

Mechanika nieba

Marcin Kiraga

18.02.2013 – 05.06.2013

Mechanika nieba

Marcin Kiraga

kiraga@astrouw.edu.pl

- ▶ 30 godzin wykładu + 30 godzin ćwiczeń
- ▶ wykłady: środy, godzina 14:15 (2 godz)
- ▶ ćwiczenia: poniedziałki, godzina 15:15 (2 godz)

Warunki zaliczenia przedmiotu

- ▶ obecność na ćwiczeniach (można mieć dwie nieusprawiedliwione nieobecności)
- ▶ prace domowe (po każdym ćwiczeniu na następne ćwiczenia)
- ▶ kolokwium (po 7 lub 8 ćwiczeniach)
- ▶ egzamin pisemny i ustny

Plan wykładu

Mechanika Układu Słonecznego i układów planetarnych

- ▶ Krótki wstęp historyczny
- ▶ Opis Układu Słonecznego i podstawowe własności innych układów planetarnych
- ▶ Zagadnienie dwóch ciał z zastosowaniami
- ▶ Wyznaczanie pozycji ciał na podstawie znajomości elementów orbity
- ▶ Wyznaczanie elementów orbity na podstawie trzech obserwacji
- ▶ Wyznaczanie orbity gwiazd w układach podwójnych
- ▶ Perturbacje ogólne
- ▶ Ograniczone zagadnienie trzech ciał
- ▶ Efekty relatywistyczne, przyptywowe i niegrawitacyjne obserwowane dla obiektów Układu Słonecznego.

Plan wykładu c. d.

Dynamika gwiazdowa

- ▶ Dane obserwacyjne dotyczące budowy Galaktyki i innych układów gwiazdowych
- ▶ Orbits gwiazd w zadanych potencjałach
- ▶ Funkcja rozkładu gwiazd
- ▶ Równanie Boltzmana i równania Jeansa
- ▶ Zderzenia i czas relaksacji
- ▶ Przykłady modeli stacjonarnych (sferycznie i osiowoosymetrycznych)
- ▶ Fale gęstości i ramiona spiralne galaktyk

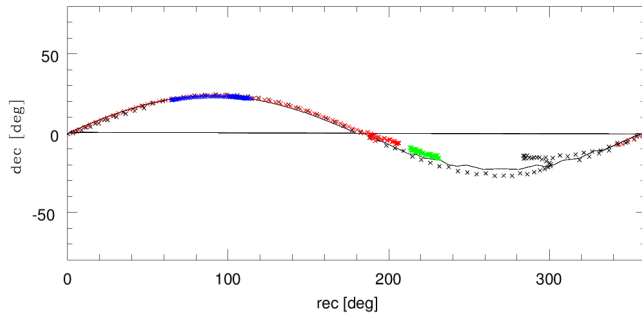
Literatura

- ▶ Stefan Wierziński, “Mechanika nieba”, PWN, Warszawa 1973
- ▶ Forest R. Moulton, “An introduction to celestial mechanics”, The MacMilan Company 1914 (wciąż wydawana)
- ▶ Paweł Artymowicz, “Astrofizyka układów planetarnych”, PWN, Warszawa 1995
- ▶ Michał Jaroszyński, “Galaktyki i budowa Wszechświata”, PWN, Warszawa 1993
- ▶ James Binney, Scot Tremaine, “Galactic dynamics”, Princeton University Press 198

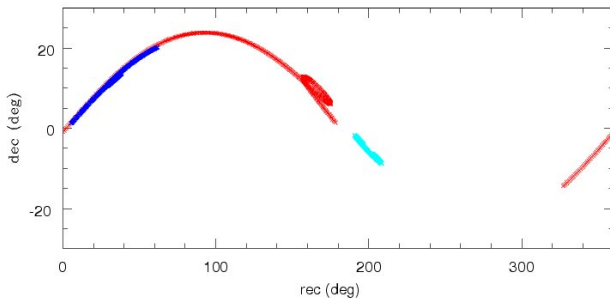
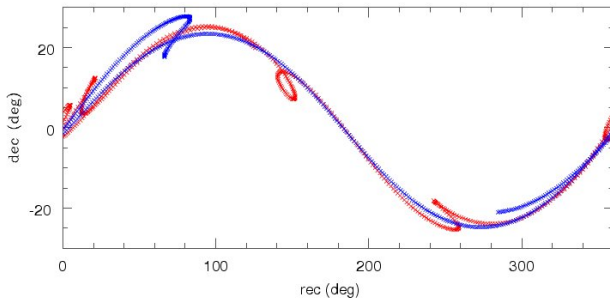
Niektóre obserwacje starożytnych

- ▶ Obserwacje Księżyca: zmiana faz, zmiana położenia.
- ▶ Stwierdzenie rocznego ruchu Słońca na niebie, określenie długości trwania roku i astronomicznych pór roku (na półkuli północnej najdłuższe lato a najkrótsza zima).
- ▶ Odkrycie i obserwacje planet: Merkury , Wenus (planety wewnętrzne), Mars, Jowisz, Saturn (planety zewnętrzne).
- ▶ Stwierdzenie ruchu węzłów orbity Księżyca (o okresie 18.3 lat).
- ▶ Obserwacje i przewidywanie zaćmień Słońca i Księżyca.
- ▶ Precesja (cofanie położenia punktu Barana na ekliptyce).

Obserwacje planet



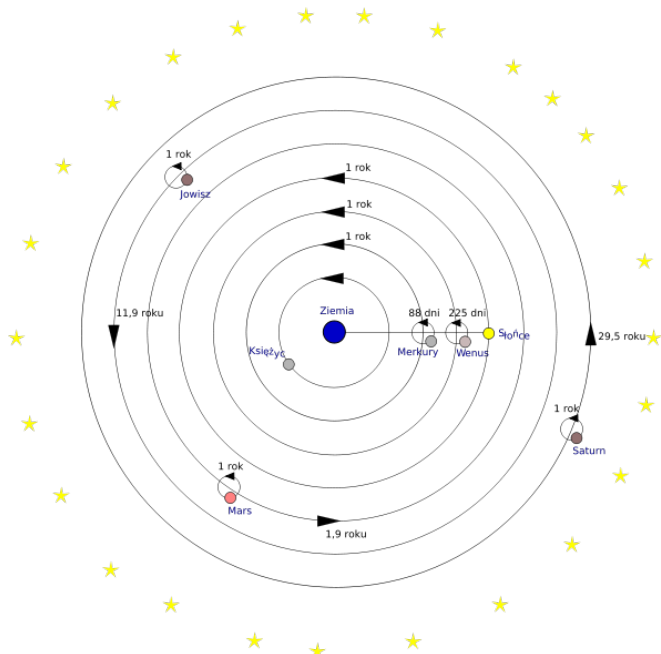
Obserwacje planet



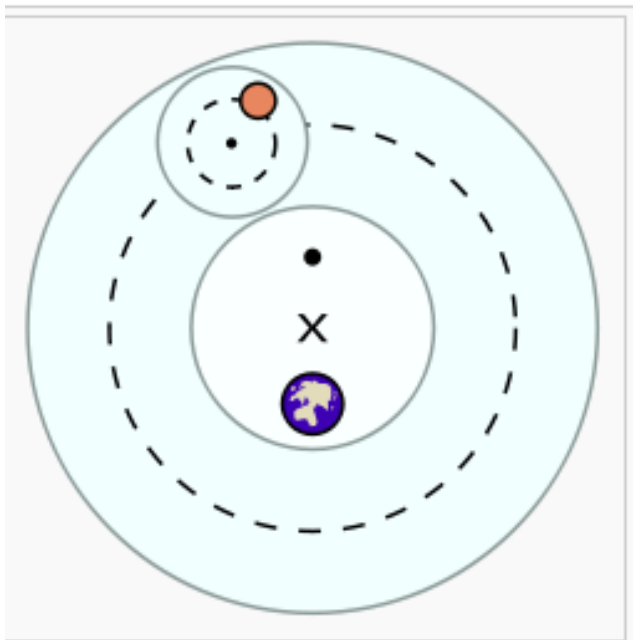
Modele geometryczne Układu Słonecznego

- ▶ Model geocentryczny: Ziemia, Księżyc, Merkury, Wenus, Słońce, Mars, Jowisz, Saturn. Słońce i planet poruszają się względem nieruchomej Ziemi. W opisie ruchu planet występują defrenty, epicykle i ekwanty.
- ▶ Model heliocentryczny: Słońce, Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn. Ruch planet wokół Słońca jest wykonywany po okręgach, aby uzgodnić model z obserwacjami konieczne było zachowanie epicykli.
- ▶ Model Tychona de Brahe: Ziemia, Księżyc, Słońce wokół którego poruszają się pozostałe planety.

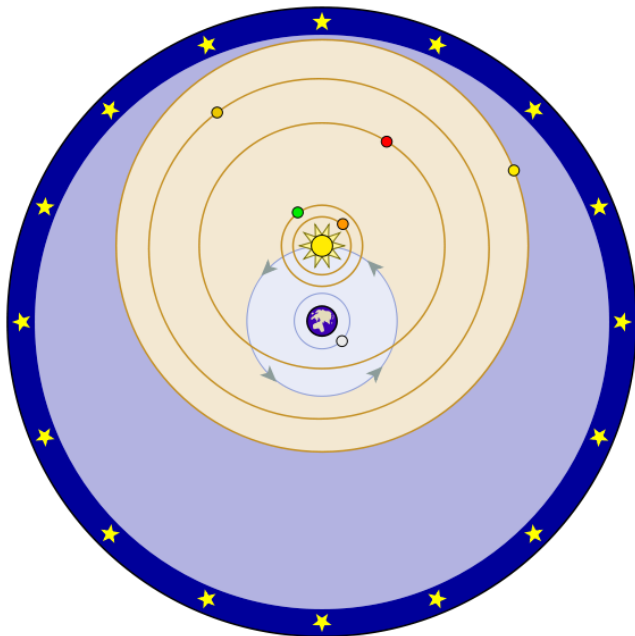
Model geocentryczny



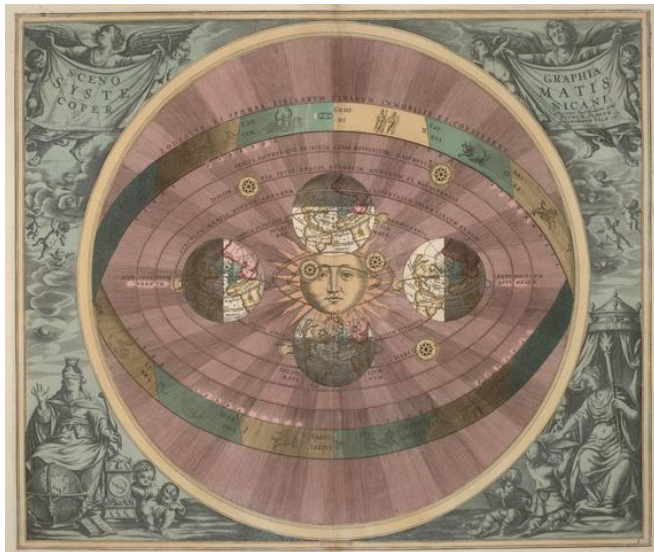
Model geocentryczny - ekwant



Model Tychona



Model heliocentryczny



Prawa Keplera

Na podstawie obserwacji zgromadzonych przez Tycho Brache (głównie obserwacji Marsa) Johanes Kepler sformułował i opublikował w latach 1609 (Astronomia nova) i 1619 (Harmonices Mundi) trzy prawa opisujące ruch planet.

- ▶ I - Planety poruszają się po orbitach eliptycznych. Ruch planety odbywa się w jednej płaszczyźnie a Słońce znajduje się w jednym z ognisk elipsy
- ▶ II - Prędkość polowa planety w jej ruchu orbitalnym względem Słońca jest stała.
- ▶ III - Stosunek trzeciej potęgi rozmiarów wielkiej półosi orbity do kwadratu okresu orbitalnego jest stały

Prawa dynamiki Newtona

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687)

- ▶ I - Jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym
- ▶ II - Jeżeli na ciało działa siła, to porusza się ono z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do tej siły i odwrotnie proporcjonalnym do swojej masy.
- ▶ III - Jeżeli jedno ciało działa na drugie określoną siłą, to drugie działa na pierwsze siłą tą samą co do wartości lecz zwróconą przeciwnie. Punkty przyłożenia sił są różne

Prawo powszechnego ciążenia

- ▶ Z zastosowania wzoru Bineta do orbity eliptycznej wynika, że siła działająca na planety powinna być proporcjonalna do $1/r^2$.
- ▶ Każde dwa ciał obdarzone masą przyciągają się siłą grawitacji o wartości proporcjonalnej do iloczynu ich mas, a odwrotnie proporcjonalnej do kwadratu odległości między nimi.

Niektóre zastosowania mechniki Newtona

- ▶ Wyjaśnienie rucho planet, komet, księżyców.
- ▶ Określenie przewidywanego spłaszczenia Ziemi wynikającego z jej rotacji.
- ▶ Wyjaśnienie precesji księżycowo - słonecznej.
- ▶ Wyznaczenie względnych mas Słońca i planet posiadających księżyce.
- ▶ Wyznaczanie perturbacji ruchu planet ..

Niektóre ważne obserwacje

- ▶ Odkrycie księżyców Jowisza
- ▶ Stwierdzenie istnienia faz Wenus zarówno “wkłęsłych” jak i “wypukłych”
- ▶ Stwierdzenie, że kometa Halley’a jest okresowa
- ▶ Odkrycie Urana przez Williama Herschela (1781)
- ▶ Odkrycie pierwszej planetoidy (Ceres; Giuseppe Piazzi 1801)
- ▶ Odkrycie Neptuna (1846, J Galle) w wyniku poszukiwań planety odpowiedzialnej za perturbacje Urana, które powodowały niezgodność między jego obserwowanymi a przewidywanymi położeniami

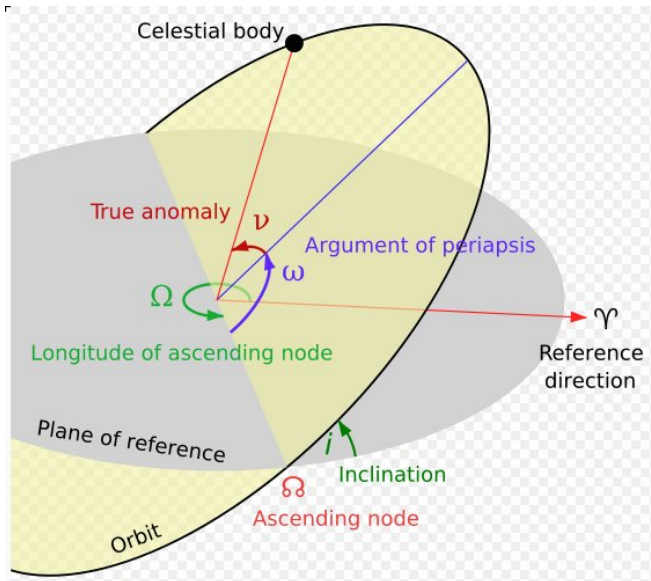
Niektóre ważne obserwacje c. d.

- ▶ 1908 - katastrofa tunguzka spowodowana upadkiem niewielkiej planetoidy lub komety
- ▶ 1930 - odkrycie Plutona
- ▶ 1977 - odkrycie Chirona
- ▶ 1978 - odkrycie księżycy Plutona - Charona (pomiar masy Plutona)
- ▶ 1992 - odkrycie drugiego po Plutonie obiektu Pasa Kuipera
- ▶ 2003 - odkrycie Eris i Sedny

Główne obiekty Układu Słonecznego

- ▶ **Słońce**
- ▶ **Planety i ich księżyce (w nawiasie podane są nazwy księżyców o rozmiarach większych od Plutona)**
- ▶ Merkury
- ▶ Wenus
- ▶ Ziemia (Księżyc)
- ▶ Mars
- ▶ Jowisz (Io, Europa, Ganimedes, Kalisto)
- ▶ Saturn (Tytan)
- ▶ Uran
- ▶ Neptun (Tryton)

Elementy orbity



Elementy orbit planet Układu Słonecznego

Planetary Mean Orbits (J2000)
(epoch = J2000 = 2000 January 1.5)
([see the table of rates below](#))

Planet (mean)	a AU	e	i deg	Omega deg	~omega deg	L deg
Mercury	0.38709893	0.20563069	7.00487	48.33167	77.45645	252.25084
Venus	0.72333199	0.00677323	3.39471	76.68069	131.53298	181.97973
Earth	1.00000011	0.01671022	0.00005	-11.26064	102.94719	100.46435
Mars	1.52366231	0.09341233	1.85061	49.57854	336.04084	355.45332
Jupiter	5.20336301	0.04839266	1.30530	100.55615	14.75385	34.40438
Saturn	9.53707032	0.05415060	2.48446	113.71504	92.43194	49.94432
Uranus	19.19126393	0.04716771	0.76986	74.22988	170.96424	313.23218
Neptune	30.06896348	0.00858587	1.76917	131.72169	44.97135	304.88003
Pluto	39.48168677	0.24880766	17.14175	110.30347	224.06676	238.92881

Małe obiekty Układu Słonecznego

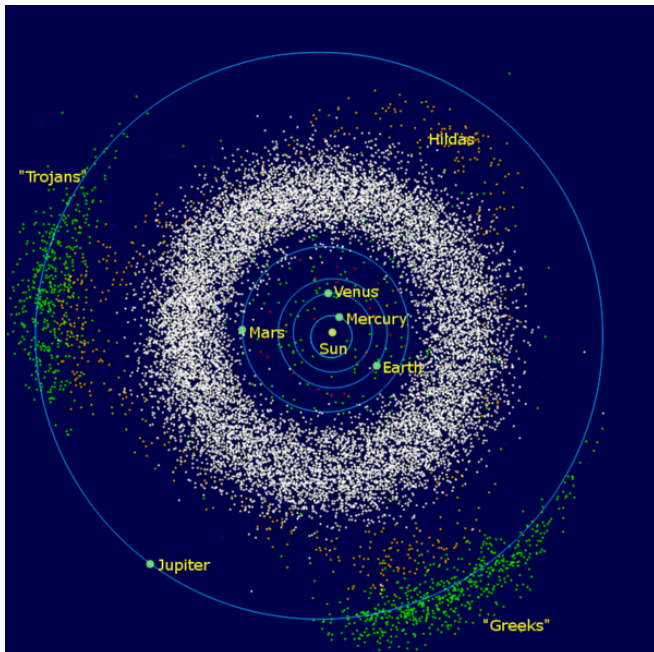
27.01.2013 - znanych 604344 planetoid (z tego 353926 miało przypisany numer, a 17698 nazwę)

- ▶ Główny Pas Planetoid - pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza
- ▶ Pas Kuipera - poza orbitą Neptuna (40-50 AU)
- ▶ Kometarny Obłok Oorta - złożony z jąder kometarnych wyrzuconych na peryferia Układu Słonecznego w czasie jego powstawania lub reorganizacji

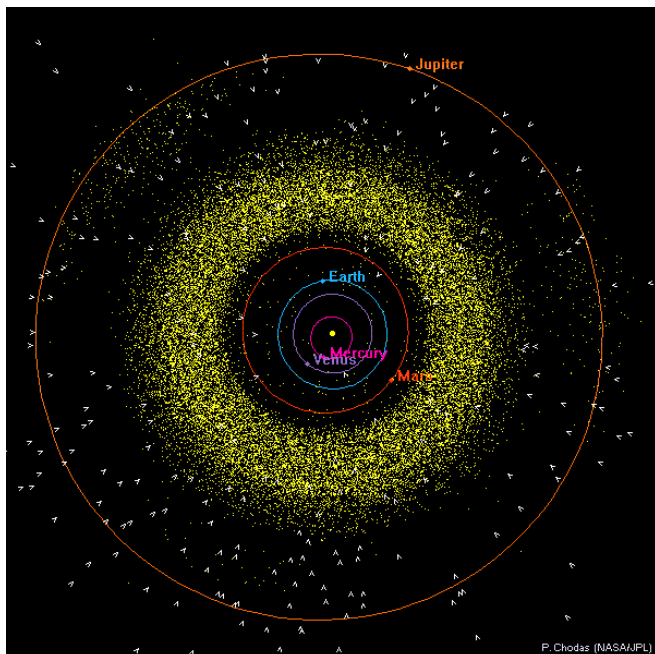
Obiekty rozproszone i na niestabilnych orbitach

- ▶ Planetoidy bliskie Ziemi
- ▶ Planetoidy przecinające orbitę Marsa
- ▶ Centaury - przecinające orbity wielkich planet
- ▶ rozproszony dysk związany z Pasem Kuipera
- ▶ komety - jądra kometarne pochodzące z Obłoku Oorta skierowane na orbity bliskie Słońcu

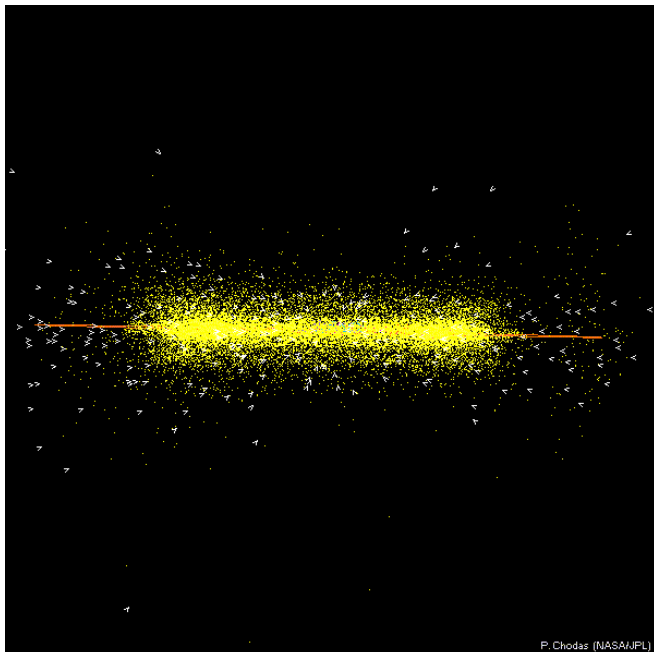
Wewnętrzna część układu planetarnego



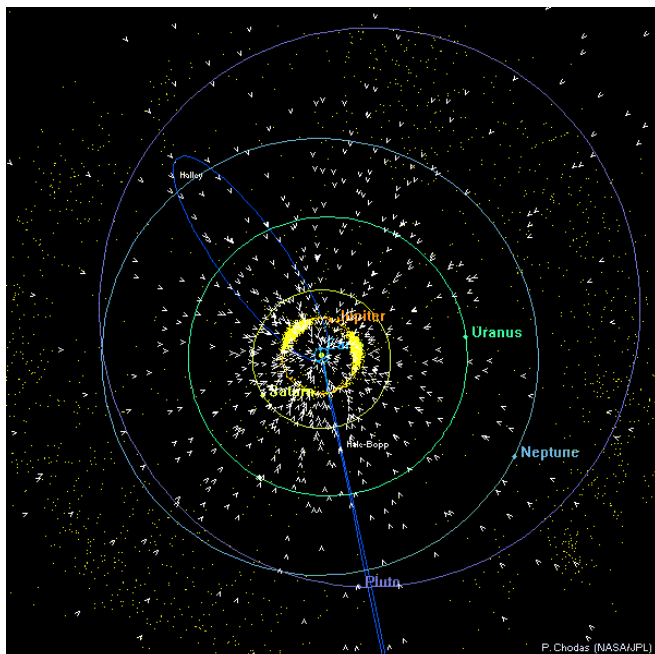
Wewnętrzna część układu planetarnego



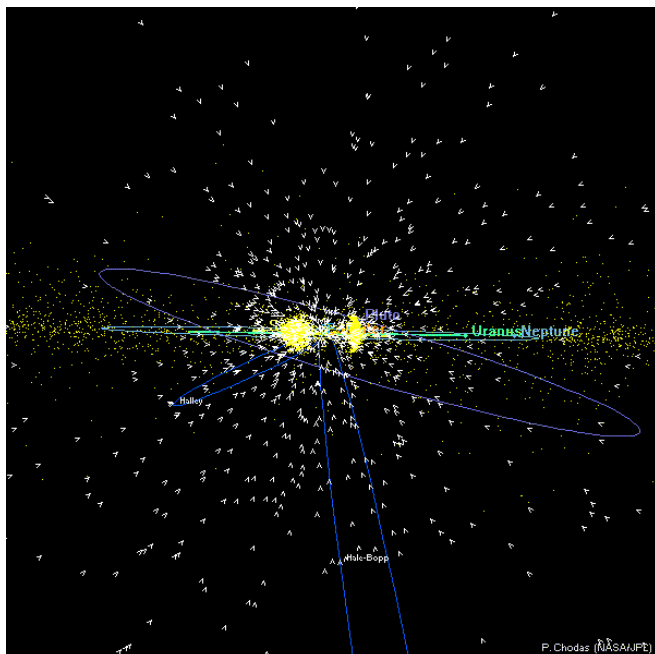
Wewnętrzna część układu planetarnego



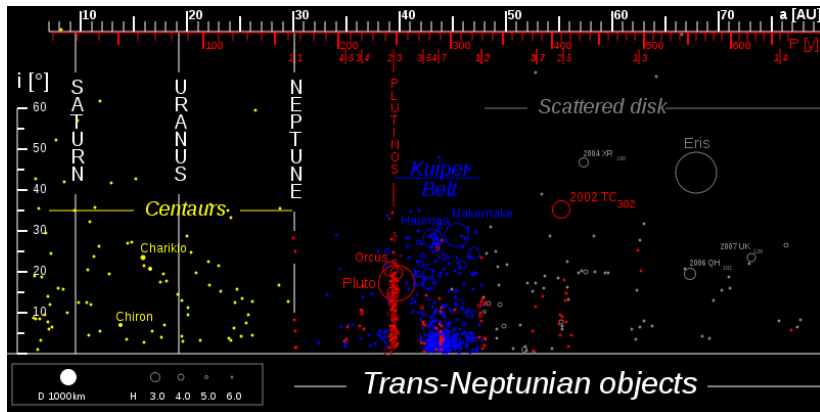
Zewnętrzna część układu planetarnego



Zewnętrzna część układu planetarnego



Zewnętrzna część układu planetarnego



Największe obiekty Pasa Kuipera

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



Eris



Pluto



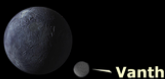
Makemake



Haumea



Sedna



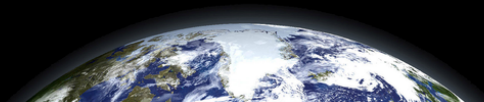
Orcus



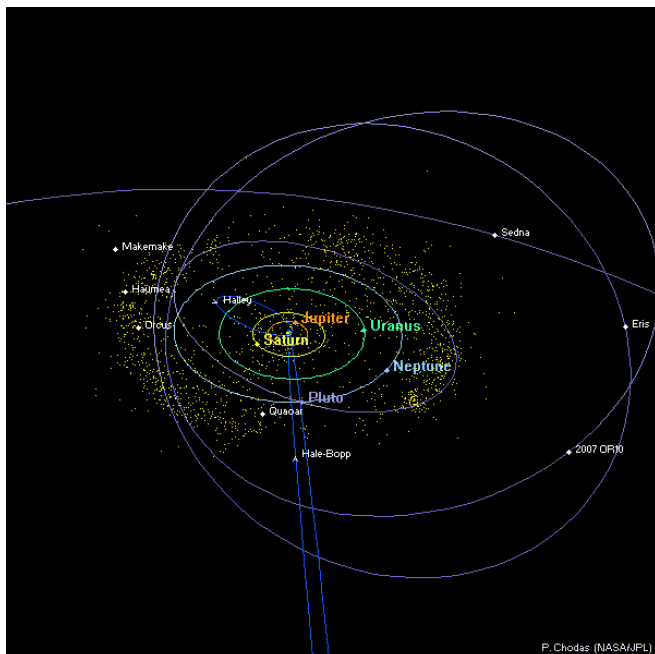
2007 OR₁₀



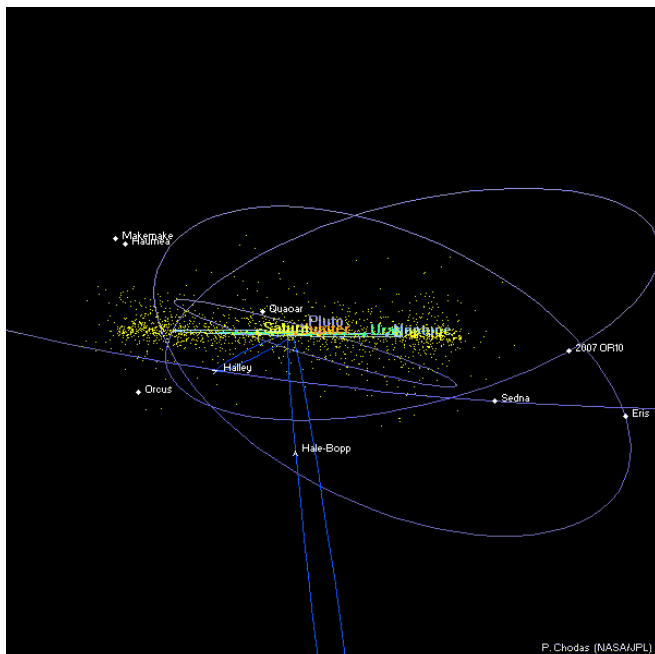
Quaoar



Obiekty poza Pasem Kuipera



Obiekty poza Pasem Kuipera



Małe obiekty Układu Słonecznego

27.01.2013 - znanych 604344 planetoid (z tego 353926 miało przypisany numer, a 17698 nazwę)

Obiekty o ciekawych własnościach stan na 19 II 2013 według MPC

Typy planetoid bliskich Ziemi ze względu na własności orbity (9636 obiektów, 1269 większych niż 1km)

- ▶ Ateny ($a < 1$ AU, 766 obiektów: 747 klasyczne i 19 o $Q < 0.983$ AU)
- ▶ Apolla ($a > 1$ AU, $q < 1.017$ AU, 4817 obiektów)
- ▶ Amora (1.0 AU $< q < 1.3$ AU, 4053 obiekty)

Planetoidy potencjalnie niebezpieczne

Odległość pomiędzy orbitami planetoidy i Ziemi mniejsza niż 0.05 AU i $H < 22.5$ mag (rozmiar powyżej 100 m) - 1378 obiektów.

Główny pas planetoid i jego sąsiedztwo

Pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza znajduje się Główny Pas Planetoid. Dynamicznie podzielony jest na części przez przerwy Kirkwooda odpowiadające głównym rezonansom orbitalnym z Jowiszem.

- ▶ Rodzina Hungarii (a 1.78 - 2.00 AU, wewnątrz 4:1 rezonansu z Jowiszem, istotne perturbacje ze strony Marsa, dość małe mimośrodory orbit ale duże nachylenia orbít do płaszczyzny ekliptyki, 11892)
- ▶ Planetoidy przecinające orbitę Marsa: 9117
- ▶ Główny pas planetoid: 580019 obiekty
- ▶ Rodzina Hildy - planetoidy znajdujące się w rezonansie orbitalnym z Jowiszem (2:3)

Trojanie

Obecnie znanych jest szereg planetoid związanych z punktami Lagrange'a układu Słońce - planeta.

- ▶ Ziemia - 1 obiekt 2010 TK7 (L4)
- ▶ Mars - 3 obiekty (1 wokół L4 i 2 wokół L5)
- ▶ Jowisz - 3656 (L4) i 2010 (L5)
- ▶ Neptun - 6 (L4) i 3 (L5)

Obiekty Pasa Kuipera

Poza orbitą Neptuna znajduje się obszar w którym znajdują się skalno-lodowe obiekty. Obecnie znamy ich ponad 1100. Część z nich na skutek zaburzeń głównie ze strony Neptuna została skierowana na orbity niestabilne przecinające się z orbitami wielkich planet (Centaury), a część znajduje się na orbitach o dużych mimośrodkach i dużym nachyleniu względem ekliptyki (dysk rozproszony).

- ▶ Centaury - obiekty o wielkich półosiach orbity, których rozmiary zawierają się pomiędzy 5.2 a 30 AU (pomiędzy rozmiarami wielkiej półosi Jowisza i wielkiej półosi Neptuna, znanych 368 obiektów)
- ▶ Plutina - planetoidy będące w rezonansie orbitalnym 2:3 z Neptunem (245 obiektów)
- ▶ Klasyczne obiekty Pasa Kuipera (897) obiekty znajdujące się pomiędzy 2:3 a 1:2 rezonansami orbitalnymi z Neptunem.

Komety



Komety

- ▶ Skalno - lodowe bryły, które na skutek ogrzewania otaczają się gazowo - pyłową otoczką (głowa komety).
- ▶ Ich orbity najczęściej mają znaczne mimośrod.
- ▶ Aktywność kometarna jest stosunkowo krótka, więc muszą być uzupełniane (dotyczy to zwłaszcza komet krótkookresowych $P < 200$ lat)
- ▶ Komety jednopojawieniowe i długookresowe mają najczęściej losowe nachylenia płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki.
- ▶ Orbity komet mogą podlegać silnym zaburzeniom ze strony planet (zwłaszcza Jowisza) - niektóre mogą zostać wyrzucone z Układu Słonecznego.

Komety muskające Słońce

Najliczniejsza grupa odkrywanych komet, których peryhelium znajduje się bardzo blisko powierzchni Słońca.

- ▶ Grupa Kreutz'a - należy do niej 87% komet muskających Słońce. Komety tej grupy powstały na skutek rozpadu dużego jądra kometarnego. Większość z nich to obiekty bardzo drobne, które odparowują w pobliżu powierzchni Słońca, ale należą do niej również bardzo jasne komety (1843, 1882, Ikeya-Seki 1965, Lovjoy 2012). Okres orbitalny kilkaset lat, $i = 144^\circ$.
- ▶ Pozostałe komety należą do grup Krachta, Mardsena i Meyera lub komet sporadycznych.

Planety pozasłoneczne

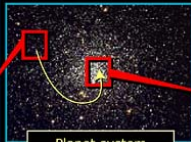
- ▶ Pierwszy pozasłoneczny układ planetarny został odkryty wokół pulsara PSR B1257+12 (Wolszczan i Frail 1992). Dwie główne planety o masach 4.3 i $3.9 M_Z$ poruszają się po orbitach o okresach 66.54 i 98.21 dni, trzecia o masie Księżyca ma okres orbitalny 25.26 d.
- ▶ 51 Peg b - pierwsza planeta wokół normalnej gwiazdy. $M_{\text{sin}} = 0.47 M_J$, $P = 4.23$ d. (Mayor i Queloz 1995)
- ▶ Układy planetarne wielokrotne wokół normalnych gwiazd: (7 planet - HD 10180; 6 planet: Kepler 11; 5 planet - 55 Cnc, Kepler 20, Kepler 33; 4 planety Gl 876, Gl 581, ups And)
- ▶ Planety wokół układów podwójnych (orbity typu P: PSR B1620-26 b; HW Vir b, c, DP Leo, NN Ser, Kepler 16 b ..) i w układach podwójnych (orbity typu S, np. α Cen Bb)
- ▶ Encyklopedia planet pozasłonecznych podaje dane dla 861 planet, które znajdują się w 677 systemach planetarnych (128 wielokrotnych)
- ▶ 2740 kandydatów na planety w danych satelity Kepler.

Układ pulsara PSR B1620-26

Jovian planet in Globular Cluster M4: Calm bystander in stellar drama

Jovian planet forms around Sun-like star in outskirts of M4 13 billion years ago.

Jovian planet
(2.5 Jupiter masses)



Planet system
travels to core of
Globular Cluster M4

Star passes through M4's core and is drawn toward a neutron star and its companion.



Slowly spinning neutron star captures star and planet; its original partner is ejected into space.



Sun-like star swells to a red giant, spilling matter onto neutron star.



Material from
red giant
transfers to
neutron star.

Neutron star "spins up," becoming a pulsar that spins 100 times a second (PSR B1620-26). Red giant becomes a helium white dwarf.



Jovian planet continues to orbit, relatively undisturbed, around new binary system.



Pulsar
B1620-26 White dwarf

Strony zawierające dane o obiektach Układu Słonecznego

<http://www.minorplanetcenter.net/>

<http://ssd.jpl.nasa.gov/>

Encyklopedia planet pozasłonecznych

<http://exoplanet.eu/>