

Chaos i porządek w Układzie Słonecznym

Sławomir Stachniewicz, IF PK

1. Determinizm Układu Słonecznego.

Układ Słoneczny jest układem ciał, w którym dominuje **grawitacja**. Oddziaływania innego typu odgrywają drugorzędną rolę. Poprawki Teorii Względności nie grają tu dużej roli, czyli bardzo dobrym przybliżeniem jest **mechanika newtonowska**.

W mechanice newtonowskiej wystarczy znać **dokładne położenia, prędkości i masy** wszystkich ciał, żeby móc odtworzyć ich ruch w przeszłości i przewidzieć ich ruch w przyszłości. Francuski uczony Pierre Simon de Laplace wymyślił hipotetyczną maszynę (tzw. **demon Laplace'a**), która posiadałaby takie umiejętności w zastosowaniu do całego Wszechświata i przy znajomości wszystkich typów oddziaływań. Pogląd tego typu jest przejawem skrajnego **determinizmu**.

2. Chaos deterministyczny.

Istnienie demona Laplace'a jest **niemożliwe**. Jednym z powodów jest tzw. mechanika kwantowa. Drugim jest istnienie błędu pomiarowego i zjawisko tzw. **chaosu deterministycznego**.

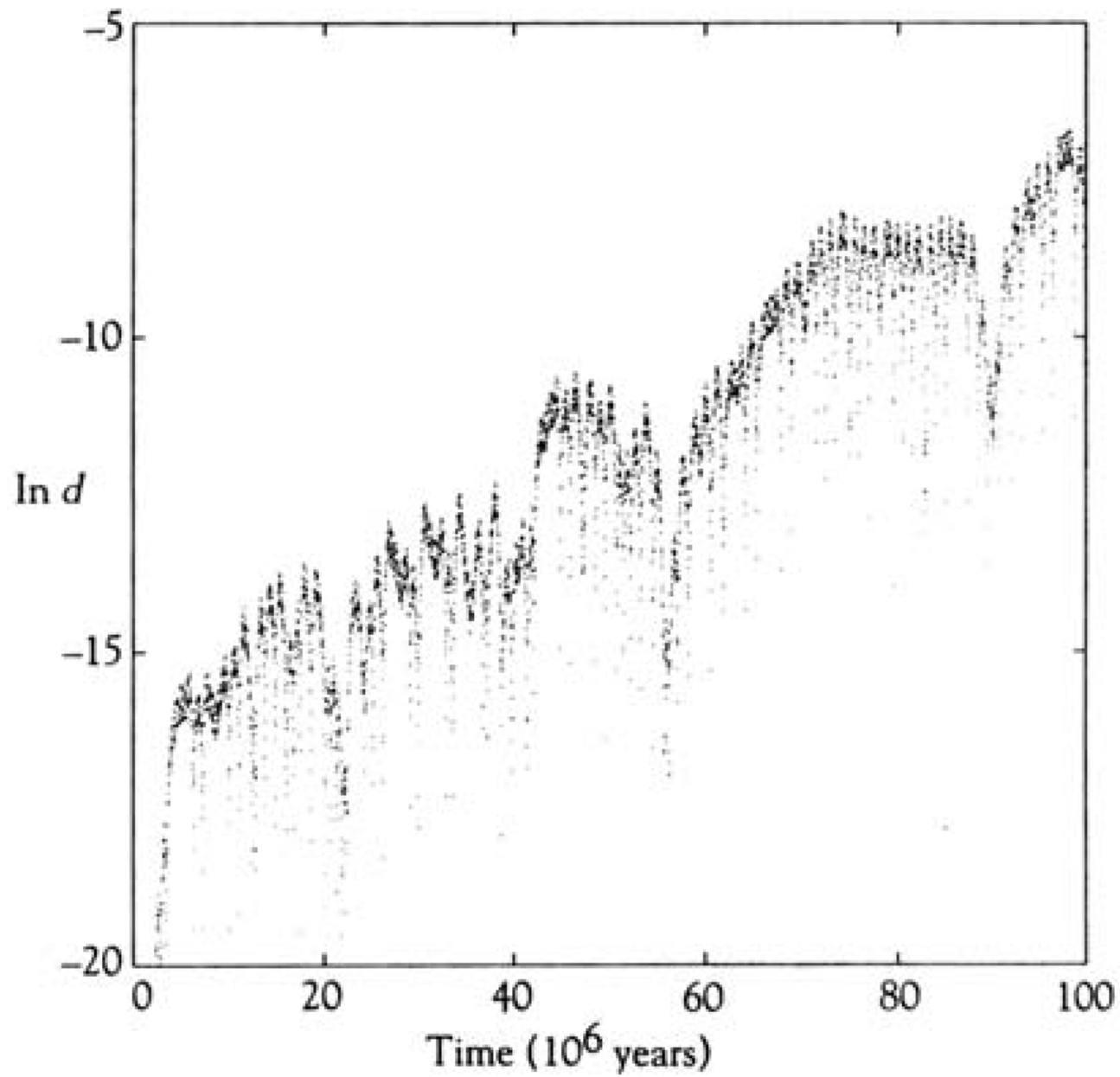
Chaos deterministyczny polega na tym, że w wielu układach teoretycznie w pełni przewidywalnych (np. układach planetarnych) zaburzenia warunków początkowych coraz szybciej narastają. W takich układach

- ⇒ po dostatecznie długim czasie ich stan jest praktycznie nieokreślony
- ⇒ dodatkowe zjawiska, m.in. tzw. **efekt motyla**
- ⇒ przykład: stadion Bunimowicza.

3. Chaos w Układzie Słonecznym.

Układ Słoneczny jest układem wielu ciał, więc mogą w nim zachodzić zjawiska chaotyczne. Obserwacje oraz symulacje komputerowe potwierdzają, że tak jest naprawdę. Niektóre przejawy chaosu:

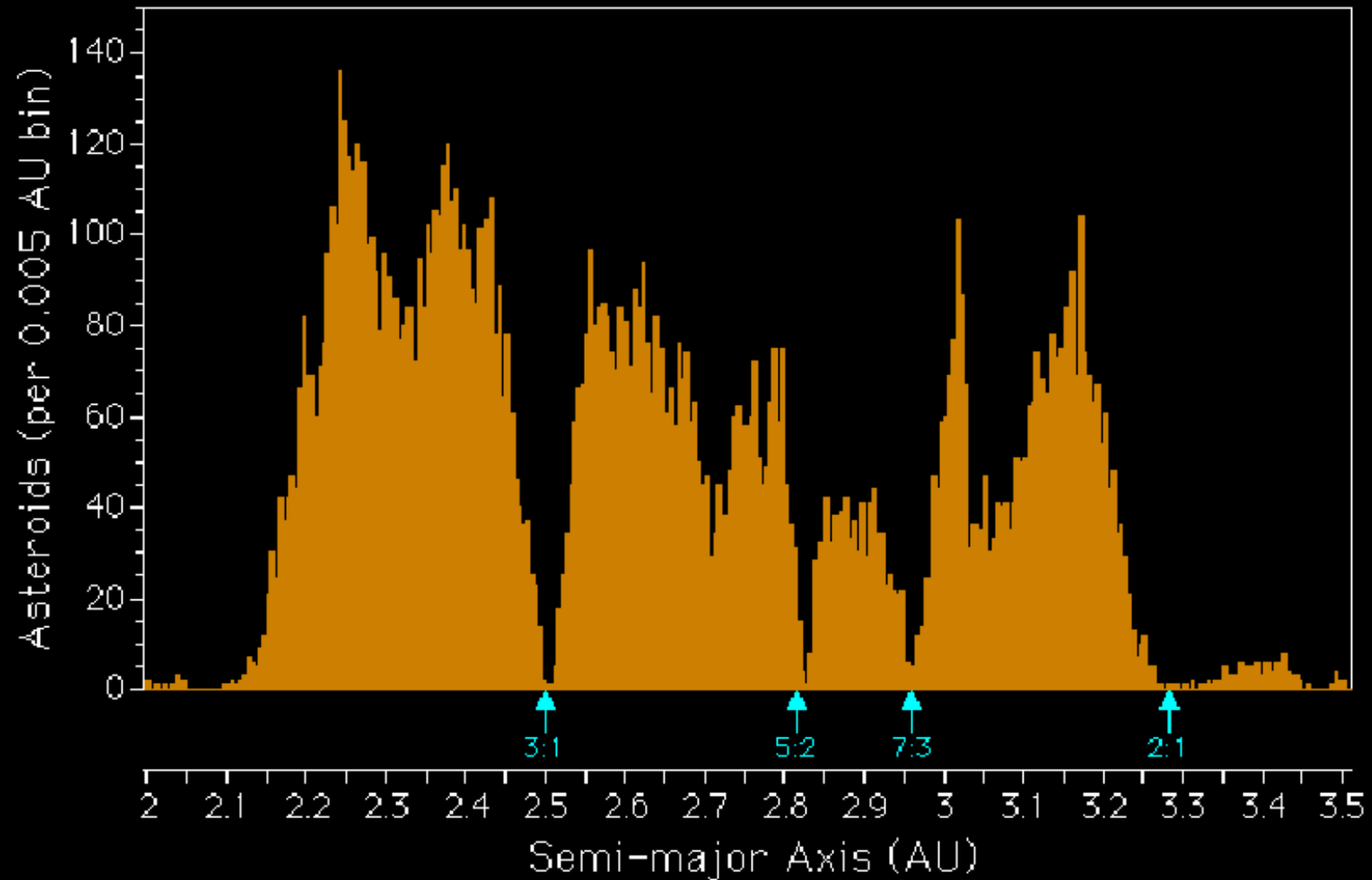
- ⇒ możliwość deformacji orbit planet (w ciągu 5 mld lat orbita Merkurego może się rozciągnąć do orbit Wenus i Ziemi lub skurczyć do wnętrza Słońca, Mars może się zderzyć z Wenus lub być wyrzucony poza Układ)
- ⇒ nierównomierny rozkład planetoid
- ⇒ szczeliny Cassiniego w pierścieniach Saturna



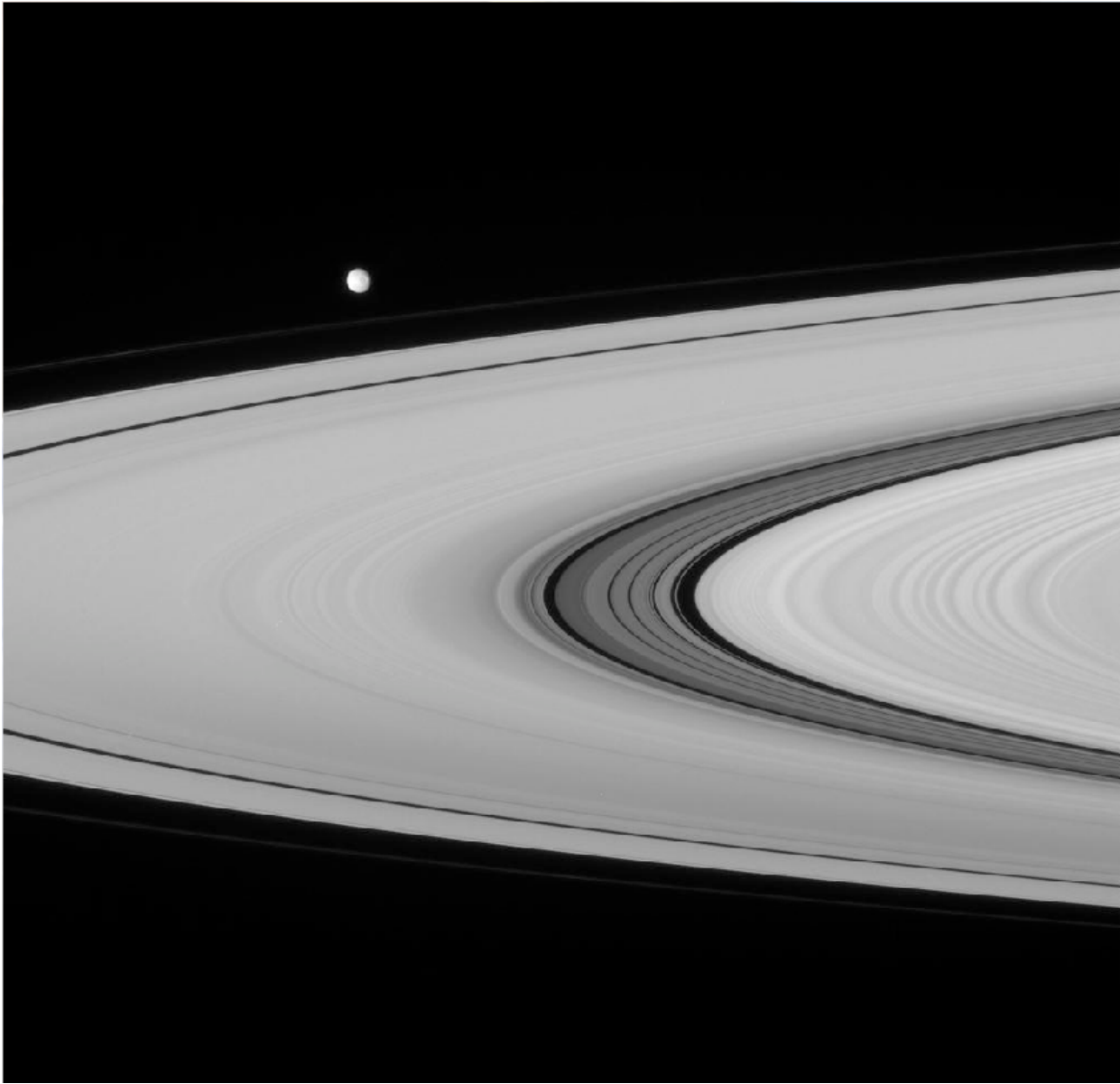
Narastanie zaburzeń w orbicie Plutona

Main Asteroid Belt Distribution

Kirkwood Gaps



Rozkład liczby planetoid - przerwy Kirkwooda



Pierścienie Saturna - szczeliny Cassiniego

4. Zjawiska rezonansowe.

Rezonans to zjawisko znane dla ruchu drgającego. Jeśli pojawi się odpowiednio dobrana siła wymuszająca (jej częstotliwość musi być dostrojona do **częstotliwości drgań własnych układu**), to pojawią się **drżania rezonansowe**. Drżania te mają coraz większą amplitudę i albo osiągną wartość maksymalną, albo mogą nawet zniszczyć układ.

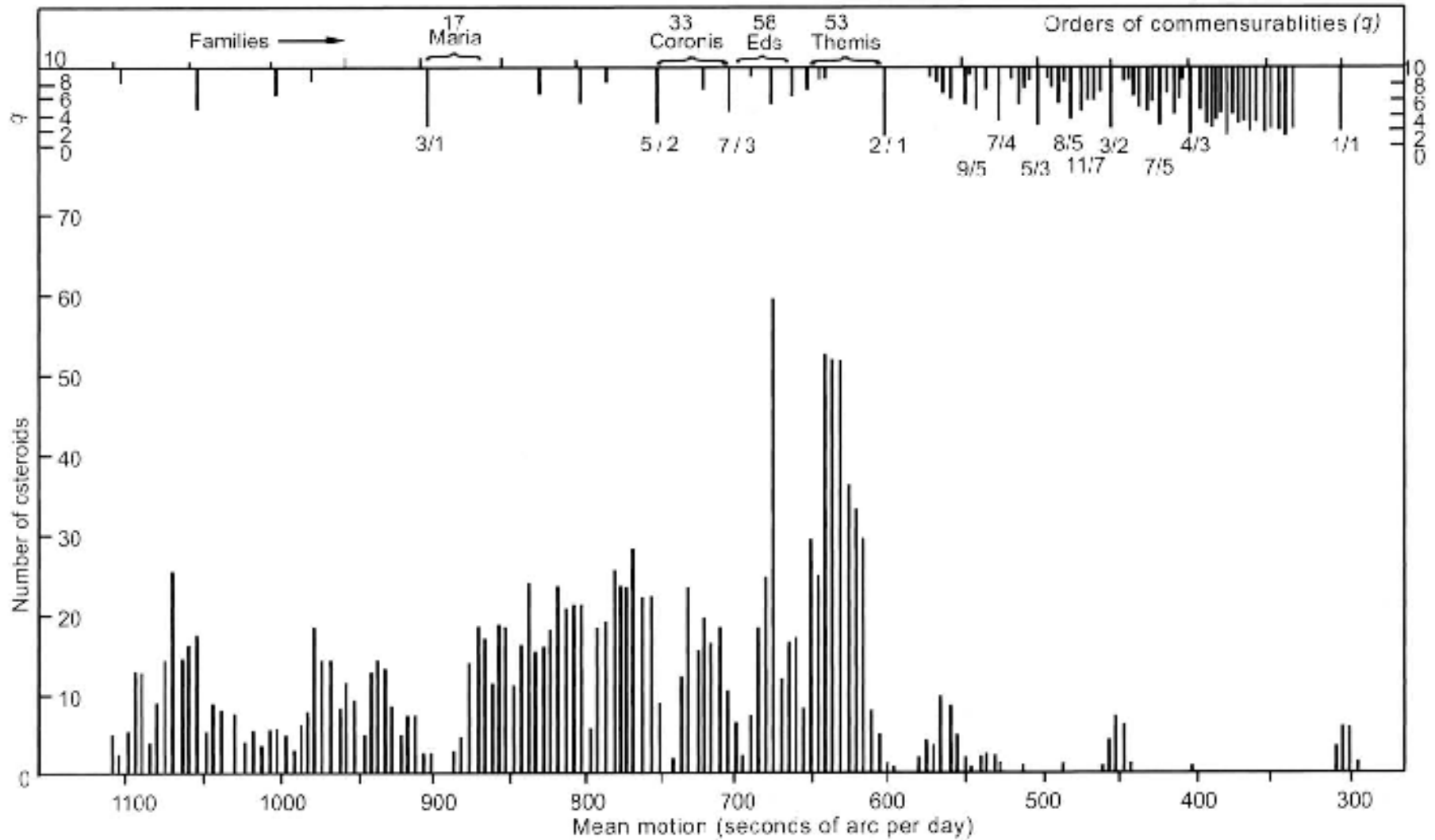
Jednym z najstraszniejszych przykładów drgań rezonansowych jest **katastrofa mostu Tacoma** w mieście Tacoma (stan Washington, pn-zach. USA). Miała miejsce 7 listopada 1940 roku, w 4 miesiące po jego wybudowaniu. Wcześniej ze względu na swe „ciekawe” właściwości był zwany **galopującą Gertie**.

5. Rezonanse w Układzie Słonecznym.

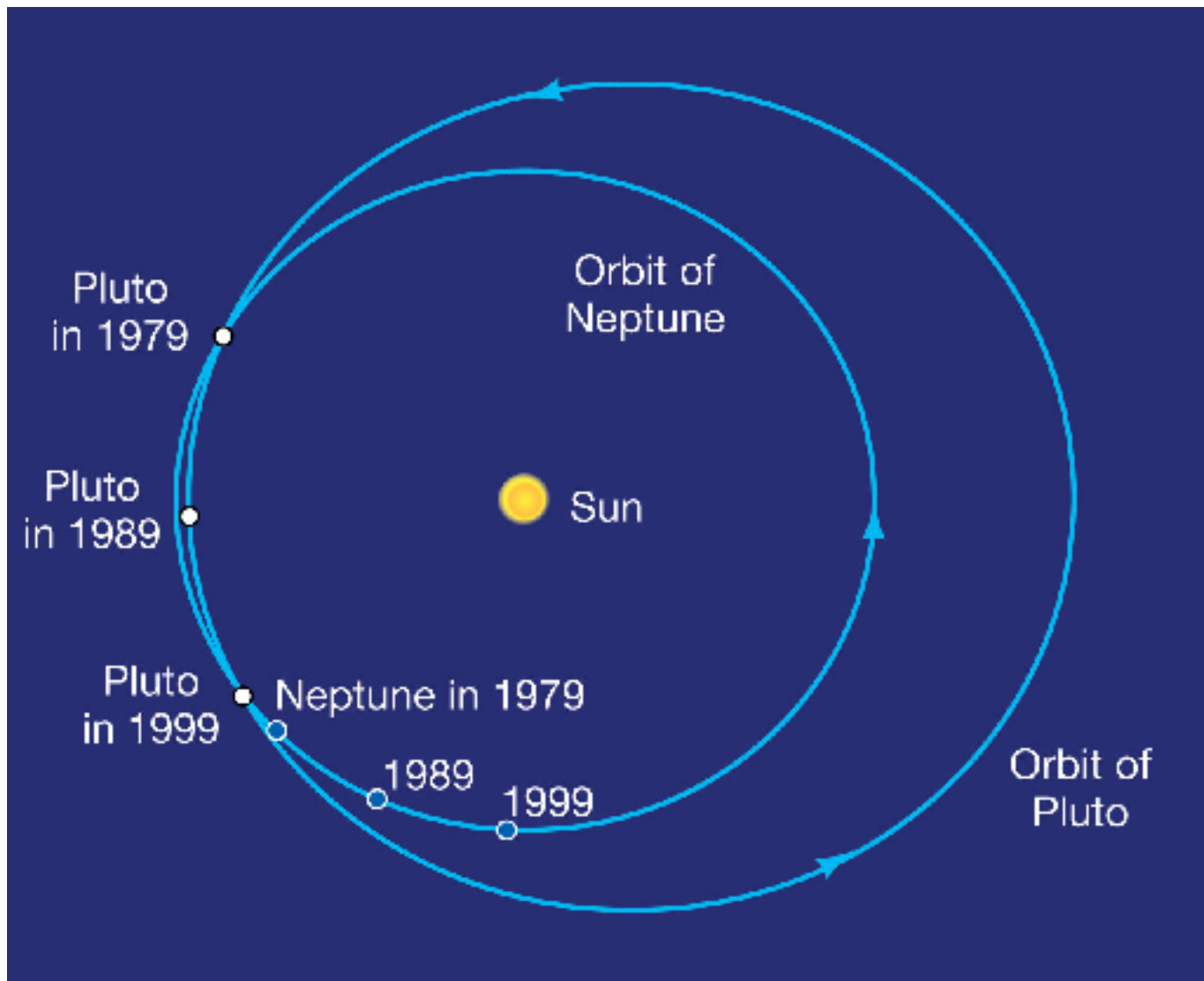
W przypadku ruchów po orbicie też mogą występować rezonanse. Odpowiednio ciężki obiekt może wpływać na ruch pozostałych i w efekcie **niektóre orbity mogą być niestabilne**. Zjawiska te występują głównie wtedy, kiedy **stosunek okresów obiegu tych ciał** wokół ciała centralnego **jest liczbą wymierną**. Przykłady: wspomniane przerwy Kirkwooda w pasie planetoid (Jowisz), szczeliny Cassiniego w pierścieniach Saturna (Mimas).

Niektóre rezonanse mogą być stabilne, na przykład:

- ⇒ Neptun – obiekty z pasa Kuipera (1:2, 2:3)
- ⇒ niektóre księżyce Jowisza
- ⇒ niektóre księżyce Saturna (Tetyda-Mimas, Dione-Enceladus, Hyperion-Tytan).



Rezonanse w pasie planetoid.



Rezonans orbit Neptuna i Plutona (3:2).

6. Reguła Titiusa-Bodego.

W 1766 roku Daniel Titius odkrył pewną regułę, którą 6 lat później opublikował Johann Elert Bode. Od ich nazwisk została nazwana **regułą Titiusa-Bodego**. Według tej hipotezy średnia odległość kolejnych planet od Słońca jest rządzone prostą zależnością:

$$a = 0.4 + 0.3k$$

gdzie k jest liczbą równą kolejno 0, 1, 2, 4, 8 itd. (0 i kolejne potęgi liczby 2).

Name	n	Distance from the Sun (in units of the Earth's distance)	
		By Bode's law	Actual
Mercury	$-\infty$	0.4	0.39
Venus	0	0.7	0.72
Earth	1	1.0	1.00
Mars	2	1.6	1.52
asteroids	3	2.8	2.80
Jupiter	4	5.2	5.20
Saturn	5	10.0	9.54
Uranus	6	19.6	19.20
Neptune	7	38.8	30.07
Pluto	8	77.2	39.46

Reguła Titiusa-Bodego.

Na ile ta reguła jest zgodna z rzeczywistością?

⇒ Dodatkowa planeta w miejscu pasa planetoid

⇒ brak Neptuna (ale jest Pluton)

⇒ przypadek czy związek z rezonansami?

⇒ niektórzy badacze: reguła działa również dla innych układów planetarnych.

7. Czy Układ Słoneczny jest stabilny?

- ⇒ Położenia i orbity planet są chaotyczne
- ⇒ większość orbit prawdopodobnie przetrwa 5 mld lat
- ⇒ niektóre orbity (Merkurego i Marsa) mogą się dramatycznie zmienić
- ⇒ możliwe zderzenia między planetami (np. Merkurego z Wenus)
- ⇒ orbita Plutona wydaje się stabilna