

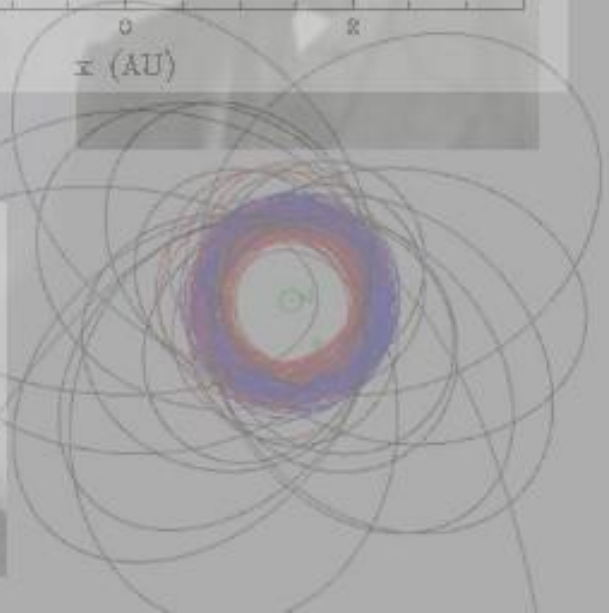
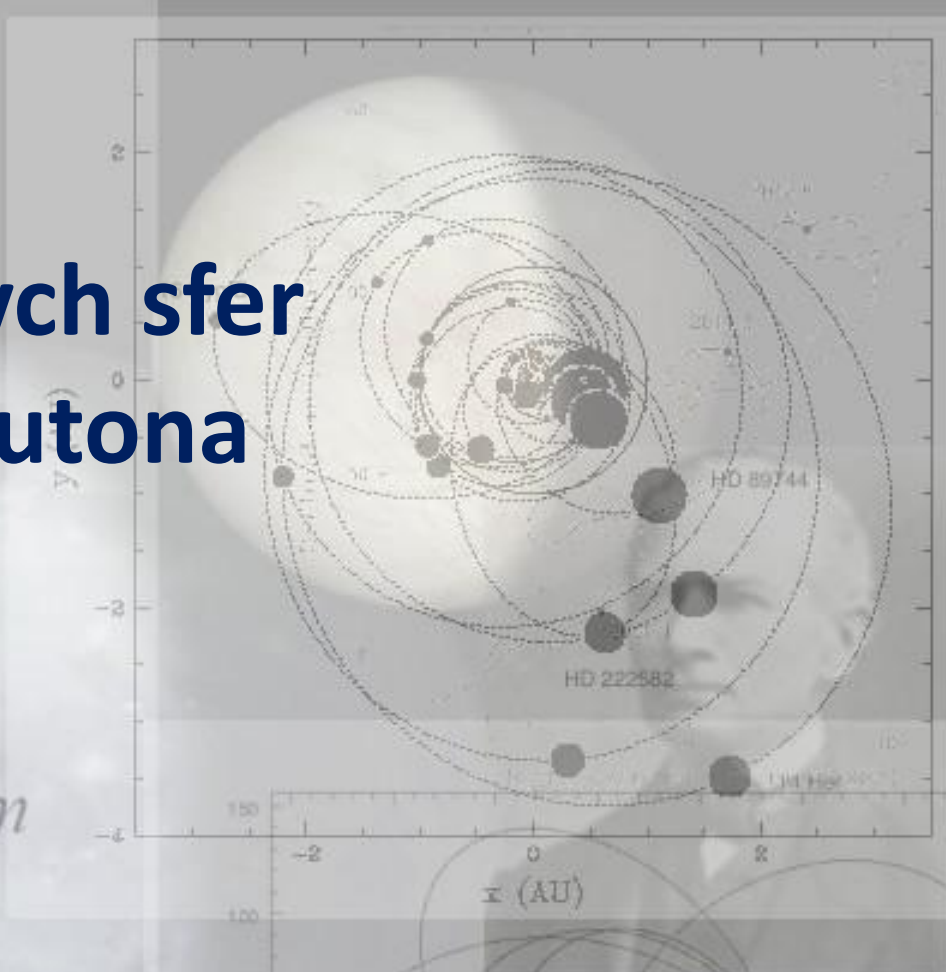
$$M \frac{\delta u}{\delta t} = -v_e \frac{\delta m}{\delta t}$$

$$\frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{v_e}{M} \frac{\delta m}{\delta t}$$

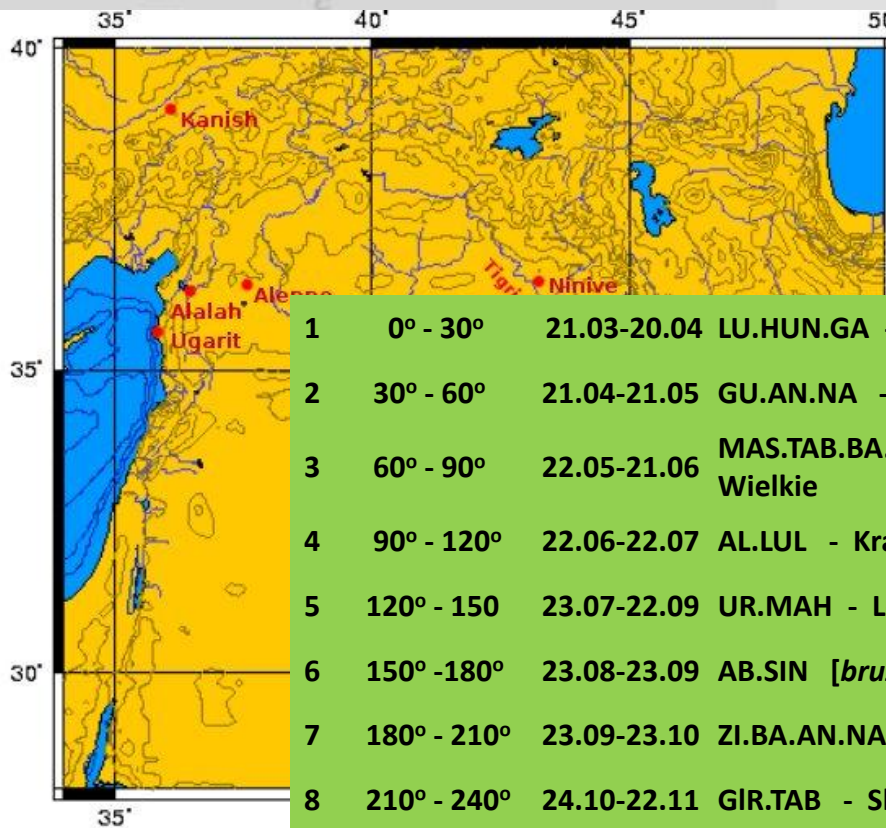
$$\frac{\delta u}{\delta t} dt = du$$

$$-\frac{v_e}{M} \frac{\delta m}{\delta t} dt = -v_e \frac{1}{M} dm$$

Od kryształowych sfer do upadku Plutona



Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



1	0° - 30°	21.03-20.04	LU.HUN.GA - Najemnik	Aries	Baran
2	30° - 60°	21.04-21.05	GU.AN.NA - Byk Niebios	Taurus	Byk
3	60° - 90°	22.05-21.06	MAS.TAB.BA.GAL.GAL/TUR.TUR - Bliźnięta Małe i Wielkie	Gemini	Bliźnięta
4	90° - 120°	22.06-22.07	AL.LUL - Krab	Kancer	Rak
5	120° - 150°	23.07-22.09	UR.MAH - Lew (Regulusa zwano Królem)	Leo	Lew
6	150° - 180°	23.08-23.09	AB.SIN [bruzda] - Kłós	Virgo	Panna
7	180° - 210°	23.09-23.10	ZI.BA.AN.NA - Waga	Libra	Waga
8	210° - 240°	24.10-22.11	GIR.TAB - Skorpion	Scorpius	Skorpion
9	240° - 270°	23.11-21.12	PA.BIL.SAG. - Strzelec	Sagittarius	Strzelec
10	270° - 300°	22.12-20.01	SUHUR.MAS. - Koziorożec	Capricornus	Koziorożec
11	300° - 330°	21.01-20.02	GULA - Wodnik	Aquaeius	Wodnik
12	330° - 360°	21.02-20.03	PSC - Ryby	Pisces	Ryby

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Tales z Miletu (627 – 540 p.n.e.) jako pierwszy (?) podaje „niemitologiczny” obraz Świata.

Ziemia jest płaską płytą pływającą po ogromnym oceanie.

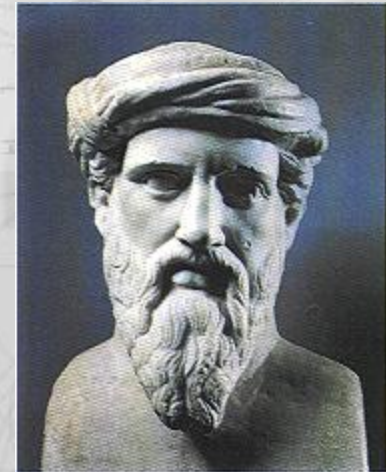
Sklepienie niebieskie (a z nim Słońce, Księżyc, planety i gwiazdy) obraca się dookoła niej przechodząc przez podziemny ocean.

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem

Pitagorejczycy stwierdzili kulistość Ziemi, choć nie wiemy czy na podstawie obserwacji zaćmień Księżyca, czy też ze względu na to, że kształt kulisty uważali za najdoskonalszy.

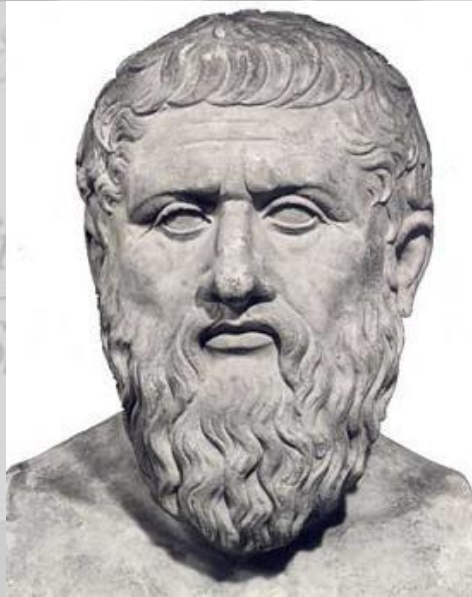
Ich model budowy Świata przetrwał w zarysie aż do czasów kopernikańskich:

1. Ziemia tkwi nieruchomo w środku Wszechświata
2. Dookoła krąży siedem sfer z przymocowanymi planetami.
3. Całość zamknięta jest wewnątrz ósmej sfery, do której przymocowane są gwiazdy.
4. Odległości między sferami spełniają określone stosunki arytmetyczne (tak jak interwały muzyczne – muzyka sfer)



Pitagoras (572 – 497 p.n.e.)

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Platon 427 – 347 p.n.e.

„Przyroda jest zniekształconym i niepełnym odbiciem świata materialnego” – poważne konsekwencje na następne stulecia: poszukiwanie rzeczywistego obrazu ruchu planet: prostego i jednostajnego.

Świat ograniczony, jedyny, kulisty, obracający się.

Bazując na takich założeniach, uczeń Platona, Eudoksos z Knidos (408-355 p.n.e.) opracowuje model Wszechświata.

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Model Eudoksosa

W środku znajduje się nieruchoma Ziemia.

Dookoła obracają się z różnymi prędkościami kryształowe sfery, do których przymocowane są planety, Słońce, Księżyc i gwiazdy.

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Do opisu skomplikowanego ruchu planety potrzeba było kilku sfer.

Eudoksos potrzebował ich 27, a Arystoteles posługiwał się aż 59 sferami.

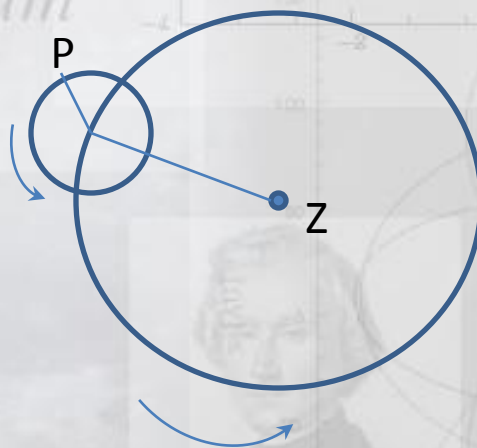
Model ten upadł już w starożytności. Nie przewidywał zmian odległości planet od Ziemi, które obserwowano jako zmiany ich jasności.

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



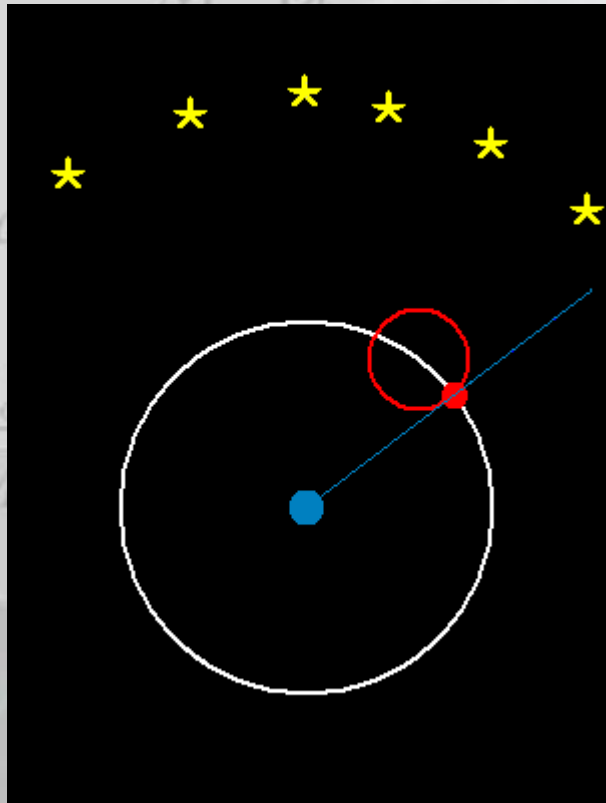
Hipparch 190 – 120 p.n.e.

Odrzuca teorię sfer homocentrycznych i wprowadza nowy sposób składania doskonałych ruchów jednostajnych po okręgu. Używa do tego deferentów i epicykli.



Ziemia znajduje się w środku deferentu, po którym porusza się środek epicykla

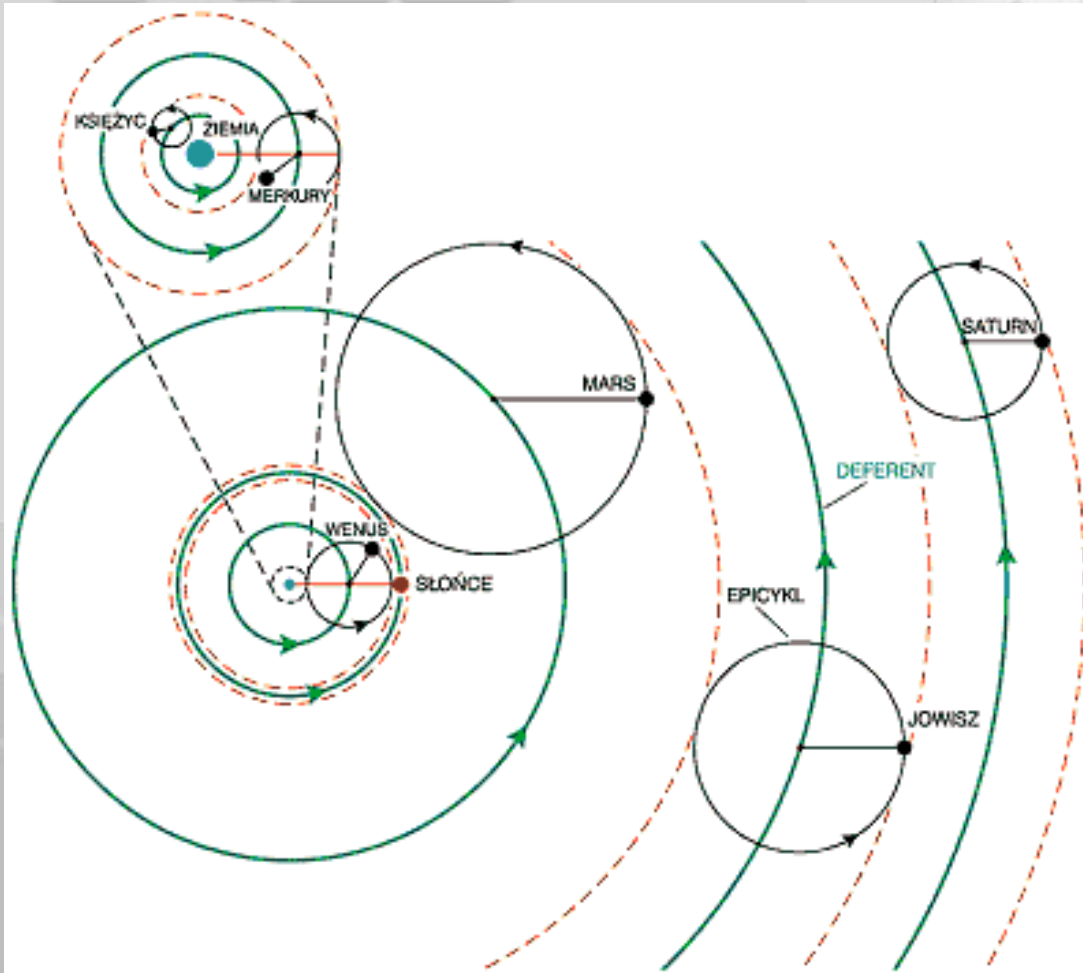
Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Taka konstrukcja pozwalała stosunkowo dobrze odtwarzać skomplikowane ruchy planet i zmiany ich jasności.

W miarę jak rostała dokładność obserwacji (a raczej dostępne były coraz dłuższe ich serie) trzeba było modyfikować ten schemat.

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem

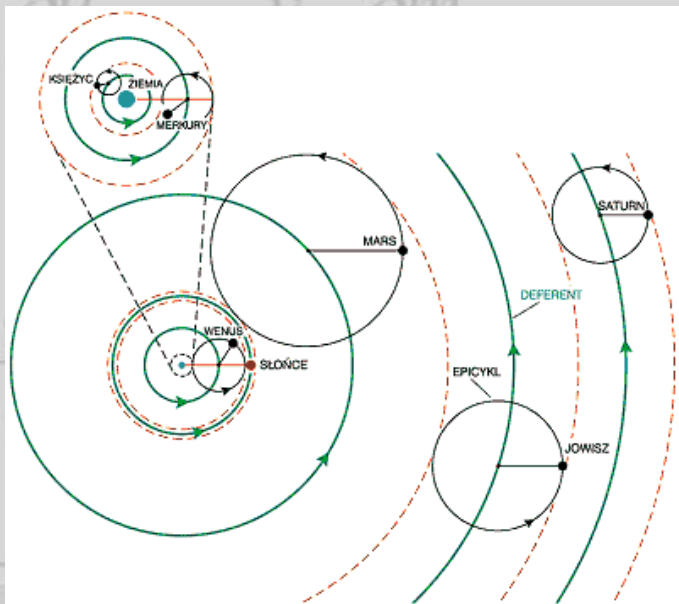


Ptolemeusz 100 – 168 n.e.

Wyjątkowo rozbudowany model deferentów i epicykli.

Aby uzyskać jeszcze lepszą zgodność z obserwacjami wprowadził ekscentryk i ekwant

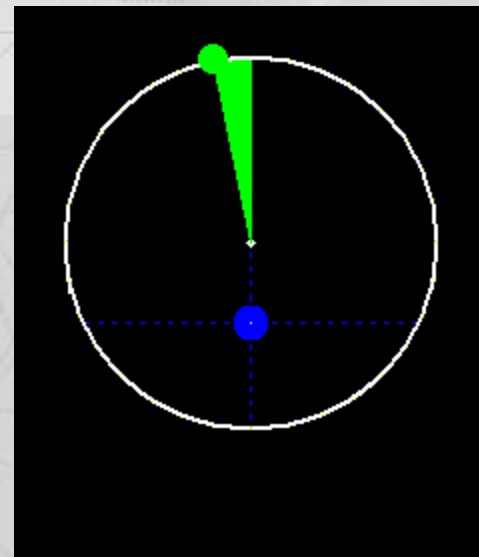
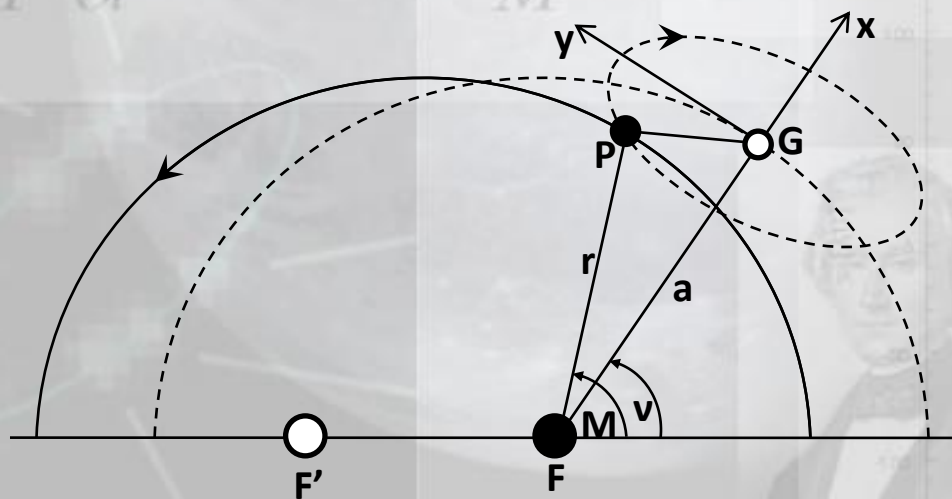
Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



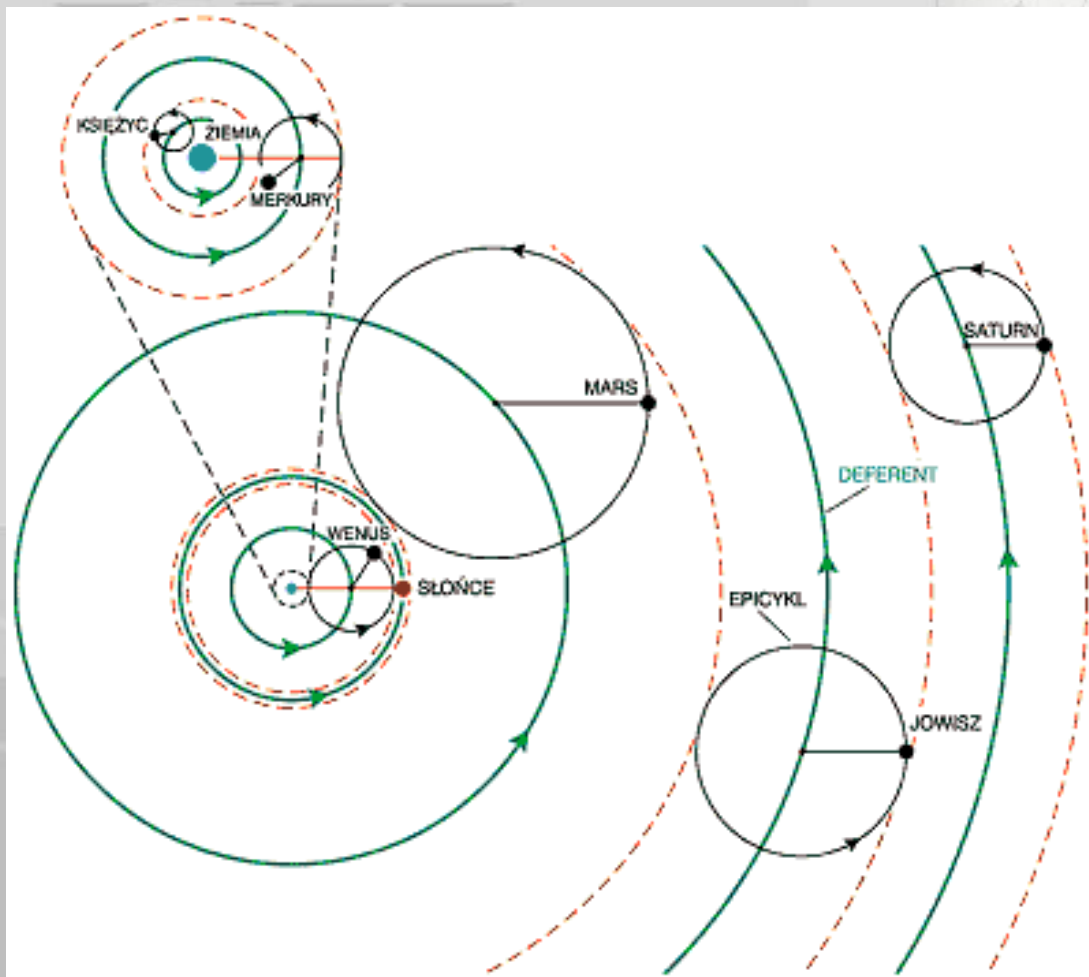
Ziemia już nie jest w centrum.

Ciągłe dążenie do opisu za pomocą ruchów jednostajnych.

Używamy nawet dziś - przybliżenie „guiding center”



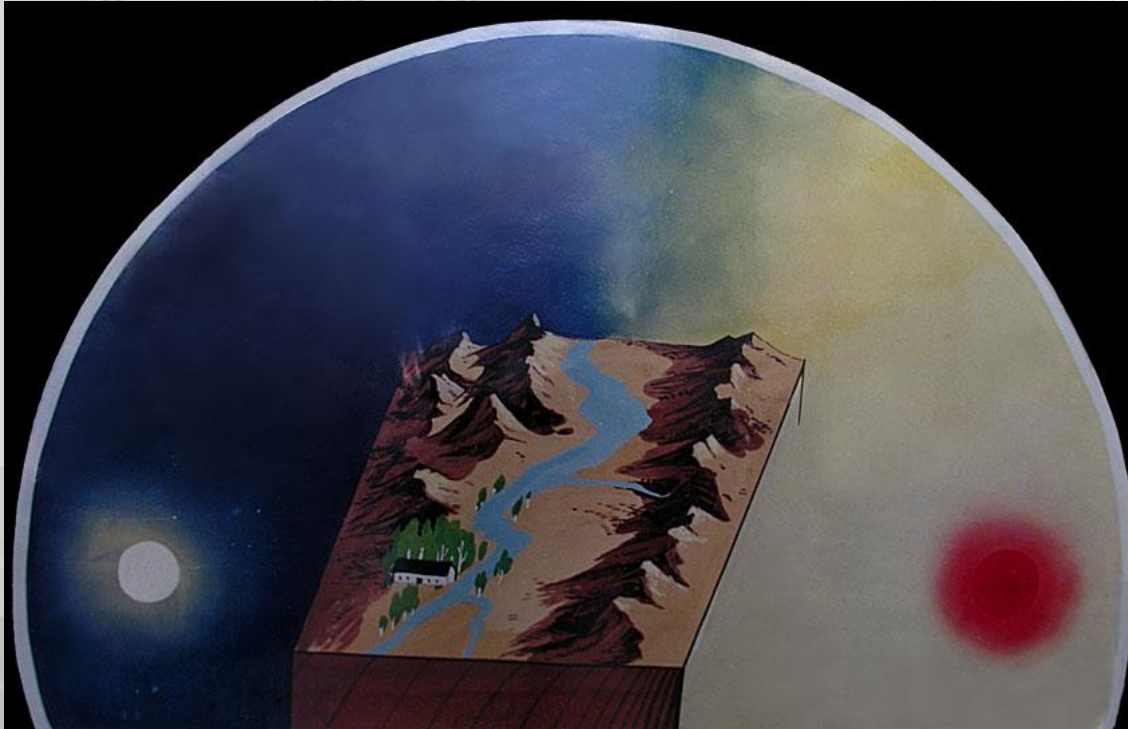
Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Ta konstrukcja obowiązywała przez następne 1500 lat.

Krytyka układu ptolemejskiego pojawiała się w pracach astronomów arabskich (VIII-XIV w.). Nie proponowali oni jednak istotnych zmian. Nadal wierzyli w centralnie położoną Ziemię i wszechobecny ruch jednostajny.

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Chińczycy nie poświęcali wiele czasu na koncepcje kosmologiczne.

Pojawiły się trzy ważne teorie i nie dyskutowano z nimi.

1. Niebo jest ogromną czaszą (około 12 w p.n.e.)
2. Kosmos jest w kształcie jaja z Ziemią znajdującą się w centrum (dynastia Han)
3. Wszystkie ciała niebieskie pływają w przestrzeni

Kiedy Układ Słoneczny był Wszechświatem



Zhang Heng:

„Niebo jest jak kurze jajo,
okrągłe jak pocisk kuszy;
Ziemia jest jak żółtko leżąc
samotnie w środku. Niebo
jest duże, a Ziemia mała.”

Przewrót kopernikański



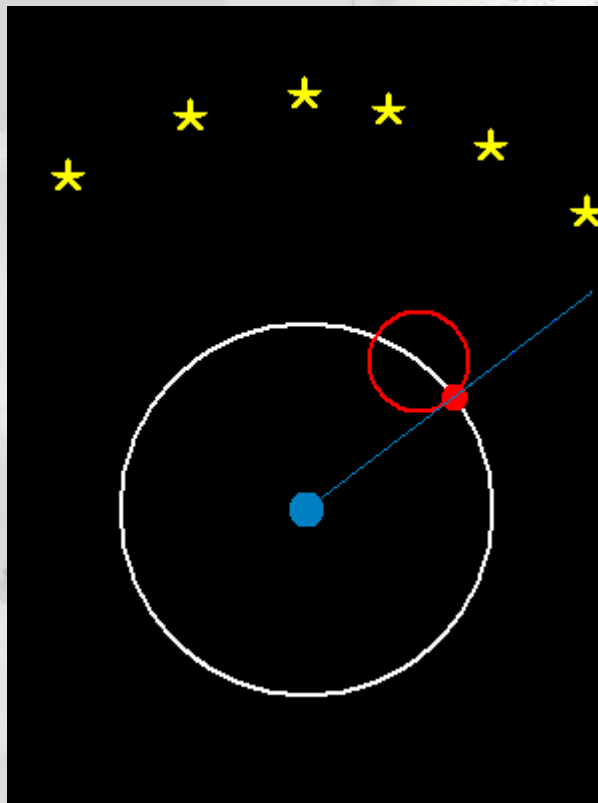
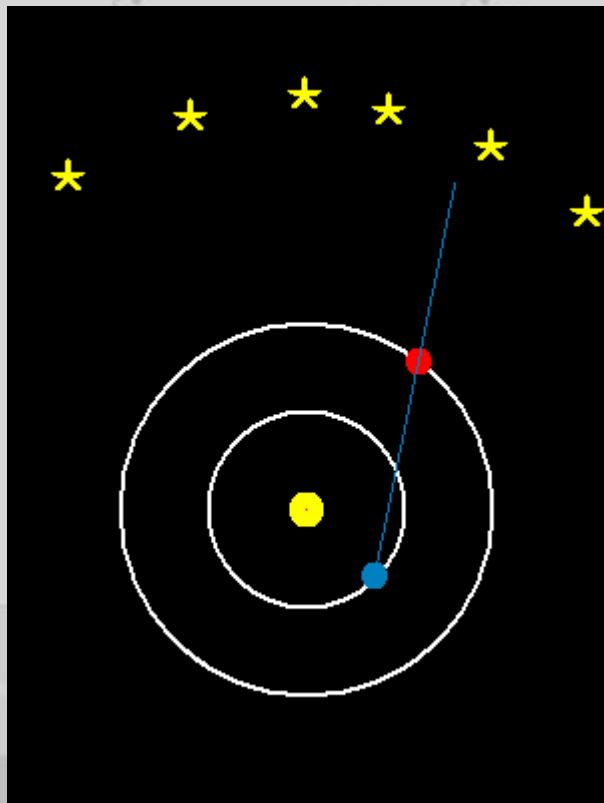
Mikołaj Kopernik 1473 – 1543 r.

Słońce zajmuje centralne miejsce w układzie planetarnym.

Kopernik świadomie nawiązuje do teorii głoszonej wcześniej przez Arystarcha z Samos (310–230 p.n.e.)

Istotą przewrotu było to, że Ziemia przestaje być wyróżnionym miejscem we Wszechświecie (zasada kopernikańska).

Przewrót kopernikański



Planeta	Kopernik	obecnie
Merkury	0,38	0,39
Wenus	0,72	0,72
Ziemia	1,0	1.0
Mars	1,52	1,52
Jowisz	5,22	5,2
Saturn	9,17	9,54

Nie zrezygnował z deferentów i epicykli.

Jego model wydawał się prostszy, ale nie był wyraźnie dokładniejszy w określaniu położenia planet na niebie.

Jednak dużo lepiej tłumaczył obserwowane zmiany jasności planet i ich względne odległości od Słońca.

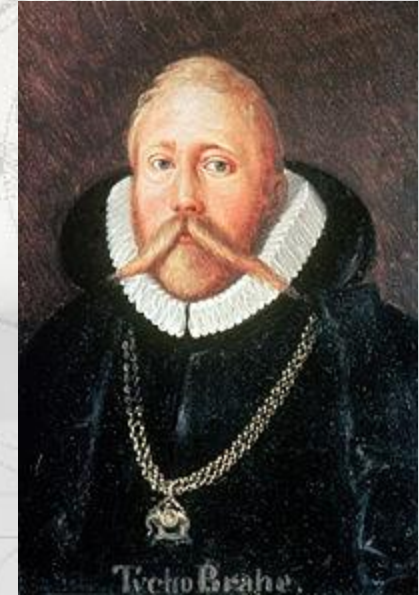
Narodziny współczesnej mechaniki nieba

Tycho Brahe prowadził niezwykle dokładne obserwacje wizualne.

Ich dokładność pozwoliła Keplerowi na sformułowanie trzech praw ruchu planet.

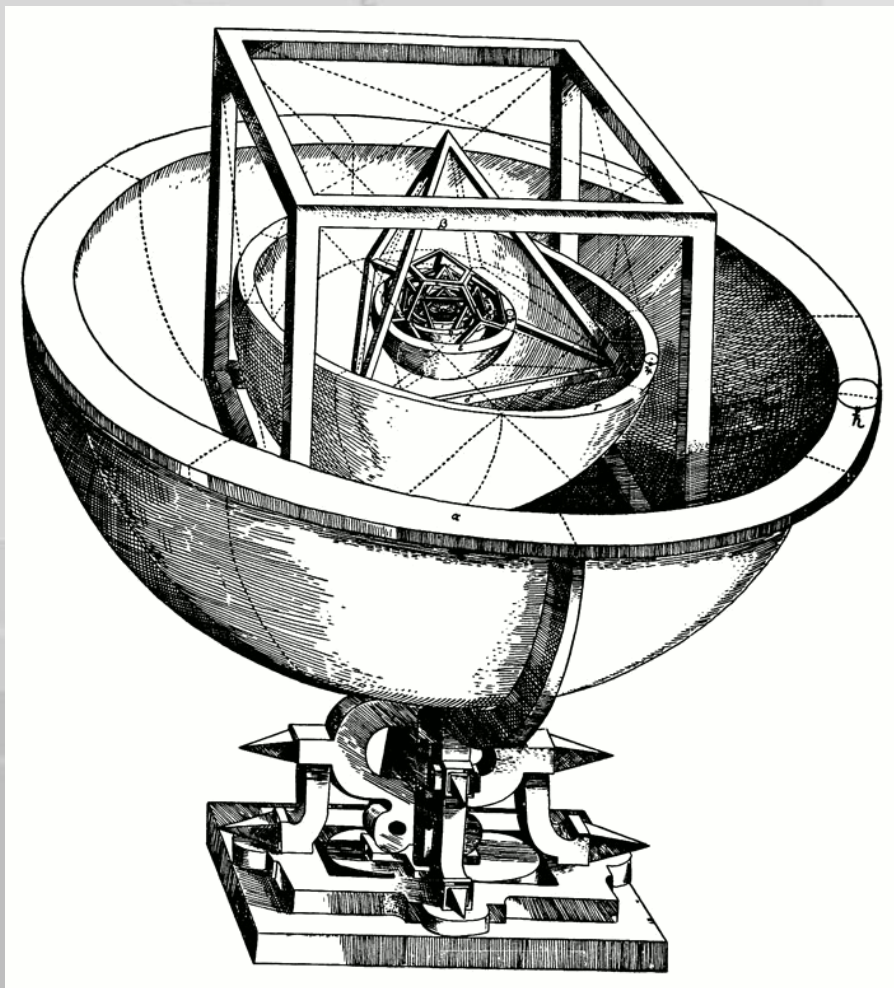


Jan Kepler



Tycho Brahe

Narodziny współczesnej mechaniki nieba



Kepler wierzył w moc liczb. Zanim sformułował swoje trzy prawa próbował zbudować model Układu Słonecznego opierając się na wielościanach foremnych w następujący sposób.

Na sferze wyznaczonej przez orbitę Merkurego opisujemy ośmiościan foremny.

Okazuje się, że jest on wpisany w sferę wyznaczoną orbitą Wenus.

Na niej opisujemy dwudziestościan foremny, który okazuje się być wpisanym w sferę Ziemi

Na niej opisujemy dwunastościan foremny wpisany w sferę Marsa, na niej czworościan foremny wpisany w sferę Jowisza, na której opisany jest sześciąt wpisany w sferę Saturna.

Kepler i jego prawa ruchu planet

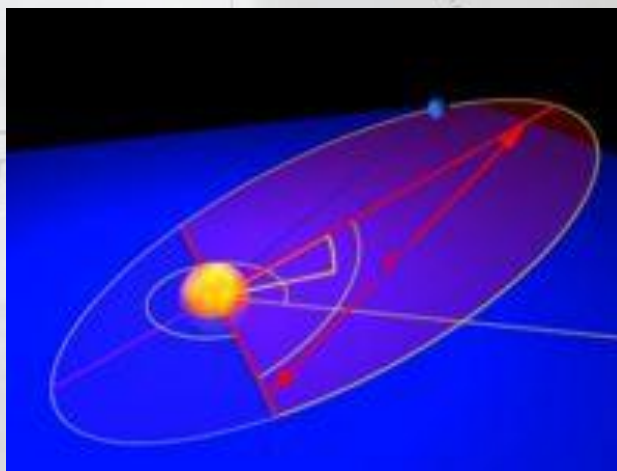
$$\frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{v_e}{M} \frac{\delta m}{\delta t}$$



Jan Kepler

I prawo:

Ruch planety wokół Słońca odbywa się po elipsie.
Słońce znajduje się w jednym z dwóch ognisk elipsy



Kepler i jego prawa ruchu planet

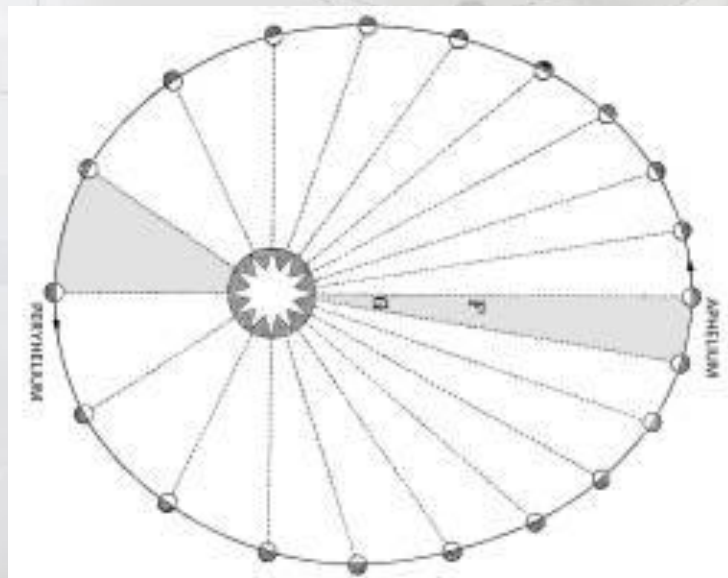
$$\frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{v_e}{M} \frac{\delta m}{\delta t}$$



Jan Kepler

II prawo:

W równych jednostkach czasu, promień wodzący planety poprowadzony od Słońca zakreśla równe pola.



Kepler i jego prawa ruchu planet

$$\frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{v_e}{M} \frac{\delta m}{\delta t}$$



Jan Kepler

III prawo:

Drugie potęgi okresów obiegu planet dookoła Słońca są wprost proporcjonalne do trzecich potęg ich średnich odległości od Słońca.

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



Prawo powszechnego ciężenia



Isaac Newton

5 czerwca roku 1686 ukazuje się
Philosophiae Naturalis Principia Mathematica

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Prawa Keplera zostają uzasadnione fizycznie.

Od tego momentu następuje gwałtowny rozwój metod analitycznych służących również badaniu ruchu planet i innych obiektów w Układzie Słonecznym

Zostaje rozwiązane zagadnienie dwóch ciał.

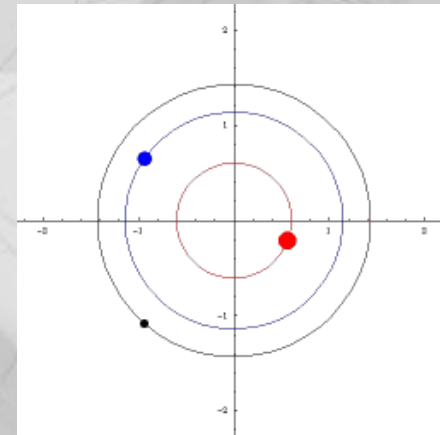
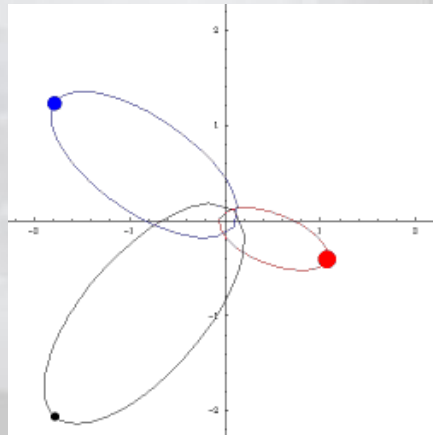
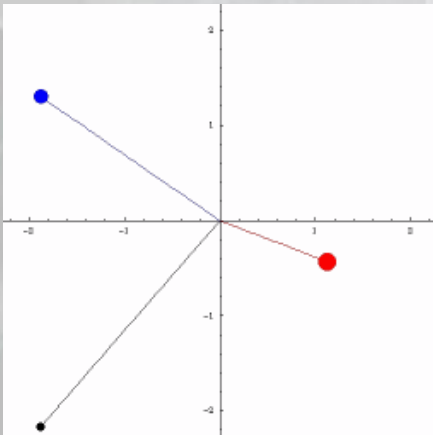
Zagadnienie 3 ciał



Joseph Louis Lagrange

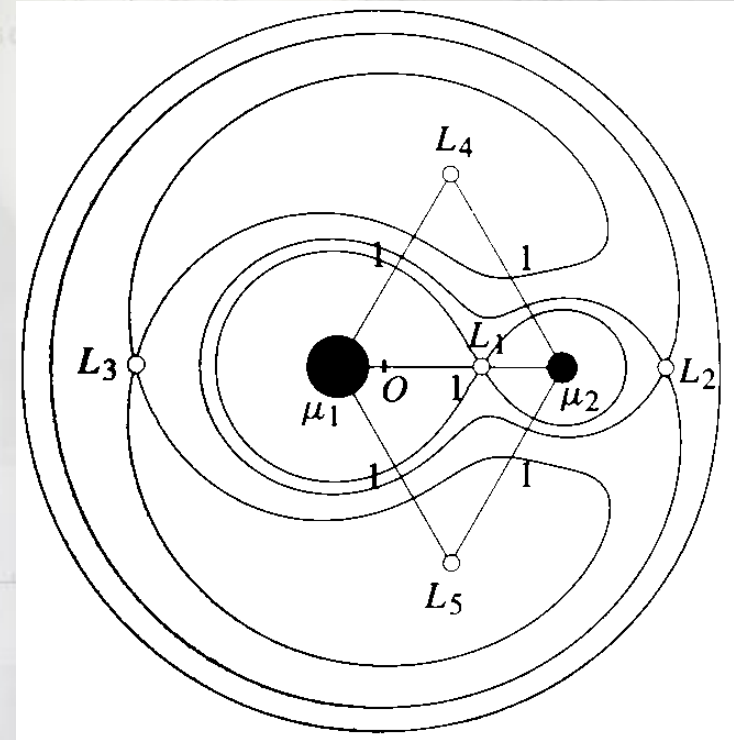
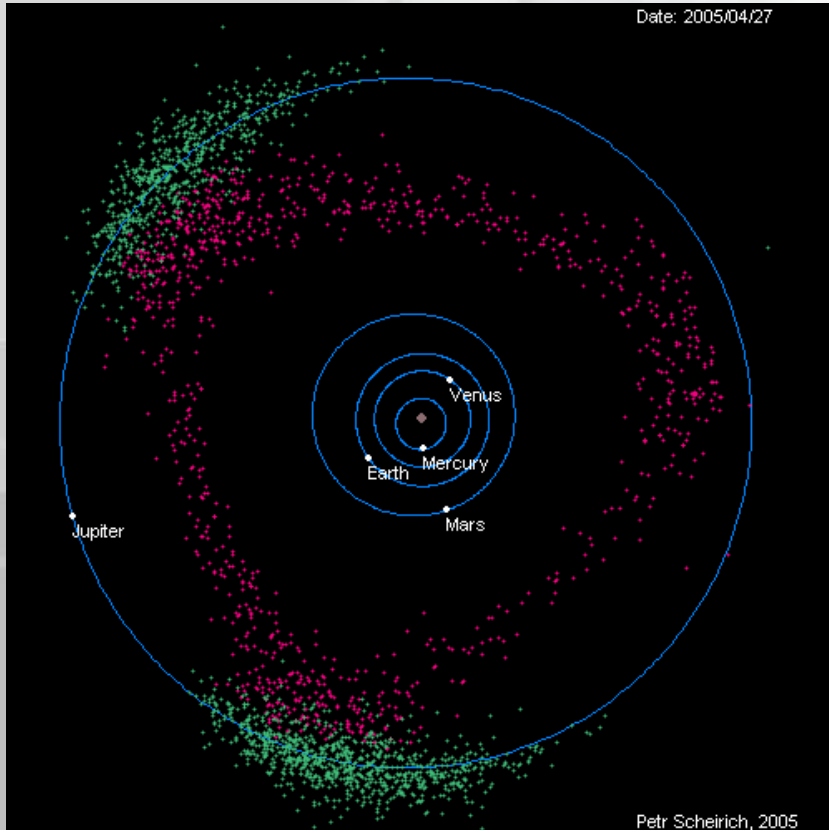
Okazało się, że już w przypadku trzech ciał układ równań ruchu nie daje się rozwiązać.

Jak dotąd znaleziono kilka przypadków szczególnych



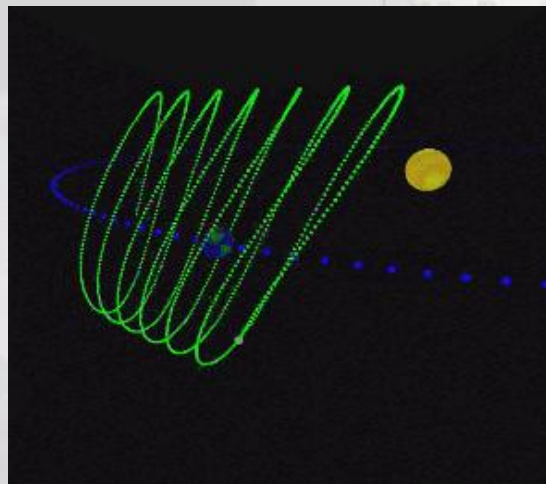
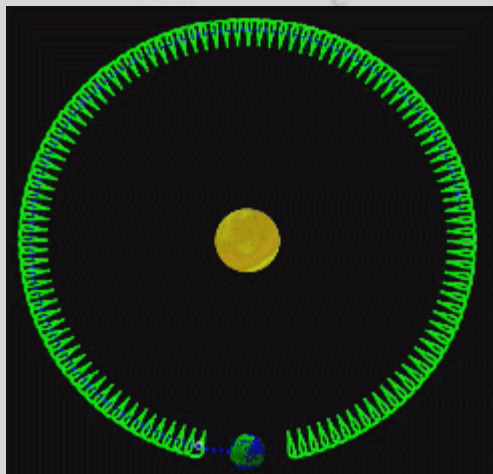
Ograniczone zagadnienie 3 ciał

$$\frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{v_e}{M} \frac{\delta m}{\delta t}$$

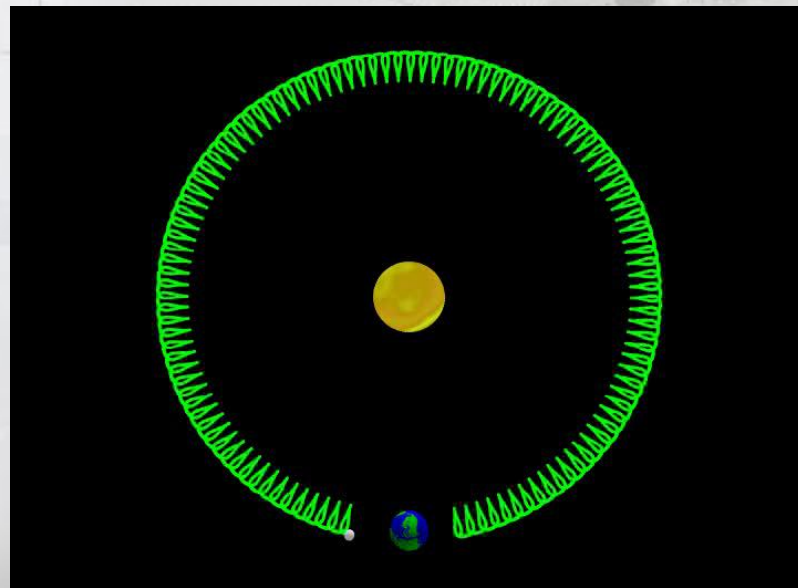
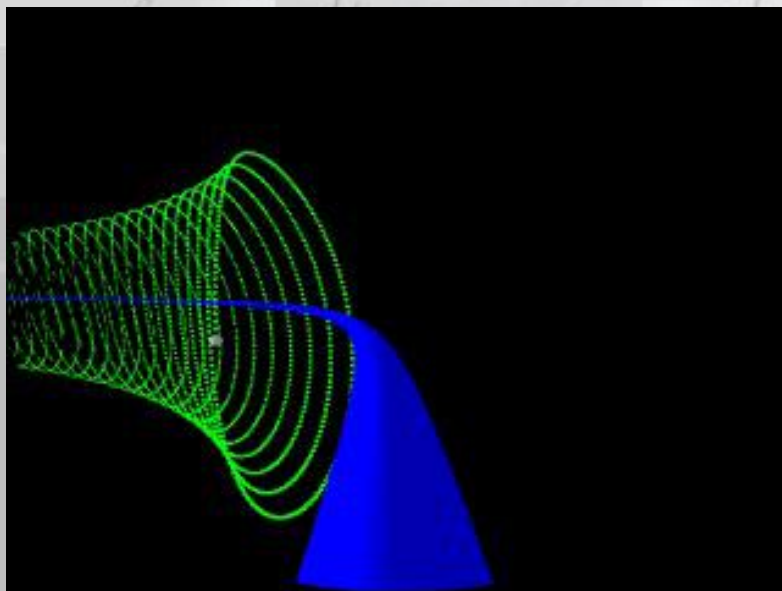


Lagrange rozwiązał problem 3 ciał w przypadku gdy jedna z mas jest zaniedbywalnie mała – ograniczone zagadnienie 3 ciał

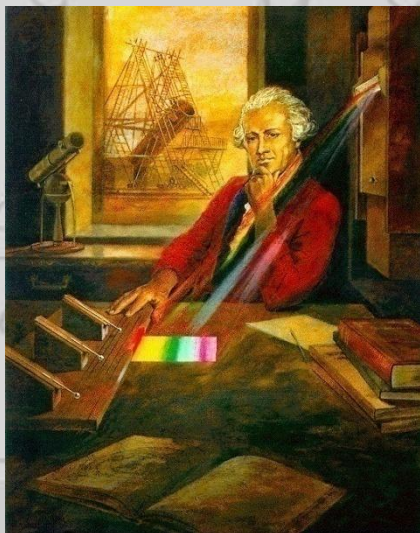
Ograniczone zagadnienie 3 ciał



planetoida 2002 AA29
porusza się po orbicie
typu podkowy w układzie
Ziemia-Słońce

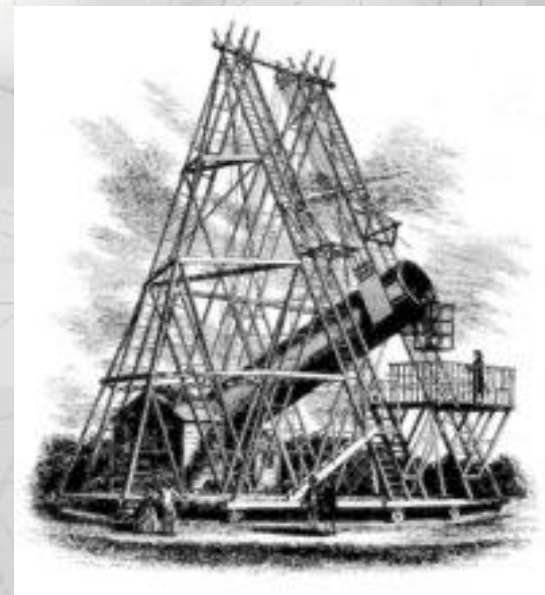


Odkrycie Urana



Sir William Herschel

Herschel odkrył Urana w 1781 r. i było to ledwie jedno z wielu wielkich odkryć jakich dokonał



Odkrycie Neptuna

23 września 1846 w obserwatorium berlińskim Johann Gottfried Galle odkrywa kolejną planetę Układu Słonecznego – Neptuna.

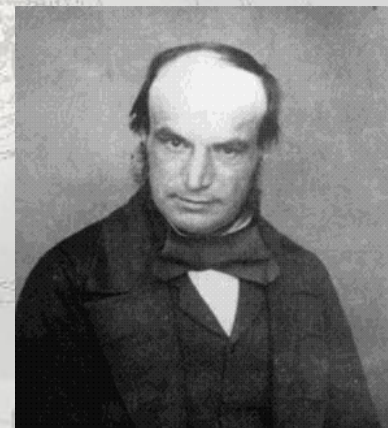
Jednak to odkrycie było dokonane wcześniej na papierze – wielki sukces mechaniki nieba



Urbain Jean Le Verrier



Johann Gottfried Galle



John Couch Adams



1851-1897

Dalsze poszukiwania

THE PLANET HYGEA.

M. GASPARIS, of Naples, who discovered this planet on April 12, 1849, has furnished the following elements of its orbit, derived from several observations: —

Epoch, May 1, 1849.	
Mean anomaly,	326 34 22.44
Longitude of perihelion,	242 47 3.44
“ node,	285 32 29.72
Inclination,	3 46 51.27
Mean daily motion,	590".3784

This newly discovered planet belongs to the same group with *Astræa*, *Hebe*, *Iris*, *Flora*, and *Metis*, all of which are, as will be seen below, of very recent discovery. The planets known from high antiquity are *Mercury*, *Venus*, *Earth*, *Mars*, *Jupiter*, and *Saturn*. To these, in 1781, was added *Uranus*, or *Herschel*, as it is sometimes called, from the name of its discoverer. Early in the present century, astronomers became convinced that a planet existed between Mars and Jupiter, and an association of twenty-four observers was formed to examine the whole heavens. But, early in January, 1801, the present planet *Ceres* was accidentally discovered by Piazzi, in Sicily. In March, 1802, *Pallas* was discovered by Olbers, in Bremen, and this was followed, in 1804, by the discovery of *Juno*, and, in 1807, by that of *Vesta*. On December 8, 1845, *Astræa* was discovered by Professor Hencke, and on July 1, 1847, he also discovered *Hebe*. *Iris* was discovered August 13, 1847, and *Flora*, October 18 of the same year, both by Mr. Hind. *Metis* was, we believe, discovered by Mr. Graham, in Ireland, on April 25, 1848. The recent extraordinary discovery of *Neptune* is familiar to all. The total number of primary planets discovered, up to the present time, is, it will be seen, 18. Many of them are never visible to the naked eye. — *Editors*.

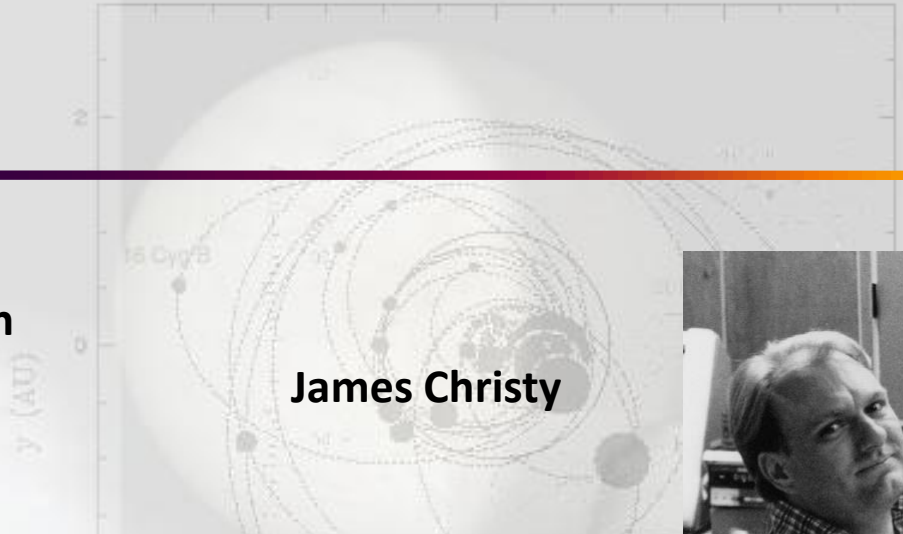
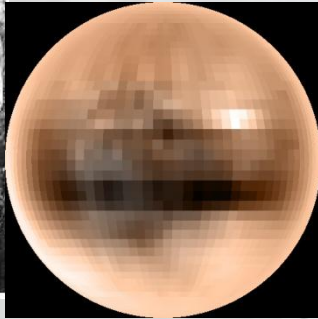
Zaczęto poszukiwania kolejnej planety (rozwijając intensywnie metody perturbacyjne).

Jednocześnie kolejne „planety” odkrywane były między orbitami Marsa i Jowisza

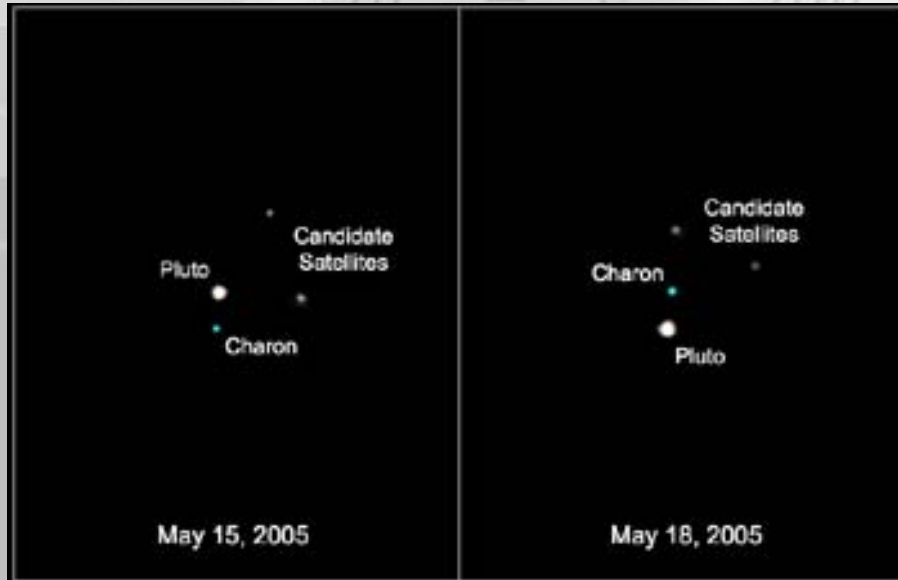
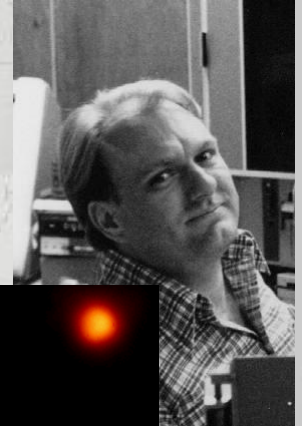
Odkrycie Plutona.



Clyde Tombaugh



James Christy

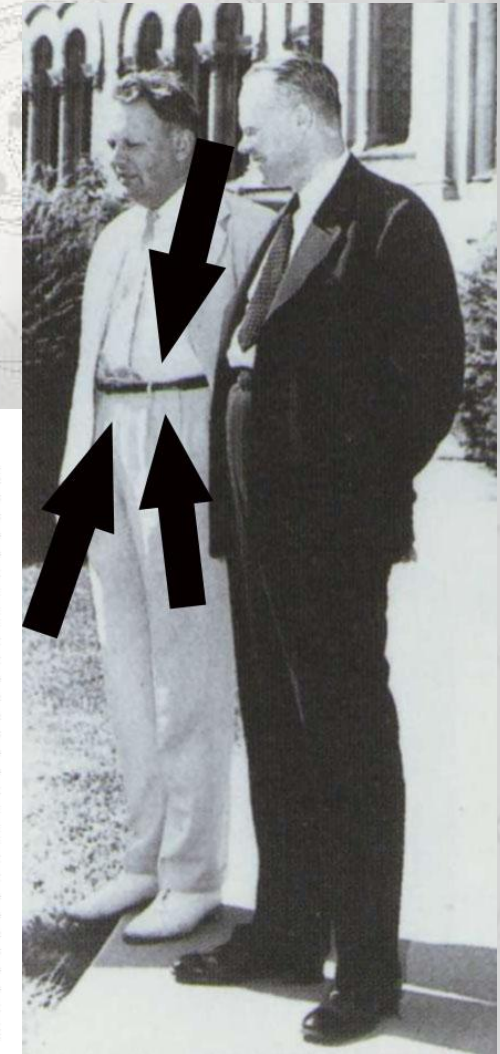
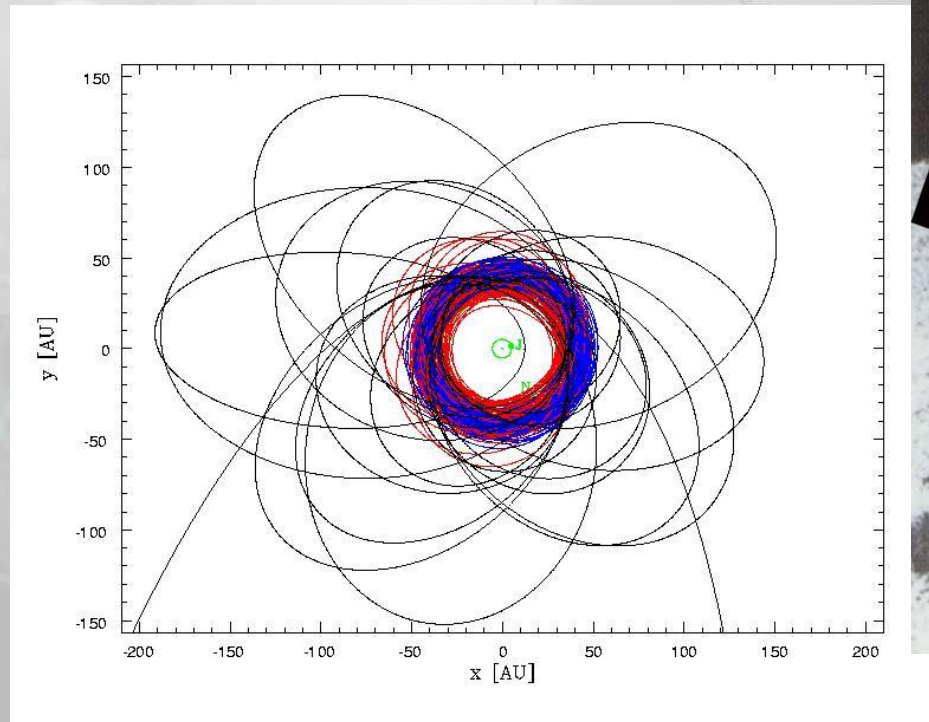


Weaver, H. A.; Stern, S. A.; Mutchler, M. J.;
Steffl, A. J.; Buie, M. W.; Merline, W. J.;
Spencer, J. R.; Young, E. F.; Young, L. A.

Pas Kuipera i degradacja Plutona

Kuiper (1951): Pluton jest tak masywny, że w jego otoczeniu nie ma innych obiektów.

**Edgeworth(1943) i Leonard (1930):
W okolicach Plutona znajduje się duża liczba drobnych ciał stanowiących rezerwar komet krótkookresowych.**



Współczesny obraz Układu Słonecznego

