

Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza  
w Poznaniu

# **Własności fizyczne planetoid z rodziny Flory**

---

Praca magisterska

**Magdalena Maria Polińska**

**Kierownik pracy: prof. dr hab. Tadeusz Michałowski**

**Opiekun pracy: dr Agnieszka Kryszczyńska**

Poznań 2005

*Pragnę podziękować  
prof. dr hab. Tadeuszowi Michałowskiemu  
oraz dr. Agnieszce Kryszczyńskiej za opiekę,  
pomoc i przekazaną wiedzę podczas pisania  
niniejszej pracy.  
Dziękuję również Wszystkim, bez których nie  
mogłaby powstać ta praca.*



1

*„Jako istoty ludzkie, zdolne do odczuwania „zdumienia właściwego stworzeniom”, zmieniamy się w miarę jak poznajemy i zaczynamy lepiej rozumieć prawdę i rzeczywistość.”*

*Jan Paweł II*

---

<sup>1</sup>Dawny symbol dla planetoidy Flory.

## **Abstract**

The new survey of the Koronis family of asteroids show non-random orientations of their axis of rotation and spin rates (Silvan, 2002). This phenomenon could be explained by long – term dynamical evolution, called Yarkovsky effect. Finding similar behaviour among asteroids of another family could be a good verification of the Yarkovsky effect theory.

The present work is a part of scientific project carried out at the Astronomical Observatory of Adam Mickiewicz University in Poznan. Its aim is to collect data on spin properties of the Flora family asteroids.

This paper is a collection of all available data on physical properties of the Flora family asteroids. Up to now 90 small bodies from this family were observed and for them the data are presented.

Determination of physical parameters of asteroids requires photometric data from at least three oppositions, that is why gathering process takes a several years. For asteroids: 291 Alice, 367 Amicitia and 825 Tanina new photometric observations carried out at Observatory: Borowiec, Pic du Midi and Rozhen are presented. Were used new and already published lighthcurves to obtained sidereal periods, senses of rotation and shapes for these asteroids.

The list enclosed to this paper, contains information about observations carried out and future oppositions for individual asteroids of the Flora family.

# Spis treści

<b>Wstęp</b>	<b>8</b>
<b>1 Małe planety</b>	<b>9</b>
1.1 Częstość rotacji planetoid w głównym pasie. . . . .	11
1.2 Położenie biegunów dla planetoid. . . . .	13
1.3 Rodziny planetoid . . . . .	14
<b>2 Obserwacje rodziny Koronis</b>	<b>16</b>
<b>3 Efekt Jarkowskiego</b>	<b>18</b>
3.1 Mechanizm działania efektu Jarkowskiego . . . . .	18
3.2 Ewolucja rotacji i nachylenia osi obrotu. . . . .	21
<b>4 Rodzina Flory</b>	<b>22</b>
4.1 Krótka charakterystyka rodziny . . . . .	22
4.2 Zestawienie opublikowanych danych . . . . .	23
<b>5 Metoda EAM</b>	<b>30</b>
<b>6 Trzy planetki z rodziny Flory</b>	<b>35</b>
6.1 291 Alice . . . . .	36
6.2 825 Tanina . . . . .	42
6.3 367 Amicitia . . . . .	48
<b>7 Podsumowanie</b>	<b>56</b>
<b>Załącznik</b>	<b>58</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>75</b>

# Spis rysunków

1.1	Histogram znormalizowanej częstości rotacji dla 460 planetoid o średnicach większych niż 40 km. . . . .	11
1.2	Histogram przedstawiający przebieg znormalizowanej częstości rotacji dla 231 planetoid o rozmiarach $0.15 < D \leq 10$ km. . . . .	12
1.3	Rozkład szerokości ekliptycznej biegunów dla planetoid głównego pasa oraz NEA. . . . .	13
1.4	Rozkład planetoid w zależności od odległości os Słońca. . . . .	14
2.1	Częstość rotacji w zależności od stopnia nachylenia dla 10 planetoid z rodziny Koronis. . . . .	16
2.2	Zależność okresu rotacji od średnicy dla 10 planetoid z rodziny Koronis. . . . .	17
3.1	Efekt Jarkowskiego. . . . .	19
3.2	Schemat działania składowej dziennej siły Jarkowskiego . . . . .	19
3.3	Składowa sezonowa efektu Jarkowskiego . . . . .	20
4.1	Histogram średnicy (km) wybranych planetoid z rodziny Flory. . . . .	23
4.2	Zależność okresu rotacji od rozmiarów planetoid. Wykres wykonany dla 48 planetek dla których znane są średnice. . . . .	24
4.3	Wykres zależności amplitudy zmian jasności od okresu rotacji dla planetoid z rodziny Flory. . . . .	24
4.4	Zależność amplitudy zmian jasności w magnitudo od ilości obrotów na dobę. . . . .	25
4.5	Histogram okresów rotacji wybranych planetoid z rodziny Flory. . . . .	25
4.6	Histogram przedstawiający ilość planetoid dla danego przedziału amplitudy zmian jasności. . . . .	26
5.1	Geometria obserwacji planetoidy . . . . .	31
5.2	Model elipsoidy trójosiowej. . . . .	32
6.1	Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1974 roku. . . . .	36
6.2	Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1981 roku. . . . .	37
6.3	Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1994 roku. . . . .	37
6.4	Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1996 roku. . . . .	38
6.5	Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1999 roku. . . . .	39
6.6	Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 2004 roku. . . . .	39
6.7	Model elipsoidy trójosiowej dla planetki 291 Alice. . . . .	41
6.8	Zmiany amplitudy od długości ekliptycznej dla 291 Alice . . . . .	42
6.9	Krzywa zmian blasku dla 825 Taniny 1992 r. okres – 6.746 godz. . . . .	43

6.10	Krzywa zmian blasku dla 825 Taniny 1992 r. okres – 6.941 godz. . .	43
6.11	Krzywa zmian blasku dla 825 Tanina w 1999 roku. . . . .	45
6.12	Krzywa zmian blasku dla 825 Tanina w 2002 roku. . . . .	45
6.13	Krzywa zmian blasku dla 825 Tanina w 2005 roku. . . . .	46
6.14	Modele elipsoidy trójosiowej dla planetoidy 825 Taniny . . . . .	47
6.15	Zmiany amplitudy od długości ekliptycznej dla 825 Taniny . . . .	48
6.16	Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia 1992 r., okres – 4.209 godz.	49
6.17	Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia 1992 r.,okres – 5.055 godz.	49
6.18	Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia w 2000 roku. . . . .	50
6.19	Redukcja krzywej zmian blasku ze względu na ekstynkcje. . . . .	51
6.20	Zależność masy powietrza od jasności w magnitudo. . . . .	51
6.21	Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia wykonana w 2003r. . . . .	52
6.22	Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia 2005 roku. . . . .	52
6.23	Poszczególne opozycje dla planetki 367 Amicitia . . . . .	54
6.24	Model elipsoidy trójosiowej 367 Amicitia. . . . .	55
6.25	Zmiany amplitudy od długości ekliptycznej dla 367 Amicitia . . .	55

# Spis tablic

4.1	Współrzędne ekliptyczne bieguna, okres rotacji i kształt dla 8 Flory, 43 Ariadne, 951 Gaspra. . . . .	26
4.2	Lista wybranych planetoid z rodziny Flory. . . . .	27
4.3	Lista z parametrami dla planetek z rodziny Flory – 1. . . . .	28
4.4	Lista z parametrami dla planetek z rodziny Flory – 2. . . . .	29
6.1	Parametry dla trzech planetoid. . . . .	35
6.2	Informacje o roku i miejscu odkrycia planetoid. . . . .	35
6.3	Dane o położeniu dla planetoid 291 Alice. . . . .	40
6.4	Dane fotometryczne dla planetoidy 291 Alice. . . . .	40
6.5	Współrzędne ekliptyczne bieguna, kształt i okres gwiazdowy dla planetoidy 291 Alice. . . . .	41
6.6	Dane o położeniu dla planetoid 825 Tanina. . . . .	44
6.7	Dane fotometryczne dla planetoidy 825 Tanina . . . . .	46
6.8	Współrzędne ekliptyczne bieguna, kształt i okres gwiazdowy dla planetoidy 825 Tanina. . . . .	47
6.9	Dane o położeniu dla planetoid 367 Amicitia. . . . .	50
6.10	Dane fotometryczne dla planetoidy 367 Amicitia . . . . .	53
6.11	Współrzędne ekliptyczne bieguna, kształt i okres gwiazdowy dla planetoidy 367 Amicitia . . . . .	53
6.12	Przyszłe opozycje dla planetoidy 367 Amicitia. . . . .	54
7.1	Lista z danymi o obserwacjach dla planetoid z rodziny Flory. . . .	59



# Wstęp

Celem pracy było zestawienie danych na temat własności fizycznych planetoid z rodziny Flory. W 2002 roku zaobserwowano nieprzypadkowy podział w obrębie rotacji i nachylenia jej osi dla dziesięciu planetoid wśród rodziny Koronis (Silvan, 2002). Wy tłumaczeniem tego zjawiska jest efekt Jarkowskiego, jako długowieczny proces termiczny wpływający na położenie ciała w przestrzeni. Znalezienie grupy małych ciał o podobnych własnościach wśród innej rodziny, potwierdziłoby działanie niegrawitacyjnej siły Jarkowskiego.

Praca jest częścią projektu naukowego prowadzonego w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, którego celem jest zebranie informacji o częstości, kierunku i położeniu osi rotacji dla planetoid z rodziny Flory.

Dotychczas obserwowano dziewięćdziesiąt małych ciał z rodziny Flory i dla nich zostały przedstawione dane w niniejszej pracy. Aby określić model planetoidy potrzebne są dane fotometryczne co najmniej z trzech opozycji, dlatego na ich zgromadzenie potrzeba kilku a nawet kilkunastu lat. Dla trzech planetoid: 291 Alice, 367 Amicitia i 825 Tanina wykorzystano po raz pierwszy nowe obserwacje wykonane w Obserwatoriach: Borowiec, Picu du Midi oraz Rozhen. Uwzględniając powyższe dane oraz wcześniejsze opublikowane opozycje podano okresy gwiazdowe, współrzędne ekliptyczne biegunów i kształt dla tych wybranych planetek.

Do pracy załączona jest lista z informacjami o wykonanych obserwacjach (tabela 7.1) oraz przyszłych opozycjach w których będzie można wykonać fotometrię dla poszczególnych planetoid z rodziny Flory.

# Rozdział 1

## Małe planety

Dokładne poznanie powstania Układu Słonecznego i procesów jakie zachodziły podczas jego formowania umożliwiła badanie planetoid i komet. Te na pozór małe kosmiczne „odpadki” mogą stanowić bogate źródło informacji o najwcześniejszych etapach ewolucji Układu Słonecznego sprzed około 4.6 mld lat, a także o procesach fizycznych, które ciągle wpływają na jego historię.

Planetoidy, zwane również planetkami lub małymi planetami, są to małe ciała krążące po orbitach wokół Słońca. Nazwa ich pochodzi od greckiego słowa „asteroid” co oznacza „podobna do gwiazdy”. Pierwsza planetka - 1 Ceres (nazwa pochodzi od imienia greckiej bogini Sycylii) - została dostrzeżona przez włoskiego astronoma Piazziego w obserwatorium w Palermo (Sycylia), dokładnie 1 stycznia 1801 roku. Jest to największe tego typu ciało, jej średnica wynosi 848 km. Inne duże planetki to: 2 Pallas, 3 Juno, 4 Vesta. Każda nowo odkryta planetoida otrzymywała swój numer oraz nazwę, tak jak 1572 Posnania odkryta w 1949r. w Obserwatorium Astronomicznym w Poznaniu. Z upływem czasu liczba odkrywanych ciał wzrosła i wzrasta nadal, dlatego „najmłodsze” nie posiadają już swoich „imion”, lecz tylko numery.

Małe planety są obiektami niebieskimi w zasadzie zbudowane z tej samej materii co planety wewnętrzne, czyli przede wszystkim krzemianów i metali. Planetoidy, tak jak planety, świecą światłem odbitym od swojej powierzchni. Analizy pomiarów widma odbiciowego za pomocą teleskopów pokazały istnienie różnic między grupami planetoid, związanych przypuszczalnie z ich składem chemicznym. Ponieważ wiele meteorytów pochodzi najprawdopodobniej z planetoid, obserwacje porównano więc z laboratoryjnymi analizami meteorytów. Na tej podstawie wprowadzono klasyfikację taksonomiczną, która dzieli planetoidy na kilka grup, wśród których wyróżniamy trzy główne: C, S i M.

**Typ C** to planetki węgliste, zawierające węgiel i złożone związki organiczne. Ich albedo, czyli stosunek ilości promieniowania odbitego do ilości promieniowania padającego, wynosi 0.03 – 0.04. Są one najczęściej spotykane wśród planetoid, uważa się że są to obiekty najbardziej pierwotne i zawierają nieprzeobrażoną materię.

**Typ S** są kolejna grupa planetoid, składają się one z skał krzemianowych i zawierają niewiele związków węgla. Ich albedo wynosi: 0.15 – 0.20 jest ich mniej od planetek typu C.

**Typ M** stanowią, planetoidy metaliczne. Zawierają żelazo i nikiel, są znacznie jaśniejsze od typu C i S. Mogą one być jądrami większych planetoid, które uległy dyferencjacji, przeobrażeniu wewnętrznemu.

Wyjątkowa planetoida 4 Vesta, składa się ze skał bazaltowych podobnych do meteorytów, zwanych eukrytami. Jest ona też przykładem planetoidy, która zachowała swoją skorupę. Łączna masa trzech największych obiektów to mniej więcej połowa masy ciał zapełniających pas, a cała jego masa nie jest większa niż 0.0005 masy Ziemi.

Większość planetoid krąży między orbitami Marsa i Jowisza w głównym pasie planetoid. Okresy obiegu wokół Słońca w większości wynoszą od 3 do 6 lat (półosie odpowiednio 2.1 – 3.3 AU). W pasie tym znajduje się co najmniej 1000 obiektów o średnicy przekraczającej 30 km. Około 200 z nich ma rozmiary większe od 100 km. Prawdopodobnie średnice około miliona planetek w pasie głównym są większe od 1 km.

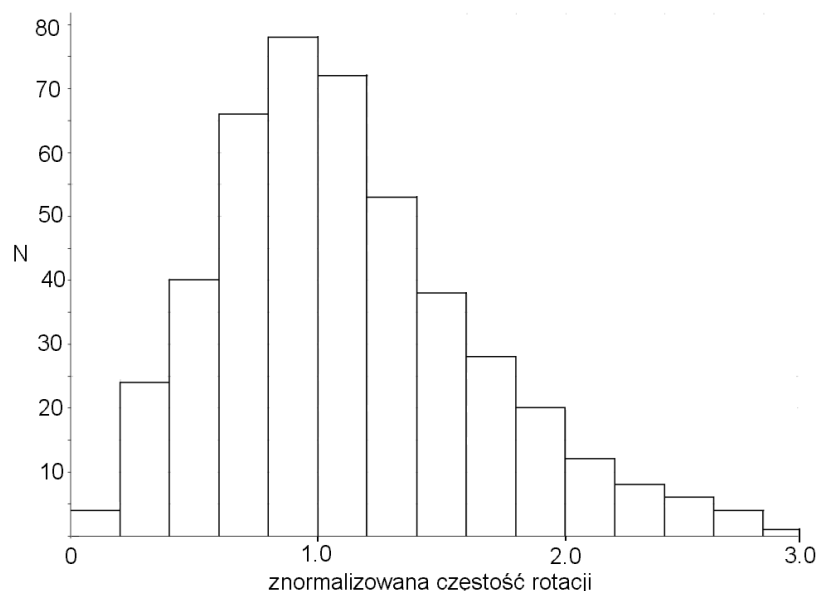
Pas planetoid między Marsem a Jowiszem leży w płaszczyźnie ekliptyki i ma wyraźny brzeg wewnętrzny; oddalając się od Słońca coraz więcej planetek posiada orbity nachylone do płaszczyzny ekliptyki.

Planetoidy obracają się wokół własnej osi ze średnim okresem od 4 do 20 godzin, większość ciał ma okres rotacji z przedziału 5 – 12 godzin. Wskutek obrotu planetki obserwuje się periodyczne zmiany jasności, które są głównym źródłem informacji o kształcie ciała, nachyleniu osi rotacji do ekliptyki i okresie rotacji. Kształty planetoid są często nieregularne, odbijają one więcej światła gdy są zwrócone w stronę obserwatora (w stronę Ziemi) większym przekrojem powierzchni, a mniej – gdy mniejszym. Krzywa zmian blasku posiada wtedy dwa maksima i dwa minima. Ponadto zmiany jasności mogą wynikać z różnych właściwości odbijających powierzchni ciała (np. plam na powierzchni). Im planetoida ma bardziej wydłużony kształt, tym amplituda krzywej zmian blasku jest większa. Przykładem takiego obiektu jest 1620 Geographos, gdzie zmiana blasku wynosi 2 magnitudo. Jednak niesferyczny kształt małych planet nie jest jedyną przyczyną występowania nierównomiernego odbijania światła słonecznego przez ich powierzchnie. Na zmiany jasności wpływa też kąt między kierunkiem do obserwatora a osią rotacji ciała. Gdy oś rotacji będzie prostopadła do tego kierunku wtedy planetka będzie wykazywała większe zmiany jasności niż gdyby jej oś obrotu była nachylona pod pewnym kątem.

## 1.1 Częstość rotacji planetoid w głównym pasie.

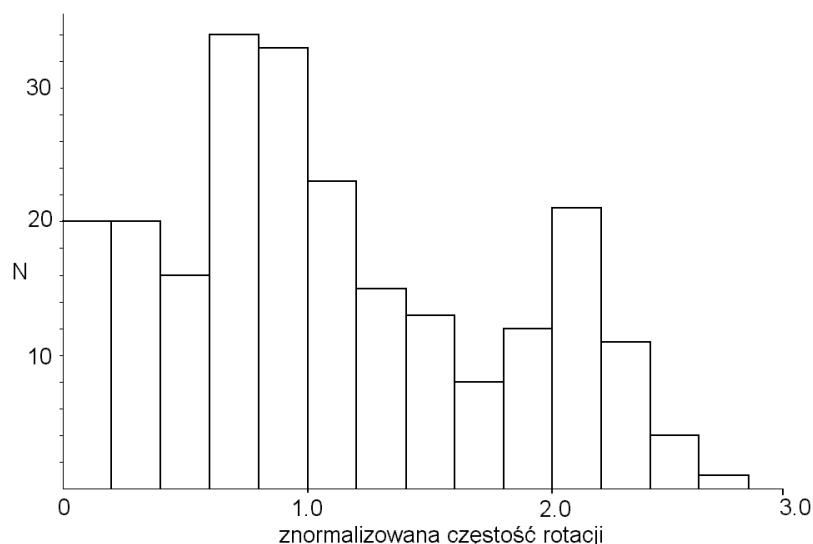
Dla 984 planetoid pasa głównego sporządzono wykres (Pravec i in., 2002), na którym przedstawiona jest zależność pomiędzy okresem (w godzinach) lub częstością rotacji a średnicą obiektów. Średnia częstości rotacji została obliczona za pomocą metody nazwanej „running box”. Średni okres wyznaczono w obrębie 50 obiektów, a następnie z takiego przedziału odjęto planetkę o największej średnicy a podstawiono obiekt mniejszy z kolejnego „pudełka”. W ten sposób powstała krzywa, która obrazuje przebieg średniej rotacji planetoid. Z wykresu można odczytać iż wraz ze wzrostem średnicy dla danych obiektów okres obrotu maleje. Zmniejsza się też częstość rotacji na dzień. Dla większych planetek rotacja wynosi około 3 obrotów w ciągu doby, następnie zmniejsza się do 1.8 obrotów na dzień, aż do średnicy 100 km. Wraz z spadkiem rozmiarów planetoid ilość obrotów na dzień rośnie aż do 4, dla ciał 10 kilometrowych. Widać więc wyraźny spadek rotacji na dobę dla planetoid o średnicy około 100 km. Występowanie minimum może być spowodowane zderzeniami ciała z mniejszymi, które powodują powstawanie kraterów na ich powierzchniach. Podczas niego dochodzi do wyrzucenia materii z powierzchni gdzie powstaje krater, a następnie opadnięcia jej na powierzchnię. Co może się przyczyniać do spowalniania rotacji większych planetoid.

Ze sporządzonych histogramów dla znormalizowanych częstości rotacji, można odczytać charakterystyczne własności dla różnych rozmiarów małych planetek. Dla ciał większych od 40 km (rysunek 1.1), do wykresu można idealnie dopasować rozkład Maxwella, znajduje się on w pracy Pravec i in. (2002). Oznacza to, że prędkość rotacji dla planetoid o takich średnicach jest przypadkowa.



Rysunek 1.1: Histogram znormalizowanej częstości rotacji dla 460 planetoid o średnicach większych niż 40 km. Wykres wykonany według pracy Pravec i in. (2002).

Inaczej przedstawia się histogram, na rysunku 1.2, dla planetoid z przedziału o średnicy  $0.15 < D \leq 10$  km. Nie można zaobserwować już żadnych charakterystycznych zależności. Częstość rotacji planetek o takich rozmiarach nie tworzy wykresu do którego można by dopasować rozkład Maxwella. Tak więc w przypadku mniejszych planetoid nie należy mówić o przypadkowym rozłożeniu rotacji.



Rysunek 1.2: Histogram przedstawiający przebieg znormalizowanej częstości rotacji dla 231 planetoid o rozmiarach  $0.15 < D \leq 10$  km. W skład ich wchodzi 164 planetek grupy NEA (Planetoidy bliskie Ziemi) oraz krzyżujących się z orbita Marsa. Wykres wykonany według pracy Pravec i in. (2002).

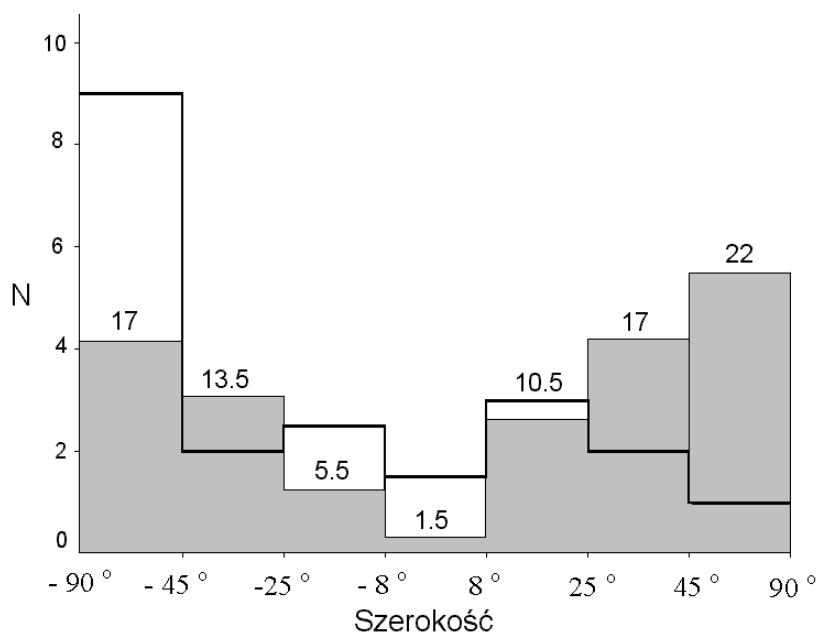
Wśród małych ciał ( $0.15 < D < 10$  km) można wyróżnić trzy typy budowy. Pierwszy z nich to monolity, do rozerwania takiego ciała na mniejsze potrzebna by była siła odpowiadająca wytrzymałości materiału. Następną grupę tworzą ciała, które zbudowane są z bardzo luźno połączonych brył skalnych. Do ich rozerwania nie jest potrzebna duża siła. Trzecia grupę stanowią planetoidy, które zbudowane są z agregatów, brył zespolonych lodem bądź zakleszczonych na wskutek zderzeń. Siła potrzebna do rozerwania ich musi być większa niż w przypadku ciał typu drugiego. Kształty planetoid są więc zależne od sił grawitacyjnych i sił odpowiedzialnych za spójność materiału skalnego. Tempo rotacji jest związane z budową planetki.

Wykres zależności częstości rotacji na dobę od amplitudy zmian jasności dla 174 planetoid bliskich Ziemi i planetek przecinających orbitę Marsa (Pravec i in. (2002)). Dla różnych typów budowy (gęstości) została wyliczona prędkość graniczna, powyżej której planetoida o określonej gęstości ulega rozerwaniu. Dla największej gęstości  $3.0 \text{ g/cm}^3$  granica ta wynosi około 11 obrotów na dobę. Występuje wyraźna tendencja w kierunku bardziej sferycznych kształtów ze wzrastającą częstością rotacji, są to planetki o rozmiarach większych od 0.15 km. Planetoidy posiadające częstość rotacji większą od 10 obrotów na dobę (przekraczające „barierę rozpadu”) mogą stanowić grupę ciał które powstały z jąder planetek które uległy rozbiciu. Rozmiary ich są mniejsze od 0.15 km., muszą więc one być zbu-

dowane z jednolitego materiału, aby przy tak szybkiej rotacji nie uległy rozpadowi.

## 1.2 Położenie biegunów dla planetoid.

W pracy La Spina i in. (2004) przedstawiony jest rozkład biegunów dla 87 planetoid należących do głównego pasa oraz 21 planetek NEA, zbliżających się do Ziemi. Histogram na rysunku 1.3 obrazuje ilość występowania biegunów planetoid w przedziałach szerokości ekliptycznej. Dla planetoid głównego pasa rozkład jest bimodalny. Liczba planetek posiadających ruch prosty (szerokość ekliptyczna dodatnia) nie różni się znacznie od rotujących ruchem wstecznym. Najmniej małych ciał posiada bieguny znajdujące się blisko płaszczyzny ekliptyki (w przedziale od  $-8^\circ$  do  $8^\circ$  szerokości ekliptycznej). W przypadku planetoid NEA występuje sytuacja przeciwna. Zdecydowana większość planetek posiada rotacje wsteczną, czyli rotuje w kierunku przeciwnym niż Ziemia. Co jest przyczyną, że małe ciała migrujące w pobliże Ziemi posiadają wsteczny kierunek rotacji? Okazało się (La Spina i in. 2004), że wyjaśnieniem jest efekt Jarkowskiego (dokładnie opisany jest on w rozdziale 3). Powoduje on przemieszczanie się małych ciał w okolice rezonansów występujących w głównym pasie. Następnie planetka jest „wypychana” przez grawitacyjne perturbacje w inne kierunki Układu Słonecznego. Oba zjawiska tłumaczą ciągle uzupełnianie się planetoid zbliżających się do Ziemi oraz wsteczne kierunki ich rotacji.

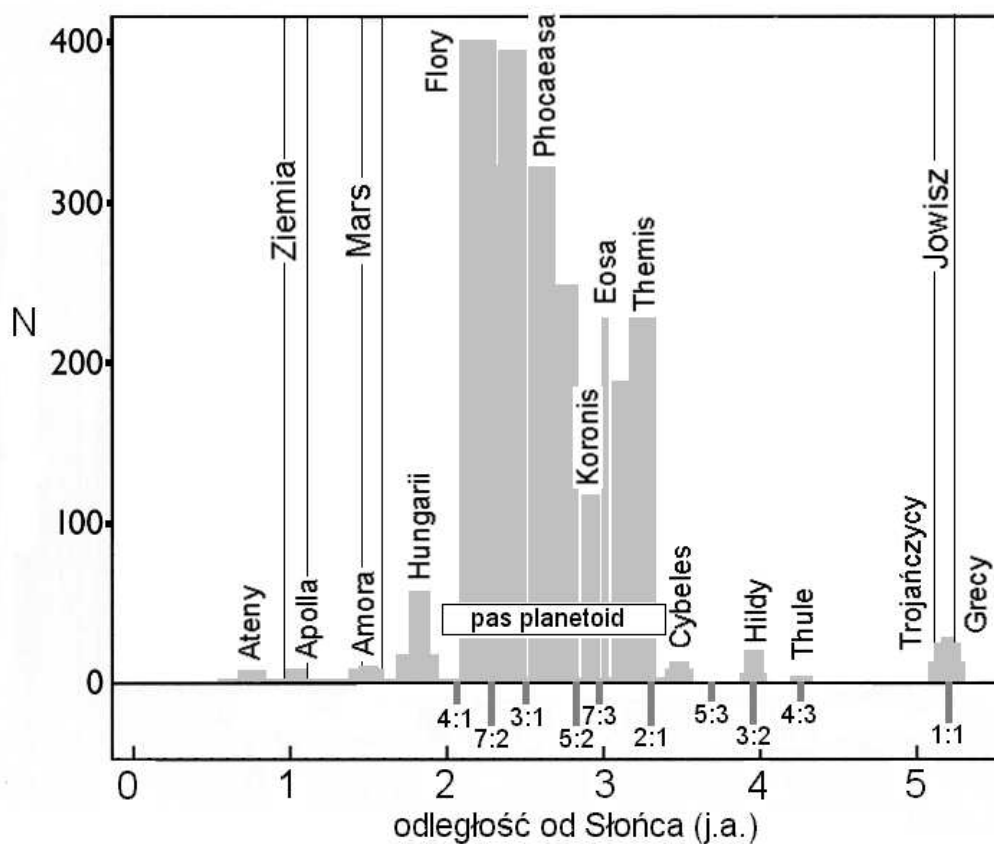


Rysunek 1.3: Rozkład szerokości ekliptycznej biegunów dla planetoid głównego pasa i NEA. Kolorem szarym zaznaczone są planetki głównego pasa, których ilość została znormalizowana do liczby planetoid NEA. Realne ich numery znajdują się nad kolumnami histogramu. Rysunek został wykonany na podstawie pracy La Spina i in. (2004).

## 1.3 Rodziny planetoid

W 1918 roku japoński naukowiec Kiyotsugu Hirayama jako pierwszy zauważył grupowanie się planetoid. Wyróżnił on pięć rodzin wśród małych ciał głównego pasa. Użył do tego elementów orbitalnych planetek. Nazywane są one do dziś rodzinami Hirayamy i należą do nich: Koronis, Eos, Themis, Flora i Maria. Później wyznaczono kolejne rodziny, dziś jest już ich około stu.

W tych miejscach, gdzie okres orbitalny planetek byłby współmierny z okresem Jowisza występują tzw. rezonanse. Powodują one „wymiatanie” planetoid z określonych orbit, tworząc luki w głównym pasie, nazywamy je oknami Kirkwooda. Nagromadzone obok tych przerw obiekty tworzą liczniejsze grupy, np. rodzina Hungarii – obok rezonansu 4:1, Phocaea - rezonans 3:1 (rysunek 1.4).



Rysunek 1.4: Rozkład planetoid w zależności od odległości od Słońca. Widać na nim wyraźnie niejednorodne zagęszczenia obszaru pasa planetoid oraz okna Kirkwooda. Rysunek powstał na wzór Królikowska – Sołtan i in. (1999).

Oprócz głównego pasa, planetoidy występują także w innych zgrupowaniach. Dwie takie grupy nazwane trojańskimi, znajdują się w rezonansie z Jowiszem. Jedna grupa, Grecy, wędruje po orbicie Jowisza  $60^\circ$  przed nim, druga nazwana Trojańczykami  $60^\circ$  za nim. Planetoidy trojańskie znajdują się w punktach Lagrange’a ( $L_4$  i  $L_5$ ). Trójkątne punkty Lagrange’a są stabilne, ponieważ stosunek mas Jowisza i Słońca jest dostatecznie mały. Planetki więc nie uciekają z ich

otoczenia (obie grupy tworzą wraz ze Słońcem i Jowiszem dwa trójkąty równoboczne).

Trzy populacje małych planet krążące wewnątrz orbity Marsa, są nazywane bliskimi Ziemi (NEA). Planetoidy grupy Ateny i Apolla przecinają orbitę naszej planety. Trzecia grupa Amora, krąży między Ziemią a Marsem. Czas życia tych planetoid wynosi od 10 do 100 milionów lat. Po jego upływie wpadają w Słońce lub zderzają się z wewnętrznymi planetami Układu Słonecznego. Liczba ich jednak nie maleje, musi więc istnieć jakiś mechanizm, który powoduje uzupełnianie tej grupy planetek.

Klasyfikacja rodziny planetoidy jest oparta o podobieństwo elementów orbitalnych planetoid. Już Hirayama spekulował, że planetki należące do jednej rodziny pochodzą z jednego większego ciała, które w przeszłości na skutek kolizji uległo rozerwaniu na mniejsze części. Ruch małych ciał w pasie planetoid jest bardzo silnie perturbowany przez Jowisza, Saturna i Marsa. Elementy orbitalne planetek ulegają ciągłym zmianom w czasie, dlatego do określenia rodzin dynamicznych stosuje się tak zwane „proper elements”. Są to średnie elementy orbitalne, pozbawione okresowych i długookresowych członów perturbacyjnych.

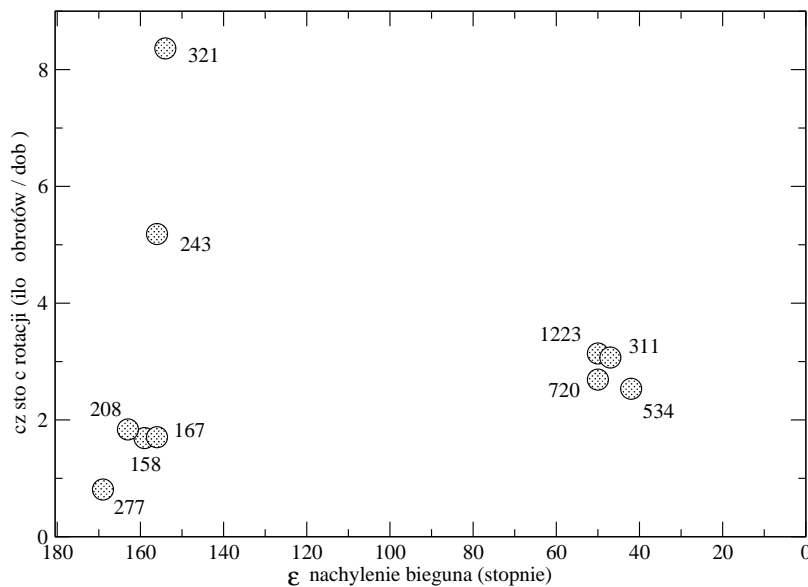
Do poszukiwania rodzin wykorzystuje się algorytmy, na podstawie których można zakwalifikować planetkę do określonej grupy. Bendjoya (1993) do klasyfikacji 6479 planetoid do rodzin zastosował funkcję W.A.M. (wavelet analysis method). Metoda opiera się na wykorzystaniu funkcji falowej, zależnej od „proper elements”. Podczas obliczeń były stosowane różne metryki definiujące odległość pomiędzy średnimi elementami orbitalnymi. Zastosowano również cztery różne kryteria (bardziej lub mniej rygorystyczne) przynależności planetoidy do danej rodziny. W wyniku obliczeń uzyskano 26 rodzin i 10 szczepów. Inną metodą przypisującą daną planetoidę do rodziny jest H.C.M. (hierarchical clustering method) zastosowana przez Zappalę i innych (1994). Opiera się ona także na wykorzystaniu „proper elements” oraz różnych stopni prawdopodobieństwa, że określona planetka na pewno przynależy do generowanej grupy. Podczas obliczeń, tak jak w wypadku metody W.A.M, dzieli się główny pas planetoid na trzy strefy (wewnętrzną, środkową i zewnętrzną) określone przez odległość od Słońca w AU. W ich obrębie dokonuje się zliczeń planetek. Końcowym efektem było wyznaczenie 20 grup z 2114 planetoid dla kryterium o wyższym stopniu prawdopodobieństwa, oraz 29 grup dla 242 ciał dla kryterium o mniej rygorystycznych założeniach.



## Rozdział 2

### Obserwacje rodziny Koronis

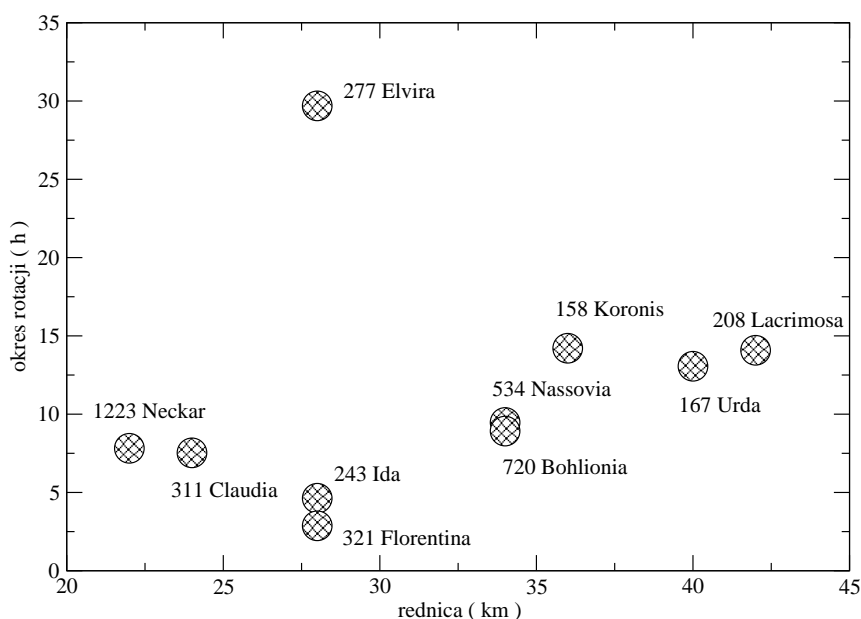
W 2002 roku wykorzystując dane otrzymane na przestrzeni lat stwierdzono, że wśród planetoid rodziny Koronis występuje wyraźny podział na dwie grupy (Silvan 2002). Dzielą się one ze względu na częstość rotacji i nachylenie osi rotacji do ekliptyki. Pierwsza grupa reprezentuje planetoidy, które posiadają rotacje prostą oraz nachylenie osi obrotu w przedziale od  $39^\circ$  do  $56^\circ$ . Ich okres rotacji jest podobny i wynosi od 7.5 h do 9.5 h. Drugą grupę tworzą planetki o zupełnie przeciwnych własnościach fizycznych. Planetoidy rotują w niej ruchem wstecznym, nachylenie ich osi rotacji jest bardzo duże i wynosi od  $154^\circ$  do  $169^\circ$ . Okresy rotacji w drugiej grupie są bardzo zróżnicowane. Część z nich posiada rotacje mniejszą od 5 h lub większą od 13 h.



Rysunek 2.1: Częstość rotacji w zależności od stopnia nachylenia dla 10 planetoid z rodziny Koronis, Silvan (2002).

Na wykresie 2.1 wykonanym według pracy Silvana (2002) przedstawiona jest zależność nachylenia bieguna północnego od częstości rotacji na dzień. Nachylenie przyjmuje wartości w przedziale od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ , gdzie rotacja prosta jest dla nachylenia z przedziału  $0^\circ - 90^\circ$ , a wsteczna dla  $90^\circ - 180^\circ$ . Rysunek pokazuje wyraźny podział planetek na dwie grupy (każda planetka oznaczona jest na rysunku swoim numerem). Wśród planetoid o rotacji wstecznej występują dwie, które posiadają bardzo szybką rotację są nimi 243 Ida i 321 Florentina.

Rozmiary planetoid rodziny Koronis dla których zostały przeprowadzone obserwacje wynoszą 20 – 40 km. Wykres 2.2 przedstawia zależność średnicy i okresu rotacji. Najwolniej rotuje planetoida 277 Elvira, chociaż posiada ona takie same rozmiary jak znacznie szybciej rotujące 243 Ida i 321 Florentina.



Rysunek 2.2: Zależność okresu rotacji od średnicy dla 10 planetoid z rodziny Koronis. Wykres został wykonany na podstawie danych z pracy Vokrouhlicky i in. (2003).

Dlaczego planetoidy posiadają tak nieprzypadkowe nachylenia i odpowiadające im okresy rotacji podzielone na dwie grupy? W pracy Silvan (2002) rozważane są dwie możliwości: pierwsza mówi o zderzeniach, które miały miejsce w obrębie powstałej już rodziny. Małe ciała miałyby wtedy podobne rotacje i nachylenia osi. Jednak aby wyjaśnić tą hipotezę należałoby dokładnie poznać mechanizm ewolucji agregatów grawitacyjnych powstałych z fragmentacji większego ciała. Druga możliwość to działanie niegrawitacyjnych sił, jakimi są procesy termiczne. W drugim przypadku niewiadomą jest skala czasowa, podczas której mogłoby dochodzić do takiego grupowania. Znalezienie podobnej grupy małych ciał o rozmiarach od 20 – 40 km w obrębie innej rodziny byłoby potwierdzeniem działającego w długim przedziale czasu procesu termicznego.

# Rozdział 3

## Efekt Jarkowskiego

### 3.1 Mechanizm działania efektu Jarkowskiego

Na nieprzypadkowe rozłożenie okresów rotacji i nachylenia osi obrotu planetoid zaobserwowane dla dziesięciu ciał z rodziny Koronis wpływa efekt Jarkowskiego. Już w 1900 roku opisywał to zjawisko Iwan Osipowicz Jarkowski. Zauważył on, że planety i planetoidy mają inną temperaturę strony "wieczornej" swojej powierzchni, niż „porannej”. Wiąże się z tym powstanie niesymetrycznej siły „odrzutu” działającej na rotujące ciało. Jego teoria jednak została zlekceważona. Uważano, że siła efektu jest zbyt słaba aby należało ją uwzględniać dla małych ciał. Ostatnie obliczenia i badania dowodzą, że niesłusznie został on pominięty.

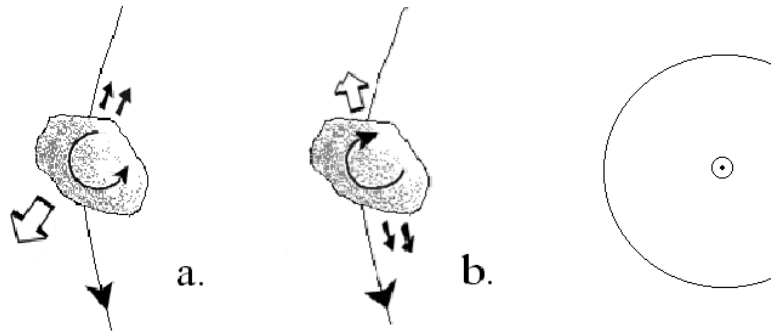
Po raz pierwszy bezpośrednio efekt Jarkowskiego został zmierzony dla planetoidy bliskiej Ziemi 6489 Golevka, uzyskane wyniki znajdują się w pracy Chesley i in. (2003). Na podstawie obserwacji radarowych zaobserwowano niewielkie zmiany orbity małego ciała. Siła działająca na planetoidę jest bardzo mała, jednak na przestrzeni 12 lat obserwacji od 1991 – 2003 roku udało jej się zmienić orbitę o 15 km (przy dokładności pomiarów na jej odległość wynoszących 300 m).

Schemat działania efektu Jarkowskiego opisuje Binzel (2003). Planetki, tak jak każde ciała Układu Słonecznego, odbijają i absorbują światło słoneczne, a zebraną energię wypromieniowują w podczerwieni. Ponieważ fotony emitowane w tym procesie niosą ze sobą pęd, pojawia się siła działająca w kierunku przeciwnym do uciekających fotonów. Mechanizm działania siły zależy przede wszystkim od ułożenia planetki w przestrzeni oraz od kierunku rotacji, prosta – tak jak rotuje Ziemia, lub wsteczna – kierunek odwrotny. Działanie siły odrzutu dla planetoidy schematycznie przedstawia rysunek 3.1. Małymi strzałkami zaznaczony jest kierunek emisji cieplnej (fotonów), duża strzałka pokazuje kierunek działania siły Jarkowskiego.

Efekt Jarkowskiego dzielimy na dwie składowe w zależności od ułożenia osi rotacji w przestrzeni, Bottke i in. (2003):

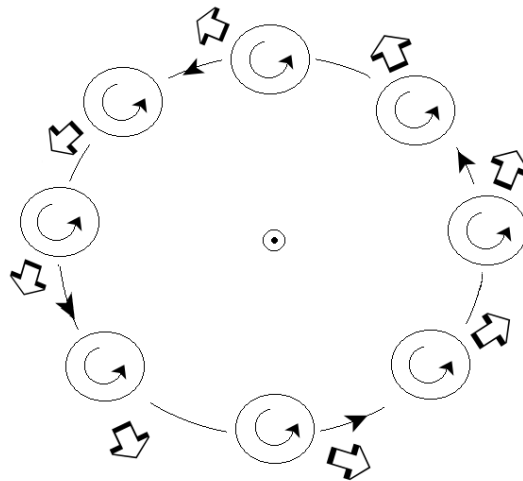
#### **Dzienną**

Jeśli założymy, że oś rotacji jest prostopadła do ekliptyki i planetka rotuje ruchem prostym. Na małym ciele można określić pory „dnia”, rano powierzchnia jest chłodna i zaczyna być ogrzewana przez Słońce. Na „popołudniowej” stronie temperatura jest wyższa i zaczyna się emisja ciepła. Podczas ochładzania się powierzchni powstaje siła działająca na zewnątrz orbity planetoidy w ten



Rysunek 3.1: Efekt Jarkowskiego. Działanie siły odrzutu na planetoidy o rotacji prostej (a) i wstecznej (b). Rysunek wykonany według Binzel (2003).

sposób przyczyniając się do jej stopniowego powiększania. Dla rotacji wstecznej będziemy mieć sytuację przeciwną, czyli pomniejszanie się orbity. Składowa dzienna efektu Jarkowskiego zależy także od: odległości od Słońca, stopnia nachylenia osi rotacji, właściwości fizycznych planetki (kształtu, rozmiaru i szybkości rotacji). Duże obiekty powyżej 40 km nie są czułe na subtelne działanie „dziennego” ogrzewania słonecznego. Efekt należy także pominąć dla bardzo szybko rotujących ciał. Na rysunku 3.2 przedstawiony jest schemat działania składowej dziennej na planetoidę o rotacji prostej. Duże strzałki wyznaczają kierunek działania siły. Jeśli oś rotacji małego ciała leży w płaszczyźnie ekliptyki dzienny efekt Jarkowskiego nie występuje, nie działa także na planety i ciała < 10 km.

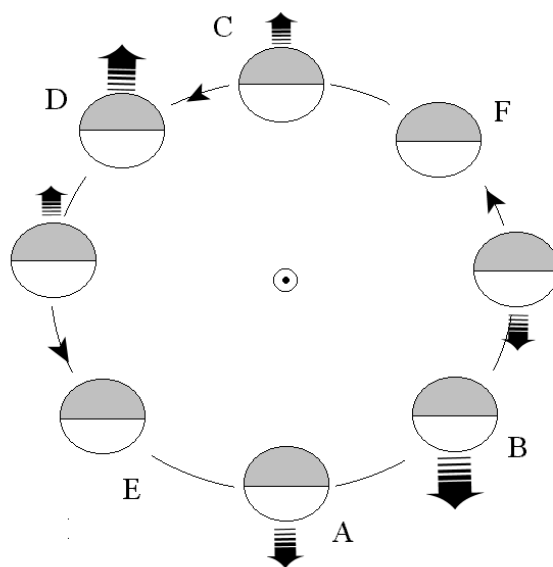


Rysunek 3.2: Schemat działania składowej dziennej siły Jarkowskiego na planetoidę rotującą prosto. Rysunek zrobiony na podstawie Bottke i in.(2003).

### Sezonową

Rysunek 3.3, przedstawia schemat działania sezonowego efektu Jarkowskiego. W przeciwieństwie do składowej dziennej, nachylenie osi rotacji do prawie kołowej

orbity jest bliskie zero. W miejscu A oznaczonym na rysunku Słońce ogrzewa tylko „północny” biegun planetki (szara półkula). Tak więc na orbicie w miejscu B występuje znaczna różnica temperatur powierzchni półkul planetoidy. W efekcie pojawia się siła działająca przeciwnie do ruchu orbitalnego. W punkcie C i D jest sytuacja analogiczna, przy czym ogrzewany jest biegun „południowy” (biała półkula). W miejscach F i E na małe ciało nie działa siła Jarkowskiego, ponieważ powierzchnia obydwu biegunów posiada względnie taką samą temperaturę. Kierunek działania siły zaznaczony jest strzałkami, w punktach B i C jest ona największa i powoduje wyhamowywanie ruchu orbitalnego planetki. Sezonowy efekt nie zależy do zwrotu rotacji planetoidy i jego działanie jest identyczne dla rotacji prostej i wstecznej, jedynym warunkiem jest aby szerokość ekliptyczna bieguna planetoidy była bliska zero stopni.



Rysunek 3.3: Składowa sezonowa efektu Jarkowskiego (opis w tekście). Rysunek wykonany na podstawie pracy Bottke i in. (2003).

### **Efekt YORP**

Emisja zaabsorbowanej energii słonecznej może więc wpływać na ruch orbitalny małych ciał. Okazuje się, że działa także na prędkość i położenie osi rotacji planetoidy Bottke i in.(2003), ten rodzaj siły nazywany jest efektem YORP. Nazwa jego pochodzi od pierwszych liter nazwisk naukowców, którzy mieli swój udział w jego rozpoznaniu Yarkovsky, O Keefe, Radzievskii i Paddack. Jego działanie można zaobserwować dla planetoid o kształcie różnym od elipsoidalnego. Wówczas pęd emitowanych fotonów jest niesymetryczny i taka jest też siła działająca na planetkę. Przyczynia się to do zmian prędkości rotacji, zwiększając ją lub spowalniając. Nachylenie osi także ulega zmianom. Efekt YORP w dużym stopniu zależy więc od kształtu planetoidy, jej rozmiarów, odległości od Słońca oraz przewodnictwa cieplnego powierzchni planetki. Skala czasowa działania efektu znacznie zmienia się jeśli rozpatrujemy planetki o różnych rozmiarach. Tak więc im mniejsze ciało tym efekt YORP jest bardziej efektywny, skala czasowa jest proporcjonalna do  $\sim D^2$ .

## 3.2 Ewolucja rotacji i nachylenia osi obrotu.

Badania opublikowane przez Vokrouhlicky i in. (2003) potwierdziły przewidywania działania efektu Jarkowskiego. Przedstawiono symulacje komputerowe, które pokazały, że powoli przez około 2 do 4 miliardów lat pod wpływem działania efektu, zwiększa i zmniejsza się tempo rotacji oraz nachylenie osi planetoidy. Zauważono także, że efekt Jarkowskiego w połączeniu z grawitacją od planet, może spowodować skierowanie biegunów planetek w tym samym kierunku.

Podczas obliczeń uwzględniono dwa procesy: efekt YORP i wpływ grawitacji od planet. Wzięto także pod uwagę przybliżone nieregularne kształty planetoid, a nie modele elipsoid. W pracy Vokrouhlicky i in. (2003) pokazane są wykresy (dla trzech planetoid: Claudia, Urda i Florentina) zmian okresu i nachylenia osi rotacji jakie mogły zajść przez 4 miliardy lat pod wpływem opisanych czynników. W pracy przyjęto, że nachylenie zawiera się w przedziale od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ . Ujemna szerokość ekliptyczna bieguna odpowiada więc wartościom kątów powyżej  $90^\circ$  (rotacja wsteczna).

Początkowa wartość okresu rotacji dla 311 Claudiu jaka została przyjęta to 5 godzin, takiej wartości odpowiada dziewięć różnych początkowych wartości kątów nachylenia osi rotacji w przedziale  $0^\circ - 90^\circ$ . Wszystkie nachylenia ewoluując zmniejszają się (planetoida jakby się „podnosi”), a następnie wzrastają aby ostatecznie zbiec się w przedziale  $40^\circ - 50^\circ$ . Okres rotacji po 4 miliardach lat dla poszczególnych kątów nachylenia wzrasta osiągając zbliżoną wartość od 8.5 do 11 godzin. Obliczenia wykazały, że dla planetoid o rotacji prostej oś rotacji powinna zacząć zataczać się okresowo. Gdy tempo precesji zrówna się z precesją orbity Saturna, planetka osiąga stan równowagi. Wyliczone na podstawie tego modelu rotacje i nachylenia osi obrotu dla planetoid z rodziny Koronis pasują do rzeczywistych obserwacji.

Kolejną przedstawioną planetką jest 167 Urda rotująca wstecznie (początkowe wartości nachylenia  $90^\circ - 180^\circ$ ), posiada ona bardzo zróżnicowaną ewolucję prędkości rotacji i nachylenia. Okres rotacji przybiera wartości znacznie większe (około 25 godz.) od początkowej 7 godz. lub mniejsze poniżej (5 godz.). Czas ich ewolucji jest także inny, dla większego początkowego stopnia nachylenia osi rotacji przebiega ona szybciej. Nachylenie bieguna północnego ma tendencję do wzrastania, czyli osie rotacji są ustawione prawie pionowo do ekliptyki.

Dla planetoidy o wstecznej rotacji o zadanym okresie 5 godz. takiej jak 321 Florentina z upływem czasu dla mniejszego kąta nachylenia okres rotacji ulega wydłużeniu a następnie skróceniu. W końcowym stadium planetoida posiada bardzo szybką rotację (2 – 6 godz.) a jej oś jest skierowana prawie pionowo czyli jest nachylona pod kątem  $180^\circ$  do ekliptyki. Przykładowe ewolucje wstecznych rotacji i nachyleń dla planetek Urdy i Florentyny obrazują skrajnie różne możliwości przebiegu zmian parametrów w czasie.

Wyniki uzyskane przez Vokrouhlicky i in. (2003) pasują do rotacji i nachyleń jakie zaobserwowano u dziesięciu planetoid grupy Koronis. Widać więc wyraźnie, że efekt Jarkowskiego i YORP wpływa na rotację i nachylenie małych ciał.

# Rozdział 4

## Rodzina Flory

### 4.1 Krótka charakterystyka rodziny

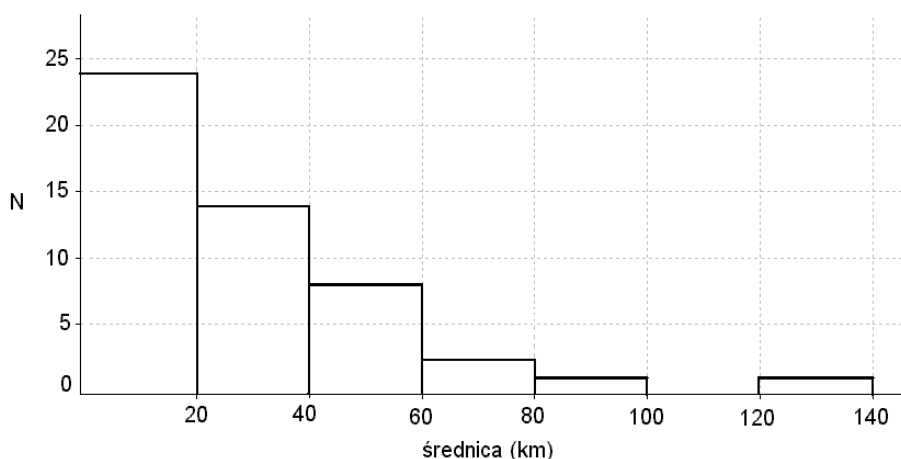
Nazwa rodziny planetoid pochodzi przeważnie od ciała o największych rozmiarach. Uważa się, że każda rodzina jest rezultatem zderzenia w przeszłości większych ciał, które rozpadły się na mniejsze części. Z upływem czasu niektóre fragmenty powstałe po kolizji łączyły się ze sobą tworząc większe planetki. Dla rodziny Flory największą planetoidą jest 8 Flora, której promień wynosi 135.9 km. Została ona odkryta 18 października 1847 roku w Anglii przez J. R. Hinda. Drugą pod względem wielkości planetką jest 422 Berolina, o promieniu 91 km. Rodzina Flory znajduje się w wewnętrznej części pasa głównego, 2.1 – 2.5 AU od Słońca i stanowi jedną z bardziej licznych rodzin wśród planetoid. Nachylenie orbit małych planetek należących do tej rodziny wynosi około  $i \approx 5^\circ$ .

W pracy Nesvorny i in. (2002) przedstawiony jest rozkład elementów orbitalnych dla członków rodziny Flory. Wykorzystano do tego celu średnie elementy orbitalne (Zappala i in., 1994). Rodzina Flory została podzielona na trzy grupy według rozmiarów w kilometrach. Największą grupę stanowią planetoidy o rozmiarach mniejszych niż 7.5 km – 235 planetek, w przedziale 7.5 – 12.5 km znajduje się 107 ciał, a w  $>12.5$  km tylko 16. Celem pracy było przedstawienie ewolucji elementów orbitalnych dla 819 planetoid zaliczonych do rodziny Flory (Zappala, 1994). Dla planetoid wykonano symulacje komputerowe (zamieszczone na stronie internetowej <http://www.boulder.swri.edu/~davidn/yarko/yarko.html>) podczas których w obliczeniach uwzględniono efekt Jarkowskiego jako niegrawitacyjne oddziaływanie oraz rezonanse z Marsem, Jowiszem i Saturnem. Zaniedbano grawitacyjne działanie od większych planetoid np. Ceres, ponieważ w porównaniu z dwoma pierwszymi efektami ten nie wprowadza tak istotnych zmian jak oddziaływanie słoneczne i rezonanse. Wykonując takie obliczenia można oszacować wiek rodziny. Uzyskane rezultaty sugerują, że dyspersja elementów orbitalnych trwała około kilku  $10^8$  lat. Wiek grupy Flory może więc wynosić mniej niż  $10^9$  lat. W pracy pokazano, że ostateczne wartości elementów orbitalnych dla sztucznie wytworzonej rodziny (o własnościach podobnych do Flory), odpowiadają w zbliżeniu wartościom oryginalnym.

## 4.2 Zestawienie opublikowanych danych

Na podstawie dwóch klasyfikacji planetoid do rodzin W.A.M i H.C.M (Bendjoya i in. 2002) została sporządzona lista 90 planetek, które były już obserwowane fotometrycznie. W tabeli 4.2 przedstawione są wybrane planetoidy, niektóre z nich zostały zakwalifikowane do rodziny tylko przez jedną metodę (znak +). Według klasyfikacji Bendjoya (1993) i Zappala i in. (1994) kilka planetoid na przedstawionej liście powinno należeć do rodziny Flory. Jednak nie zostały one zaklasyfikowane przez nowsze obliczenia Bendjoya i in. (2002) (dlatego nie posiadają one znaku +).

W bazie danych IAU: Minor Planet Center <sup>1</sup> i Small Bodies Data Base <sup>2</sup> zebrane są informacje o planetoidach, korzystając z nich została wykonana lista z danymi (4.3 i 4.4). Tabele zawierają informacje o rozmiarach, okresie rotacji, zmianach jasności i klasyfikacji taksonomicznej. Na podstawie danych zostały sporządzone wykresy pokazujące zależności pomiędzy poszczególnymi wielkościami. W niektórych przypadkach nie są znane jeszcze okresy rotacji lub posiadają przybliżone wartości zmian jasności. Tylko dla 50 planetoid określone są rozmiary, na histogramie 4.1 widać iż zdecydowana większość obserwowanych ciał posiada średnicę < 20 km. Dwie planetki mają bardzo duże średnice, są nimi 8 Flora i 422 Berolina.



Rysunek 4.1: Histogram średnicy (km) wybranych planetoid z rodziny Flory.

Rysunek 4.2 przedstawia zależność okresu rotacji od rozmiarów planetek. Trzy planetki: 685 Hermia, 1249 Rutherfordia i 1089 Tama, która jest planetoidą podwójną, posiadają powolny okres. Chociaż ich rozmiary są porównywalne z planetoidami, które rotują szybciej. Rotacja największych ciał 8 Flory i 422 Beroliny jest bardzo zbliżona. Jak na duże ciała w porównaniu do reszty rodziny posiadają one dużą wartość okresu rotacji.

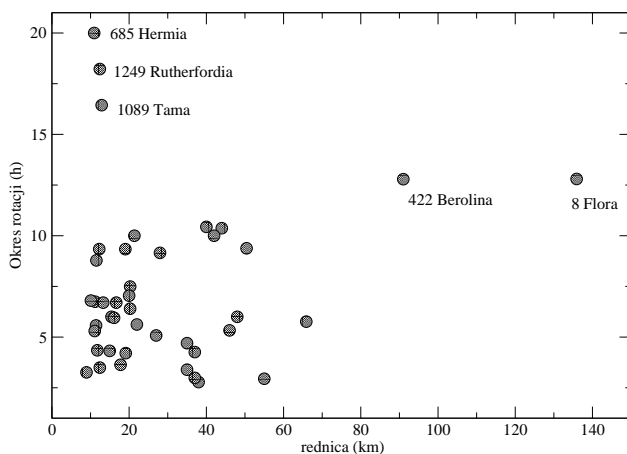
Na rysunku 4.3 przedstawiona jest zależność zmian jasności w magnitudo od okresu rotacji. Większość planetoid posiada rotację mniejszą od 10 godzin. Dwie planetki 1651 Behrens i 1807 Slovakia posiadają bardzo wolną rotację odpowied-

<sup>1</sup><http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>

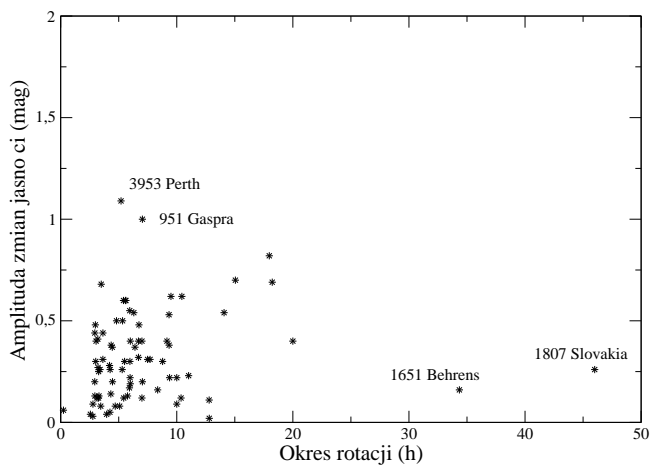
<sup>2</sup><http://pdssbn.astro.umd.-edu/>



nio 34.344 i 46 godzin, ich zmiany jasności są niewielkie. Dwie planetoidy 951 Gaspra i 3953 Perth wyróżniają się znacznymi zmianami jasności.



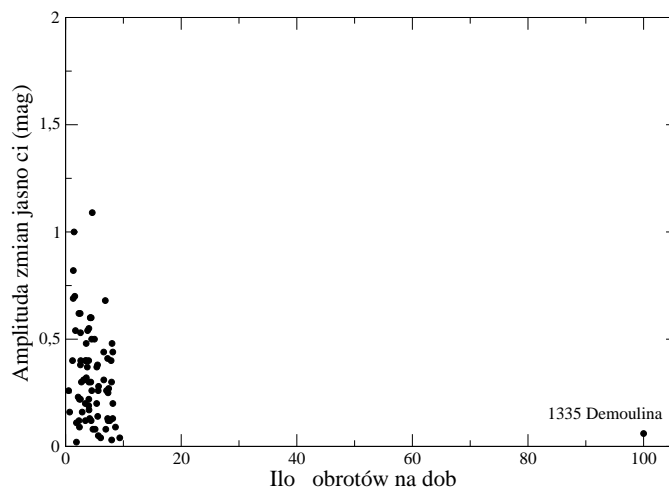
Rysunek 4.2: Zależność okresu rotacji od rozmiarów planetoid. Wykres wykonany dla 48 planetek dla których znane są średnice.



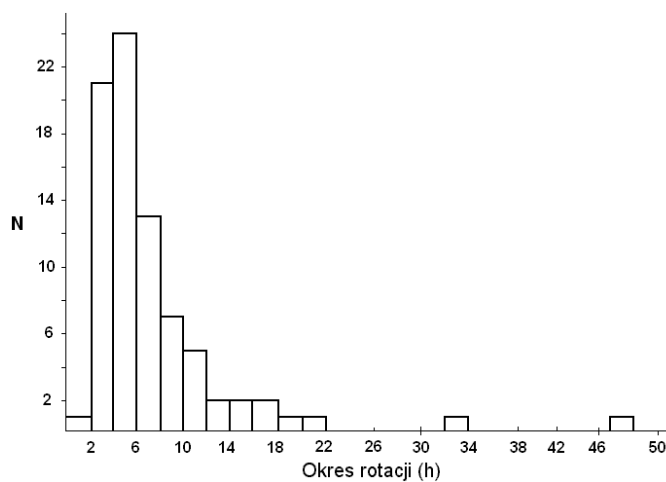
Rysunek 4.3: Wykres zależności amplitudy zmian jasności od okresu rotacji dla planetoid z rodziny Flory.

Wykres 4.4 został wykonany jako zależność ilości obrotów planetek na dobę od zmian jasności. Charakterystyczna jest planetka 1335 Demoulina, której rotacja wnosi 0.24 h, czyli wykonuje ona 100 obrotów w ciągu 24 godzin. Jednak krzywa zmian blasku dla tej planetoidy posiada duży przedział błędów, więc podana wartość może być niepoprawna. Pozostałe planetki rotują do 10 obrotów na dobę.

Na histogramie (rysunek 4.5) okresów rotacji można zauważyć dwie grupy. Jedną z nich, znacznie liczniejszą, to ciała rotujące w przedziale od 2 do 6 godzin. Drugą grupę mogą stanowić planetki o rotacji powyżej 6 godz.



Rysunek 4.4: Zależność amplitudy zmian jasności w magnitudo od ilości obrotów na dobę.



Rysunek 4.5: Histogram okresów rotacji wybranych planetoid z rodziny Flory.

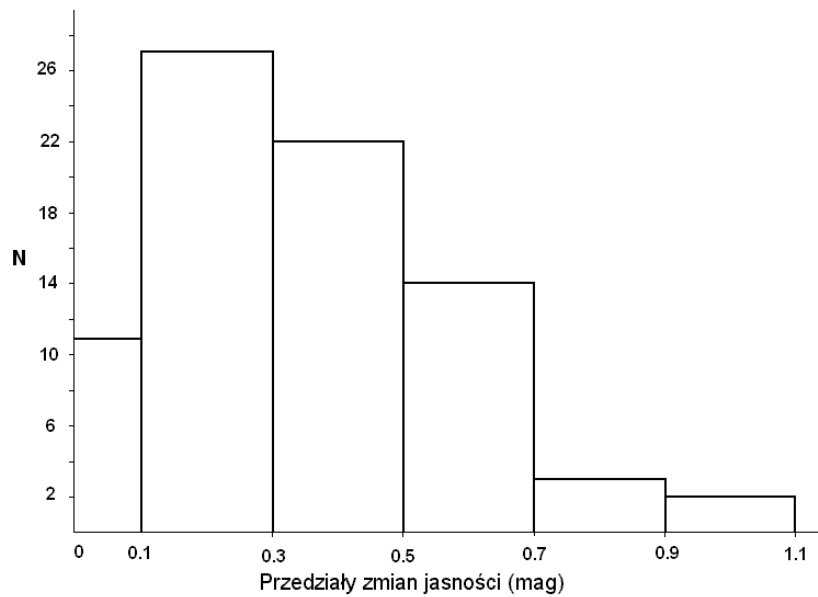
Zmiany jasności wybranych planetoid z przedstawianej rodziny mieszczą się głównie w granicach 0.1 – 0.7 magnitudo (rysunek 4.6). Mniejszą grupę tworzą planetki o amplitudzie mniejszej niż 0.1 mag. Najmniejsze zmiany jasności posiada 2460 Mitlincoln 0.03 mag.

Trzy planetoidy Flora, Ariadne i Gaspra zostały już dobrze poznane. Jedną z nich Gaspra była obserwowana przez sondę Galileo. W bazie danych Obserwatorium Astronomicznego w Poznaniu <sup>3</sup> przedstawione są współrzędne biegunów trzech planetek (tabela 4.1).

W załączniku znajduje się tabela 7.1 z informacjami o obserwacjach opublikowanych, wykonanych oraz przyszłych opozycjach planetoid z rodziny Flory. Dla każdej daty podana jest wartość długości ekliptycznej.

	$P$ $\lambda_p, \beta_p$	a/b	b/c	okres gwiazdowy
8 Flora	$140^\circ + 22^\circ$	1.05	1.2	0.533292 <i>d</i>
43 Ariadne	$252^\circ - 16^\circ$	1.6	1.1	0.240082 <i>d</i>
951 Gaspra	$19^\circ + 21^\circ$	1.58	1.23	0.293419 <i>d</i>

Tablica 4.1: Współrzędne ekliptyczne bieguna, okres rotacji i kształt, określony dla trzech planetoid z rodziny Flory.



Rysunek 4.6: Histogram przedstawiający ilość planetoid dla danego przedziału amplitudy zmian jasności.

<sup>3</sup><http://www.astro.amu.edu.pl/Science/Asteroids/>

planetoida	H.C.M	W.A.M	planetoida	H.C.M	W.A.M
8 Flora	+	-	1335 Demoulina	+	+
43 Ariadne	+	+	1376 Michelle	+	-
281 Lucretia	+	+	1514 Ricouxa	-	+
291 Alice	+	-	1523 Pieksamaki	+	+
298 Baptistina	+	+	1527 Malmquista	+	-
341 California	+	-	1562 Gondolatsch	+	+
352 Gisela	+	-	1585 Union	-	-
364 Isara	+	-	1590 Tsiolkovskaja	+	+
367 Amicitia	-	-	1601 Patry	+	+
422 Berolina	+	-	1619 Ueta	+	-
428 Monachia	+	-	1621 Druzhba	+	-
453 Tea	+	+	1651 Behrens	+	-
540 Rosamunde	+	+	1667 Pels	-	-
685 Hermia	+	+	1675 Simonida	+	+
700 Auravictrix	+	+	1682 Karel	+	+
711 Marmulla	+	+	1707 Chantal	+	-
728 Leonisis	+	+	1793 Zoya	+	-
736 Harvard	-	-	1807 Slovakia	+	-
770 Bali	-	-	1829 Dawson	+	-
800 Kressmannia	+	+	1991 Darwin	+	+
823 Sisigambis	+	-	2017 Wesson	+	+
825 Tanina	+	+	2036 Sheragul	-	+
841 Arabella	+	-	2088 Sahlia	+	-
851 Zeissia	+	-	2093 Genichesk	+	+
901 Brunsia	+	-	2156 Kate	+	-
905 Universitas	+	+	2283 Bunke	-	+
915 Cosette	+	-	2460 Mitlincoln	-	+
937 Bethgea	+	-	2784 Domeyko	+	-
939 Isberga	+	+	2880 Nihondaira	-	-
951 Gaspra	+	+	2890 Vilyujsk	+	+
963 Iduberga	+	-	2952 Lilliputia	+	-
1016 Anitra	+	+	2961 Katsurahama	+	+
1056 Azalea	+	+	3116 Goodricke	+	+
1060 Magnolia	+	-	3165 Mikawa	+	+
1088 Mitaka	+	-	3253 Gradie	+	-
1089 Tama	+	-	3350 Scobe	+	-
1117 Reginita	-	-	3807 Pagels	+	+
1123 Shapleya	+	+	3953 Perth	+	-
1130 Skuld	+	-	3986 Rozhovskij	+	+
1188 Gothlandia	+	+	4150 Starr	+	-
1219 Britta	+	-	4422 Jarre	+	+
1225 Ariane	+	-	5080 Oja	+	-
1249 Rutherfordia	+	-	5702 Morando	-	-
1270 Datura	+	-	7997 1985 CN1	-	-
1324 Knysna	+	+	14362 1988 MH	+	-

Tablica 4.2: Lista wybranych planetoid z rodziny Flory. Klasyfikacja oparta na przedstawionej w pracy Bendjoya i in. (2002).

planetoida	rozmiary (km)	okres rotacji (godz.)	amplituda zmian jasności (mag)	klasyfikacja taksonomiczna
8 Flora	135.9	12.7990	0.02-0.10	S,S0
43 Ariadne	65.88	5.762	0.13-0.66	S,S0,Sp
281 Lucretia	11.76	4.348	0.38	SU
291 Alice	14.97	4.32	0.14-0.25	S
298 Baptistina	-	7.0	0.12	-
341 California	14.67	-	-	S
352 Gisela	20.27	7.49	0.31	S,S0,SSp
364 Isara	27.99	9.155	0.4	S,S0,s
367 Amicitia	19.13	4.209	0.28	-
422 Berolina	91	12.79	0.11	DX,EM
428 Monachia	17.77	3.634	0.31	-
453 Tea	20.25	6.4	0.37	-
540 Rosamunde	19.02	9.336	0.53	S,S0
685 Hermia	10.95	20.0	0.4	-
700 Auravictrix	15.44	6.0	0.4	-
711 Marmulla	55	-	0.07	-
728 Leonisis	-	5.	> 0.13	-
736 Harvard	16.66	6.7	0.32	S
770 Bali	16.10	5.951	0.55	S
800 Kressmannia	-	4.464	0.20	S
823 Sisigambis	16.69	> 12.	> 0.2	-
825 Tanina	11.19	6.746	0.48	SR
841 Arabella	35	3.39	0.26	-
851 Zeissia	12.26	9.34	0.38-0.53	S,S0
901 Brunsia	-	3.136	0.12	S
905 Universitas	21.36	10.	0.22	-
915 Cosette	-	4.445	0.37	S
937 Bethgea	-	8.356	0.16	S,S2,r
939 Isberga	17	> 20.	> 0.2	S
951 Gaspra	20x12x11	7.042	0.2-1.0	S,S0
963 Iduberga	-	3.02		S
1016 Anitra	-	5.964	0.30	-
1056 Azalea	-	15.05	0.7	-
1060 Magnolia	38	2.78	0.09	-
1088 Mitaka	-	3.049	0.4	S
1089 Tama	12.89	16.44	0.38	-
1117 Reginita	55	2.946	0.13	S
1123 Shapleya	61	> 20.	> 0.28	-
1130 Skuld	-	4.810	0.50	-
1188 Gothlandia	12.40	3.493	0.68	-
1219 Britta	11.43	5.575	0.60-0.70	-
1225 Ariane	-	5.505	0.30	-
1249 Rutherfordia	12.41	18.223	0.69	S
1270 Datura	-	3.2	0.41	-
1324 Knysna	-	2.56	0.04	-

Tablica 4.3: Lista z parametrami dla planetek z rodziny Flory – 1.

planetoida	rozmiary (km)	okres rotacji (godz.)	amplituda zmian jasności (mag)	klasyfikacja taksonomiczna
1335 Demoulina	-	0.24	0.06	-
1376 Michelle	48	6.0	0.19	-
1514 Ricouxa	40	10.438	0.62	-
1523 Pieksamaki	46	5.33	0.5	-
1527 Malmquista	-	14.077	0.54	-
1562 Gondolatsch	11.52	8.782	0.30	S
1585 Union	50.42	9.38	0.22	-
1590 Tsiolkovskaja	13.27	6.7	0.4	-
1601 Patry	-	5.923	0.17	S
1619 Ueta	-	2.94	0.44	S
1621 Druzhba	9.47	> 12.	> 0.16	S
1651 Behrens	-	34.344	0.16	S
1667 Pels	-	3.268	0.25	-
1675 Simonida	11.08	5.3	0.26	-
1682 Karel	-	3.22	0.27	-
1707 Chantal	-	> 10.	> 0.2	S
1793 Zoya	-	7.0	0.4	-
1807 Slovakia	-	46.	0.26	S
1829 Dawson	-	4.243	0.05	-
1991 Darwin	35	4.7	0.08	-
2017 Wesson	37	2.988	0.48	S
2036 Sheragul	-	5.41	0.60	-
2088 Sahlia	44	10.37	0.12	S
2093 Genichesk	-	11.022	0.23	-
2156 Kate	22	5.62	0.60	S,S2
2283 Bunke	-	3.96	0.04	-
2460 Mitlincoln	-	2.77	0.03	-
2784 Domeyko	-	5.98	0.22	-
2880 Nihondaira	-	17.97	0.82	-
2890 Vilyujsk	-	3.45	0.08	-
2952 Lilliputia	8.96	3.26	0.12	-
2961 Katsurahama	-	2.935	0.20	-
3116 Goodricke	42	10.0	0.09	-
3165 Mikawa	27	5.08	0.08	-
3253 Gradie	-	6.3	0.54	-
3350 Scobe	-	-	> 0.17	-
3807 Pagels	-	3.3	0.13	-
3953 Perth	25	5.2	1.09	-
3986 Rozhovskij	37	4.26	0.26	-
4150 Starr	10.1	6.8	> 0.22	-
4422 Jarre	-	5.428	0.12	-
5080 Oja	-	7.7	0.31	-
5702 Morando	27	9.5	0.62	-
7997 1985 CN1	-	-	< 0.2	-
14362 1988 MH	-	3.639	0.44	-

Tablica 4.4: Lista z parametrami dla planetek z rodziny Flory – 2.

## Rozdział 5

# EAM - metoda wyznaczania osi, okresu i kierunku rotacji oraz kształtu planetoid.

Obserwacje fotometryczne i uzyskiwane z nich krzywe zmian blasku są głównym źródłem informacji o planetoidach, dzięki nim można wyznaczyć okres rotacji, jej kierunek, położenie osi obrotu (bieguny planetki) oraz kształt. Jednak aby te dane uzyskać potrzebne są obserwacje minimum z trzech opozycji, ponieważ przedstawiają one planetoidę w różnym miejscu i czasie na orbicie. Zmiany wyglądu krzywych spowodowane są nie tylko rotacją samej planetki ale także wzajemnym położeniem Słońca – Ziemi – planetki, kątem aspektu (kątem pomiędzy osią rotacji planetoidy a kierunkiem na Ziemię). Korzystając z nich i znając dane o położeniu planetoidy w przestrzeni (rysunek 5.1):

$r$  – odległość od Słońca,

$\Delta$  – odległość od Ziemi,

$\alpha$  – kąt fazowy (kątem pomiędzy kierunkami planetka – Słońce i planetka – Ziemia),

$\beta, \lambda$  – szerokość i długość ekliptyczna planetoidy na dany moment obserwacji

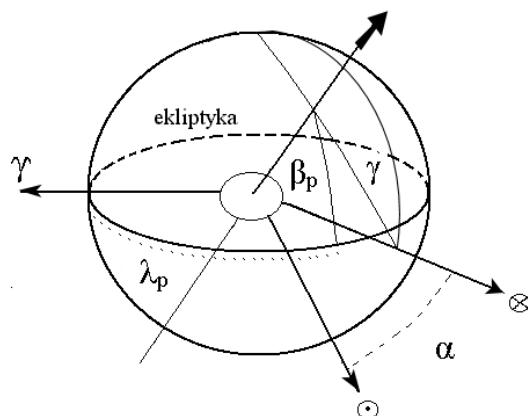
można określić model małego ciała.

Bezpośrednio z krzywych zmian blasku otrzymujemy: amplitudę zmian jasności, okres synodyczny (nie uwzględniający wzajemnego ruchu Ziemi i planetoidy), jasność oraz momenty ekstremów (maksimum lub minimum krzywej).

Metoda pozwalająca dzięki tym wszystkim danym uzyskać model planetoidy przedstawiona jest w pracy Michałowski (1993). Łączy ona trzy metody: epok, amplitud i magnitud w efekcie dając pełniejszy model planetki.

### 1. Metoda epok

Zwana także fotometryczną astrometrią, opiera się na zmianach synodycznego okresu rotacji. Wynikają one ze zmian geometrii Słońca – Ziemi – planetki i zawierają informację o orientacji osi obrotu. Sposób analizy ewolucji okresu synodycznego polega na wybraniu charakterystycznej cechy na krzywej zmian jasności (przeważnie są to maksima), która odzwierciedla



Rysunek 5.1: Geometria obserwacji planetoidy,  $\beta_p$ ,  $\lambda_p$  – współrzędne ekliptyczne bieguna,  $\gamma$  – kąt nachylenia osi rotacji. Rysunek wykonany według Michałowski (1982).

jakiś fragment powierzchni zakładając, że cecha ta jest stała w wyznaczonej fazie rotacji. Podstawową formułą tej metody jest:

$$\Delta T - P_{sid}(\Delta N + \frac{\Delta L}{360}) = 0 \quad (5.1)$$

$\Delta T$  – interwał czasu pomiędzy dwoma epokami po delta N okresach synodycznych,

$P_{sid}$  – gwiazdowy okres rotacji,

$L$  – asteroцентриczna długość zdefiniowana w nierotującym układzie związanym z planetoidą,

$\frac{\Delta L}{360}$  – ułamek cyklu jaki musi ciało rotować, aby ta sama cecha powierzchni znalazła się w punkcie pod „dwusieczną kąta fazowego” (PAB – „phase angle bisector” jest dwusieczną kąta pomiędzy kierunkami planetka – Słońce i planetka – Ziemia).

Z równania 5.1 możemy określić kierunek rotacji gdyż  $L$  wzrasta wraz z rotacją planetoidy.

Dwa maksima na krzywej zmian jasności w większości przypadków są wynikiem elipsoidalnego kształtu planetki, a nie właściwościami powierzchni ciała. Są one wówczas oddzielone  $1/2$  okresu rotacji i służą do wyznaczenia ilości cykli okresów gwiazdowych:

$$N_i = 0.5INT \left[ 2 \left( \frac{T_i - T_1}{P_{sid}} - \frac{L_i - L_1}{360} \right) + 0.5 \right] \quad (5.2)$$

gdzie:

$N_i$  – numer okresu gwiazdowego liczony od momentu pierwszej epoki,

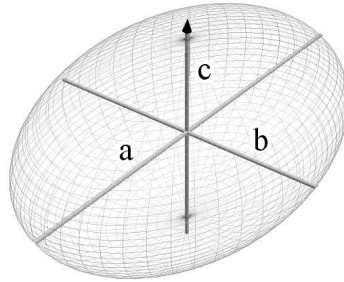


$T_i$  – momenty ekstremów,

$L_i$  – długości „astrocentryczne”,

## 2. Metoda amplitud

Kolejnym źródłem informacji o pozycji bieguna i kształcie planetoidy są amplitudy. Elipsoida trójosiowa przybliża kształt planetki o osiach odpowiednio  $a > b > c$ , gdzie  $c$  jest osią wokół której planetka rotuje (rysunek 5.2). Dla takiego modelu elipsoidy, największe zmiany amplitudy będą obserwowane w płaszczyźnie równika małego ciała. Średnia jasność jest wtedy najmniejsza. Jeśli planetka jest widoczna z okolic swojego bieguna amplituda będzie minimalna, jednak jasność największa.



Rysunek 5.2: Model elipsoidy trójosiowej.

Zależność pomiędzy amplitudą i aspektem można wyrazić:

$$1.25 \log \left[ \frac{(b/c)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi}{(b/c)^2 \cos^2 \phi + (b/a)^2 \sin^2 \phi} \right] - A(\phi, 0) = 0 \quad (5.3)$$

gdzie:

$A(\phi, 0)$  – amplituda dla kąta aspektu  $\phi$  i kąta fazowego równego zero stopni,

$b/c, b/a$  – stosunki półosi elipsoidy,

Kąt aspektu można bezpośrednio wyznaczyć z równania:

$$\cos \phi = -\sin \beta \sin \beta_p - \cos \beta \cos \beta_p \cos(\lambda - \lambda_p) \quad (5.4)$$

$\lambda, \beta$  – współrzędne ekliptyczne planetki,

$\lambda_p, \beta_p$  – współrzędne ekliptyczne bieguna planetoidy.

### 3. Metoda magnitud

Korzystając z maksymalnej jasności planetki, gdzie jasność absolutna zredukowana jest na odległość 1 AU od Słońca i Ziemi. Otrzymujemy:

$$H(\phi, 0) - H(90, 0) + 1.25 \log \left[ \frac{b^2}{c} \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \right] = 0 \quad (5.5)$$

odpowiednio:

$H(\phi, 0)$  – jasność dla kąta aspektu  $\phi$  przy kącie fazowym  $\alpha = 0^\circ$ ,

$H(90, 0)$  – jasność dla kąta aspektu =  $90^\circ$ , kat fazowy  $\alpha = 0^\circ$ .

Dla planetoid obserwowanych w opozycji kąt fazowy w rzeczywistości nie jest równy zero stopni. Dlatego amplitudy i jasności muszą być zredukowane do zerowego kąta fazowego. Z analizy zależności amplitudy, kąta aspektu i kąta zerowego i zauważono liniową relację pomiędzy tymi współczynnikami. Przedstawia się ona wzorem:

$$A(\phi, \alpha) = \frac{A(\phi, 0)}{(1 + m\alpha)} \quad (5.6)$$

$A(\phi, 0)$  – amplituda dla danego kąta aspektu  $\phi$  przy kącie fazowym równym zero stopni,

$m$  – współczynnik zależny od typu taksonomicznego planetki  
(  $m(S) = 0.03$ ,  $m(C) = 0.015$ ,  $m(M) = 0.013$  ).

Trzy metody (wzory 5.1 , 5.3 , 5.5) mogą być połączone tworząc nieliniowy układ równań:

$$f_k(P_{sid}, \lambda_p, \beta_p, \frac{a}{b}, \frac{b}{c}, H(90, 0)) = 0 \quad (5.7)$$

$$k = 1, \dots, l, l + 1, \dots, l + m, l + m + 1, l + m + n,$$

$l, m, n$  – ilość równań kolejno dla metod: epok, amplitud i magnitud.

Rozwiązuje się go minimalizując wielkości:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^M \left( \frac{w_k f_k}{\sigma_k} \right)^2 \quad (5.8)$$

gdzie:

$w_k$  – współczynnik wagowy zależący od względnej ilości epok, amplitud i magnitud uzyskanych w każdej opozycji,

$\sigma_k$  – odchylenie standardowe k-tego równania.

Ostatecznie otrzymujemy cztery możliwe rozwiązania dla współrzędnych biegun planetki, okresu syderecznego oraz kształtu planetoidy określonego przez stosunek osi  $a/b$  i  $b/c$ :

$P_1$	$\lambda_p, \beta_p$
$P_2$	$\lambda_p + 180, \beta_p$
$P_3$	$\lambda_p, -\beta_p$
$P_4$	$\lambda_p + 180, -\beta_p$

Pary rozwiązań  $P_1, P_4$  i  $P_2, P_3$  posiadają tak samo ułożoną oś rotacji lecz przeciwny kierunku obrotu. Bieguny  $P_1$  i  $P_2$  reprezentują rotację prostą, a  $P_3$  i  $P_4$  rotację wsteczną. Czasem ilość i jakość danych nie są wystarczające do określenia jednoznacznego rozwiązania, wtedy należy przyjąć dwa wyniki.

# Rozdział 6

## Trzy planetki z rodziny Flory

Ponieważ do wyznaczenia modelu planetki potrzebne są dane z kilku opozycji, zebranie odpowiedniej ich ilości wymaga dłuższego czasu obserwacji. Im większa liczba danych z opozycji tym jakość i pewność wyników ulega polepszeniu. Zdarza się niekiedy że nawet z trzech różnych położań planetki na orbicie (różnych długości ekliptycznych) nie można określić kierunku rotacji. Niektóre krzywe zmian blasku nie zawierają pełnego okresu rotacji, są niepełne, nie posiadają któregoś maksimum lub minimum (np. z powodu chmur znajdujących się w danym momencie obserwacji na niebie). Idealna krzywa zmian blasku zawiera pełny synodyczny okres rotacji i posiada wszystkie ekstrema, jest ona bardzo przydatna do dalszych obliczeń.

Poniżej w pracy przedstawione są wyniki uzyskane dla trzech planetoid 291 Alice, 367 Amicitia i 825 Tanina dla których na przestrzeni kilku lat zostały zebrane dane fotometryczne, w liczbie umożliwiającej określenie własności fizycznych tych małych ciał. Planetoida Amicitia według przedstawionej wcześniej listy numer 4.2, nie została już zaklasyfikowana do rodziny Flory.

planetoida	średnica (km)	albedo	typ taksonomiczny
291 Alice	14.97	0.2075	S
367 Amicitia	19.13	0.2535	-
825 Tanina	11.19	0.3545	SR

Tablica 6.1: Parametry dla trzech planetoid.

W tabeli 6.1 przedstawione są parametry planetoid: średnica, albedo i typ taksonomiczny. Natomiast tabela 6.2 zawiera informacje o odkryciu obiektów. Wszystkie dane pochodzą ze strony internetowej *Small Bodies Node of the NASA Planetary Data System*<sup>1</sup>.

	rok	miejsce	odkrywca
291 Alice	1890	Vienna	J. Palisa
367 Amicitia	1893	Nicea	A. Charlois
825 Tanina	1916	Simeis	G. Neumin

Tablica 6.2: Informacje o roku i miejscu odkrycia planetoid.

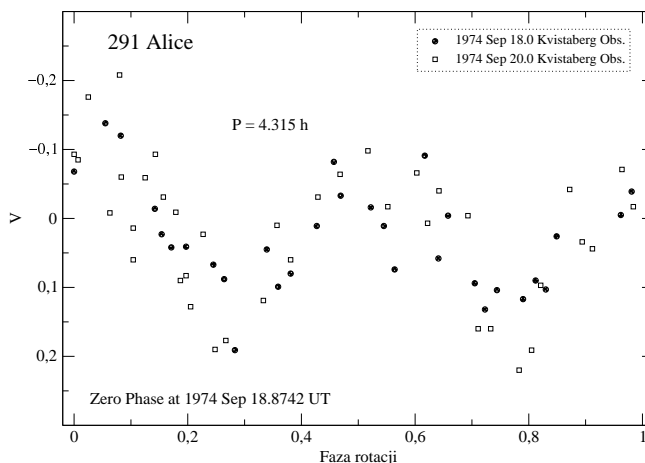
<sup>1</sup><http://pdssbn.astro.umd.edu>

Wykorzystując informacje z fotometrii dla każdej planetki zostały sporządzone wykresy krzywych zmian blasku (rysunki 6.1 – 6.22). Przedstawiające zmiany jasności w magnitudo (w różnych filtrach) w zależności od fazy rotacji. Krzywe zostały złożone dla synodycznego okresu rotacji planetoid, dla poszczególnych opozycji. Punkty uzyskane z różnych nocy obserwacyjnych zaznaczone są na wykresach różnymi symbolami, znajduje się przy nich także informacja o miejscu obserwacji. Na wykresach podana jest dokładna data zerowej fazy rotacji, na którą krzywe były złożone.

Dla każdej planetoidy przedstawione są w tabelach 6.3, 6.6, 6.9 dane dotyczące położenia planetki w przestrzeni, dla każdej opozycji, gdzie:  $r$  – odległość od Słońca,  $\delta$  – odległość od Ziemi,  $\alpha$  – kąt fazowy,  $\beta$  i  $\lambda$  – szerokość i długość ekliptyczna planetoidy na dany moment obserwacji na epokę  $J2000.0$ , oraz kod obserwatorium w którym były wykonane obserwacje. Dane zostały wyliczone za pomocą JPL's HORIZONS System <sup>2</sup>.

## 6.1 291 Alice

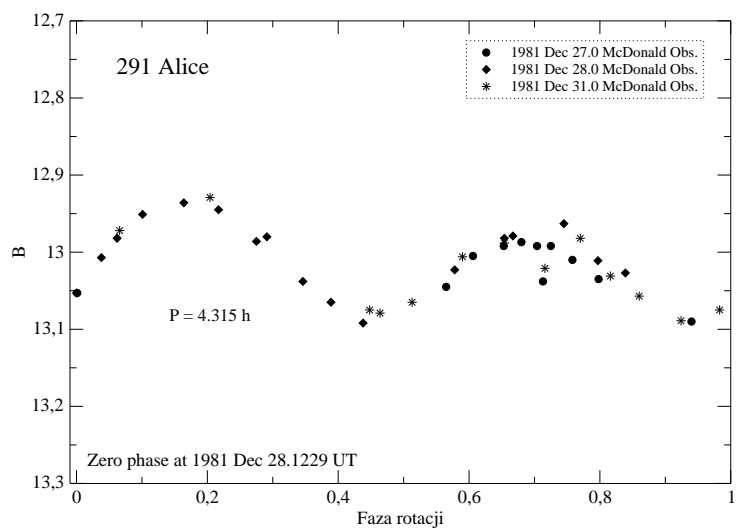
Pierwsze obserwacje fotometryczne planetoidy 291 Alice zostały zrobione w 1974 roku (Lagerkvist 1976). Zawierają one dane z dwóch nocy we wrześniu, były one wykonane metodą fotograficzną i dlatego na krzywej zmian blasku występuje duży rozrzut pomiędzy punktami (rys 6.1). Wyznaczony z nich okres synodyczny równy jest 4.315 godziny, a amplituda zmian jasności wynosi 0.25 magnitudo.



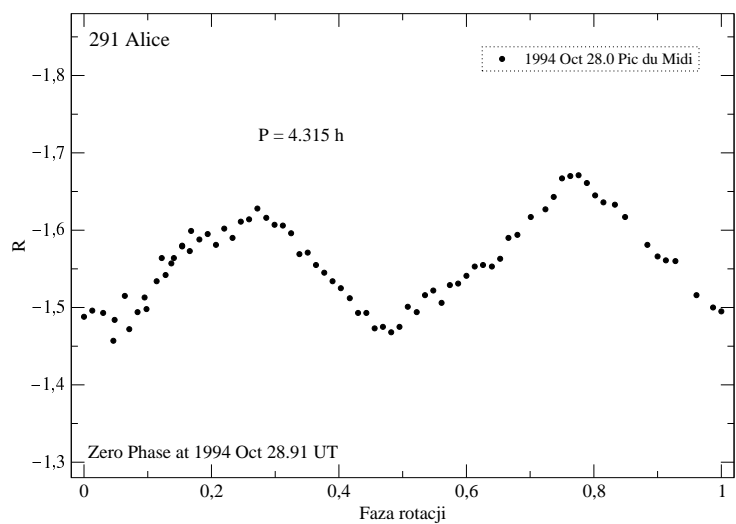
Rysunek 6.1: Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1974 roku. Wykres wykonany na podstawie danych z pracy Lagerkvist (1976).

Kolejny raz Alice była obserwowana w 1981 roku przez trzy noce (Binzel i in. 1983). Amplituda była wówczas wyznaczona na 0.15 mag., a synodyczny okres rotacji wyniósł 4.32 godz. Krzywe zmian jasności dla tej opozycji przedstawione są na rysunku 6.2.

<sup>2</sup><http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.html>



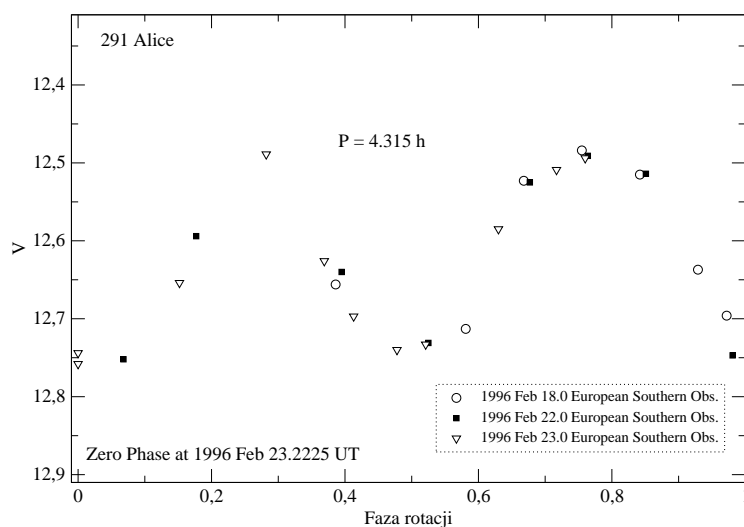
Rysunek 6.2: Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1981 roku. Wykres wykonany na podstawie danych z pracy Binzel i in. (1983).



Rysunek 6.3: Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1994 roku. Wykres wykonany na podstawie danych z pracy Kryszczyńska i in. (1996).

Więcej informacji o planetoidzie zawartych jest w publikacji Kryszczyńska i in. (1996). Na podstawie poprzednich opozycji i krzywej blasku z października 1994 roku (rys 6.3) metodą EAM zostały wyznaczone po raz pierwszy dwie możliwe wartości położenia bieguna planetoidy i jej kształt, wyniki przedstawia tabela 6.5. Amplitudę określono na 0.14 mag. Gwiazdowy okres rotacji i jej zwrot nie zostały obliczone.

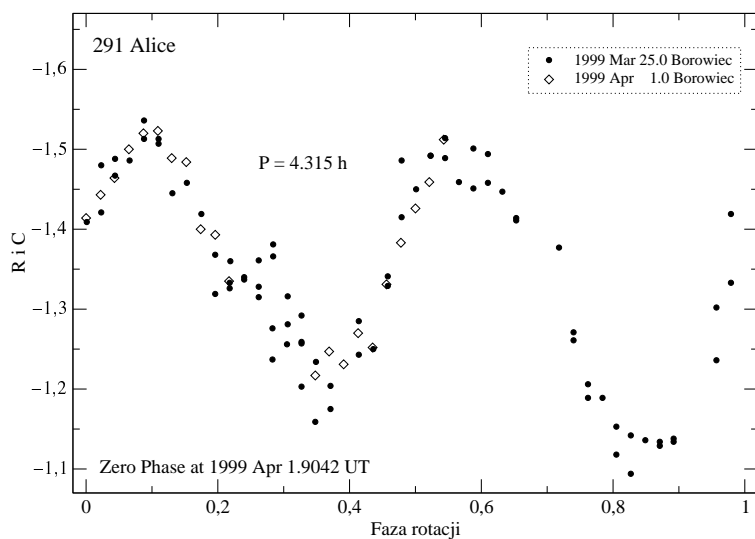
Planetoida była także obserwowana podczas trzech nocy w 1996 roku na teleskopie w ESO (Piironen i in. 1998). Wówczas potwierdzono okres rotacji na 4.32 godziny (rys 6.4).



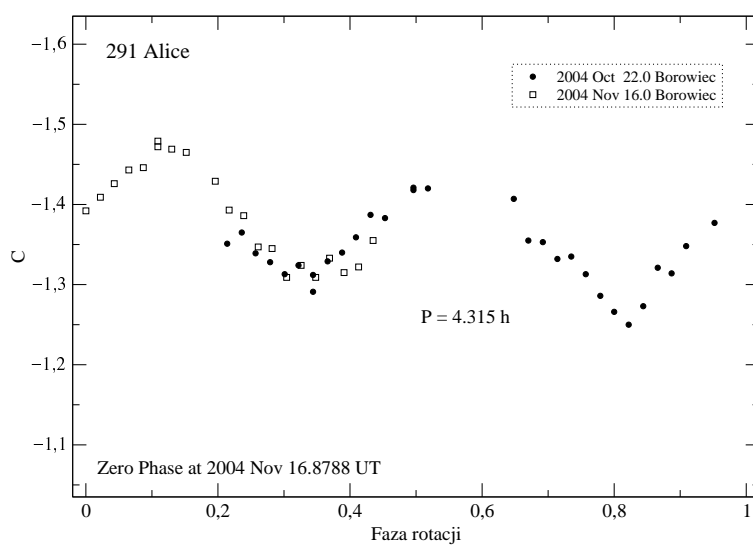
Rysunek 6.4: Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1996 roku. Wykres wykonany na podstawie danych z pracy Piironen i in. (1998).

W 1999 i 2004 roku planetka była fotometrowana przez dwie noce w Obserwatorium w Borowcu. Krzywe zmian jasności z tych opozycji znajdują się na wykresach 6.5 i 6.6. Zostały one złożone dla synodycznego okres rotacji 4.315 godz., jest on równy okresowi wyznaczonemu przez Lagerkvist'a (1976). Pojedyncze krzywe z 2004 roku nie zawierają pełnego okresu. Punkty z nocy 16 listopada obrazują jedno maksimum, a z 22 października dwa minima. Obydwie noce obserwacji łączą się wspólnym minimum. Wszystkie wcześniejsze opozycje wraz z fotometrią wykonaną w 1999 i 2004 roku zostały w tej pracy wykorzystane do określenia właściwości fizycznych planetoidy. Dokładny ich wykaz znajduje się w tabeli 6.3.

Zgodnie z metodą zwaną EAM opisaną w rozdziale 5, do obliczenia modelu potrzebne są momenty ekstremów i amplitudy, dla każdej daty obserwacji. Zostały one zmierzone dla każdej krzywej zmian blasku. Dla planetoidy 291 Alice przedstawione one są w tabeli 6.4.



Rysunek 6.5: Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 1999 roku.



Rysunek 6.6: Krzywa zmian blasku dla 291 Alice w 2004 roku.



data (UT)	$r$	$\Delta$	$\alpha$	$\lambda$	$\beta$	kod	referencje
1974 09 18	2.322	1.366	10.1	19.4	-1.5	49	Lagerkvist(1976)
1974 09 20	2.320	1.356	9.1	19.0	-1.5	49	Lagerkvist(1976)
1981 12 27	2.084	1.158	12.3	68.8	-3.3	711	Binzel i in.(1983)
1981 12 28	2.083	1.163	12.8	68.7	-3.3	711	Binzel i in.(1983)
1981 12 31	2.081	1.178	14.3	68.2	-3.2	711	Binzel i in.(1983)
1994 10 28	2.236	1.244	1.8	32.4	-2.6	586	Kryszczyńska i in. (1996)
1996 02 18	2.114	1.602	26.9	222.0	1.4	809	Piironen i in.(1998)
1996 02 22	2.117	1.561	26.0	222.7	1.5	809	Piironen i in.(1998)
1996 02 23	2.118	1.550	25.9	222.9	1.5	809	Piironen i in.(1998)
1999 03 25	2.048	1.123	14.2	154.6	0.4	187	–
1999 04 01	2.052	1.170	17.4	153.8	0.5	187	–
2004 10 22	2.220	1.250	7.7	46.2	-2.8	187	–
2004 11 16	2.192	1.224	7.0	39.5	-3.0	187	–

Tablica 6.3: Dane o położeniu dla planetoid 291 Alice. Kod obs.: 49 – Kvistaberg Obs, 711 – McDonald Obs., 586 – Pic du Midi, 809 – European Southern Obs., 187 – Borowiec.

data (UT)	$T_1$	$T_2$	amplituda
1974 09 18	42309.4101	42309.4946	0.23
1974 09 20	42311.3858	42311.4722	0.23
1981 12 28	44966.6539	44966.7488	0.16
1994 10 28	49654.4540	49654.5494	0.17
1996 02 18	50131.8263	–	0.29
1996 02 22	50135.7820	–	0.29
1996 02 23	50136.8611	50136.7707	–
1999 03 25	51263.3179	51263.4084	0.38
1999 04 01	51270.4201	51270.5092	0.38
2004 10 22	53300.5892	–	0.18
2004 11 16	53326.3988	–	0.18

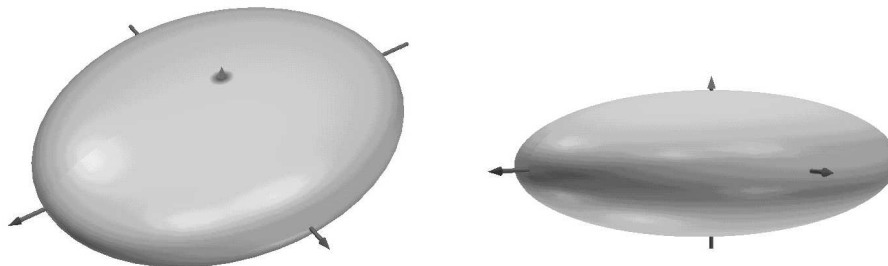
Tablica 6.4: Dane fotometryczne dla planetoidy 291 Alice.

W niniejszej pracy dla planetoidy Alice po raz pierwszy określony został wsteczny kierunek rotacji oraz okres gwiazdowy, otrzymane wyniki umieszczone są w tabeli numer 6.5. Wartość szerokości ekliptycznej różni się od obliczonej w pracy Kryszczyńska i in. (1996). Położenie bieguna zostało wyznaczone z uwzględnieniem trzech nowych opozycji. Dla jednej z nich w 1999 roku amplituda wyniosła 0.38 mag., znacznie więcej niż dla opozycji wcześniejszych, miało to więc wpływ na określenie jego szerokości ekliptycznej.

$P_1$ $\lambda_p \beta_p$	$P_2$ $\lambda_p \beta_p$	a/b	b/c	okres gwiazdowy	praca
$66^\circ +54^\circ$ $\pm 8^\circ \pm 10^\circ$	$247^\circ +55^\circ$ $\pm 8^\circ \pm 10^\circ$	1.30 $\pm 0.10$	1.20 $\pm 0.12$	–	Kryszczyńska i in.(1996)
rotacja wsteczna	$235^\circ -21^\circ$ $\pm 5^\circ \pm 6^\circ$	1.28 $\pm 0.01$	2.20 $\pm 0.1$	0.1798695 d $\pm 0.0000001$	niniejsza praca

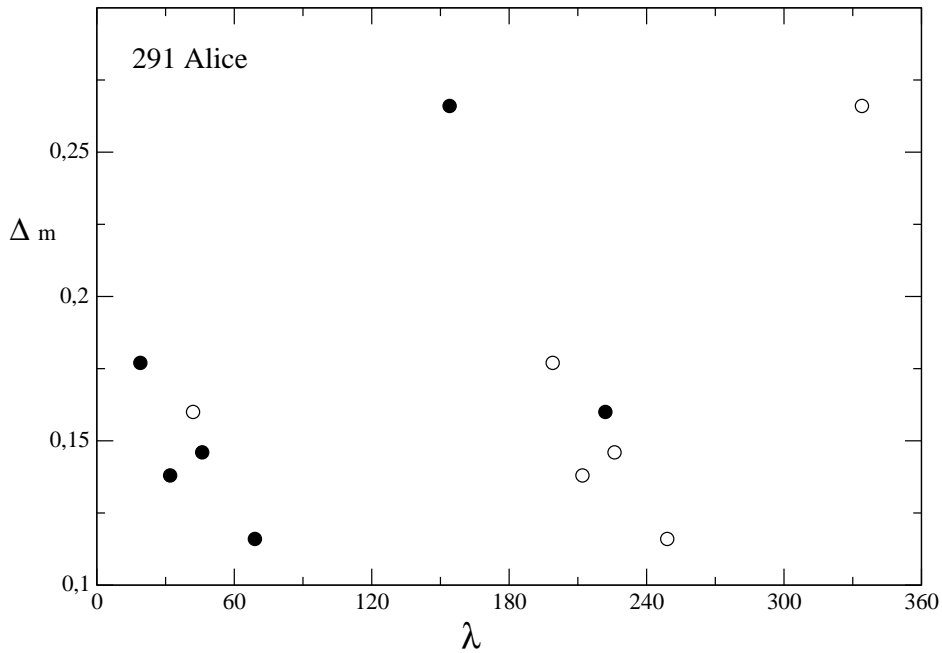
Tablica 6.5: Współrzędne ekliptyczne bieguna, kształt i okres gwiazdowy dla planetoidy 291 Alice.

Kształt małego ciała określony jest przez stosunek osi elipsoidy  $a/b$  i  $b/c$ , druga uzyskana wartość jest stosunkowo duża. Półoś  $b$  elipsoidy jest większa niż przeciętne rozmiary dla innych planetoid. Jest to widoczne na rysunku 6.7 przedstawiającym model planetki, oraz w porównaniu z małymi ciałami prezentowanymi poniżej w pracy, Taniną i Amicitią.



Rysunek 6.7: Model elipsoidy trójosiowej dla planetki 291 Alice.

Wraz z długością ekliptyczną planetoidy amplituda zmian jasności jest inna. Związane jest to ze zmianą ułożenia planetki w przestrzeni podczas obserwacji w każdej opozycji. Zmiany te dla obiektu 291 Alice wykreślone są na rysunku 6.8. Kółka puste przedstawiają dane obserwowane, a punkty wypełnione są zwiększone lub zmniejszone o  $180^\circ$  i reprezentują te same amplitudy ale symetryczne względem długości ekliptycznej. Na wykresie wyraźnie widać dużą amplitudę zmian jasności, jaką posiadała planetoida podczas obserwacji w 1999 roku (dla długości ekliptycznej  $154^\circ$ ).



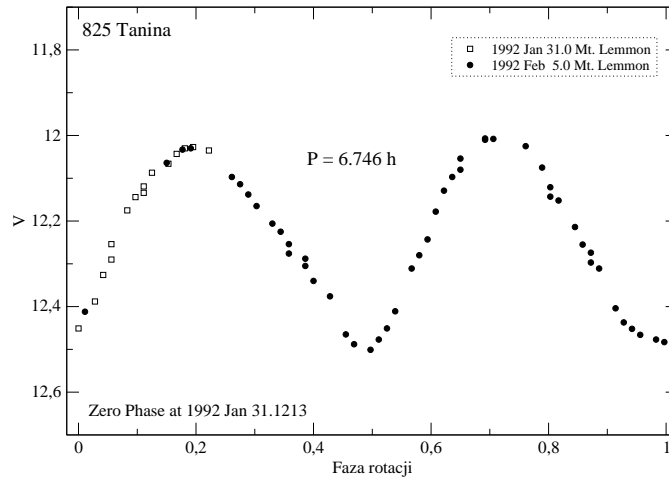
Rysunek 6.8: Zmiany amplitudy od długości ekliptycznej dla planetoidy 291 Alice, gdzie  $\lambda_o = \lambda_{\bullet} + 180^\circ$ .

## 6.2 825 Tanina

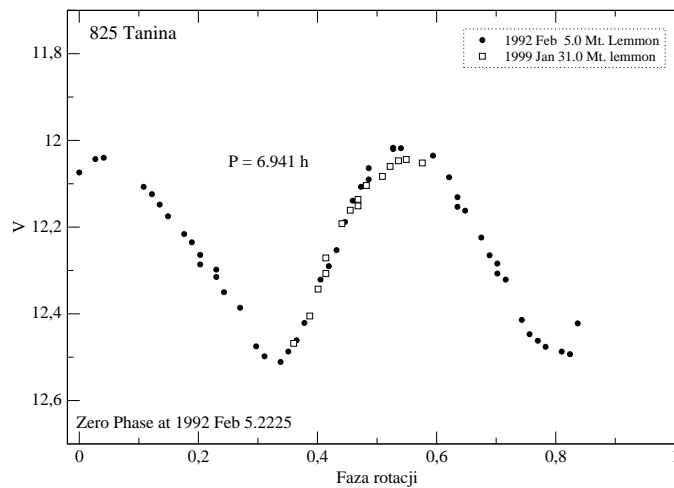
Informacje o planetoidzie 825 Tanina przedstawił Wiśniewski i in. (1997), była ona obserwowana przez dwie noce 31 stycznia i 5 lutego w 1992 roku. Krzywa wykonana w styczniu nie jest pełna i zawiera tylko fragment jednego ekstremum – maksimum, podczas drugiej nocy obserwacji uzyskano już dwa maksima (rysunek 6.9). Wyznaczono synodyczny okres rotacji równy 6.746 godziny, amplituda wyniosła 0.48 magnitudo. W pracy Wiśniewskiego zaznaczono, że podany okres nie musi być poprawny i może się on różnić o pół – lub całą fazę rotacji. Są to jedyne dane opublikowane dla tej planetki.

825 Tanina była obserwowana podczas kolejnych opozycji w 1999, 2002, 2004 – 2005 roku w Obserwatorium Borowiec oraz na Pic du Midi. Dаты obserwacji oraz ich miejsca znajdują się w tabeli 6.6.

Podczas składania krzywych zmian blasku dla poszczególnych opozycji okazało się, że okres rotacji 6.746 godziny podany przez Wiśniewskiego jest niepoprawny. Został on wyznaczony z dopasowania dwóch krzywych, w tym jednej niepełnej. Dlatego podany okres synodyczny okazał się jednak nieprawidłowy. Większa ilość obserwacji, czyli krzywych zmian jasności planetki pozwoliła dobrze określić szybkość rotacji tego małego ciała. Znaleziony nowy okres rotacji wynoszący 6.941 godziny idealnie pasuje do pozostałych opozycji jak również dla wyników z 1992 roku. Na rysunku 6.10 pokazany jest wykres z opozycji planetki w 1992 roku z poprawnym okresem. Porównując go z wykresem 6.9, widać iż punkty z 31 stycznia zostały dopasowane do drugiego maksimum, czyli przesunięte o pół cyklu rotacji.



Rysunek 6.9: Krzywa zmian blasku dla 825 Taniny w 1992 roku. Wykres wykonany na podstawie danych z Wiśniewski i in (1997). Krzywe są złożone dla okresu synodycznego 6.746 godz.



Rysunek 6.10: Krzywa zmian blasku dla 825 Taniny w 1992 roku, złożenie dla nowego okresu synodycznego 6.941 godz. Dane z pracy Wiśniewski i in (1997).

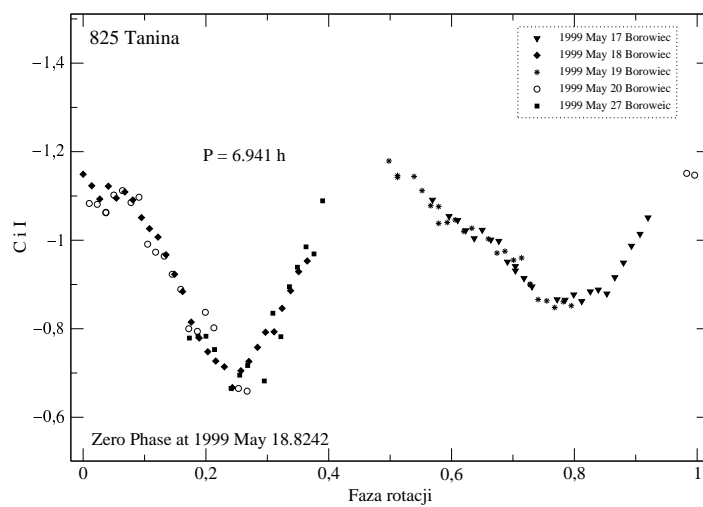
data (UT)	$r$	$\Delta$	$\alpha$	$\lambda$	$\beta$	kod	referencje
1992 01 31	2.203	1.223	3.5	123.1	2.6	686	Wiśniewski i in.(1997)
1992 02 05	2.198	1.229	6.4	121.7	2.7	686	Wiśniewski i in.(1997)
1999 05 17	2.060	1.319	24.1	180.3	5.2	187	–
1999 05 18	2.059	1.328	24.4	180.4	5.1	187	–
1999 05 19	2.059	1.337	24.6	180.5	5.1	187	–
1999 05 20	2.059	1.346	24.9	180.6	5.1	187	–
1999 05 27	2.059	1.412	26.4	181.4	4.8	187	–
2002 02 02	2.189	1.205	2.0	129.9	3.17	586	–
2002 02 03	2.188	1.205	2.4	129.7	3.1	586	–
2002 02 14	2.179	1.220	8.3	126.8	3.4	187	–
2002 02 15	2.178	1.223	8.9	126.6	3.4	187	–
2002 02 18	2.176	1.233	10.5	125.9	3.4	187	–
2004 12 19	2.320	1.339	1.2	82.5	-1.7	187	–
2005 02 08	2.282	1.672	22.9	76.2	-0.2	586	–

Tablica 6.6: Dane o położeniu dla planetoid 825 Tanina. Kod obserwatorium: 686 – Mt. Lemmon, 586 – Pic du Midi, 187 – Borowiec.

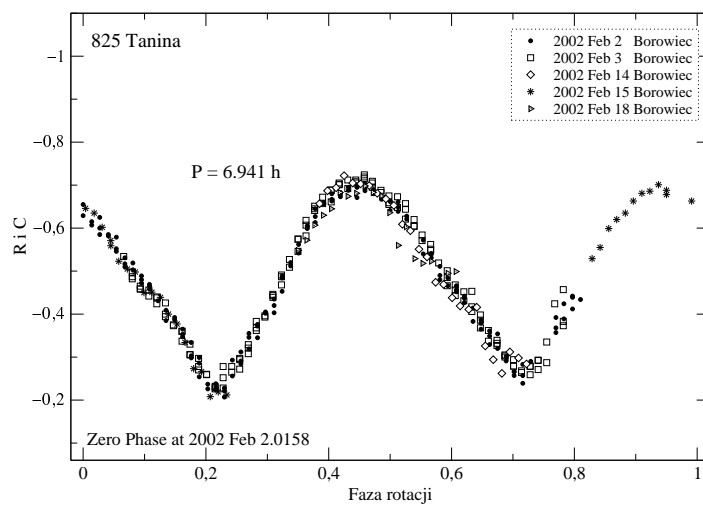
W maju 1999 roku planetoida była obserwowana w Borowcu przez 5 nocy, jednak podczas każdej obserwacji nie udało się uzyskać pełnego okresu. Krzywa zmian blasku wykreślona dla tej opozycji znajduje się na rysunku 6.11, amplituda zmian jasności równa się 0.43 mag. Posiada on tylko dwa minima, drugie ekstremum dla nocy 17 i 19 maja znajduje się znacznie wyżej niż pierwsze. Ponieważ z innych krzywych blasku widać wyraźnie, że obydwie minimalne wartości jasności planetki znajdują się na tym samym poziomie. Dlatego drugie minimum z opozycji majowej nie zostało uwzględnione do obliczeń modelu planetki, ponieważ jest ono niewiarygodne, jednak niezbędne do zachowania kształtu krzywej dla punktów obserwacyjnych z innych majowych nocy.

Podczas opozycji w 2002 roku wykonano obserwacje przez 5 nocy, dwie na Pic du Midi 2 i 3 lutego, trzy 14, 15, 18 lutego w Borowcu. Efekt obserwacji przedstawia wykres 6.12. Złożenie wszystkich momentów obserwacji pokazało pełny okres rotacji planetoidy, wraz ze wszystkimi ekstremami, krzywa posiada sinusoidalny kształt. Amplituda dla tej opozycji wyniosła 0.45 mag.

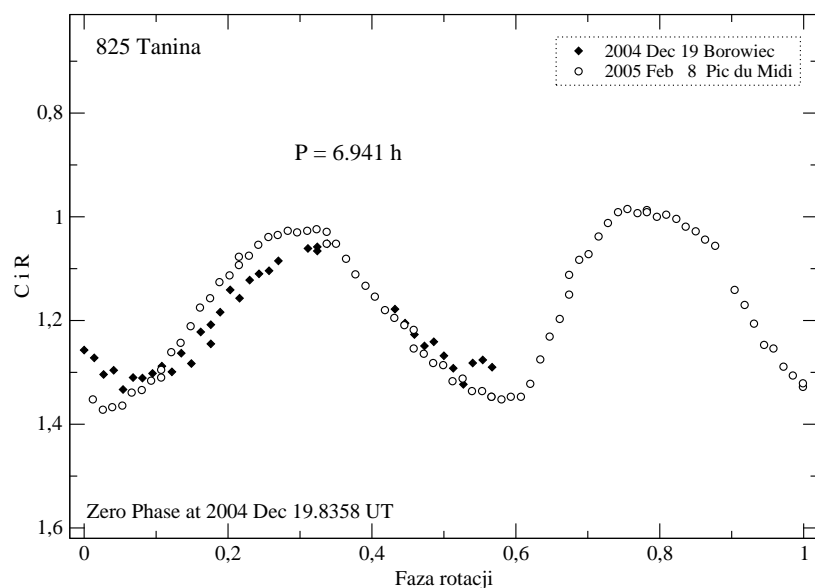
Dwie krzywe zmian blasku uzyskano w 2004 – 2005 roku, druga z nich zawiera cały okres rotacji, przedstawione są one na rysunku 6.13. Ponieważ planetoida fotometrowana była w około dwumiesięcznym odstępie czasu, kat fazowy uległ zmianie. Dla 19 grudnia wynosił  $1.2^\circ$  a dla 8 lutego  $22.9^\circ$ , różnica w niedopasowaniu krzywych widoczna jest widoczna na wykresie.



Rysunek 6.11: Krzywa zmian blasku dla 825 Tanina w 1999 roku.



Rysunek 6.12: Krzywa zmian blasku dla 825 Tanina w 2002 roku.



Rysunek 6.13: Krzywa zmian blasku dla 825 Tanina w 2005 roku.

W tabeli 6.7 przedstawione są momenty ekstremów oraz wartości amplitud dla poszczególnych obserwacji. Tylko w dwóch przypadkach 5 lutego 1992 r. i 8 lutego 2005 r. można było zmierzyć obydwa maksima. Inne noce obserwacyjne zawierają jedno maksimum.

data (UT)	$T_1$	$T_2$	amplituda
1992 01 31	48652.6768	–	–
1992 02 05	48657.7412	48657.8830	0.46
1999 05 18	51317.3287	–	0.43
1999 05 20	51319.3438	–	–
2002 02 02	52307.6435	–	0.45
2002 02 03	52308.5112	–	0.45
2002 02 14	52319.5011	–	–
2002 02 15	52320.5089	–	–
2002 02 18	52323.5500	–	–
2004 12 19	53359.4232	–	0.30
2005 02 08	53410.3185	53410.4633	0.38

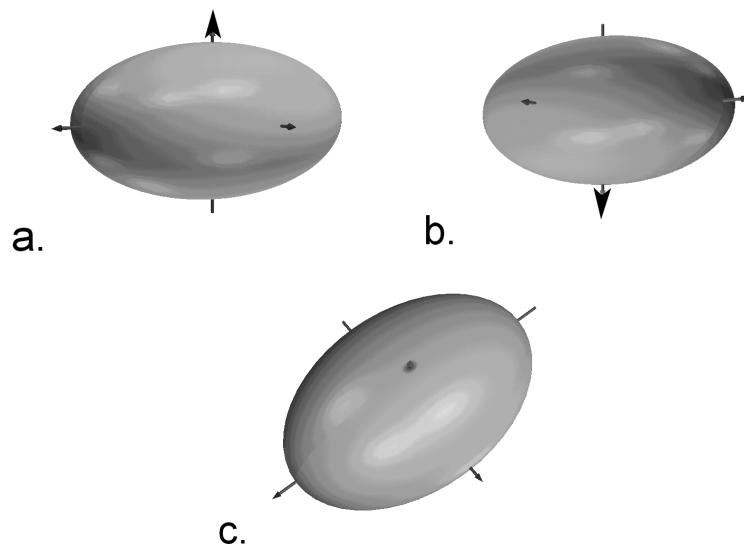
Tablica 6.7: Dane fotometryczne dla planetoidy 825 Tanina

Metodą EAM uzyskano dwa modele dla planetoidy 825 Tanina. W rozdziale 5 podane są cztery możliwe rozwiązania dla bieguna małego ciała. W przypadku Taniny ilość danych nie pozwoliła na wyznaczenie jednoznacznego zwrotu rotacji i podane są dwa rozwiązania  $P_2$  i  $P_3$ , gdzie szerokość ekliptyczna posiada przeciwny znak, a długość ekliptyczna różni się o  $180^\circ$ . Wyniki z wartościami okresu gwiazdowego, długości i szerokości ekliptycznej bieguna oraz stosunki osi elipsoidy znajdują się w tabeli 6.8. Określone są także dwa kształty planetoidy, które nieznacznie różnią się stosunkami osi elipsoidy. Dlatego na rysunku

6.14 przedstawione są modele widziane z płaszczyzny równika planetki dla rotacji prostej (a) i wstecznej (b), oraz z perspektywy bieguna dla rotacji prostej (c). Obydwa możliwe rozwiązania różnią się kierunkiem osi rotacji (duże strzałki wyraźnie pokazują jej kierunek).

rotacja	$P_1$ $\lambda_p \beta_p$	$P_2$ $\lambda_p \beta_p$	a/b	b/c	okres gwiazdowy (dni)
prosta	$234^\circ + 66^\circ$ $\pm 3^\circ \pm 6^\circ$		1.50 $\pm 0.01$	1.40 $\pm 0.1$	$0.2891585 d$ $\pm 0.0000001 d$
wsteczna		$53^\circ - 63^\circ$ $\pm 3^\circ \pm 8^\circ$	1.50 $\pm 0.01$	1.30 $\pm 0.1$	$0.2892167 d$ $\pm 0.0000001 d$

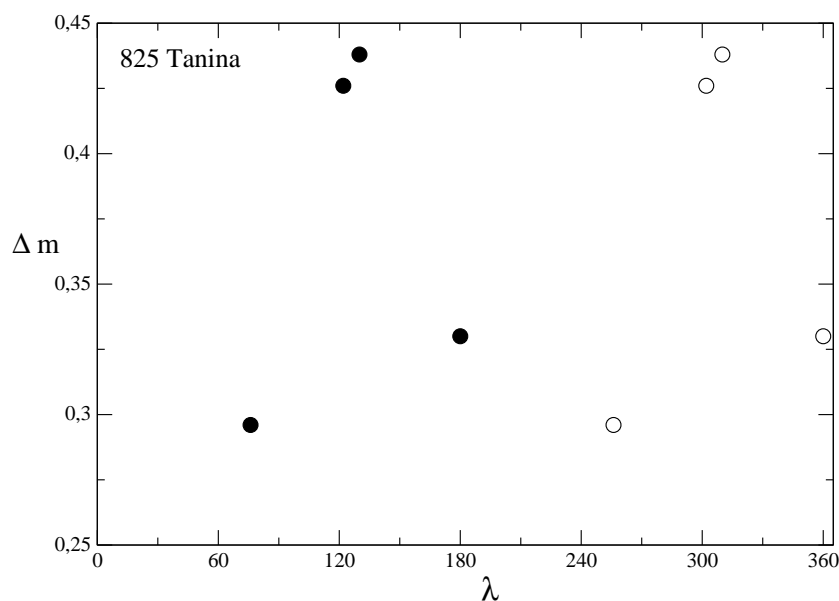
Tablica 6.8: Współrzędne ekliptyczne bieguna, kształt i okres gwiazdowy dla planetoidy 825 Tanina.



Rysunek 6.14: Model elipsoidy trójosiowej dla planetoidy 825 Taniny, rotacja prosta (a), wsteczna (b) i rotacja prosta z innej perspektywy (c).

Wykres 6.15 przedstawia amplitudy zmian jasności w zależności od długości ekliptycznej. Można zauważyć, że cztery poszczególne opozycje nie są równomiernie rozłożone w długości, lecz skupione w wąskim przedziale od  $70^\circ$  do  $180^\circ$ . Przyczyniło się to do określenia dwóch modeli małego ciała, ponieważ nie było możliwe określenie zwrotu rotacji.





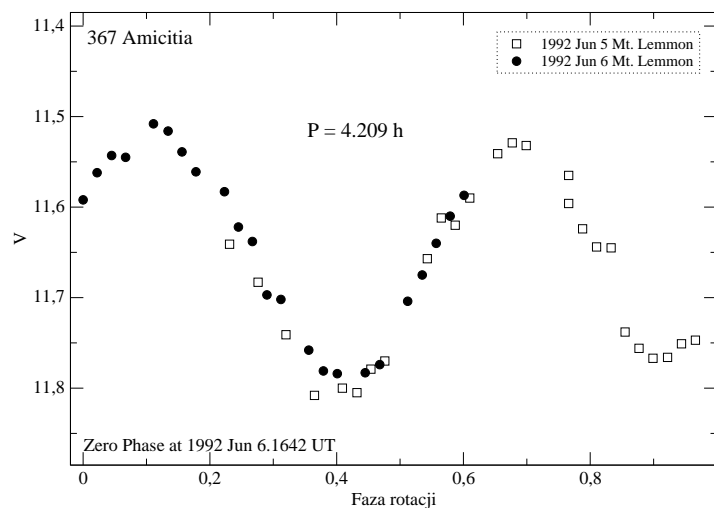
Rysunek 6.15: Zmiany amplitudy od długości ekliptycznej dla planetoidy 825 Tanina, gdzie  $\lambda_o = \lambda_{\bullet} + 180^{\circ}$ .

### 6.3 367 Amicitia

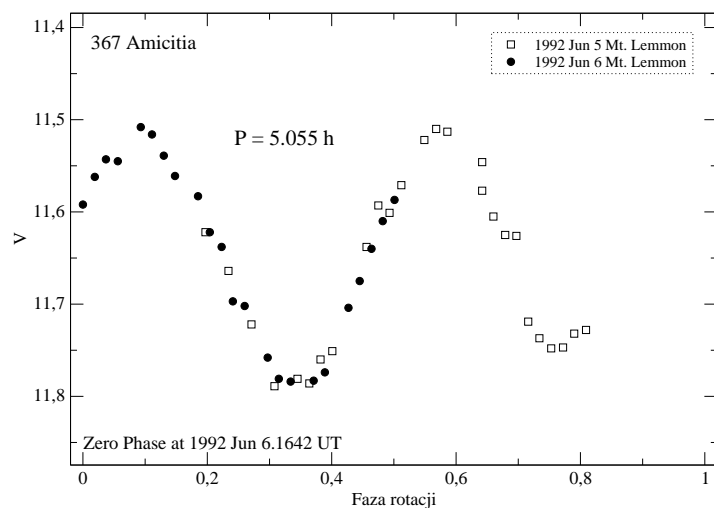
W publikacji Wiśniewski i in. (1997) pośród 125 małych ciał przedstawiona jest także informacja o planetce 367 Amicitia. Wyznaczono dla niej okres rotacji 4.209 godziny, na podstawie dwóch krzywych z 5 i 6 czerwca 1992 roku, wykres 6.16. Niestety żadna krzywa nie zawiera pełnego okresu. Tak jak w przypadku planetoidy 825 Tanina, okazało się, że dwie krzywe z jednej opozycji nie mogą służyć do pewnego wyznaczenia okresu rotacji. W pracy Wiśniewskiego, oprócz preferowanej wartości synodycznego okresu rotacji podane są trzy inne, które mogą być słuszne: 3.808, 4.564 i 5.059 godziny. Różnią się one o połowę cyklu i jeden pełen cykl rotacji podczas składania krzywych.

Amicitia była obserwowana w 2000, 2003 i 2005 roku, dokładne daty i miejsce obserwacji znajdują się w tabeli 6.9. Korzystając z wszystkich opozycji został wyznaczony synodyczny okres rotacji wynoszący 5.055 godziny. Na wykresie 6.17 przedstawiona jest krzywa z 1992 roku złożona dla nowego synodycznego okresu rotacji.

Podczas opozycji w 2000 roku, planetoida była obserwowana przez dwie noce, jednak uzyskane krzywe nie są pełne i zawierają tylko jedno minimum (rysunek 6.18). Ponieważ obserwacje były przeprowadzone z uwzględnieniem okresu rotacji zaproponowanym w pracy Wiśniewski i in. (1997), jest on krótszy od wyznaczonego i przedstawionego w tej pracy. Dlatego do dalszych obliczeń zostały uwzględnione wartości czasów maksimów, uzyskane z dopasowania szeregu Fouriera dla obydwu dat. Jednak amplituda zmian jasności nie była włączona do obliczeń.



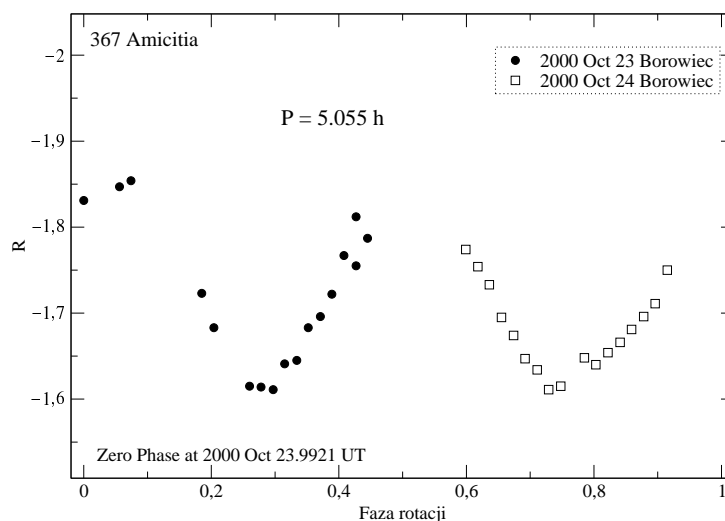
Rysunek 6.16: Złożenie krzywej zmian blasku dla okresu 4.209 godz. Wykres wykonany na podstawie danych z pracy Wiśniewski i in. (1997).



Rysunek 6.17: Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia w 1992 r., złożenie dla nowego okresu 5.055 godz. dla danych z Wiśniewski i in. (1997).

data (UT)	$r$	$\Delta$	$\alpha$	$\lambda$	$\beta$	kod	referencje
1992 06 05	2.183	1.410	21.6	202.6	2.9	686	Wiśniewski i in.(1997)
1992 06 06	2.184	1.420	21.9	202.5	2.8	686	Wiśniewski i in.(1997)
2000 10 23	2.249	1.263	4.5	39.3	-3.9	187	–
2003 07 22	2.414	1.785	22.2	2.5	-3.9	586	–
2003 09 24	2.378	1.383	3.9	353.5	-5.1	71	–
2005 03 10	2.029	1.039	3.3	165.7	5.7	187	–
2005 03 30	2.041	1.107	13.5	161.3	5.4	187	–
2005 04 11	2.049	1.194	19.2	160.0	5.0	187	–

Tablica 6.9: Dane o położeniu dla planetoid 367 Amicitia. Kod obserwatorium: 686– Mt. Lemmon, 187 – Borowiec. 586 – Pic du Midi, 71 – Rozhen.



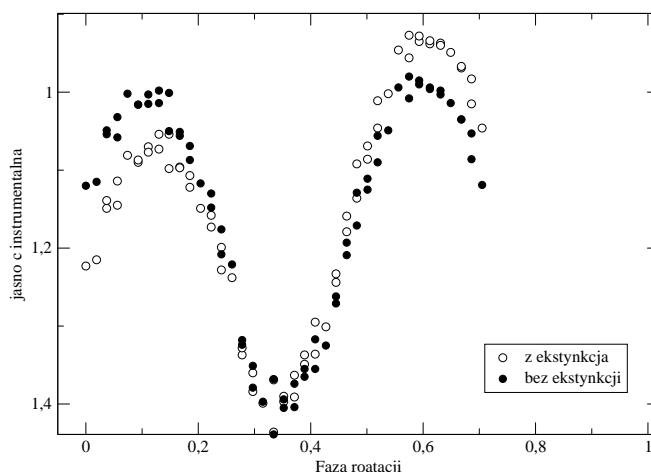
Rysunek 6.18: Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia w 2000 roku.

W obserwatorium na Pic du Midi wykonano fotometrię dla planetki Amicitia podczas jednej nocy w 2003 roku. Jasności gwiazd porównania okazały się zbyt słabe aby mogły służyć do wykonania fotometrii względnej. Ponieważ krzywa jasności instrumentalnej planetki była mniej „zaszumiona” niż z uwzględnieniem jasności od gwiazd. Od jasności planetki została odjęta tylko ekstynkcja, która powodowała zdeformowanie krzywej (dużą niesymetryczność ekstremów). Na rysunku 6.19 wyraźnie widać różnicę w jasności poszczególnych ekstremów.

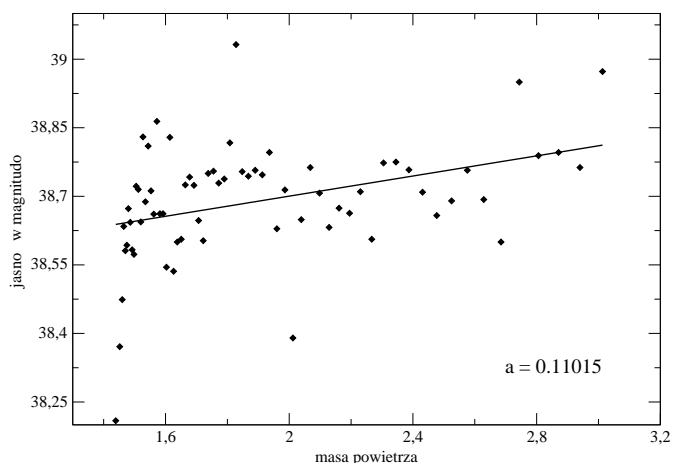
Ekstynkcja atmosferyczna powoduje osłabienie promieniowania dochodzącego do Ziemi, jest ono wynikiem rozpraszania i pochłaniania w atmosferze fali elektromagnetycznej. Zależy ona od grubości warstwy powietrza przez którą przechodzi promieniowanie (np. nad horyzontem).

Dla dwóch gwiazd porównania zostały wykonane wykresy zależności jasności w magnitudo od masy powietrza, którą zmierzono dla daty i miejsca obserwacji planetki. Z regresji liniowej otrzymano współczynnik nachylenia z równania li-

niowego, który wyniósł  $a = 0.11015$  (rysunek 6.20). Następnie po przemnożeniu przez odpowiednią wartość masy powietrza dla danego czasu, odjęty od jasności planetoidy. Wyznaczona w ten sposób wartość ekstynkcji pochodziła od gwiazdy jaśniejszej. Zredukowana krzywa zmian blasku dla planetoidy widoczna jest na rysunku 6.21. Dwa maksima mają porównywalną jasności.

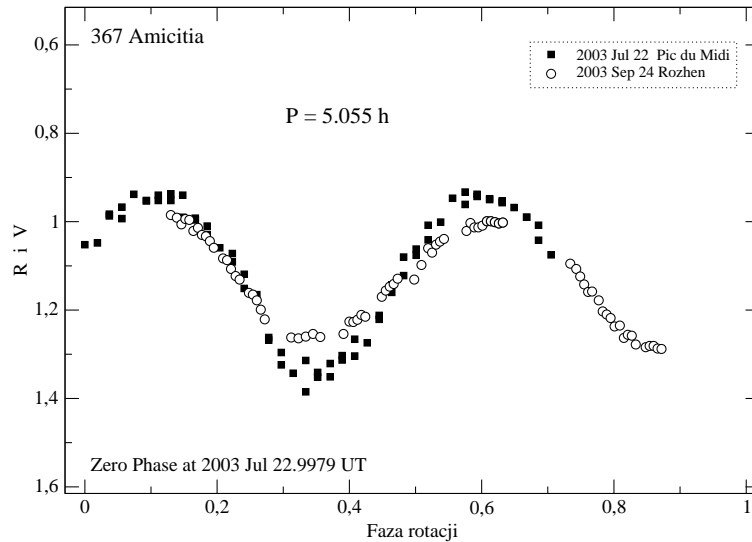


Rysunek 6.19: Wykres przedstawia złożenie dwóch krzywych, otwarte kółka krzywa nieredukowana na ekstynkcje. Kółka wypełnione – krzywa po odjęciu ekstynkcji.



Rysunek 6.20: Zależność masy powietrza od jasności w magnitudo.

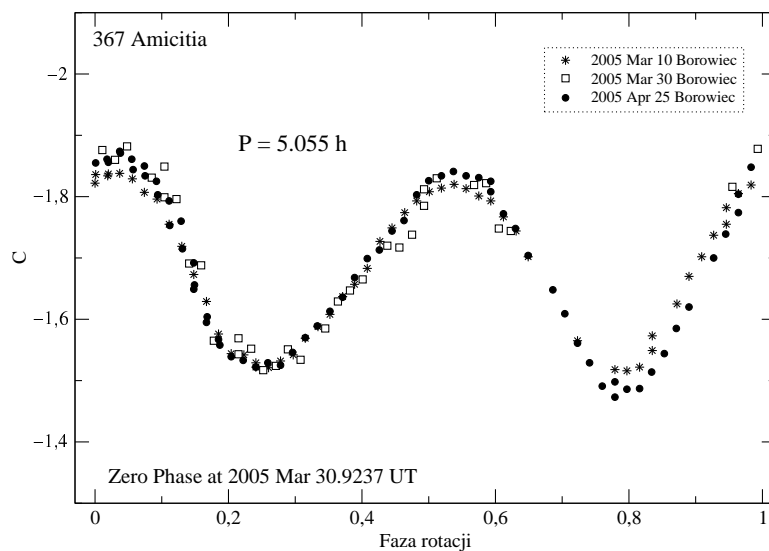
W 2003 roku planetoida Amicitia była także obserwowana 24 września w Obserwatorium w Rozhen. Uzyskana wówczas krzywa zawiera około 70 % pełnego okresu rotacji. Pomiędzy dwiema obserwacjami z opozycji w 2003 roku występuje różnica czasu wynosząca prawie dwa miesiące, dlatego też na wykresie 6.21 widoczna jest zmiana geometrii obserwacji planetki. Kąt fazowy dla tych obserwacji różni się o około  $19^\circ$ . Pomiędzy krzywymi występuje też znaczna różnica amplitud jasności, 0.41 mag. dla opozycji w lipcu i 0.29 mag. dla ob-



Rysunek 6.21: Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia wykonana w 2003r.

serwacji wrześniowych. Amplituda zmierzona dla krzywej uzyskanej w Obserwatorium w Rozhen może być nieprawdziwa, minimum widoczne na rysunku jest zbyt płaskie, dlatego też w obliczeniach została ona pominięta.

Trzy krzywe zmian jasności dla planetoidy otrzymano w Borowcu dla opozycji w 2005 roku. Obserwacje z 10 marca i 25 kwietnia zawierają pełną fazę rotacji. Podczas fotometrowania planetki 30 marca uzyskano dwa maksima i jedno minimum (rysunek 6.22).



Rysunek 6.22: Krzywa zmian blasku dla 367 Amicitia 2005 roku.

Do wyznaczenia modelu planetki Amicitia zostały wykorzystane dane z czterech opozycji (1992, 2000, 2003 i 2005 – dane w tabeli 6.10).

data (UT)	$T_1$	$T_2$	amplituda
1992 06 05	48778.8412	–	0.27
1992 06 06	48779.6838	–	0.26
2000 10 23	51840.5031	51840.5996	0.23
2003 07 22	52842.5211	52842.6226	0.41
2003 09 24	52907.3939	–	0.29
2005 03 10	53439.4290	53439.5373	0.32
2005 03 30	53459.4380	53459.5463	0.35
2005 04 11	53472.2883	53472.3961	0.35

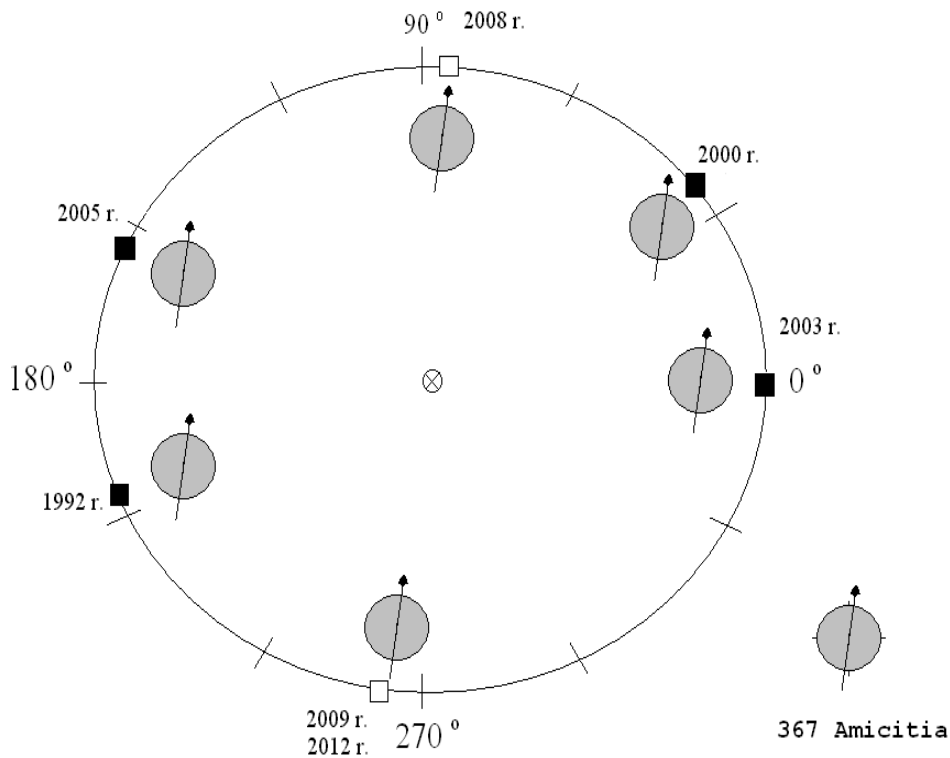
Tablica 6.10: Dane fotometryczne dla planetoidy 367 Amicitia

Uzyskane wyniki przedstawione w tabeli 6.11 dla położenia bieguna są nietypowe, otrzymana wartość jego szerokości ekliptycznej równa  $-3^\circ$ , jest bardzo rzadka dla planetek. Dodatkowo amplitudy zmian jasności małego ciała wskazywałyby na nachylenie osi rotacji do ekliptyki pod znacznie większym kątem. Ponieważ są one duże od 0.2 do 0.4 mag. i występuje dla każdej obserwowanej opozycji. Według uzyskanego modelu, długości ekliptyczne planetki podczas wszystkich obserwowanych opozycji pozwoliły „ogłądać” ją od strony równika. Dlatego widoczne są znaczne zmiany jasności. Gdyby była ona fotometrowana dla długości ekliptycznej swojego bieguna czyli  $89^\circ$  lub symetrycznie  $266^\circ$ , można by wtedy zaobserwować jej niewielkie zmiany jasności w magnitudo.

$P_1$ $\lambda_p \beta_p$	a/b	b/c	okres gwiazdowy (dni)
$86^\circ -3^\circ$	1.41	1.27	$0.2106623 d$
$\pm 3^\circ \pm 5^\circ$	$\pm 0.01$	$\pm 0.08$	$\pm 0.0000002 d$

Tablica 6.11: Współrzędne ekliptyczne bieguna, kształt i okres gwiazdowy dla planetoidy 367 Amicitia

Na rysunku 6.23 przedstawione są długości ekliptyczne momentów w których planetoida była obserwowana (kwadraty wypełnione), oraz długości podczas których można planetkę obserwować „patrzac” na biegun (kwadraty puste). Zaznaczone są także daty obserwowanych i przyszłych opozycji. Na poglądowym rysunku można wyraźnie zauważyć położenie małego ciała w przestrzeni w którym kierunek patrzenia z Ziemi na ciało będzie równoległy do osi rotacji planetki.



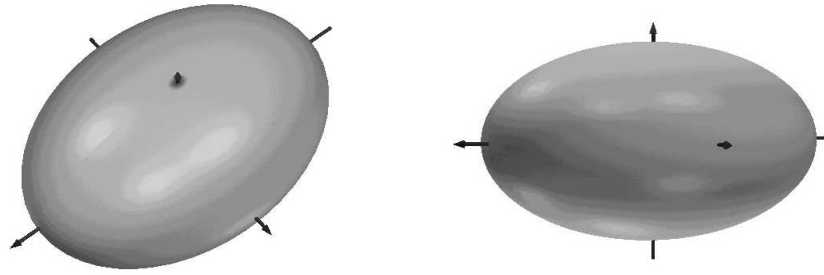
Rysunek 6.23: Poszczególne opozycje dla planetki 367 Amicitia, zaobserwowane i przyszłe (wyjaśnienie w tekście).

Tak więc w kolejnych opozycjach można sprawdzić i być może potwierdzić poprawność otrzymanego modelu małego ciała. Poniżej przedstawiona jest tabela 6.12 z dokładnymi datami, podczas których w przyszłości będzie można obserwować tę planetoidę. Pogrubioną czcionką zaznaczone są opozycje podczas których planetka będzie posiadała zbliżoną wartość do  $86^\circ$  i  $266^\circ$  długości ekliptycznej.

data	długość ekliptyczna	V(mag.)
2006 08	$317^\circ$	13.6
<b>2008 01</b>	<b><math>104^\circ</math></b>	<b>12.6</b>
<b>2009 06</b>	<b><math>279^\circ</math></b>	<b>13.4</b>
2010 11	$49^\circ$	13.0
<b>2012 05</b>	<b><math>236^\circ</math></b>	<b>13.1</b>
2013 09	$5^\circ$	13.5

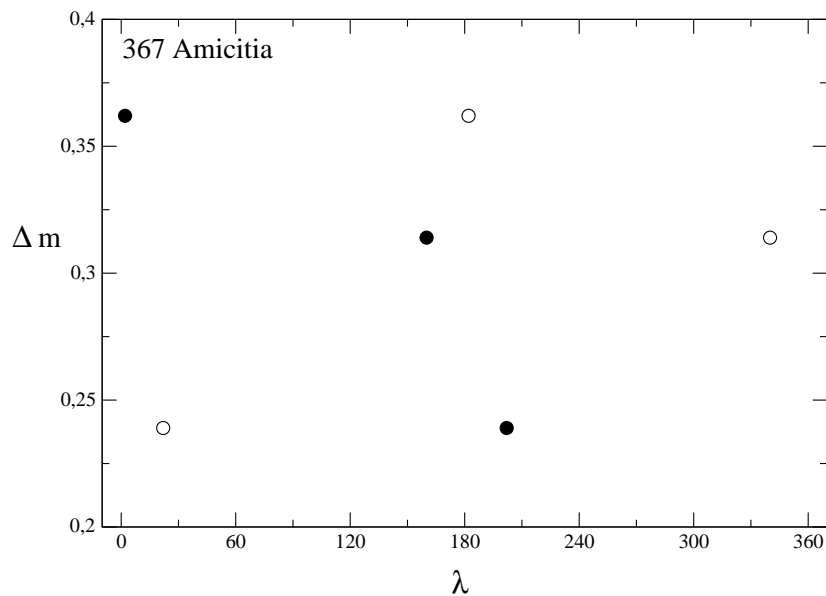
Tablica 6.12: Przyszłe opozycje dla planetoidy 367 Amicitia.

Stosunek osi  $a/b$  i  $b/c$  elipsoidy (model planetoidy przedstawiony jest na rysunku 6.24) jak również gwiazdowy okres rotacji znajdują się w tabeli 6.11. Kierunek rotacji można przyjąć za wsteczny (na co wskazuje znak minus przy szerokości ekliptycznej), jednak dla tak małej jego wartości nie można jej dokładnie określić.



Rysunek 6.24: Model elipsoidy trójosiowej 367 Amicitia.

Na rysunku 6.25 pokazana jest zależność amplitudy zmian jasności i długości ekliptycznej planetki Amicitia. Znajdują się na nim tylko trzy wartości amplitud które były uwzględnione w wyznaczeniu modelu.



Rysunek 6.25: Zmiany amplitudy od długości ekliptycznej dla planetki 367 Amicitia, gdzie  $\lambda_o = \lambda_{\bullet} + 180^{\circ}$ .

Przykład Amicitii pokazuje wyraźnie jak ważną rolę do określenia fizycznych właściwości planetoidy odgrywają obserwacje wykonane w różnych opozycjach. Najlepiej równomiernie rozłożonych w długości ekliptycznej.



# Rozdział 7

## Podsumowanie

Coraz więcej wiemy o planetoidach, ich własnościach i zjawiskach wpływających na ruch małych ciał. Ciągłe są one jednak obiektami skrywającymi swoją różnorodność i trudnymi do zaobserwowania, z powodu małych rozmiarów.

W pracy zostały zebrane informacje na temat dziewięćdziesięciu obserwowanych planetoid należących do rodziny Flory. Przedstawiono wykresy zależności dla znanych parametrów fizycznych planetek. Tylko dla pięćdziesięciu małych ciał znane są ich średnice. Dla trzydziestu trzech zostały określone typy taksonomiczne, przemawiają one za teorią powstania rodziny w wyniku rozpadu większego macierzystego ciała typu S. Większość planetek posiada wyznaczone okresy rotacji, jednak praca pokazała, że przyszłe obserwacje mogą wpływać na poprawną ich wartości. Dla planetoid Amicitia i Tanina opublikowane wartości okresów okazały się niepoprawne. Uwzględniając nowe opozycje określono nowe okresy rotacji, odpowiednio: 5.055 godz. i 6.941 godz.

Głównym elementem pracy jest określenie modeli dla trzech planetoid: 291 Alice, 367 Amicitia i 825 Tanina. Uzyskane wyniki przedstawione są poniżej:

### 291 Alice

rotacja wsteczna

okres gwiazdowy:  $0.1798695d$

$\lambda_p\beta_p : 235^\circ, -21^\circ$

$a/b, b/c : 1.28, 2.20$

### 367 Amicitia

okres gwiazdowy:  $0.2106623d$

$\lambda_p\beta_p : 86^\circ, -3^\circ$

$a/b, b/c : 1.41, 1.27$

### 825 Tanina

rotacja prosta

okres gwiazdowy:  $0.2891585d$

$\lambda_p\beta_p : 234^\circ, +66^\circ$

$a/b, b/c : 1.50, 1.40$

rotacja wsteczna

okres gwiazdowy:  $0.2892167d$

$\lambda_p\beta_p : 53^\circ, -63^\circ$

$a/b, b/c : 1.50, 1.30$

Wcześniej był już określany model dla planetoidy Alice (Kryszczyńska i in. 1994), w niniejszej pracy został on uzupełniony o okres gwiazdowy oraz zwrot rotacji. Uzyskana wartość szerokości ekliptycznej bieguna jest różna od wcześniejszej, stosunek pól elipsoidy b/c jest także inny i dość nietypowy. Dla planetoidy Amicitia po raz pierwszy określono kształt i współrzędne bieguna. Oś rotacji dla tej planetki „leży” w płaszczyźnie ekliptyki, taka wartość szerokości ekliptycznej bieguna jest rzadko spotykana. Ilość obserwacji fotometrycznych dla Taniny okazała się jednak niewystarczająca do określenia zwrotu rotacji małego ciała. Dlatego podane są dwa rozwiązania, które są pierwszymi wyznaczonymi modelami dla planetoidy Tanina.

W załączniku znajduje się tabela z informacjami o obserwacjach dla planetoid z rodziny Flory (tabela 7.1). Zamieszczone są w niej informacje o opublikowanych i wykonanych danych fotometrycznych. Przedstawione są także trzy przyszłe opozycje podczas których daną planetkę będzie można obserwować.

# **Załącznik**

Tablica 7.1: Lista z danymi o obserwacjach dla planetoid z rodziny Flory.

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
281 Lucretia	1969 Nov 60° Taylor (1976)	1972 Aug 10° Taylor (1976)	1974 Apr 190° Taylor (1976)
wykonane obserwacje	2003 Mar 170° Rozhen		
przyszłe opozycje	2006 Feb 140°	2007 Jun 265°	2008 Dec 96°
291 Alice	1974 Aug 22° Lagerkvist (1976)	1981 Dec 70° Binzel i in.(1983)	1996 Feb 222° Piironen i in.(1998)
wykonane obserwacje	1994 Oct 32° Pic du Midi	1999 Mar 145° Borowiec	2004 Oct / Nov 45° / 42° Borowiec
przyszłe opozycje	2006 May 227°	2007 Sep 358°	2009 Mar 172°
298 Baptistina	1989 Sep 40° Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Oct 30°	2008 Apr 206°	2009 Sep 340°
352 Gisela	1973 Nov 75° Lagerkvist (1978)	1992 Mar/Aug 155°/310° Blanco i in. (2000)	1999 Dec 65° Lazar i in. (2001)
wykonane obserwacje	2004 Mar 185° Rozhen		
przyszłe opozycje	2005 Aug 312°	2007 Feb 157°	2008 Jun 273°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
364 Isara	1964 Oct 10° Yang (1965)		
wykonane obserwacje	2005 Jan 85° Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 May 232°	2007 Oct 9°	2009 Apr 198°
367 Amicitia	1992 Jun 202° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2002 Oct 39° Borowiec 2005 Mar / Apr 165° / 160° Borowiec	2003 Jul / Sep 2° / 353° Pic du Midi / Rozhen	2004 Oct / Nov 45° / 42° Borowiec
przyszłe opozycje	2006 Aug 317°	2008 Jan 104°	2009 Jun 279°
422 Berolina	1979 Sep 330° Harris i in (1983)		
przyszłe opozycje	2006 Dec 73°	2008 Mar 181°	2009 Sep 354°
428 Monachia	1988 Nov 25° Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2005 Jul 284°	2007 Jan 124°	2008 May 229°
453 Tea	Wiśniewski i in. (1997)	Behrend (2004)	
przyszłe opozycje	2005 Dec 77°	2007 Jun 253°	2008 Nov 50°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
<b>540 Rosamunde</b>			
	1989 Jan 160° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2004 Oct 56° Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 May 245°	2007 Oct 23°	2009 Mar 186°
<b>685 Hermia</b>			
wykonane obserwacje	2005 Mar 160° Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 Sep 344°	2008 Jan 128°	2009 May 249°
<b>700 Auravictrix</b>			
	1977 Sep 315° Lagerkvist (1979)	1996 Feb 136° Blake (1997)	
wykonane obserwacje	1994 Apr 200° Blanco	2003 Apr 205° Rozhen	2004 Aug / Sep 11° / 7° Rozhen / Borowiec
przyszłe opozycje	2006 Feb 138°	2007 Aug 322°	2008 Dec 86°
<b>711 Marmulla</b>			
	1990 20° Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Nov 60°	2008 Mar 160°	2009 Oct 8°
<b>728 Leonisis</b>			
	1990 Mar 170° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2002 Dec 75° Pic du Midi		
przyszłe opozycje	2005 Oct 17°	2007 Mar 190°	2008 Aug 328°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
<hr/>			
736 Harvard	1977 Aug 330° Degewij i in.(1979)		
przyszłe opozycje	2006 May 241°	2007 Dec 93°	2009 Apr 203°
<hr/>			
770 Bali	1989 Sep 20° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2004 Mar 170° Borowiec		
przyszłe opozycje	2005 Jul 286°	2007 Jan 121°	2008 Jun 252°
<hr/>			
800 Kressmania	1984 Aug 350° Di Martino (1986)	1997 Aug 345° Denchev (2000)	
wykonane obserwacje	2004 Dec 77° Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 Mar 180°	2007 Nov 43°	2009 Feb 154°
<hr/>			
823 Sisigambis	1992 Mar 165° Barucci i in. (1994) Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Jun 276°	2007 Nov 56°	2009 May 235°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
825 Tanina	1992 Jan 120° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	1999 May 180° Borowiec	2002 Feb 126° Pic du Midi	2004 Dec / 2005 Feb 82° / 76° Borowiec
przyszłe opozycje	2006 Jun 256°	2007 Nov 42°	2009 Apr 193°
841 Arabella	1982 Feb 110° Binzel i in. (1983)		
wykonane obserwacje	2004 Sep 360° Kharkov		
przyszłe opozycje	2006 Mar 167°	2007 Aug 307°	2008 Dec 97°
851 Zeissia	1989 Mar 165° Wiśniewski i in. (1997)	2001 Dec 108° Robinson (2003)	2004 Nov 52° Behrend (2004)
wykonane obserwacje	2001 Dec 112° Sunfl.	2004 50° Borowiec	
przyszłe opozycje	2006 May 235°	2007 Oct 7°	2009 Mar 97°
901 Brunsia	1991 Oct 350° Wiśniewski i in. (1997)	2001 Sep 6° Behrend (2004)	
przyszłe opozycje	2006 Jan 118°	2007 Apr 214°	2008 Dec 81°
905 Universitas	1977 Aug 310° Tedesco (1979)	1992 Jan 125° Wiśniewski i in. (1997)	
wykonane obserwacje	2004 Dec 90° Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 Apr 215°	2007 Oct 21°	2009 Mar 184°



	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
<b>915 Cosette</b>			
	1984 Aug 342°		
	Di Martino (1994a)		
wykonane obserwacje	2004 Sep 350°		
	Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 Mar 179°	2007 Jul 295°	2009 Feb 133°
<b>937 Bethgea</b>			
	1990 Sep 350°		
	Di Martino (1994b)		
wykonane obserwacje	2000 Aug / Sep 350°	2004 Dec 100°	
	Borowiec	Borowiec	
przyszłe opozycje	2006 Apr 194°	2007 Nov 58°	2009 Feb 159°
<b>939 Isberga</b>			
	1977 Aug 300°		
	Tedesco (1979)		
przyszłe opozycje	2006 Jan 129°	2007 May 238°	2008 Dec 88°
<b>963 Iduberga</b>			
	2002 Nov 62°		
	Uzpen (2003)		
przyszłe opozycje	2005 Sep 346°	2007 Mar 180°	2008 Jul 293°
<b>1016 Anitra</b>			
	Menke (2003)		
przyszłe opozycje	2006 Jan 129°	2007 May 238°	2008 Aug 316°
<b>1056 Azalea</b>			
wykonane obserwacje	2004 Jan 159°		
	Pic du Midi		
przyszłe opozycje	2005 Aug 320°	2007 Jan 121°	2008 May 239°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
1060 Magnolia			
	1992 Sep 340° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2002 Dec 347° Kharkov	2004 Feb 113° Rozhen	2005 May 230° Kharkov
przyszłe opozycje	2006 Dec 82°	2008 Mar 181°	2009 Nov 38°
1088 Mitaka			
	1989 Nov 25° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2002 Dec 10° Borowiec	2004 Jan / Apr 187° Pic du Midi / Kharkov	
przyszłe opozycje	2005 Jul 297°	2007 Feb 151°	2008 Jun 254°
1089 Tama			
	1998 Apr 200° Sarneczky i in. (1999)		
wykonane obserwacje	2004 Jan 105° Pic du Midi		
przyszłe opozycje	2006 Oct 37°	2008 Apr 213°	2009 Sep 339°
1117 Reginita			
	1988 Sep 335° Wiśniewski i in. (1997)		
wykonane obserwacje	2002 Nov 65° Pic du Midi	2004 Jan / Apr 171° Pic du Midi / Rozhen Kharkov	
przyszłe opozycje	2005 Oct 12°	2007 Jan 127°	2008 Jun 274°
1123 Shapleya			
	1989 Jan 75° Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Feb 150°	2007 Jun 261°	2008 Dec 97°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
<hr/>			
1130 Skuld	2002 Jul 296° Robinson (2003)		
wykonane obserwacje	2004 Jan 122° Pic du Midi		
przyszłe opozycje	2006 Dec 86°	2008 Mar 186°	2009 Oct 31°
<hr/>			
1188 Gothlandia	1985 Sep 350° Di Martino i in. (1994a)		
przyszłe opozycje	2006 Jan 117°	2007 May 227°	2008 Dec 73°
<hr/>			
1219 Britta	1983 Oct / Dec 20° Binzel i in. (1987)	2003 Dec 80° Behrend (2004)	
wykonane obserwacje	2003 Nov 80° Rozhen		
przyszłe opozycje	2006 Oct 14°	2008 Apr 200°	2009 Aug 323°
<hr/>			
1225 Ariane	Ditteon i in. (2003)	Goeden (2004)	Pray (2004)
przyszłe opozycje	2005 Nov 70°	2007 May 240°	2008 Oct 14°
<hr/>			
1249 Rutherfordia	2001 Aug 327° Behrend (2004)	2004 Jul 287° Behrend (2004)	
przyszłe opozycje	2005 Dec 70°	2007 May 245°	2008 Oct 18°
<hr/>			
1270 Datura	1990 Dec 90° Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Jun 269°	2008 Jan 125°	2009 May 222°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
1324 Knysna			
Behrend (2004)			
przyszłe opozycje	2006 Dec 72°	2008 Apr 195°	2009 Nov 46°
1335 Demoulina			
2001 Oct Behrend (2004)			
przyszłe opozycje	2006 Jan 116°	2008 May 227°	2008 Nov 53°
1376 Michelle			
1988 Sep 350° Wiśniewski i in. (1997)			
wykonane obserwacje	2004 Apr 100° Kharkov		
przyszłe opozycje	2005 Nov 66°	2007 Mar 166°	2008 Sep 3°
1514 Ricouxa			
1990 Oct 15° Barucci (1994)			
przyszłe opozycje	2006 Apr 203°	2007 Nov 60°	2009 Mar 165°
1523 Piekasamaki			
1977 Sep 310° Lagerkvist (1979)			
wykonane obserwacje	2004 Jul 330° Rozhen		
przyszłe opozycje	2006 Jan 110°	2007 Jul 285°	2008 Nov 51°
1527 Malmquista			
Brincat (2003)			
przyszłe opozycje	2007 Jan 105°	2008 Oct 206°	2009 Nov 66°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
1562 Gondolatsch			
	1977 Sep 310° Lagerkvist (1979)	2003 May 200° Behrend (2004)	
przyszłe opozycje	2006 Feb 149°	2007 Aug 328°	2008 Dec 99°
1585 Union			
	1984 Mar 140° Binzel (1987)		
przyszłe opozycje	2006 Jun 257°	2007 Aug 322°	2009 Feb 137°
1590 Tsiolkovskaja			
	1976 Sep 220° Lagerkvist (1978)		
przyszłe opozycje	2006 May 221°	2007 Nov 56°	2009 Mar 166°
1601 Patry			
	Behrend (2004)		
przyszłe opozycje	2006 Sep 354°	2008 Jan 116°	2009 Jul 284°
1619 Ueta			
	2000 Sep 25° Almeida i in. (2004)		
przyszłe opozycje	2006 Jun 252°	2007 Dec 91°	2009 Apr 216°
1621 Druzhba			
	1989 Sep 25° Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Oct 73°	2008 Apr 256°	2009 Aug 39°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
1651 Behrens			
Behrend (2004)			
przyszłe opozycje	2005 Dec 73°	2007 Jun 256°	2008 Nov 39°
1667 Pels			
1991 Apr 200°			
Wiśniewski i in. (1997)			
wykonane obserwacje	2004 Apr 80°		
Borowiec			
przyszłe opozycje	2005 Nov 53°	2007 Mar 167°	2008 Oct 20°
1675 Simonida			
1988 Mar 175°			
Wiśniewski i in. (1997)			
wykonane obserwacje	1983 Nov 35°	2004 Jan 40°	2005 Apr 217°
Harris                      Borowiec                      Rozhen			
przyszłe opozycje	2006 Aug 337°	2008 Mar 171°	2009 Jul 293°
1682 Karel			
wykonane obserwacje	2005 Mar 170°		
Borowiec			
przyszłe opozycje	2006 Sep 343°	2008 Feb 140°	2009 Jun 255°
1707 Chantal			
1975 Oct 15°			
Lagerkvist (1978)			
przyszłe opozycje	2005 Dec 80°	2007 May 224°	2008 Sep 1°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
1793 Zoya			
Lagerkvist (1978)			
przyszłe opozycje	2006 Nov 49°	2008 May 222°	2009 Oct 11°
1807 Slovakia			
Behrend (2004)			
przyszłe opozycje	2006 Feb 146°	2007 Jun 251°	2009 Jan 100°
1829 Dawson			
Stephens (2003)			
przyszłe opozycje	2005 Sep 348°	2007 Mar 177°	2008 Jul 296°
1991 Darwin			
1991 Sep 355°			
Wiśniewski i in. (1997)			
przyszłe opozycje	2005 Dec 81°	2007 Mar 177°	2008 Oct 26°
2017 Wesson			
1987 May 225°			
Wiśniewski (1991)			
wykonane obserwacje	2004 Jun 240°		
Rozhen			
przyszłe opozycje	2005 Dec 85°	2007 Mar 186°	2008 Oct 36°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
<hr/> 2036 Sheragul <hr/>			
Clark (2004)			
przyszłe opozycje	2006 May 224°	2007 Dec 68°	2009 Mar 168°
<hr/>			
2088 Sahlia			
1981 Nov 50°			
Binzel i in. (1983)			
wykonane obserwacje	2004 Nov 60°		
Borowiec			
przyszłe opozycje	2006 May 230°	2007 Oct 8°	2009 Mar 190°
<hr/>			
2093 Genichesk			
Behrend (2004)			
przyszłe opozycje	2006 Nov 44°	2008 Feb 146°	2009 Sep 345°
<hr/>			
2156 Kate			
1981 Nov 70°			
Binzel (2003)			
wykonane obserwacje	2001 Oct 20°	2003 Mar 190°	
Borowiec		Rozhen	
przyszłe opozycje	2006 Feb 149°	2007 May 246°	2008 Dec 96°
<hr/>			
2283 Bunke			
Menke (2003)			
wykonane obserwacje	2004 Sep 350°		
Kharkov			
przyszłe opozycje	2006 Jan 127°	2007 Aug 302°	2008 Dec 69°
<hr/>			



	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
2460 Mitlincoln			
	Warner (2002)	Behrend (2004)	
wykonane obserwacje	2004 Nov 10° Borowiec		
przyszłe opozycje	2006 May 232°	2007 Sep 352°	2009 Mar 169°
2784 Domeyko			
	Almeida i in. (2004)		
przyszłe opozycje	2006 Sep 5°	2008 Jan 122°	2009 Jul 279°
2880 Nihondaira			
	Almeida i in. (2004)		
przyszłe opozycje	2006 Feb 155°	2007 Sep 3°	2009 Jan 125°
2890 Vilyujsk			
	Koff (2003)		
przyszłe opozycje	2005 Sep 339°	2007 Mar 174°	2008 Jul 280°
2952 Lilliputia			
	Binzel i in. (1992)		
przyszłe opozycje	2006 Apr 217°	2007 Aug 335°	2009 Mar 164°
2961 Katsurahama			
	1999 Nov 38°		
	Warner (2000)		
przyszłe opozycje	2005 Jun 270°	2006 Dec 76°	2008 May 223°
3116 Goodricke			
	1988 Nov 35°		
	Wiśniewski i in. (1997)		
przyszłe opozycje	2006 Jan 106°	2007 Apr 207°	2008 Nov 51°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
3165 Mikawa			
2001 Oct Ellsworth i in. (2002)			
przyszłe opozycje	2006 Jan 117°	2007 May 223°	2008 Dec 74°
3253 Gradie			
1989 Jul 270° Wiśniewski i in. (1997)			
przyszłe opozycje	2006 Aug 322°	2008 Jan 105°	2009 May 222°
3350 Scobee			
Wiśniewski i in. (1997)			
przyszłe opozycje	2005 Nov 61°	2007 Mar 160°	2008 Jul 306°
3807 Pagels			
Behrend (2004)			
przyszłe opozycje	2005 Nov 57°	2007 Mar 160°	2008 Sep 1°
3953 Perth			
1993 Dec 80° Wiśniewski i in. (1997)			
przyszłe opozycje	2006 Jul 295°	2008 Feb 137°	2009 May 236°
3986 Rozhkovskij			
1995 Aug 343° Birlan (1996)			
przyszłe opozycje	2005 Aug 326°	2007 Feb 155°	2008 Jul 281°
4150 Starr			
1997 May 255° Angeli (2001)			
wykonane obserwacje	2004 Aug 330°		
Rozhen			
przyszłe opozycje	2006 Jan 126°	2007 May 248°	2008 Dec 90°

	opozycja 1 $\lambda_1$	opozycja 2 $\lambda_2$	opozycja 3 $\lambda_3$
4422 Jarre			
Behrend (2004)			
przyszłe	2006 Dec	2008 Apr	2009 Oct
opozycje	95°	206°	21°
5080 Oja			
Lagerkvist (1978)			
przyszłe	2006 Jan	2007 Jun	2008 Oct
opozycje	109°	251°	31°
3807 Pagels			
Behrend (2004)			
przyszłe	2005 Nov	2007 Mar	2008 Sep
opozycje	57°	160°	1°
5702 Morando			
1994 Nov 80°			
Kryszczyńska i in. (1996)			
przyszłe	2006 Apr	2007 Oct	2009 Jan
opozycje	201°	8°	126°
7997 (1985 CN1)			
1978 Mar 150°			
Lagerkvist i in. (1979)			
przyszłe	2006 Mar	2007 Aug	2008 Dec
opozycje	174°	320°	85°
14362 (1988 MH)			
Behrend (2004)			
przyszłe	2005 Jul	2006 Dec	2008 Mar
opozycje	288°	87°	162°

# Bibliografia

- ALMEIDA R., ANGELI C.A., DUFFARD R. I LAZZARO D. 2004, Rotation period for small main-belt asteroids, *Astron.Astrophys.* **415**, 403–406.
- ANGELI C.A., GUIMARAES T. A., LAZZARO D., DUFFARD R., FERNANDEZ S., FLORCZAK A., MOTHE-DINIZ T., CARVANO J. M., BETZLER A. S. 2001, Rotation Periods for Small Main-Belt Asteroids From CCD Photometry, *Astron. J.* **121**, 2245–2252.
- BARUCCI M.A., DI MARTINO M., DOTTO E., FULCHIGNONI M., ROTUNDI A., BURCHI R. 1994, Rotational properties of small asteroids: Photoelectric observations of 16 asteroids, *Icarus* **109**, 267–273.
- BEHREND R. 2004, <http://obswww.unige.ch/~behrend/>, *Internet*.
- BENDJOYA P. 1993, A classification of 6479 asteroids into families by means of the wavelet clustering method, *Astron.Astrophys.* **102**, 25–55.
- BENDJOYA P., ZAPPALÀ 2002, Asteroid Family Indetification, w *Asteroids III* (W.F. Bottke), 613 – 618. The University of Arizona Press, Tuscon.
- BINZEL R.P. 1987, A photoelectric survey of 130 asteroids, *Icarus* **72**, 135–208.
- BINZEL R.P. 2003, Spin cotrol for asteroids, *Nature* **425**, 131–132.
- BINZEL R.P., MULHOLLAND J.D. 1983, A photoelectric lightcurve survey of small main belt asteroids, *Icarus* **56**, 519–533.
- BINZEL R.P., COCHRAN A.L., BARKER E.S., THOLEN D.J., BARUCCI A., DI MARTINO M., GREENBERG R., WEIDENSCHILLING S.J., CHAPMAN C.R., DAVIS D.R. 1987, Coordinated observations of asteroids 1219 Britta and 1972 Yi Xing , *Icarus* **71**, 148–158.
- BINZEL R.P., MULHOLLAND J.D. 1983, A photoelectric lightcurve survey of small main belt asteroids, *Icarus* **56**, 519–533.
- BINZEL R.P., XU, S., BUS S.J., BOWELL E. 1992, Small Main-Belt Asteroid Lightcurve Survey, *Icarus* **99**, 225–237.

- BIRLAN M., BARUCCI M.A., ANGELI C.A., DORESSOONDIRAM A., DE SANCTIS M. C. 1996, Rotational properties of asteroids: CCD observations of nine small asteroids , *Planet. Space Sci.* **44**, 555–558.
- BLANCO C., CIGNA M., RICCIOLI D. 2000, Pole and shape determination of asteroids. II, *Planet. Space Sci.* **48**, 973–982.
- BLAKE R.M. 1997, Differential Photometry of 700 Auravictrix, *Minor Planet Bul.* **24**, 30.
- BOTTKE, W.F, VOKROUHLICKÝ, D., RUBINCAM D.P., BROZ M. 2002, The Effect of Yarkovsky Thermal Forces on the Dynamical Evolution of Asteroids and Meteoroids, w *Asteroids III* (W.F. Bottke), 395 – 408. The University of Arizona Press, Tuscon.
- BRINCAT S. M. 2003, Rotation period and lightcurve of asteroid 1527 Malmquista, *Minor Planet Bul.* **30**, 19.
- CHESLEY S.R., OSTRO S.J., VOKROUHLICKÝ D., CAPEK D., GIORGINI J.D., NOLAN M.C., MARGOT JEAN-LUC, HINE A.A., BENNER L.A.M., CHAMBERLIN A.B. 2003, Direct Detection of the Yarkovsky Effect by Radar Ranging to Asteroid 6489 Golevka, *Science*, **302**, 1739–1742.
- CLARK M. 2004, Rosemary Hill Observatory photometry of asteroids 2036 Sheragul and (21652) 1999 OQ2, *Minor Planet Bul.* **31**, 15–16.
- DE ANGELIS G. 1995, Asteroid spin, pole, and shape determinations, *Planet. Space Sci.* **43**, 649–682.
- DEGEWIJ J., TEDESCO E.F., ZELLNER B. 1979, Albedo and color contrasts on asteroid surfaces, *Icarus* **40**, 364–374.
- DENCHEV P., SHKODROV V., IVANOVA V. 2000, Synodic periods of asteroids 333, 402, 481, and 800, *Planet. Space Sci.* **48**, 983–986.
- DI MARTINO M. 1986, A Photoelectric Program for Small and Unusual Asteroids, in *Asteroids, Comets, Meteors II*. (Eds.C.-I.Lagerkvist,B.A.Lindblad,M.Lundstedt and H.Rickman), 81–84. Uppsala
- DI MARTINO M., DOTTO E., BARUCCI M.A., FULCHIGNONI M., ROTUNDI A. 1994a, Photoelectric photometry of ten small and fast spinning asteroids, *Icarus* **109**, 210–218.
- DI MARTINO, M., BLANCO, C., RICCIOLI, D., DE SANCTIS, G. 1994b, Lightcurves and rotational periods of nine main belt asteroids, *Icarus* **107**, 269–275.

- DITTEON R., TOLLEFSON E., TWAREK A. 2003, Asteroid photometry using a remote, commercial telescope: results for asteroids 808, 1225, and 28753, *Minor Planet Bul.* **30**, 76–77.
- ELLSWORTH N., HUGHES S., DITTEON R. 2002, Photometry of Asteroid 2962 Otto and 3165 Mikawa, *Minor Planet Bul.* **29**, 68.
- GOEDEN C. J. 2004, Rotation period and lightcurve determination of asteroid 1225 Ariane, *Minor Planet Bul.* **31**, 11.
- HARRIS A.W., YOUNG J.W. 1983, Asteroid rotation. IV *Icarus* **54**, 59–109.
- KOFF R. A. 2003, Lightcurve photometry of 2890 Vilyujsk, 3106 Morabito, (4288) 1989 TQ1, *Minor Planet Bul.* **30**, 38–39.
- KRÓLIKOWSKA-SOŁTAN M., KWAST T., SOŁTAN A., SROCZYŃSKA – KOZUCHOWSKA M. 1995, w Słownik szkolny-Astronomia, str. 130 *WSiP*, Warszawa
- KRYSZCZYŃSKA A., COLAS F., BERTHIER J., MICHAŁOWSKI T., PYCH W. 1996, CCD Photometry of Seven Asteroids: New Spin Axis and Shape Determinations, *Icarus* **124**, 134–140.
- LAGERKVIST C.-I. 1976, Photographic photometry of the asteroid 291 ALICE, *Icarus* **27**, 157–160.
- LAGERKVIST C.-I. 1978, Photographic photometry of 110 main-belt asteroids, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **31**, 361–381.
- LAGERKVIST C.-I. 1979, A lightcurve survey of asteroids with Schmidt telescopes – Observations of nine asteroids during oppositions in 1977, *Icarus* **38**, 106–114.
- LA SPINA A., PAOLICCHI P., KRYSZCZYŃSKA A., PRAVEC P. 2004, Retrograde spins of near-Earth asteroids from Yarkovsky effect, *Nature* **428**, 400–401.
- LAZAR S., LAZAR, P. COONEY W., WEFEL K. 2001, Lightcurves and Rotation Periods for Minor Planets (305) Gordonia (307) Nike, (337) Devosa, and (352) Gisela, *Minor Planet Bul.* **28**, 32–34.
- MENKE J. 2003, <http://menkescientific.com/lightcrv.html>. *Internet*.
- MICHAŁOWSKI T. 1982, Rotacja małych planet, *Postępy Astronomii*, **XXX**, 107–121.

- MICHAŁOWSKI T. 1993, Poles, shapes, senses of rotation, and sidereal periods of asteroids, *Icarus*, **106**, 563–572.
- MORBIDELLI A., BOTTKE B., VOKROUHLICKY D., BROZ M., <http://www.boulder.swri.edu/~davidn/yarko/yarko.html>, *Internet*.
- NESVORNY D., MORIBIDELLI A., VOKROUHLICKY D., BOTTKE W. F., BROZ M. 2002, The Flora family: A case of the dynamically dispersed collisional swarm?, *Icarus* **157**, 155–172.
- PIIRONEN J., LAGERKVIST C.-I., ERIKSON A., OJA T., MAGNUSSON P., FESTIN L., NATHUES A., GAUL M., VELICHKO F. 1998, Physical studies of asteroids. XXXII. Rotation periods and UBVRI-colours for selected asteroids, *Astron. Astrophys. Suppl.* **128**, 525–540.
- PRAVEC P., HARRIS A. W. I MICHAŁOWSKI T. 2002, Asteroid rotation, w *Asteroids III* (W.F.Bottke), 113–122. The University of Arizona Press, Tuscon.
- PRAY D. P. 2004, Lightcurve analysis of asteroids 1225, 1301, 2134, 2741, and 3974, *Minor Planet Bul.* **31**, 6–8.
- ROBINSON, L. 2003, <http://btboar.tripod.com/lightcurves/>. *Internet*.
- SARNECZKY K., SZABO G., KISS L.L. 1999, CCD observations of 11 faint asteroids, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **137**, 363–368.
- SILVAN S.M. 2002, Spin vector alignment of Koronis family asteroids, *Nature*, **419**, 49–51.
- STEPHENS R. D. 2003, Photometry of 1035 Amata and 1829 Dawson, *Minor Planet Bul.*, **30**, 31
- TAYLOR R., GEHRELS T., CAPEN R. 1976, Minor planets and related objects. XXI – Photometry of eight asteroids asteroids, *Astron. J.*, **81**, 778–786.
- TEDESCO E.F. 1979, PhD Dissertation, New. Mex. State Univ., str. 280.
- UZPEN, B., KIPP, S. 2003, Rotational periods of asteroids 34, 239, 759, and 963 asteroids, *Minor Planet Bul.*, **30**, 59–61.
- VOKROUHLICKY D., NESVORNY D. I BOTTKE W. F. 2003, The vector alignments of asteroid spin by thermal torques, *Nature*, **425**, 147–151.
- WARNER B. D. 2000, Asteroid Photometry at the Palmer Divide Observatory, *Minor Planet Bul.*, **27**, 20–21.

- WARNER B. D. 2002, Asteroid Photometry at the Palmer Divide Observatory: Results for 1333 Cevenola and 2460 Mitlincoln , *Minor Planet Bul.*, **29**, 74–75.
- WIŚNIEWSKI W.Z., MICHALOWSKI T.M., HARRIS A.W., MCMILLAN R. S. 1997, Photometric Observations of 125 Asteroids, *Icarus*, **129**, 365–449.
- YANG X.-Y., ZHANG Y.-Y., LI X.-Q. 1965, *Acta Astron. Sin.*, **13**, 66–74.
- ZAPPALÀ V., CELLINO A., FARINELLA P. I MILANI A. 1994, Asteroids families. II. Extension to unnumbered multiopposition asteroids, *Astron. J.*, **107**, 772–785.