytetu w Palermo na Sycylii, odkrył Ceres, największą asteroidę. (W tym artykule konsekwentnie stosuje się spolszczone angielskie słowo 'asteroida', a nie jego polski odpowiednik 'planetoida'. Jest to zgodne z duchem pracy przesiąkniętym terminami oraz akronimami pochodzenia angielskiego). Do połowy XIX wieku odkrycia asteroid były sporadyczne, ale następnie przyspieszyły lawinowo (tab. 1). Numer przed nazwą asteroidy odpowiada chronologicznej kolejności jej odkrycia. W nawiasach podane są oznaczenia prowizoryczne przypisane asteroidzie w chwili jej odkrycia. Jest oczywiste, że jako pierwsze odkrywane były największe asteroidy o rozmiarach przekraczających 100 km.

Asteroidy są ciałami stałymi o kształtach, które mogą istotnie różnić się od kuli. Różnice pomiędzy kształtem rzeczywistej asteroidy a kulą o tej samej objętości co asteroida

 DOI: 10.32045/PG-2021-018

Tabela 1. Odkrycia asteroid zestawione chronologicznie
(źródło: https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top)
Table 1. Discoveries of asteroids in chronological order
(https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top)

Numer w kolejności odkrycia i nazwa asteroidy/Number in order of discovery and the name of asteroid	Data odkrycia/ Date of discovery	Średnica/ Diameter $2R$, km	Numer rodziny, której ta asteroida jest LM, patrz tab. 2/Family number, which this asteroid is the LM, see tab. 2
1 Ceres	1801-Jan-01	939	-
2 Pallas	1802-Mar-28	545	FIN 801
3 Juno	1804-Sep-01	247	FIN 501
4 Vesta	1807-Mar-29	525	FIN 401
5 Astraea	1845-Dec-08	107	-
6 Hebe	1847-Jul-01	185	-
7 Iris	1847-Aug-13	200	-
8 Flora	1847-Oct-18	147	FIN 402
9 Metis	1848-Apr-25	190	-
10 Hygiea	1849-Apr-12	407	FIN 601
1000 Piazzia (A923 PF)	1923-Aug-12	-	-
10000 Myriostos (1951 SY)	1951-Sep-30	-	-
100000 Astronautica	1982-Sept-28	-	-
500000 (2011 PM6)	2011-Aug-04	-	-

są największe dla asteroid małych. Dla asteroid dużych, o rozmiarach przekraczających około 200 km (np. Ceres, Pallas, Vesta), przybliżenie ich sferyczności jest spełnione dość dobrze. Warto podkreślić, że podobna relacja pomiędzy kształtem rzeczywistym a kulą zachodzi także dla dużych naturalnych satelitów planet. Jest ich 20, a mianowicie: nasz Księżyc, 4 satelity Galileuszowe Jowisza (Io, Europa, Ganimedes, Kallisto), 7 satelitów Saturna (Mimas, Enceladus, Thetys, Dione, Rhea, Iapetus, Tytan), 5 satelitów Urana (Miranda, Ariel, Umbriel, Tytania, Oberon) oraz 3 satelity Neptuna (Proteusz, Tryton, Nereida). Najmniejsze z nich to Nereida (promień 178 km) oraz Mimas (promień 198 km). Kształt sfery (a dokładniej kształt elipsoidy obrotowej) mają dostatecznie masywne ciała, dla których siły auto-grawitacji oraz siła pochodząca od rotacji przeważają nad siłami spójności materiału. Termin „średnica asteroidy" odpowiada średnicy kuli o takiej objętości jak dana asteroida. Średnice podane w tabeli 1 są dokładnie takie jak podaje cytowane źródło internetowe. Ale wartości średnic podane z dokładnością 1 m to jedynie igraszka numeryczna autorów zestawiających tabelę. W rzeczywistości określenie średnic dużych asteroid z błędem rzędu kilometrów należy uznać za bardzo dobre. Podstawowe dane fizyczne dotyczące każdej asteroidy to m.in.: jej średnia średnica $D = 2R$, masa M oraz średnia gęstość ρ, które związane są ze sobą wzorem na masę kuli. Promień R oraz masa M są wyznaczane (lub tylko szacowane) niezależnie różnymi drogami i na ogół z bardzo dużymi błędami. W niektórych przypadkach tak dużymi, że prowadzą do absurdalnie dużych wartości gęstości ρ. Średnie promienie asteroid szacuje się korzystając ze wzoru:

$$R = 6{,}645 \times 10^5 \times 10^{-H/5} \times p_V^{-1/2} \quad [\mathrm{m}] \tag{1}$$

gdzie H to jasność absolutna asteroidy wyrażona w wielkościach gwiazdowych, a p_V to jej albedo. (Jasność absolutna asteroidy to jasność wizualna, jaką obserwator zarejestrowałby, gdyby asteroida została umieszczona pod zerowym kątem fazowym w odległości 1 au od obserwatora i 1 au od Słońca). Wzór (1) wraz z gęstością asteroidy, znaną lub założoną, pozwala na grube szacowanie masy asteroidy. Przelot sondy międzyplanetarnej w niewielkiej odległości od jakiejś asteroidy pozwala na szacowanie masy tej asteroidy na podstawie danych dotyczących perturbacji orbity sondy spowodowanej przez asteroidę.

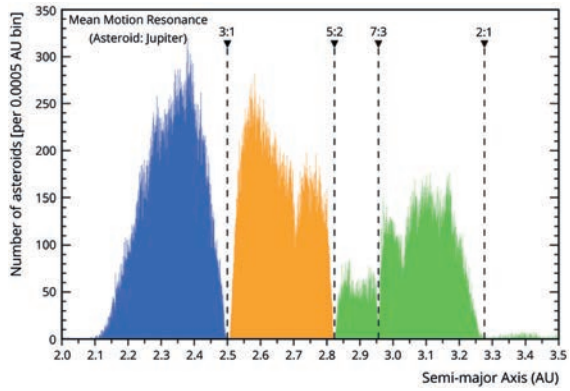
Dane charakteryzujące eliptyczną orbitę asteroidy to półoś wielka a oraz mimośród e. Odległość asteroidy od Słońca zmienia się w czasie jednego okresu orbitalnego w przedziale od perihelium $a(1 - e)$ do aphelium $a(1 + e)$. Kąt i jaki tworzy płaszczyzna orbity asteroidy z płaszczyzną ekliptyki, czyli z płaszczyzną orbity Ziemi, to nachylenie orbity asteroidy. Należy podkreślić, że w procesie identyfikacji asteroid, jako potencjalnych członków jakiejś AF (ang. *AF potential members*) stosowane są właściwe elementy orbitalne (ang. *proper orbital elements*), a nie elementy oskulacyjne (*osculating orbital elements*). Właściwe elementy orbitalne pozostają prawie stałe w przedziałach czasu rzędu milionów lat. Elementy oskulacyjne opisują orbitę w danej chwili, a więc stale ulegają drobnym zmianom. Według https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi w dniu 18 listopada 2020 r. znanych było 1 029 663 asteroid, z których 546 846 było numerowanych, co oznacza, że te asteroidy mają dobrze wyznaczone orbity.

Rysunek 1 przedstawia rozkład asteroid w funkcji ich półosi wielkich. Widoczne na tym rysunku obszary o obniżonej gęstości asteroid, tzw. przerwy Kirkwooda, odpowiadają orbitom rezonansowym, na których okres obiegu asteroid jest równy odpowiednio 1/3, 2/5, 3/7 oraz 1/2 okresu orbitalnego Jowisza.

Rozkład asteroid na płaszczyźnie (a, e) przedstawiony jest na rysunku 2, a rozkład na płaszczyźnie (e, i) na rysunku 3. Rysunki zostały wykonane dla ~10^5 asteroid. Wyraźne niejednorodności gęstości rozkładów asteroid są widoczne na obydwu płaszczyznach. Zgęszczenia asteroid widoczne na rysunkach odpowiadają, na ogół, ale nie koniecznie, najbardziej licznym rodzinom asteroid.

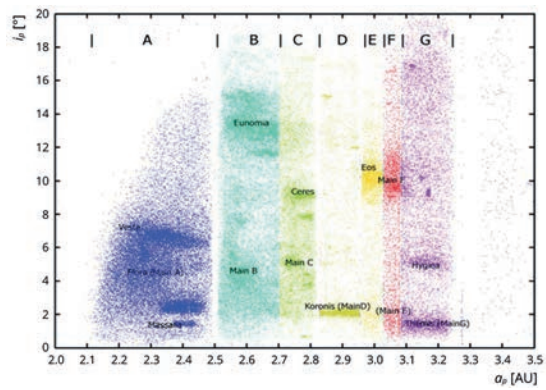
2. Rodziny asteroid: podstawowe informacje

Zbiór asteroid, o których można przypuszczać, że mają wspólne pochodzenie stanowi rodzinę asteroid (ang. *Asteroid Family*, AF). Elementy orbitalne (a, e, i) wszystkich asteroid tworzących AF są do siebie zbliżone. Powszechnie akceptowany scenariusz powstania AF przyjmuje, że pierwotna asteroida macierzysta (ang. *Parent Body*, PB; *target*) została uderzona przez inną, mniejszą asteroidę (ang. *impactor*). W wyniku zderzenia powstał rój wielu ciał tworzących współcześnie identyfikowalną AF. Średnie prędkości orbitalne Marsa, Westy – asteroidy pasa głównego oraz Jowisza wynoszą odpowiednio 24, 19, oraz 17 km/s. Względne prędkości asteroid, czyli prędkości zderzeń asteroid



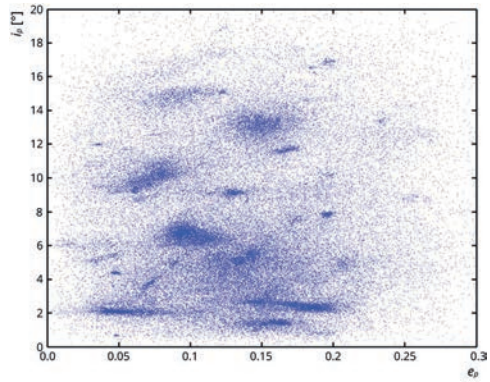
Rys. 1. Rozkład asteroid w funkcji ich półosi wielkich. Oś pionowa przedstawia liczby asteroid w przedziałach półosi wielkich o szerokości 0,0005 au. Pary liczb wskazują na rezonanse orbitalne z Jowiszem odpowiadające przerwom Kirkwooda; np. para 3:1 odpowiada sytuacji, przy której trzy okresy orbitalne asteroidy byłyby równe jednemu okresowi orbitalnemu Jowisza (źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_family)

Fig. 1. Distribution of asteroids as a function of their semi-major axis. Vertical axis presents population in the bins with the width equal to 0.0005 au. The pair of numbers indicate the Kirkwood gaps that correspond to mean motion resonances with Jupiter; e.g. the pair 3:1 is for situation when three orbital periods of an asteroid would be equal to one orbital period of Jupiter https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_family)



Rys. 2. Rozkład asteroid na płaszczyźnie (półoś wielka) – (nachylenie orbity). Główny pas asteroid rozciąga się w odległościach od Słońca od około 2,1 do 3,3 jednostek astronomicznych. Litery od A do G oznaczają regiony tego pasa oddzielone przerwami Kirkwooda. Obszary o dużej gęstości asteroid to najliczniejsze rodziny (źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_family)

Fig. 2. Distribution of asteroids in the plane (major semiaxis) – (orbital inclination). The Main Belt of asteroids spreads from about 2.1 to 3.3 astronomical units from the Sun. Descriptions Main A to Main G denote the regions of Main Belt separated by the Kirkwood gaps. Areas with high density of the asteroids are the most numerous families of asteroids (https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_family)



Rys. 3. Rozkład asteroid na płaszczyźnie (mimośród) – (nachylenie orbity). Obszary o zwiększonej gęstości to rodziny asteroid (źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_family)

Fig. 3. Distribution of asteroids in the plane (eccentricity) – (orbital inclination). Areas with increased density are asteroid families (https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid_family)

w pasie głównym, a więc w obszarze pomiędzy orbitami Marsa a Jowisza, zawierają się w przedziale 4-6 km/s.

Badania rezultatów zderzeń z takimi prędkościami, prowadzone z punktu widzenia ich zastosowań do zjawisk planetarnych, wykonywane są w wielu laboratoriach na świecie. W doświadczeniach zderzeniowych ciała uderzane (ang. *target*) mają na ogół rozmiary rzędu 1-10 cm, a ciało uderzające (pocisk; ang. *impactor*) mają rozmiary mniejsze o rząd wielkości, czyli masę mniejszą o trzy rzędy. Typowe prędkości pocisków to ~[10^2 – ($<5 \times 10^3$)] m/s. (Autor tego artykułu uczestniczył w wielu doświadczeniach uderzeniowych prowadzących do kraterowania lub do rozbicia ciała uderzanego przeprowadzanych w laboratoriach w Anglii oraz w Japonii). Rozdrobniony materiał wyrzucany z miejsca zderzenia (ang. *ejecta*) ma szerokie widmo mas, rozciągające się od fragmentów o masach rzędu 0,1 masy ciała uderzanego do bardzo drobnego pyłu. Także prędkości fragmentów powstałych po zderzeniu mogą zawierać się w bardzo szerokim przedziale, od zera do kilku kilometrów na sekundę. Housen i Holsapple (2011) podsumowali badania kraterów uderzeniowych przeprowadzonych w celu zrozumienia jak rozkłady prędkości i mas *ejecta* zależą od warunków charakteryzujących *impact*. Ekstrapolacja wyników w celu zastosowania ich do planetarnej skali zderzeń stanowi istotny problem. W doświadczeniach laboratoryjnych na los materiału wyrzucanego (*ejecta*) wpływa jedynie grawitacja Ziemi. *Ejecta* z powierzchni ciała kosmicznego – z planety, satelity, asteroidy, komety – mogą opaść na powierzchnię tego ciała, mogą znaleźć się na orbicie wokół niego lub mogą zostać bezpowrotnie utracone, jeśli ich prędkość przekroczy prędkość ucieczki v_{esc} z tego ciała. Dla jednorodnej kuli o masie M i o promieniu R jest $v_{esc} = (2GM/R)^{1/2} = (8\pi G\rho/3)^{1/2}R$, gdzie ρ jest gęstością tej kuli oraz $G = 6{,}674 \times 10^{-11}$ $m^3 \cdot s^{-2} \cdot kg^{-1}$ to stała grawitacji. Gdy gęstość $\rho = 1788$ kg/m^3 to czynnik $(8\pi G\rho/3)^{1/2} = 0{,}001$ s^{-1}. W tym przypadku prędkość ucieczki v_{esc}, wyrażona w metrach na sekundę, jest liczbowo równa promieniowi R wyrażonemu w kilometrach. Gęstość 1788 kg/m^3 można uważać za roz-

sądne oszacowanie średniej gęstości asteroid. Tak więc zależność v_{esc} [m/s] ≈ R [km] jest wygodna do natychmiastowego oszacowania prędkości ucieczki z asteroidy o promieniu R. Jądra komet mają rozmiary 2R w zakresie 0,1-10 km oraz gęstości ~(200-1000) kg/m^3. Oszacowanie analogiczne do tego przeprowadzonego dla asteroid wskazuje, że prędkości ucieczki z jąder kometarnych zawierają się w granicach nieco poniżej (0,1-10) m/s.

W zależności od energii zderzenia oraz od stosunku (masa impactora)/(masa PB), wynikiem zderzenia może być:

(a) powstanie krateru uderzeniowego (ang. *impact crater*) na powierzchni PB, lub
(b) rozbicie uderzeniowe (ang. *collisional shattering; catastrophic collision*) PB.

Umowna granica pomiędzy efektami (a) oraz (b) odpowiada sytuacji, w której PB traci połowę swojej masy. Bardzo grube szacowanie pokazuje, że granica ta jest przekraczana w stronę od kraterowania do rozbicia wtedy, gdy stosunek (masa impactora)/(masa PB) ≥0,001 czyli stosunek ich rozmiarów jest większy niż ~0,1. Milani i in. (2013) w obszernej klasyfikacji AFs wprowadzili rozróżnienie pomiędzy rodzinami pochodzącymi z kraterowania a rodzinami pochodzącymi z rozbicia.

Los poszczególnych fragmentów pouderzeniowych jest bardzo różny w zależności od ich prędkości względem największego fragmentu. Fragmenty najwolniejsze, o prędkościach mniejszych niż $2^{-1/2}v_{esc}$, spadają na „okaleczone" PB tworząc warstwę materiału (ang. *ejecta blanket*) przykrywającą pierwotną powierzchnię PB. Pozostałe fragmenty albo pozostają na orbitach wokół największego fragmentu (LM, ang. *Largest Member*) pozostałego z PB albo, gdy prędkości wyrzutu są większe niż v_{esc}, tworzą AF. Nowopowstała rodzina ewoluuje w czasie tracąc niektórych członków w wyniku ich zderzeń z asteroidami, planetami, lub ze Słońcem. Największe, tj. najbardziej liczne AF, powstały w wyniku uderzeniowego uszkodzenia lub zniszczenia dużych PB. Przyjęcie, że promienie PB wynosiły około (100-200) km oznacza, że uderzeniowo wyprodukowane fragmenty, których prędkości w chwili ich wyrzutu były mniejsze niż ~(100-200)/$2^{1/2}$ = (70-140) m/s, musiały opaść na powierzchnię PB. Fragmenty szybsze oddaliły się od PB, ale pozostały na orbitach wokółsłonecznych o parametrach orbitalnych zbliżonych do parametrów orbitalnych PB.

3. Selekcja potencjalnych członków rodzin

Istnienie AFs zostało najpierw zasugerowane, a następnie potwierdzone w pracach japońskiego astronoma Hirayamy. W pionierskim artykule Hirayamy (1918) do rodzin asteroid Koronis, Eos oraz Themis zaliczono odpowiednio 13, 19, oraz 22 asteroid. W późniejszych pracach Hirayamy zidentyfikowane zostały rodziny asteroid Maria, Phocaea, Flora i Pallas. Warto zwrócić uwagę, że praca Hirayama (1918) nosiła tytuł *Groups of asteroids probably of common origin*, z czego można odczytać, iż autor uważał, że grupy stanowią pozostałość po katastroficznym rozbiciu. Inny scenariusz, np. jednoczesna akrecja asteroid jakiejś grupy, wydaje się absurdalny. Prace Hirayamy (1918, 1928, 1933) grupowały asteroidy w rodziny na podstawie zbliżonych wartości elementów orbitalnych

tych asteroid. Warto zaznaczyć, że w latach odkryć Hirayamy zbiór wszystkich znanych asteroid liczył mniej niż kilka tysięcy obiektów (tab. 1). Obecnie wiadomo, że każda z rodzin Hirayamy liczy wiele tysięcy obiektów wybranych ze zbioru kilkuset tysięcy znanych asteroid. Zwraca uwagę fakt, że pięć dużych asteroid z dziesięciu odkrytych jako pierwsze (tab. 1) posiada rodziny. Nazwa rodziny to zazwyczaj, ale nie zawsze, nazwa największej asteroidy w tej rodzinie. Przypisywanie asteroid do rodzin przeprowadza się używając jednego z dwóch algorytmów obliczeniowych stosowanych do jak największego dostępnego zbioru elementów orbitalnych:

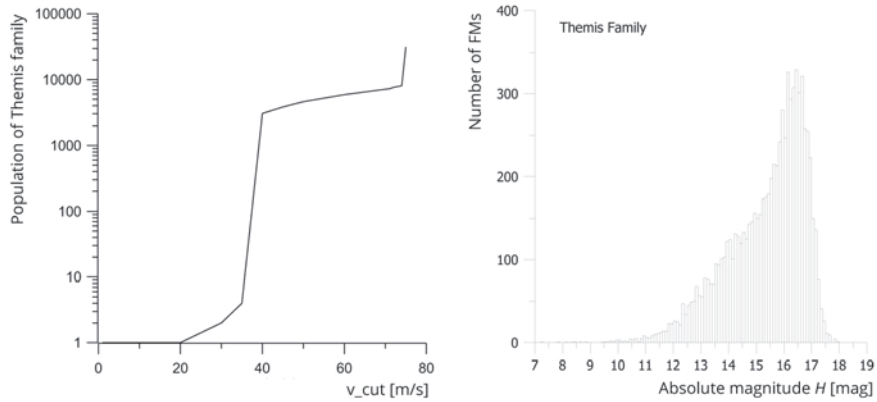
1. Metoda „falkowa" (ang. *wavelet transform*) polegająca na budowaniu map gęstości asteroid w przestrzeni elementów orbitalnych. Maksima gęstości pojawiające się na mapach rozkładu asteroid (we współrzędnych (a, i), rys. 2 i współrzędnych (e, i), rys. 3) wskazują, lub przynajmniej sugerują, na występowanie AFs (Bendjoja i in. 1991).
2. Hierarchiczna metoda grupowania asteroid (ang. *Hierarchical Clustering Method*, HCM) w przestrzeni elementów orbitalnych (Zappala i in. 1990). HCM przyporządkowuje asteroidy do jakiejś AF według kryterium odpowiedniego doboru prędkości względem asteroidy, którą uważamy za główne ciało (LM) rodziny. W przestrzeni elementów orbitalnych ta prędkość v [m/s] wyraża się wzorem:

$$v = \frac{2\pi a}{P}\left[c_c(\Delta a/a)^2 + c_e(\Delta e)^2 + c_i(\Delta \sin i)^2\right]^{1/2} \qquad (2)$$

Tutaj P, a, e, i to odpowiednio okres orbitalny oraz elementy orbitalne LM, a symbol Δ odnosi się do różnic wartości elementów orbitalnych asteroidy oraz LM. Bezwymiarowe współczynniki wagowe c_c, c_e, c_i są dobierane różnie przez różnych autorów (np. Milani i in. 2010, przyjęli $c_c = 1{,}25$; $c_e = 2$; $c_i = 2$). Prędkość v jest parametrem metody HCM. Liczba wybranych potencjalnych członków AF rośnie, gdy rośnie wartość parametru v. Obliczenia przeprowadza się wielokrotnie dla tego samego zbioru asteroid, ale z coraz większymi wartościami v. Rysunek 4, lewy panel, pokazuje, że dla $v > v_{cut}$, gdzie v_{cut} oznacza „prędkość odcięcia", liczba potencjalnych członków AF zaczyna gwałtownie rosnąć. Jest to interpretowane w ten sposób, że obszar (a, e, i) w otoczeniu LM, czyli obszar rodziny, wtapia się w tło asteroid niezwiązanych genetycznie z tą rodziną. Dobranie wartości v_{cut} właściwej dla danej rodziny ma krytyczne znaczenie dla wyznaczenia populacji rodziny. Prędkość v_{cut} zawiera się na ogół w przedziale 50-100 m/s, a więc jest prawie o dwa rzędy wielkości mniejsza niż prędkości względne asteroid w pasie głównym.

4. Odrzucanie interloperów

W celu znalezienia „prawdziwej" populacji AF należy dokonać odpowiedniej selekcji spośród asteroid wybranych jako potencjalni członkowie tej rodziny (AFMs, ang. *Asteroid Family Members*). Użyte powyżej określenie „prawdziwa populacja" ma ten sens, że ze zbioru potencjalnych AMs należy wybrać te asteroidy, które spełniają odpowiednie kryte-



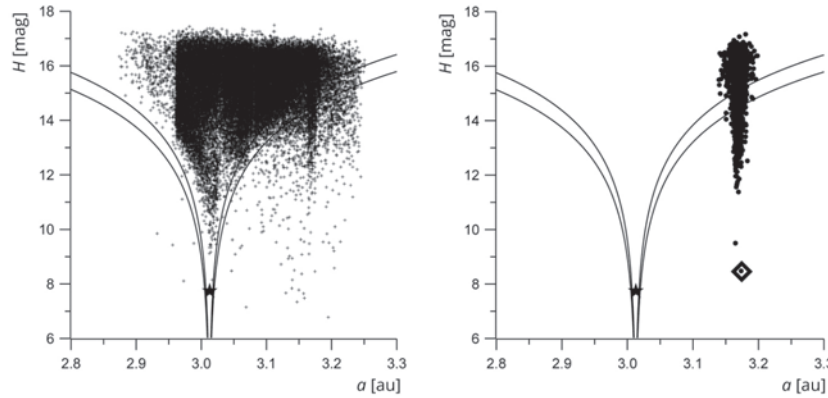
Rys. 4. Lewy panel: liczba AFMs w funkcji parametru v_{cut}. Baza danych to 393 347 numerowanych asteroid, z których HCM wybiera członków rodziny asteroidy (4) Themis. Dla v_{cut} = 75 m/s wybrane są 8 064 asteroidy. Dla v_{cut} > 75 m/s liczba wybranych asteroid gwałtownie wzrasta. Tak więc 8 064 to potencjalna populacja rodziny Themis. Od tej potencjalnej populacji należy odjąć asteroidy obce (ang. *inerlopers*), których HCM nie odróżniła od fizycznych członków rodziny. Prawy panel: rozkład asteroid rodziny Themis vs ich jasności absolutnej (Leliwa-Kopystyński, Włodarczyk 2020)

Fig. 4. Left panel: population of AFMs vs parameter v_{cut}. Database contains 393,347 numbered asteroids. Of them the HCM choses members of the asteroid (4) Themis. For v_{cut} = 75 m/s there is 8,064 asteroids. For v_{cut} > 75 m/s the number of chosen asteroids abruptly increases. Therefore 8,064 is the potential population of Themis family. From that figure the interlopers should be subtracted. They are not distinguishable by means of HCM from the physical family members. Right panel: distribution of asteroids of Themis family vs their absolute magnitude (Leliwa-Kopystyński, Włodarczyk 2020)

ria dotyczące orbit asteroid oraz kryteria dotyczące fizycznych własności ich powierzchni (albedo, widmo). Po takim wyborze można zaakceptować przypuszczenie, że asteroidy pochodzą z jednego PB uszkodzonego lub rozbitego przez zderzenie. Każde z tych kryteriów, określone przez co najmniej jeden parametr, pozostawia znaczny stopień niepewności dotyczącej populacji AF, tym bardziej, że przyjęcie jakiejś wartości parametru opiera się na mapach gęstości potencjalnych członków AF, ale także w znacznym stopniu zależy od intuicji. Przegląd wyników publikowanych przez różnych autorów wskazuje na rozbieżności populacji jakiejś AF w granicach do około ±30%, po znormalizowaniu wyników do bazy danych o takiej samej liczności.

Kryterium V

Asteroidy wybrane jako potencjalne AFMs przedstawia się jako punkty na płaszczyźnie (a, H), gdzie a oznacza półoś wielką asteroidy oraz H jest jej jasnością absolutną. Skala jasności absolutnych jest tak skonstruowana, że większym wartościom H odpowiada mniejsze natężenie światła. Równanie:



Rys. 5. Przykład zastosowania kryterium lejka na płaszczyźnie (a, H). Lewy panel: z bazy 393 347 asteroid metodą HCM wybrano 39 505 potencjalnych członków rodziny (221) Eos (a = 3,010 au). Prędkość odcięcia v_{cut} = 75 m/s. Górny kres obszaru zajętego przez potencjalnych członków rodziny Eos, $H \approx 17$ magnituda, odpowiada granicy możliwości wykrywania asteroid. Parametr lejka górnego C = 0,00015 au pozostawia w lejku 36417 asteroid; lejek dolny określony przez C = 0,00020 au pozostawia 37 943 asteroidy. Asteroidy poniżej lejków traktuje się jako interlopery. Skierowany do dołu pik dla $a \approx 3{,}17$ au to rodzina asteroidy (490) Veritas (a = 3,174 au). Prawy panel: rodzina Veritas zawierająca 1 989 asteroid wybranych z bazy 464 749 asteroid przedstawiona na tle lejków dla Eos. Prędkość odcięcia v_{cut} = 37 m/s (Leliwa-Kopystyński, Włodarczyk 2020)

Fig. 5. An example of using the V-shape criterion on the plane (a, H). Left panel. From a database of 393,347 asteroids using the HCM method, 39,505 potential family members of (221) Eos (a = 3.010 au) were selected. Cut-off speed v_{cut} = 75 m/s. The upper border of the area occupied by potential Eos family members, $H \approx 17$th magnitude, corresponds to the limit of asteroids' detection. The upper V-shape parameter C = 0.00015 au leaves 36,417 asteroids in the calyx; the lower V-shape parameter C = 0.00020 au leaves 37,943 asteroids. The asteroids below the V-shapes are interlopers. The downward facing peak for $a \approx 3.17$ au is the (490) Veritas (a = 3.174 au) family of 1,989 asteroids selected from a base of 464,749 asteroids depicted against a background of V-shapes for Eos. Cut-off speed v_{cut} = 37 m/s (Leliwa-Kopystyński, Wlodarczyk 2020)

$$H = 5 \log \frac{|a - a_{LM}|}{C} \tag{3}$$

przedstawia na płaszczyźnie (a, H) skierowany do dołu lejek (rys. 5). Symbol a_{LM} oznacza półoś wielką tej asteroidy, którą uważa się jako LM poszukiwanej rodziny. Parametr $C > 0$ (o wymiarze [au]) decyduje o rozwartości lejka. Wykres zależności $H(a)$ danej równaniem (3) jest symetryczny względem pionowej prostej przechodzącej przez punkt a_{LM}. Asteroidy leżące poniżej lejka określonego parametrem C są odrzucane. Są one traktowane jako asteroidy obce (interlopery; ang. *interlopers*) nienależące genetycznie do AF. Zwraca uwagę wąski, bardzo zwarty kształt rodziny asteroidy (490) Veritas przedstawiony na prawym panelu rysunku 5. Na tej podstawie, rozważając rozpraszanie się asteroid

rodziny w czasie, oszacowano, że wiek rodziny Veritas to mniej niż 50 milionów lat (Milani, Farinella 1994). Według Carruba i in. (2017) wiek rodziny Veritas to zaledwie 8,5 ± 0,3 miliona lat. W porównaniu z wiekiem Układu Słonecznego, ~4,6 miliardów lat, rodzina Veritas jest bardzo młoda.

Milani i in. (2013) przedstawili listę 20 największych AFs, z których każda zawiera ponad 1 000 asteroid. Pod adresem https://newton.spacedys.com/astdys2/Plot/index.html znajduje się zbiór 118 AFs dla których można natychmiast otrzymywać wykresy rozkładów *a* vs *H*, *a* vs *e*, *a* vs sin*i* oraz *e* vs sin*i*.

Nesvorný i in. (2015) zestawili listę 121 AFs (patrz tab. 2). Pierwszych 8 rodzin z tej dużej listy ma pewne szczególne własności dynamiczne (np. rodziny trojańskie, rodziny Hildy, rodzina Hungarii) lub fizyczne (rodzina Hungarii). Asteroidy rodziny Hungarii mają bardzo duże albedo, na ogół większe niż 0,30. Typ spektralny E tych asteroid wskazuje na to, że prawdopodobnie na ich powierzchniach znajduje się minerał enstatyt. Pozostałe 113 rodziny występujące w tabeli 2 są uszeregowane wg ich położenia w głównym pasie asteroid. Ponieważ stale odkrywane są nowe, nieznane dotychczas asteroidy, więc liczba asteroid przypisywanych do jakiejś AF może wzrastać. Należy zwrócić uwagę na to, że w tabeli 2 występują kolumny zawierające v_{cut} (parametr występujący w HCM), *C* (parametr występujący w V-kryterium) będące podstawowymi parametrami dla wyboru AFMs, a więc dla przypisania rodzinie jakiejś populacji. Dane w kolumnach 5 i 6 tabeli 2 pozwalają na rozróżnienie rodzin pochodzących z kraterowania od rodzin powstałych w katastroficznym rozbiciu. Kolumny klasy taksonomicznej oraz kolumna albedo p_V charakteryzują powierzchnię asteroidy. Asteroidy określonej rodziny powinny należeć do tej samej klasy, a także mieć podobne wartości albedo. Różność klas taksonomicznych oraz brak zgodności albedo wskazuje na to, że asteroida jest interloperem.

Widmo jasności absolutnych AFMs (także widma ich rozmiarów oraz widma mas) każdej dostatecznie licznej rodziny rozpoczyna się kilkoma dużymi asteroidami, potem dla coraz mniejszych asteroid szybko wzrasta, przechodzi przez maksimum, a następnie gwałtownie opada i wreszcie urywa się na asteroidach zbyt małych, aby mogły być zaobserwowane (rys. 4, prawy panel). Po dopasowaniu jakiegoś wzoru opisującego rozkład jasności w obszarze dobrze rozpoznanym – wznosząca się lewa strona histogramu – można go ekstrapolować do strony słabiej rozpoznanej, a nawet do obszaru „ogona" będącego poza granicami obserwacji (Leliwa-Kopystyński, Włodarczyk 2020). Ekstrapolacja pozwala na szacowanie masy nieobserwowalnych AFMs.

Novaković i Radović (2016) opublikowali *Asteroid Families Portal* (AFP) zawierający *An online platform to study asteroid families*. AFP pozwala na:

- Zastosowanie HCM do identyfikacji AFMs należących od jednej z 70 rodzin, dostępnych do badania w ramach AFP.
- Zastosowanie automatycznej procedury w celu otrzymania listy interloperów (Radović i in. 2017).
- Zastosowanie metody całkowania wstecz (w czasie) w celu oszacowania wieku AF.

5. Nietypowe rodziny asteroid

Ogromna większość asteroid, a także AFs, porusza się po orbitach niewychodzących poza obszar pomiędzy orbitami Marsa a Jowisza (~1,5 < *a* < 5,2 au). Stosunkowo nieznaczna liczba, rzędu 10^3, asteroid o silnie wydłużonych orbitach wnika w głąb obszaru planet wewnętrznych, tj.: Marsa, Ziemi (ang. *Earth-Crossers*), Wenus, a nawet Merkurego. Istnieją także asteroidy (poprawniej mówiąc, obiekty, które mogą posiadać zarówno cechy asteroid jak jąder kometarnych), których orbity znajduję się poza orbitami wielkich planet, czyli poza Jowiszem (*a* = 5,2 au), Saturnem (*a* = 9,5 au), Uranem (*a* = 19,2 au), a nawet poza Neptunem (*a* = 30,1 au), tj. w tzw. pasie Kuipera, a więc w odległościach od Słońca ~(30 < *a* < 50) au. Jest oczywiste, że z racji odległości widmo rozmiarów obserwowanych obiektów coraz dalszych zawiera coraz mniej ciał drobnych. Według https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi w dniu 18 listopada 2020 r. znanych było 3548 Obiektów poza-Neptunowych (683 numerowe plus 2865 nienumerowanych). Pierwszym KBO odkrytym w 1930 r. była planeta karłowata Pluton o promieniu ~1200 km. W odróżnieniu od skalnych (ang. *rocky*) asteroid pasa głównego, KBOs są ciałami lodowymi (ang. *icy*), a dokładniej mówiąc ciałami lodowo-skalnymi, w których zawartość lodów przeważa objętościowo nad zawartością składników mineralnych. Określenie „lody" oznacza zestalone H_2O, NH_3, CH_4, CO, CO_2 i inne łatwo lotne związki. Ciała lodowe posiadają znacznie mniejszą gęstość ~(1000-2000) kg m^{-3} niż ciała skalne.

Rodziny wśród asteroid Trojańskich

Dwie szczególne podgrupy asteroid to tzw. asteroidy Trojańskie o półosiach wielkich równych ~5,2 au, czyli takich jak Jowisz. Nazwa '*Asteroidy Trojańskie*' pochodzi stąd, że największe z nich mają imiona bohaterów Iliady. Według https://pl.wikipedia.org/wiki/Trojańczycy „Asteroidy należące do „obozu greckiego" wyprzedzają Jowisza w jego ruchu orbitalnym, poruszając się wokół punktu libracji L_4, znajdującego się na orbicie 60° przed planetą, a te należące do „obozu trojańskiego" podążają za planetą, wokół punktu L_5, znajdującego się na orbicie 60° za Jowiszem". Symbole L_4, L_5 oznaczają punkty Lagrange'a. Według https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi w dniu 18 listopada 2020 r. znanych było 9154 Trojańczyków Jowisza (5057 numerowanych plus 4097 nienumerowanych). Warto wzmiankować, że inne planety mają także swoje asteroidy Trojańskie, tj. takie, które przebywają w okolicach punktów L_4, i/lub L_5 tych planet: Ziemia ma jednego Trojańczyka, Mars 9, Uran 1, Neptun 28. Asteroidy Trojańskie zaobserwowano także na orbitach niektórych satelitów wielkich planet.

Tabela 2 wymienia dwie Trojańskie rodziny Jowisza. Są to FIN 005 (rodzina asteroidy (548) Eurybates, licząca 218 członków) oraz FIN 009 (rodzina asteroidy (4709) Ennomos, licząca 30 członków). Jednakże, jak stwierdzają Brož i Rozehnal (2011), potrzeba więcej danych, aby potwierdzić istnienie tej rodziny i jej związku z asteroidą Ennomos. Można spodziewać się, że danych dostarczy misja międzyplanetarna Lucy, która zostanie wysłana przez NASA w 2021 roku. Jej celem jest badanie asteroid trojańskich.

W 2027 roku Lucy przeleci w pobliżu czterech asteroid z „obozu greckiego", czyli w okolicy punktu Lagrange'a L4; 12 sierpnia 2027 r. planowany jest przelot misji w odległości 1 000 km od Eurybates'a. Następnie Lucy powróci w pobliże Ziemi, której pole grawitacyjne skieruje ją do jowiszowego punktu Lagrange'a L5. W okolicy tego punktu misja Lucy w 2033 r. przeleci w pobliżu asteroidy (617) Patroclus.

Rodzina Haumea w pasie Kuipera

Planeta karłowata (136108) Haumea to obiekt lodowy o promieniu około 800 km, odkryty w 2004 roku. Półoś wielka orbity wynosi 43,29 au. Według Brown i in. (2007) istnieje rodzina składająca się z Haumei i 10 innych obiektów o rozmiarach około 200 km. Ich powierzchnie mają podobne własności fizyczne (w tym pasmo absorpcyjne w podczerwieni typowe dla lodu wodnego), a także prawie identyczne parametry orbitalne, zbliżone do tych jakie ma Haumea. Brown i in. (2007) uważają, że obiekty te są fragmentami pierwotnej Haumea, która utraciła fragmenty swojego lodowego płaszcza odrzucone w wyniku gigantycznego zderzenia (ang. *giant impact*). Dwa fragmenty o rozmiarach 170 oraz 300 km pozostały w otoczeniu Haumea jako jej satelity. Część drobnych fragmentów utworzyła pierścień, jak dotąd jedyny znany wśród KBOs. Fragmenty, których prędkość wyrzutu przekraczała prędkość ucieczki utworzyły rodzinę Haumea. Jeśli powyższy scenariusz jest prawdziwy, czyli jeśli Heumea oraz 10 innych obecnie znanych obiektów rzeczywiście tworzą rodzinę o pochodzeniu zderzeniowym, to jest oczywiste, że oprócz Haumei oraz tych 10 obiektów dotychczas wykrytych, w skład rodziny musi wchodzić wiele innych drobniejszych ciał, jak dotąd niezaobserwowanych, a więc tworzących ogon tej rodziny. Jednak, ze względu na małą statystykę, nie jest możliwe szacowanie masy ogona.

Tabela 2. Rodziny asteroid (Nesvorný i in. 2015). Według https://arxiv.org/pdf/1502.01628.pdf, ale nieco skrócona. Patrz także https://wikimili.com/en/Asteroid_family. Odnośniki do literatury można znaleźć w cytowanych źródłach

Table 2. Notable asteroid families (Nesvorný et al. 2015), slightly abbreviated https://arxiv.org/pdf/1502.01628.pdf. See also https://wikimili.com/en/Asteroid_family. For the particular families see references herein

1 FIN	2 Family name	3 v_{cut} [m/s]	4 Population	5 D_{LM} [km]	6 D_{frag} [km]	7 C [10^{-4} AU]	8 Tax. Type	9 p_V
Hungarias, Hildas and Jupiter Trojans								
001	153 Hilda	130	409	164	-	-	C	0.04
002	1911 Schubart	60	352	80	91	-	C	0.03
003	434 Hungaria	100	2,965	10	24	0.3 ± 0.1	E	0.35
004	624 Hector	50	12	231	-	-	-	-
005	548 Eurybates	50	218	68	87	-	CP	0.06
006	9799 1996 RJ	60	7	72	26	-	-	0.06

1 FIN	2 Family name	3 v_{cut} [m/s]	4 Population	5 D_{LM} [km]	6 D_{frag} [km]	7 C [10^{-4} AU]	8 Tax. Type	9 p_V
008	20961 Arkesilaos	50	37	-	-	-	-	-
009	4709 Ennomos	100	30	-	-	-	-	0.06
010	247341 2001 UV209	100	13	-	-	-	-	0.06
Inner Main Belt, 2.0 < a < 2.5 AU, i < 17.5°								
401	4 Vesta	50	15,252	525	50	1.5 ± 0.5	V	0.35
402	8 Flora	60	13,786	-	-	2.5 ± 0.5	S	
403	298 Baptistina	45	2,500	21	-	0.25± 0.05	X	
404	20 Massalia	55	6,424	-	-	0.25± 0.05	S	
405	44 Nysa-Polana	50	19,073	-	-	1.0 ± 0.25	SFC	
406	163 Erigone	50	1,776	72	46	0.2 ± 0.05	CX	0.06
407	302 Clarissa	35	179	34	15	0.05 ± 0.01	X	0.05
408	752 Sulamitis	55	303	61	35	0.3 ± 0.1	C	0.04
409	1892 Lucienne	100	142	11	11	0.15 ± 0.01	S	0.22
410	27 Euterpe	65	474	110	16	0.50 0.25	S	0.26
411	1270 Datura	10	6	8	3	-	S	0.21
412	21509 Lucascavin	10	3	-	-	-	S	-
413	84 Klio	130	330	78	33	0.75 ± 0.25	C	0.07
414	623 Chimaera	120	108	43	21	0.3 ± 0.1	CX	0.06
415	313 Chaldaea	130	132	-	-	1.0 ± 0.5	C	0.07
416	329 Svea	150	48	70	21	0.3 ± 0.1	CX	0.06
417	108138 2001 GB11	20	9	-	-	-	-	-
Inner Main Belt, 2.0 < a < 2.5 AU, i > 17.5°								
701	25 Phocaea	150	1,989	-	-	2.0 ± 1.0	S	0.25
Central Main Belt, 2.5 < a < 2.82 AU, i < 17.5°								
501	3 Juno	55	1,684	231	25	0.5 ± 0.2	S	0.25
502	15 Eunomia	50	5,670	256	100	2.0 ± 0.7	S	0.19
504	128 Nemesis	50	1,302	178	50	0.25 ± 0.05	C	0.05
505	145 Adeona	50	2,236	141	78	0.7 ± 0.3	C	0.07
506	170 Maria	60	2,940	-	-	2.0 ± 1.0	S	0.25
507	363 Padua	45	1,087	91	48	0.5 ± 0.2	X	0.10
508	396 Aeolia	20	296	46	13	075 ± 0.025	X	0.17
509	410 Chloris	80	424	107	56	0.75 ± 0.25	C	0.06
510	569 Misa	50	702	65	57	0.5 ± 0.2	C	0.03
511	606 Brangane	55	195	36	18	0.04 ± 0.01	S	0.10
512	668 Dora	45	1,259	–	–	---	C	0.05
513	808 Merxia	55	1,215	34	28	0.3 ± 0.1	S	0.23
514	847 Agnia	30	2,125	–	---	0.15 ± 0.05	S	0.18
515	1128 Astrid	60	489	42	29	0.12 ± 0.02	C	0.08
516	1272 Gefion	50	2,547	–	---	0.8 ± 0.3	S	0.20

1 FIN	2 Family name	3 v_{cut} [m/s]	4 Population	5 D_{LM} [km]	6 D_{frag} [km]	7 C [10^{-4} AU]	8 Tax. Type	9 p_V
517	3815 Konig	55	354	22	34	0.06 ± 0.03	CX	0.04
518	1644 Rafita	70	-	–	-	0.5 ± 0.2	S	0.25
519	1726 Hoffmeister	45	–	-	-	0.20 ± 0.05	CF	0.04
520	4652 Iannini	25	150	5	10	–	S	0.32
521	7353 Kazuya	50	44	11	10	–	S	0.21
522	173 Ino	50	463	161	21	0.5 ± 0.2	S	0.24
523	14627 Emilkowalski	10	4	7	3	–	S	0.20
524	16598 1992 YC2	10	3	–	–	–	S –	-
525	2384 Schulhof	10	6	12	4	–	S	0.27
526	53546 2000 BY6	40	58	8	18	–	C	0.06
527	5438 Lorre	10	2	30	–	–	C	0.05
528	2782 Leonidas	50	135	-	--	C	X	0.07
529	144 Vibilia	100	180	142	–	–	C	0.06
530	322 Phaeo	100	146	72	31	0.3 ± 0.1	X	0.06
531	2262 Mitidika	100	653	-	–	–	C	0.06
532	2085 Henan	50	1,872	18	32	0.75 ± 0.25	L	0.20
533	1668 Hanna	60	2,802	2	32	0.2 ± 0.1	CX	0.05
534	3811 Karma	60	124	26	24	0.25 ± 0.05	CX	0.05
Central Main Belt, 2.5 < a < 2.82 AU, i < 17.5°								
535	2732 Witt	45	1,816	11	25	0.75 ± 0.25	S	0.26
536	2344 Xizang	65	275	17	20	0.3 ± 0.1	–	0.12
537	729 Watsonia	130	99	52	38	–	L	0.13
538	3152 Jones	40	22	37	11	-	T	0.05
539	369 Aeria	90	272	75	7	0.3 ± 0.1	X	0.17
540	89 Julia	70	33	147	6	–	S	0.19
541	1484 Postrema	100	108	47	–	–	CX	0.05
Central Main Belt, 2.5 < a < 2.82 AU, i > 17.5°								
801	2 Pallas	350	128	513	40	–	B	0.16
802	148 Gallia	200	182	81	19	0.5 ± 0.1	S	0.17
803	480 Hansa	200	1,094	56	62	–	S	0.26
804	686 Gersuind	120	415	49	36	–	S	0.15
805	945 Barcelona	150	306	27	19	0.25 ± 0.05	S	0.25
806	1222 Tina	200	96	26	10	0.10 ± 0.05	X	0.34
807	4203 Brucato	200	342	18	44	0.5 ± 0.2	CX	0.06
Outer Main Belt, 2.82 < a < 3.7 AU, i < 17.5°								
601	10 Hygiea	60	4,854	–	–		CB	0.06
602	24 Themis	60	4,782	230	-	2.5 ± 1.0	C	0.07
603	87 Sylvia	130	255	–	-	-	X	0.05
604	137 Meliboea	85	444	–	-	-	C	0.05

1 FIN	2 Family name	3 v_{cut} [m/s]	4 Population	5 D_{LM} [km]	6 D_{frag} [km]	7 C [10^{-4} AU]	8 Tax. Type	9 p_V
605	158 Koronis	45	5,949	-	–	2.0 ± 1.0	S	0.15
606	221 Eos	45	9,789		–	1.5 ± 0.5	K	0.13
607	283 Emma	40	76	122	56	0.3 ± 0.1	C	0.05
608	293 Brasilia	50	579	-	-	0.20 ± 0.05	X	0.18
609	490 Veritas	30	1,294	113	78	0.2 ± 0.1	CPD	0.07
610	832 Karin	10	541	17	16	0.03 ± 0.01	S	0.21
611	845 Naema	35	301	61	37	0.20 ± 0.05	C	0.08
612	1400 Tirela	50	1,395	-	–	0.75 ± 0.25	S	0.07
613	3556 Lixiaohua	45	756	-	–	0.25 ± 0.05	CX	0.04
614	9506 Telramund	45	468	–	–	–	S	0.22
615	18405 FY12	50	104	9	14	0.08 ± 0.03	CX	0.17
Outer Main Belt, 2.82 < a < 3.7 AU, i < 17.5°								
616	627 Charis	80	808	50	45	–	C	0.08
617	778 Theobalda	60	376	66	50	–	CX	0.06
618	1189 Terentia	60	79	63	18	0.13 ± 0.03	C	0.07
619	10811 Lau	120	56	8	6	0.075 ± 0.025	S	0.27
620	656 Beagle	25	148	54	28	0.07 ± 0.03	C	0.09
621	158 Koronis(2)	8	246	34	13	0.010 ± 0.005	S	0.14
622	81 Terpsichore	120	138	123	27	0.50 ± 0.25	C	0.05
623	709 Fringilla	150	134	96	55	–	X	0.05
624	5567 Durisen	100	27	34	23	–	X	0.04
625	5614 Yakovlev	120	67	13	23	0.15 ± 0.05	C	0.05
626	7481 San Marcello	100	144	---	–	–	X	0.19
627	15454 1998 YB3	80	38	---	–	0.10 ± 0.05	CX	0.05
628	15477 1999 CG1	95	248	–	--	–	S	0.10
629	36256 1999 XT17	70	58	--	--	0.25 ± 0.05	S	0.21
630	96 Aegle	50	99	165	38	–	CX	0.07
631	375 Ursula	70	1,466	-	–	–	CX	0.06
632	618 Elfriede	40	63	122	26	–	C	0.05
633	918 Itha	100	54	21	35	–	S	0.23
634	3438 Inarradas	80	38	25	33	–	CX	0.07
635	7468 Anfimov	60	58	10	14	–	S	0.16
636	1332 Marconia	30	34	50	16	–	CX	0.05
637	106302 2000 UJ87	60	64	7	15	–	CX	0.05
638	589 Croatia	45	93	92	31	0.5 ± 0.2	X	0.07
639	926 Imhilde	70	43	50	18	0.2 ± 0.1	CX	0.05
640	P/2012 F5 (Gibbs)	10	8	--	–	–	–	–
641	816 Juliana	80	76	68	39	–	CX	0.05

1 FIN	2 Family name	3 v_{cut} [m/s]	4 Population	5 D_{LM} [km]	6 D_{frag} [km]	7 C [10^{-4} AU]	8 Tax. Type	9 p_V
Outer Main Belt, 2.82 < a < 3.5 AU, i > 17.5°								
901	31 Euphrosyne	120	2,035	276	130	–	C	0.06
902	702 Alauda	120	1,294	191	–	2.5 ± 1.0	B	0.07
903	909 Ulla	120	26	113	28	–	X	0.05
904	1303 Luthera	50	163	87	56	–	X	0.04
905	780 Armenia	50	40	98	22	–	C	0.05

Rodziny Pasa Głównego są zestawione według półosi a oraz nachylenia orbit i. Kolumny tabeli to:

1. Numer identyfikacyjny rodziny (FIN).
2. Numer i nazwa asteroidy, od której pochodzi nazwa rodziny. Na ogół ta asteroida jest LM tej rodziny.
3. Prędkość odcięcia (parametr) v_{cut}, wyrażona w m/s.
4. Liczba asteroid w rodzinie dla danej wartości v_{cut}.
5. Średnica LM, D_{LM}, km.
6. Średnica D_{frag} kuli o objętości równej objętości wszystkich fragmentów oprócz fragmentu największego.
7. Parametr lejka C.
8. Klasa taksonomiczna.
9. Albedo geometryczne p_V wg katalogu WISE.

The Main Belt families are listed according to semi-major axis 'a' and inclinations 'i' of the orbits. The columns are:

1. Family Identification Number (FIN),
2. Family name,
3. Cutoff distance v_{cut}, in m/s.
4. Number of family members (Population of AF) identified with v_{cut}.
5. Estimated diameter of the largest member, D_{LM}.
6. Diameter D_{frag} of a sphere with volume equivalent to that of all fragments beside of the LM.
7. Parameter C of the V-shape criterion.
8. Taxonomic type.
9. Mean geometric albedo from WISE (p_V).

Akronimy i oznaczenia

Akronimy używane w artykule pochodzą od pierwszych liter odpowiednich słów angielskich. Autor nie starał się w sztuczny sposób stosować polskiej terminologii. Niektóre z używanych w tekście polskich wyrażeń mają podane angielskie odpowiedniki.

- a, e, i, – elementy orbitalne: półoś wielka orbity, mimośród orbity, nachylenie orbity.
- au, AU – *astronomical unit*; jednostka astronomiczna; 1 au = 1,495978707 × 10^{11} m jest równa średniej odległości Ziemi od Słońca.
- AF – *Asteroid Family*; rodzina asteroid.

- AFM – *Asteroid Family Member*; asteroida należąca do rodziny asteroid.
- AFP – *Asteroid Families Portal*; portal zawierający programy do badania rodzin asteroid.
- FIN – *Family Identification Number*; numer identyfikacyjny rodziny.
- HCM – *Hierarchical Clustering Method*; hierarchiczna metoda grupowania asteroid.
- KBO – *Kuiper Belt Object*; obiekt pasa Kuipera.
- LM – *Largest Member*; największy członek rodziny asteroid. (Określenie „największy" nie zawsze jest poprawne; lepsze byłoby „główny" lub „tradycyjny"; nazwy rodzin pochodzą od asteroid, wokół których rozpoczęto szukanie rodzin)
- PB – *Parent Body*; pierwotna asteroida, która w wyniku zderzenia z inną (*impact* lub *collision*) straciła fragmenty masy tworząc rodzinę asteroid.

L i t e r a t u r a

Bendjoja P., Slezak E., Froeschle C., 1991, The wavelet transform: a new tool for asteroid family determination, Astronomy and Astrophysics, 251 (1), 312-330

Brown M.E., Barkume K.M., Ragozzine D., Schaller E.L., 2007. A collisional family of icy objects in the Kuiper belt, Nature, 446 (7133), 294-296, DOI: 10.1038/nature05619

Brož M., Rozehnal J., 2011, Eurybates – the only asteroid family among Trojans?, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 414 (1), 565-574, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.18420.x

Carruba V., Vokrouhlický D., Nesvorný D., 2017, Detection of the Yarkovsky effect for C-type asteroids in the Veritas family, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 469 (4), 4400-4413, DOI: 10.1093/mnras/stx1186

De Luise F., Dotto E., Fornasier S., Barucci M.A., Pinilla-Alonso N., Perna D., Marzari D., 2010, A peculiar family of Jupiter Trojans: the Eurybates, Icarus, 209 (2), 586-590, DOI: 10.1016/j.icarus.2010.04.024

Housen K.R., Holsapple K.A., 2011, Ejecta from impact craters, Icarus, 211 (1), 856-875, DOI: 10.1016/j.icarus.2010.09.017

Hirayama K., 1918, Groups of asteroids probably of common origin. Astronomical Journal, 31 (743), 185-188

Hirayama K., 1928, Families of asteroids, Japanese Journal of Astronomy Geophysics, 5, 137-162

Hirayama K., 1933, Present state of the families of asteroids, Proceedings of the Imperial Academy, 9 (9), 4820485, DOI: 10.2183/pjab1912.9.482

Leliwa-Kopystyński J., Włodarczyk I., 2020, Estimations of masses of the non-observed 'tails' of asteroid families, Planetary and Space Science, 193, 105067, DOI: 10.1016/j.pss.2020.105067

Milani A., Cellino A., Knežević Z., Novaković B., Spoto F., Paolicchi P., 2013, Asteroid families classification: exploiting very large dataset, Icarus, 239 (1), 46-73, DOI: 10.1016/j.icarus.2014.05.039

Milani A., Farinella P., 1994, The age of the Veritas asteroid family deduced by chaotic chronology, Nature, 370, 40-42, DOI: 10.1038/370040a0

Milani A., Knežević Z., Novaković B., Cellino A., 2010, Dynamics of the Hungaria asteroids, Icarus, 207 (2), 269-294, DOI: 10.1016/j.icarus.2009.12.022

Nesvorný D., Brož M., Carruba V., 2015, Identification and dynamical properties of asteroid families, [w:] Asteroids IV, P. Michel, F.E. DeMeo, W.F. Bottke (red.), University of Arizona Press, Tucson, 297-321, DOI: 10.2458/azu_uapress_9780816532131-ch016

Novaković B., Radović V., 2016, Asteroid Families Portal (AFP), dostępne online: http://asteroids.matf.bg.ac.rs/fam/hcm.php (09.01.2021)

Radović V., Novaković B., Carruba V., Marčeta D., 2017, An automatic approach to exclude interlopers from asteroid families, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 470, 576-592, DOI: 10.1093/mnras/stx1273

Zappala V., Cellino A., Farinella P., Knežević Z., 1990, Asteroid families. I. Identification by hierarchical clustering method and reliability assessment, Astronomical Journal, 100 (6), 2030-2046, DOI: 10.1086/115658

S t r e s z c z e n i e

Liczba asteroid o wyznaczonych orbitach przekracza obecnie 500 tysięcy. Wiele z nich jest ze sobą powiązanych genetycznie, gdyż stanowią one produkt uszkodzenia lub nawet rozbicia większej asteroidy w procesie zderzeniowym. Podstawowy problem stanowi przypisanie (lub nie) danej asteroidy do określonej rodziny. Całkowicie jednoznacznej metody nie ma. W zbiorze asteroid potencjalnie tworzących rodzinę znajdują się zawsze obiekty „obce" (interlopery). Podstawowa metoda identyfikacji to HCM (Hierarchical Clustering Metod – metoda hierarchicznego grupowania). Rodziny zawierają od kilku asteroid do nawet około 30 tysięcy asteroid. Znanych rodzin jest około 100. Około 20-30% wszystkich asteroid to członkowie jakiejś rodziny.

Słowa kluczowe: asteroida, HCM, interloper, kraterowanie, rodzina asteroid, rozbicie zderzeniowe.