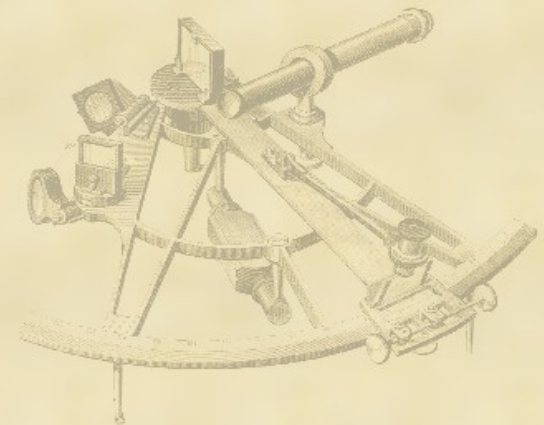


Kopernik i Kepler

Koniec i początek

Jacek Tarasiuk

Kraków, 30.05.2008

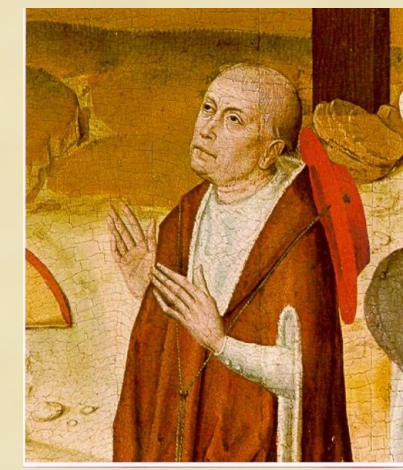


1450

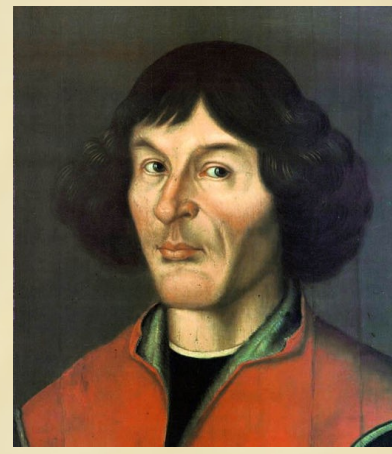
1423, Oberösterreich
George von Peuerbach

ok. 1400, Kuza
Mikołaj z Kuzy

6 czerwca 1436, Unfinden
Johannes Müller - Regiomontanus



19 luty 1473, Toruń
Mikołaj Kopernik

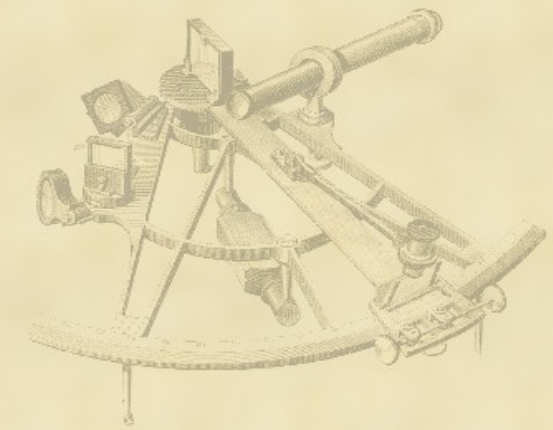


1500

1550

1600

1650



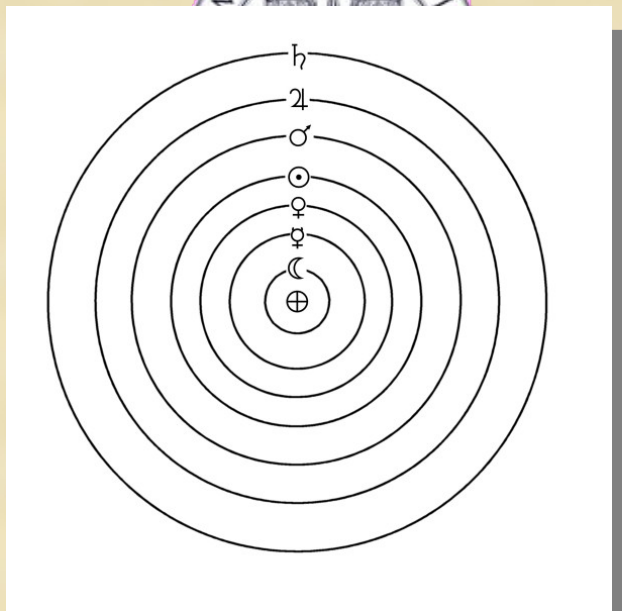
• Kopernik zapisuje się do niemieckiego bractwa studenckiego

• Systemy starożytnych:

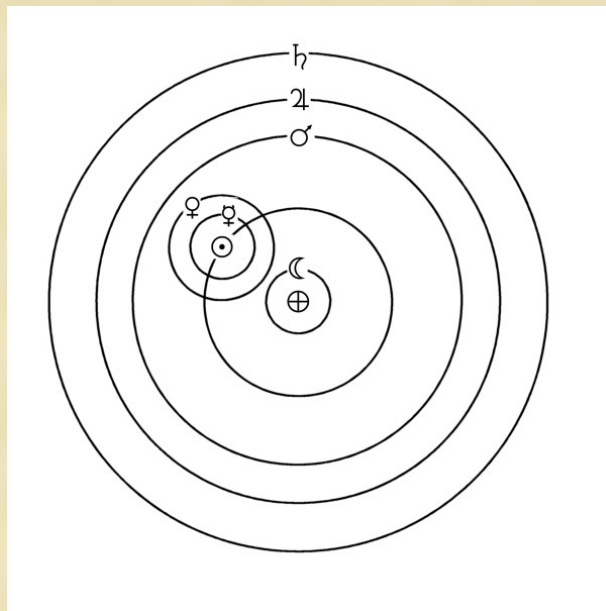
- Ptolemeusza
- Heraklejdesa
- Arystarcha

1491 Studia w Krakowie

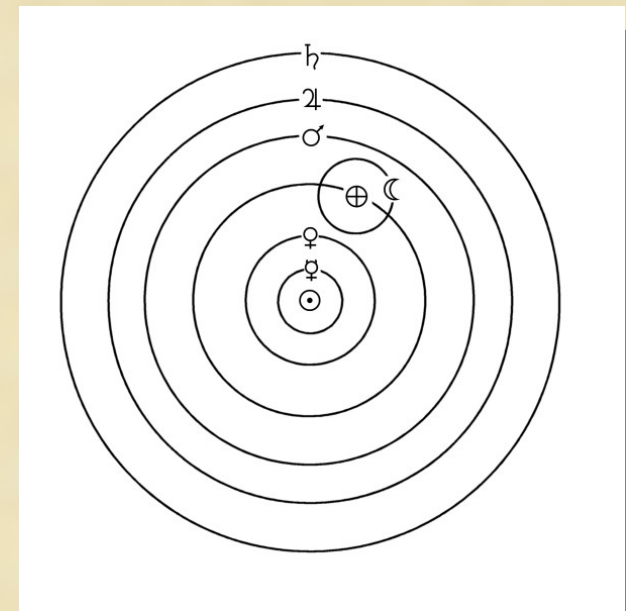
1491 Studia w Bolonii



Ptolemeusz
100-168 ne



Heraklejdes
375-310 pne



Arystarch
310-230 pne

1450

1500

1550

1600

1650

1450

1500

1550

1600

1650

- Kopernik zapisuje się do niemieckiego bractwa studenckiego

- Systemy starożytnych:

- Ptolemeusza
- Heraklejdesa
- Arystarcha

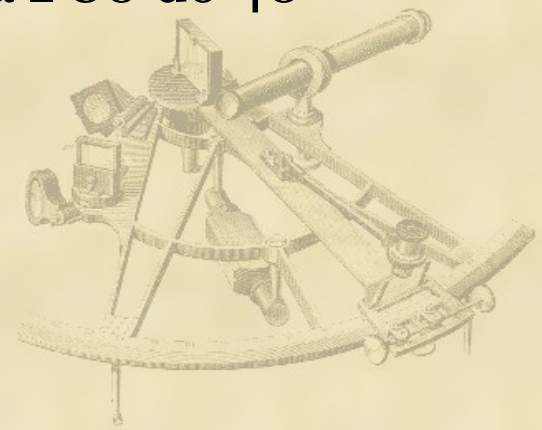
1491 Studia w Krakowie

1491 Studia w Bolonii

- *Epitome in Almagestum Ptolomei* - Peuerbacha



Peuerbach zredukował liczbę sfer w systemie Ptolemeusza z 80 do 40



1450

1500

1550

1600

1650

- Kopernik zapisuje się do niemieckiego bractwa studenckiego

- Systemy starożytnych:

- Ptolemeusza
- Heraklejdesa
- Arystarcha

1491 Studia w Krakowie

1491 Studia w Bolonii



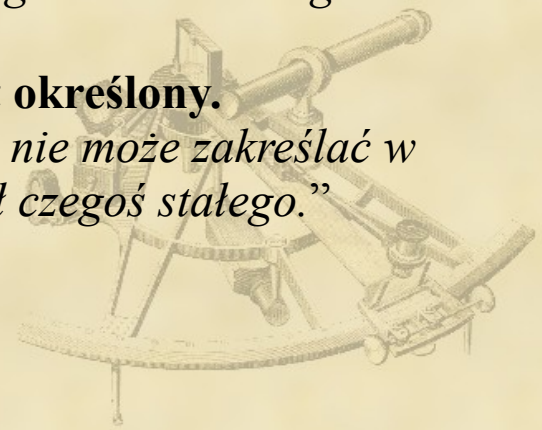
- *Epitome in Almagestum Ptolomei* - Peuerbacha
- *De docta ignorantia* - Mikołaja z Kuzy

Wszechświat miał być *interminatus*...

„Dlatego Ziemia, niezdolna pełnić funkcji środka, musi być wyposażona w jakiś ruch [...] Atoli my już wiemy na pewno, że Ziemia naprawdę się porusza, choć tak nam się nie wydaje. Istotnie ruch spostrzegamy tylko poprzez odniesienie do czegoś nieruchomego.”

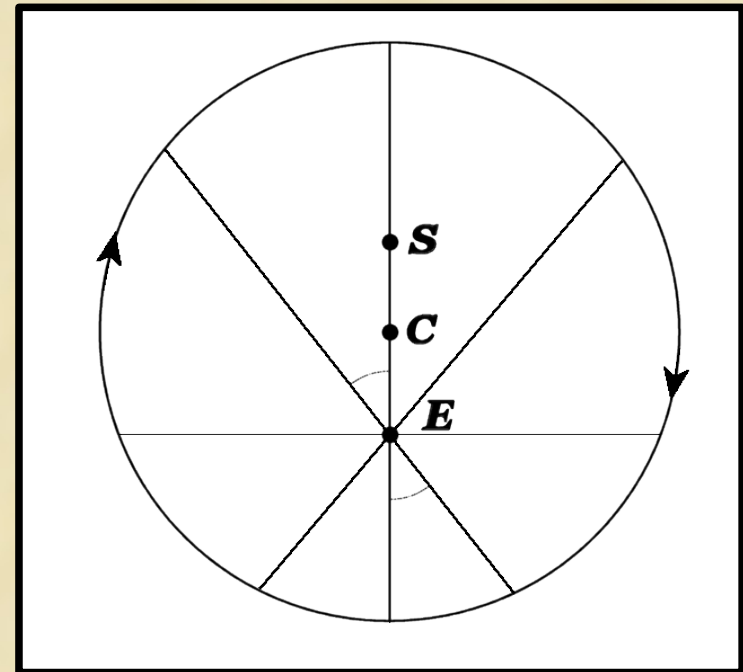
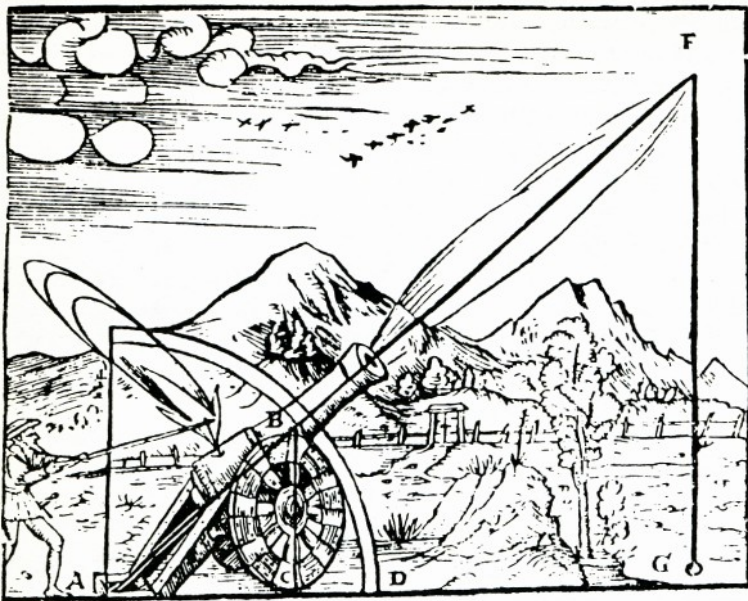
Ziemia, Księżyc i planety poruszają się wokół środka, który nie jest określony.

„Co więcej, nawet Słońce ani Księżyc, ani Ziemia, ani żadna inna sfera nie może zakreślać w swym ruchu prawdziwego koła, bo przecież nie poruszają się one wokół czegoś stałego.”



Dlaczego Kopernik zaczął się zastanawiać nad zmianą opisu układu planetarnego?

- Problemy z orbitą Marsa
- Problemy z opisem ruchu Księżyca
- Problemy natury ideologicznej

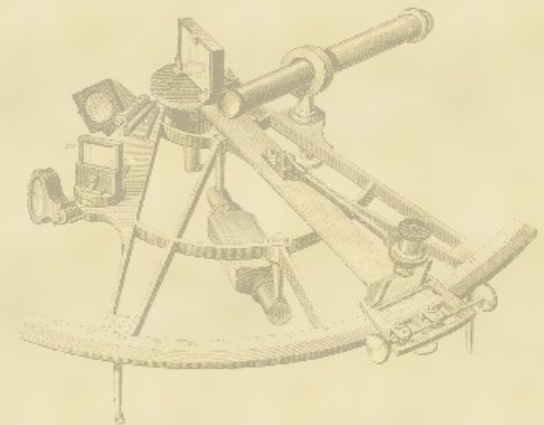


S – słońce
C – środek orbity
E – ekwant

Dlaczego Kopernik zaczął się zastanawiać nad zmianą opisu układu planetarnego?

„Przodkowie nasi przyjęli byli w mechanizmie świata znacznieszą ilość okręgów niebieskich, jak sądzę, głównie dlatego, ażeby w sposób prawidłowy wytłumaczyć zjawiska ruchu gwiazd błędnych; **wydawało się** bowiem **niedorzecznością** przypuszczać, iżby doskonale okrągła bryła niebios miała się **w czasach różnych niejednostajnie poruszać.**”

„Co gdy spostrzegłem, często rozmyślałem, czy też nie dałoby się może obmyśleć trafniejszy jaki układ kół, którymby wszelka pozorna nierówność ruchu dała się objaśnić przy użyciu samych już tylko jednostajnych ruchów, czego wymaga naczelna zasada ruchu bezwzględnego.”



Główne tezy Systemu Kopernikańskiego

1) Nie wszystkie ciała niebieskie poruszają się wokół wspólnego środka

2) Ziemia nie jest środkiem wszechświata, lecz tylko orbity Księżyca i ziemskiego ciężenia.

3) Słońce stanowi centrum układu planetarnego, a zatem wszechświata.

Commentariolus (1510)

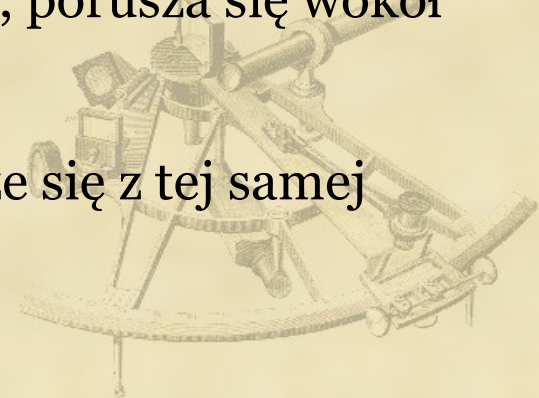
*„Tak więc Merkury biega na siedmiu w sumie kołach, Wenus na pięciu, Ziemia na trzech, a wokół niej Księżyc na czterech, wreszcie Mars, Jowisz i Saturn na pięciu każda. Tak więc razem **wystarcza** zbiorowisko **34 kół**, któremi daje się wytłumaczyć cały mechanizm świata i wszelkie krążenia gwiazd błędnych.”*

4) W porównaniu z odległością od gwiazd stałych odległość Ziemi od Słońca jest znikomo mała.

5) Pozorny dzienny obrót firmamentu wynika z wirowania Ziemi wokół własnej osi.

6) Pozorny roczny ruch Słońca wynika z faktu, że Ziemia, podobnie jak inne planety, porusza się wokół Słońca.

7) Pozorne cofanie się planet bierze się z tej samej przyczyny.



Przełomowe dni (lato 1539-wiosna 1540)

Latem 1539 roku do Fromborka przybywa Joahim Retyk (luteranin).

W ciągu kilkutygodniowej gościny na zamku w Lubawie, Retyk i biskup Giese namawiają Kopernika na publikację rekopisu.

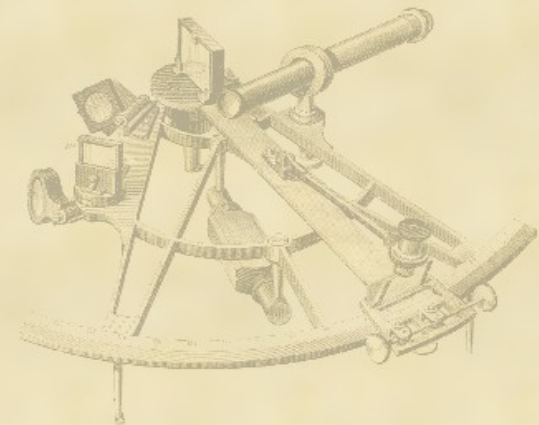
W końcu Kopernik ustąpił idąc na kompromis: zarys teorii zostanie opublikowany, ale przez Retyka, bez wymieniania Kopernika bezpośrednio (zamiast nazwiska pojawiło się *domine praeceptor*).

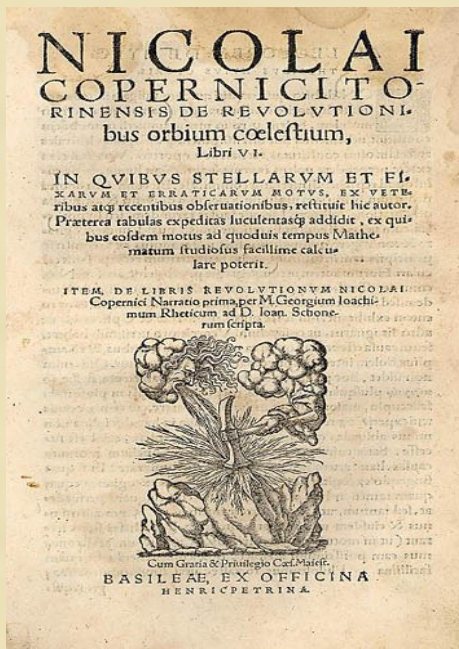
Narratio prima (1540)

Retyk publikuje streszczenie koncepcji Kopernika.



Tiedeman Giese





De revolutionibus orbium coelestium (1530/1543)

*Należy zauważyć, że jeżeli dwa koła mają różne średnice, a inne warunki pozostają nie zmienione, da to w wyniku ruch, który będzie przebiegał nie po linii prostej, lecz [...] po **elipsie**.*

System Kopernikański w praktyce

- 1) Nie 34 a 48 kół (epicykli, diferentów, equatorów).
- 2) Słońce wcale nie leży w centrum układu.
- 3) Środek orbity Saturna leży poza orbitą Wenus.
- 4) Środek orbity Jowisza leży na orbicie Merkurego
- 5) Nieregularności ruchów Marsa nadal pozostały niewyjaśnione.

Wady

- 1) Kopernik zwiększył liczbę epicykli z 40 do 48.
- 2) Brak materialnego łożyska.
- 3) Kryształowe sfery nie mogą się przecinać.
- 4) Ekwanty usunięte, ale pojawił się ruch prostoliniowy.
- 5) Obracająca się Ziemia.

Korzyści

- 1) Wyjaśniono ruchy Księżyca.
- 2) Zlikwidowano ruchy wsteczne planet.



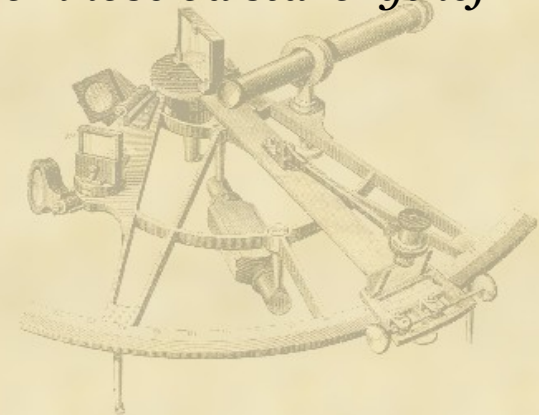
Dlaczego tak się stało?

Kopernik nie był eksperymentatorem.

- Prymitywne przyrządy pomiarowe z drewna i nici znaczone inkaustem (Regiomontanus w tym samym czasie używał przyrządów z miedzi i mosiądzu z grawerowanymi podziałkami). Położenie gwiazdy Spica, swojego punktu odniesienia, wyznaczył z błędem 40', tj. więcej niż średnica Księżyca.
- Kopernik nie przywiązywał wagi do danych eksperymentalnych. (w całym swoim życiu wykonał 70 obserwacji, z czego tylko 27 zamieścił w „O obrotach”, Regiomontanus wykonywał dziesiątki pomiarów rocznie)
- Kopernik opierał się na pomiarach Chaldejczyków, Greków i Arabów, którym ufał bezgranicznie, a tymczasem Regiomontanus pisał:



„Nie mogę wyjść z podziwu nad powszechną bezwładnością umysłową naszych astronomów, którzy, jak łatwowierne kobiety, wierzą we wszystko, co przeczytają w księgach, tablicach i komentarzach, jakby to była boska i niezmienna prawda; wierzą autorom, a prawdę zaniedbują. Trzeba uparcie mieć gwiazdy przed oczyma i uwolnić potomność od starożytnej tradycji.”



Dlaczego tak się stało?

Kopernik uznawał się za filozofa i matematyka.

- Nadrzędna rola idei (filozofia).
- Spójność matematyczna.
- Spadkobierca i kontynuator spuścizny starożytnych.
- Podrzędna rola obserwacji.

Retyk o Koperniku:

„Jak subtelny jest sam Kopernik w przyjmowaniu jakichkolwiek liczb, które do pewnego stopnia wychodzą naprzeciw jego życzeniom, służą jego przedsięwzięciom, doświadczy pilny jego czytelnik. [...] Obserwacje u Waltera, Ptolemeusza i innych tak wybiera, że posługuje się nimi dogodnie dla przeprowadzenia rachunku, stąd nie ma żadnych wątpliwości, że pomija lub zmienia w czasie godziny, w łukach ćwiartki stopni, a niekiedy i więcej.”

Podsumowując,

z praktycznego punktu widzenia dzieło Kopernika nie miało wielkiego znaczenia.

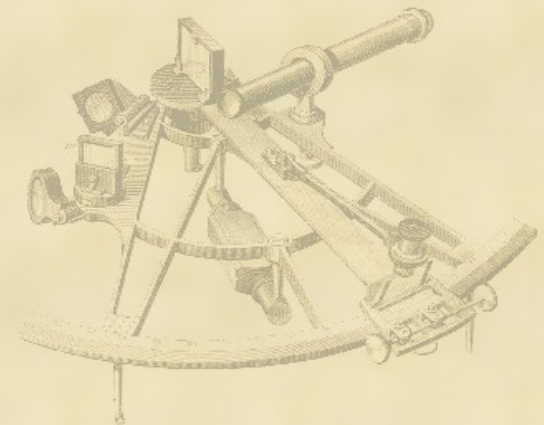
„... system kopernikański, (w przeciwieństwie do samej koncepcji heliocentrycznej) nie jest wart zachodu.” Arthur Koestler



W czym zatem leży wielkość dzieła Kopernika?

Ważna była idea, nie szczegóły.

Świat średniowiecza był skończony, zamknięty i bezpieczny.



1450

1500

1550

1600

1650

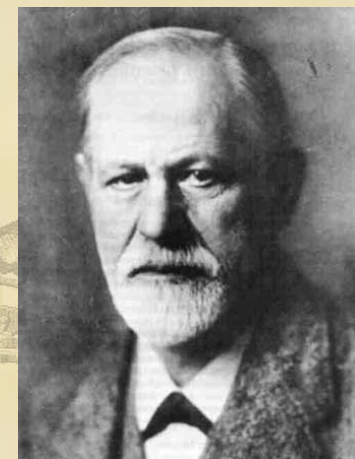
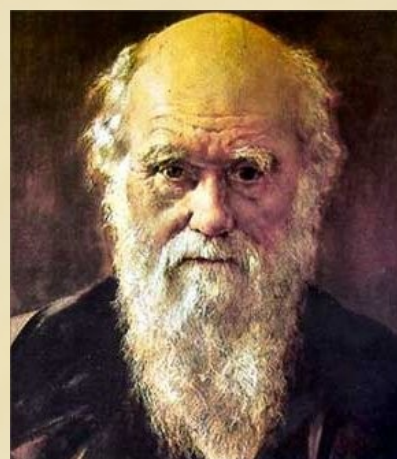
W czym zatem leży wielkość dzieła Kopernika?

Ważna była idea, nie szczegóły.

Rewolucyjne konsekwencje:

- Detronizacja Ziemi - w konsekwencji - decentralizacja wszechświata!
- Podważenie koncepcji żywiołów (ziemia i woda do środka, powietrze i ogień na zewnątrz). Koniec arystotelizmu.
- Nieskończoność wszechświata (efekt paralaksy gwiazd stałych).

**Koncepcja Kopernika zmieniła świat nie przez to co mówiła,
lecz przez to co z niej wynikało!**



1450

1500

1550

1600

1650

Kopernik był ostatnim wielkim Arystotelikiem.

Kepler o Koperniku:

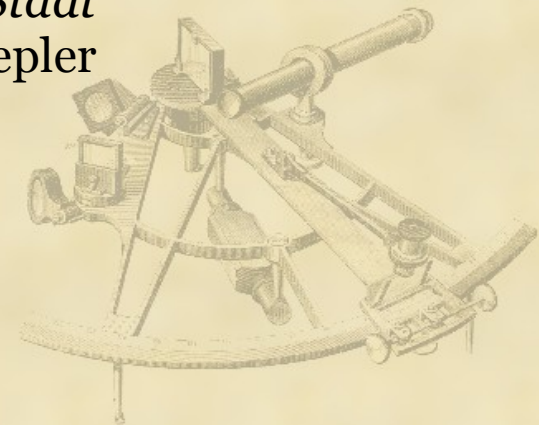
„Kopernik usiłował zinterpretować nie naturę, lecz Ptolemeusza”

24 maja 1543 umiera Mikołaj Kopernik



27 grudnia 1571, Weil der Stadt
Johannes Kepler

1616 „O obrotach...” trafia do indeksu ksiąg
zakazanych, na którym pozostaje przez 212 lat



Podczas studiów w Tybindze, Kepler zapoznał się z koncepcją Kopernika i ta od razu wydała mu się interesująca. W przeciwieństwie jednak do jemu współczesnych, **zaczął się zastanawiać dlaczego wszechświat miałby być taki jak go opisał Kopernik.**

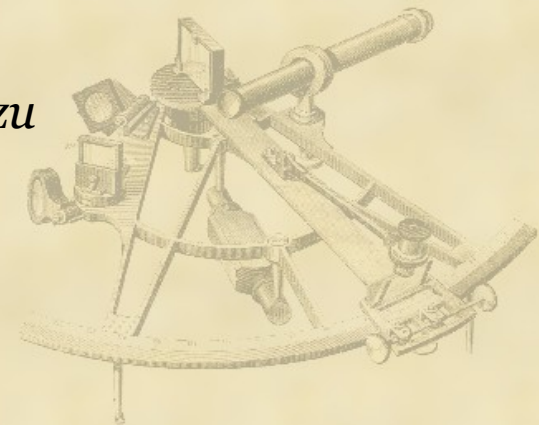
W szczególności Kepler pytał:

- dlaczego jest tylko sześć planet?
- dlaczego odległości między planetami są takie a nie inne?
- dlaczego planety poruszają się z takimi a nie innymi prędkościami?

Po kilku latach rozważań, w trakcie pierwszego roku pełnienia „nudnej” posady nauczyciela w Grazu, Kepler znajduje rozwiązanie:

1591 magister Uniwersytetu Sztuk Wyzwolonych w Tybindze

1594 nauczyciel astronomii oraz „matematyk okręgowy” w Grazu

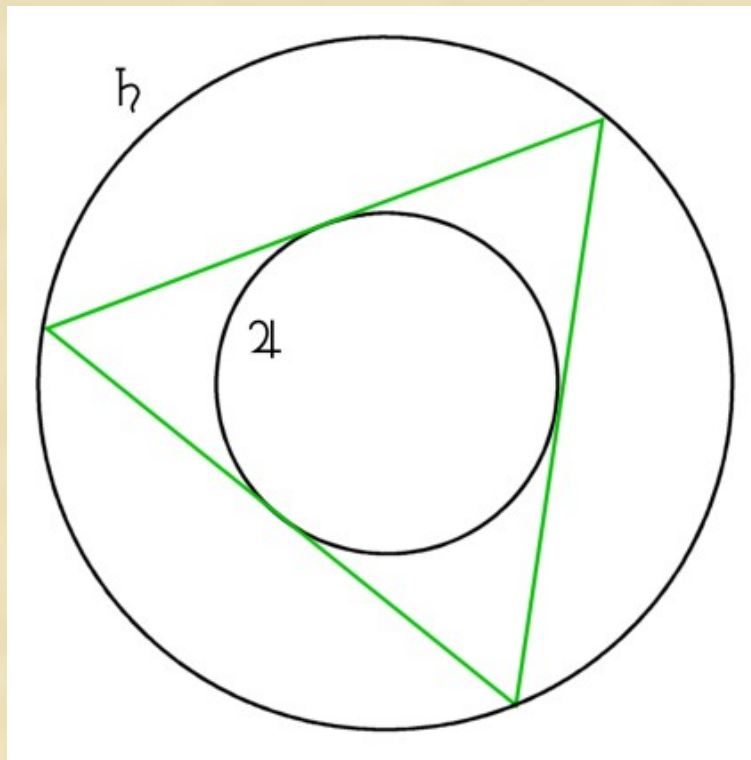


Podczas studiów w Tybindze, Kepler zapoznał się z koncepcją Kopernika i ta od razu wydała mu się interesująca. W przeciwieństwie jednak do jemu współczesnych, **zaczął się zastanawiać dlaczego wszechświat miałby być taki jak go opisał Kopernik.**

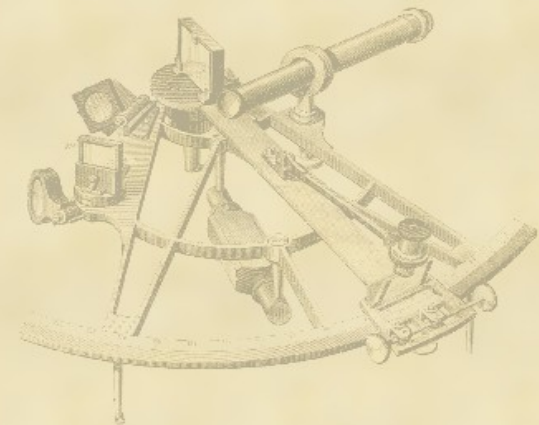
W szczególności Kepler pytał:

- dlaczego jest tylko sześć planet?
- dlaczego odległości między planetami są takie a nie inne?
- dlaczego planety poruszają się z takimi a nie innymi prędkościami?

Po kilku latach rozważań, w trakcie pierwszego roku pełnienia „nudnej” posady nauczyciela w Grazu, Kepler znajduje rozwiązanie:



Saturn : Jowisz (1.83) 2.0

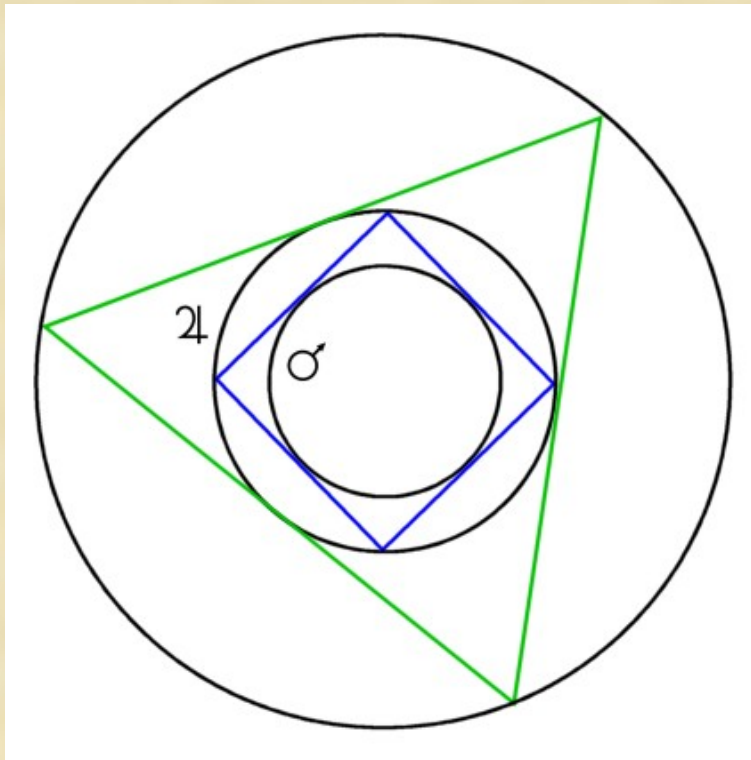


Podczas studiów w Tybindze, Kepler zapoznał się z koncepcją Kopernika i ta od razu wydała mu się interesująca. W przeciwieństwie jednak do jemu współczesnych, **zaczął się zastanawiać dlaczego wszechświat miałby być taki jak go opisał Kopernik.**

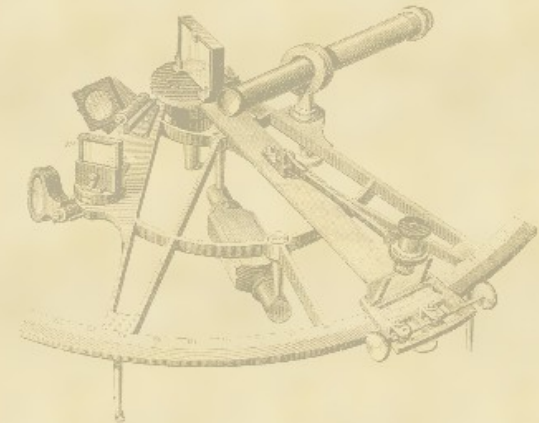
W szczególności Kepler pytał:

- dlaczego jest tylko sześć planet?
- dlaczego odległości między planetami są takie a nie inne?
- dlaczego planety poruszają się z takimi a nie innymi prędkościami?

Po kilku latach rozważań, w trakcie pierwszego roku pełnienia „nudnej” posady nauczyciela w Grazu, Kepler znajduje rozwiązanie:



Saturn : Jowisz (1.83) 2.0
Jowisz : Mars (1.41) 3.4

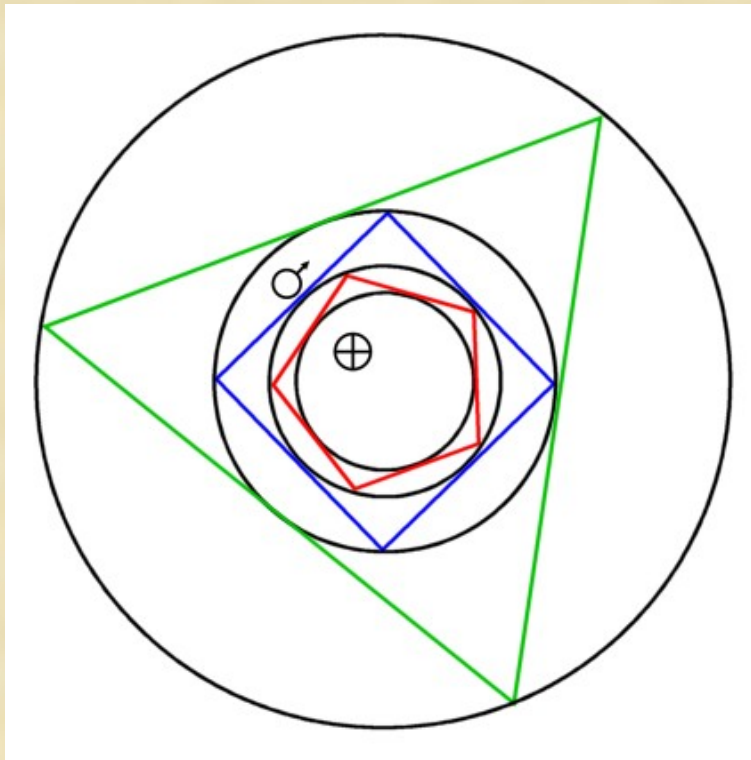


Podczas studiów w Tybindze, Kepler zapoznał się z koncepcją Kopernika i ta od razu wydała mu się interesująca. W przeciwieństwie jednak do jemu współczesnych, **zaczął się zastanawiać dlaczego wszechświat miałby być taki jak go opisał Kopernik.**

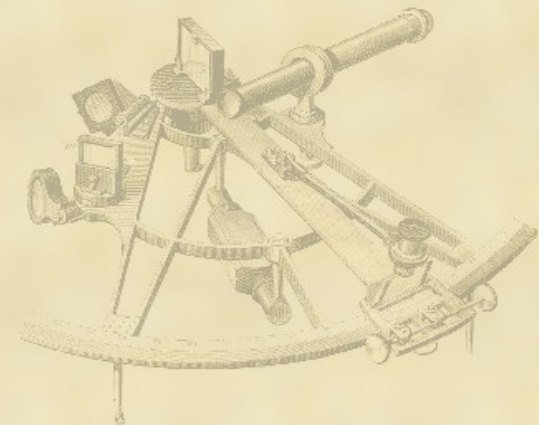
W szczególności Kepler pytał:

- dlaczego jest tylko sześć planet?
- dlaczego odległości między planetami są takie a nie inne?
- dlaczego planety poruszają się z takimi a nie innymi prędkościami?

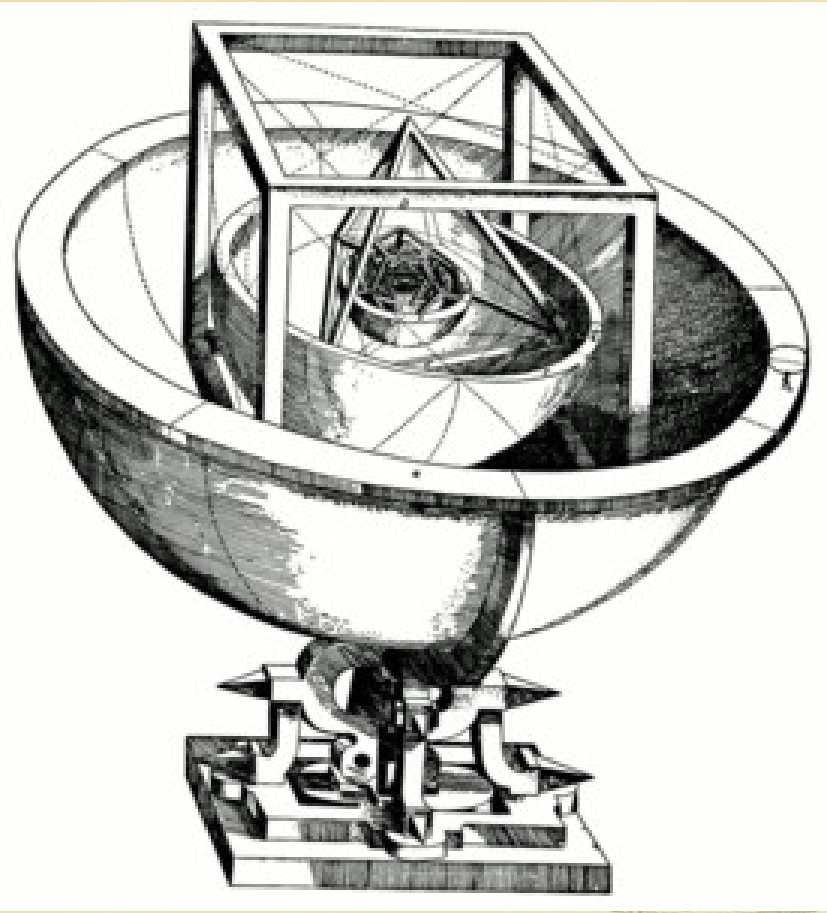
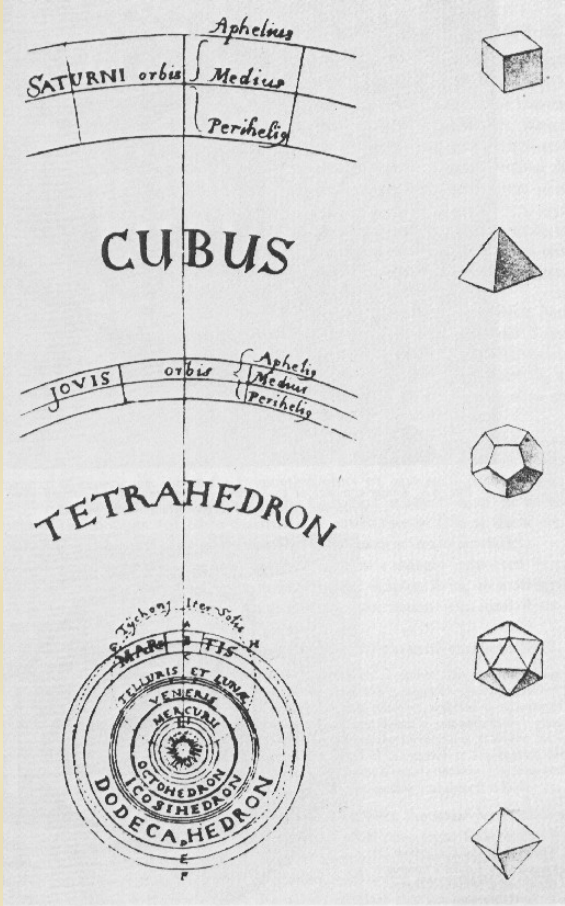
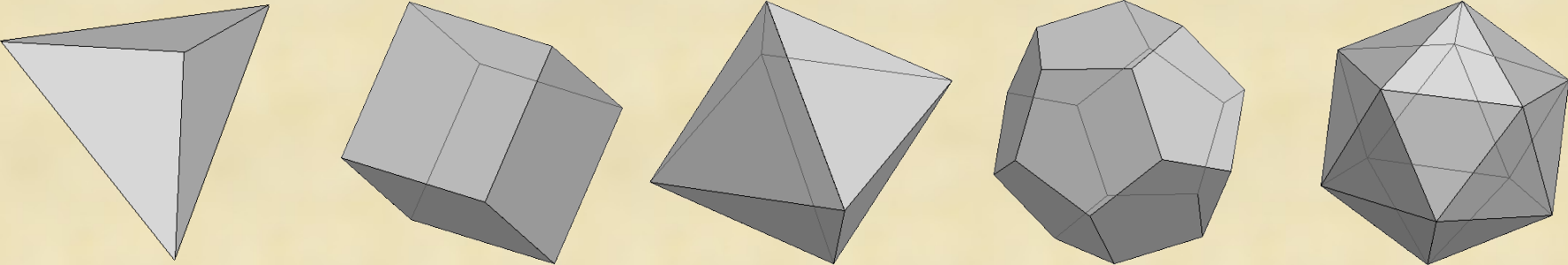
Po kilku latach rozważań, w trakcie pierwszego roku pełnienia „nudnej” posady nauczyciela w Grazu, Kepler znajduje rozwiązanie:



Saturn : Jowisz (1.83) 2.0
Jowisz : Mars (1.41) 3.4
Mars : Ziemia porażka



Istnieje tylko pięć brył pitagorejskich (platońskich) i tylko pięć odległości między sześcioma planetami.



1450
1500
1550
1600
1650

Mysterium Cosmographicum

Część I

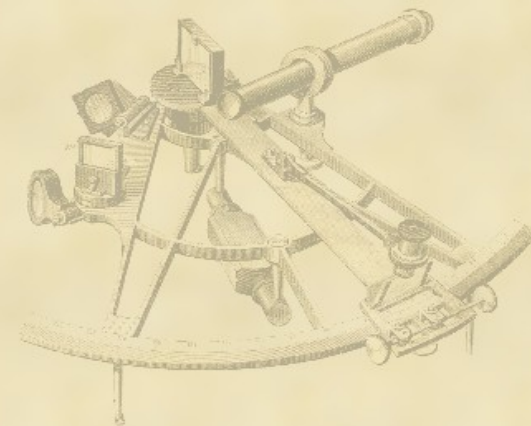
- pierwsza publiczna deklaracja poparcia dla systemu kopernikańskiego
- prezentacja modelu wszechświata opartego na bryłach platońskich
- odrzucenie fizyczności sfer i brył
- metafizyczne dowody (średniowieczne aprioryczno-mistyczne podejście)

Część II

*„Dotychczas omówiono tylko pewne naturalne znaki i podstawy słuszności podjętego stwierdzenia. Przejdźmy teraz do odległości astronomicznych i dowodów geometrycznych. **Jeśli one nie będą zgodne, niewątpliwie cały nasz poprzedni wysiłek będzie daremny.**”*

Oczywiście zgodne nie były !

1596 Mysterium Cosmographicum



Skoro nie udało się ani z orbitami ani z okresami Kepler dochodzi do wniosku, że błąd musi tkwić albo w koncepcji wszechświata albo w danych pomiarowych. Danych Kopernika!

Stąd potrzeba solidnych obserwacji. A najlepsze miał wówczas ...

Tycho de Brache !

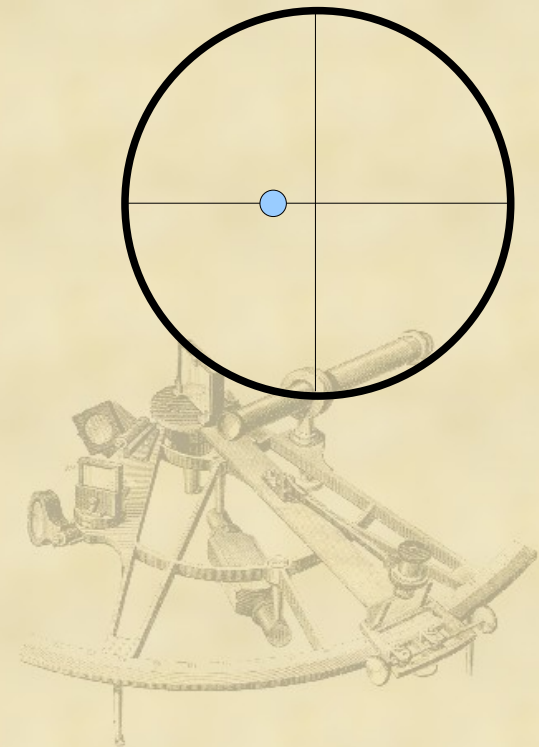
Kepler dostał od Tychona tylko jedno zadanie:

wyjaśnić nieregularności orbity Marsa.

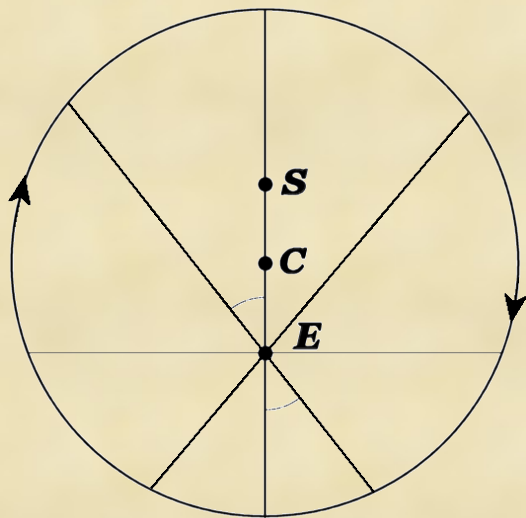
A Mars ma najbardziej eliptyczną orbitę ze wszystkich planet układu.

- Słońce powinno być w centrum układu
- Przeciwstawne siły (ciężenie i inercja!)
- Stały kąt orbity Marsa
- Rezygnacja z ruchu jednostajnego (bliżej / dalej)

4 luty 1600 Kepler pomocnikiem Tychona



1450
1500
1550
1600
1650



EC nie musi być równe CS.

Korzystając z kilkudziesięciu obserwacji Tychona i wykonując 900 stron przybliżonych obliczeń Kepler opisał orbitę Marsa z **dokładnością do 2'** kątowych.

Przy okazji popełnił dwa błędy. Na początku podstawiał błędne dane, na końcu pomylił się w rachunkach. Błędy te* prawie idealnie się zniosły.

Dwa pomiary nie pasowały do teorii. Różnice sięgały 8' kątowych. To wystarczyło, aby Kepler w całości odrzucił swoją teorię!

Trzeba odrzucić ruch po okręgu!

Jak zatem porusza się Ziemia?

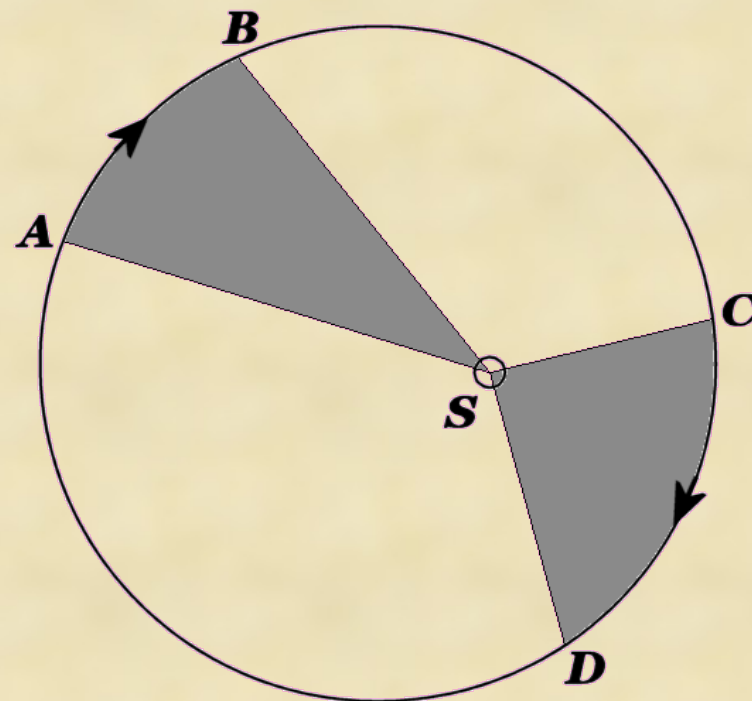
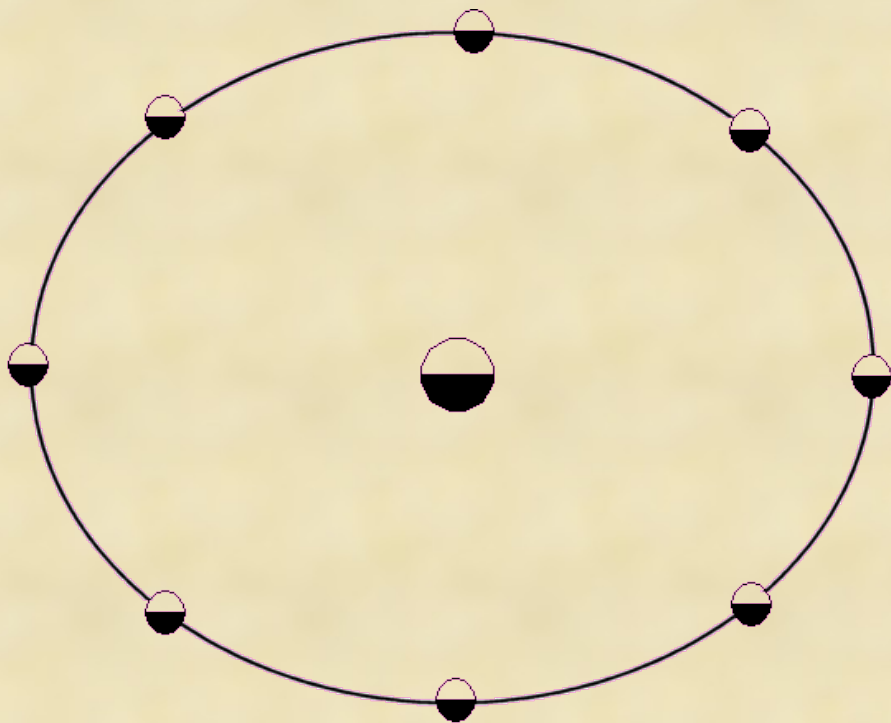
Przenieśmy obserwatora na Marsa i poszukajmy odpowiedzi.

Ziemia porusza się ruchem niejednostajnym, a jej prędkość w peryhelium (najbliżej Słońca) i aphelium (najdalej) jest odwrotnie proporcjonalna do odległości od Słońca.



* Jean Baptiste Joseph Delambre (1804)

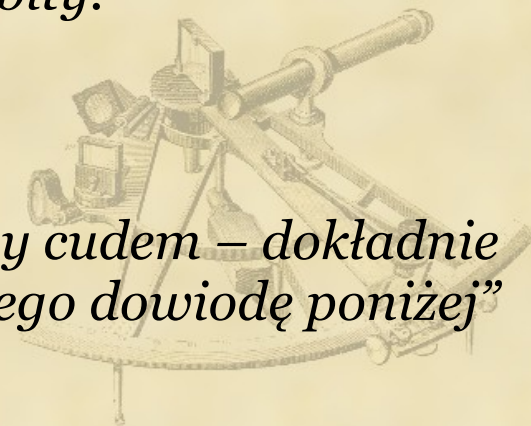
Planety popycha siła pochodząca od Słońca, więc Słońce musi wirować (zasada wiru). Tylko dlaczego nie poruszają się po okręgach?



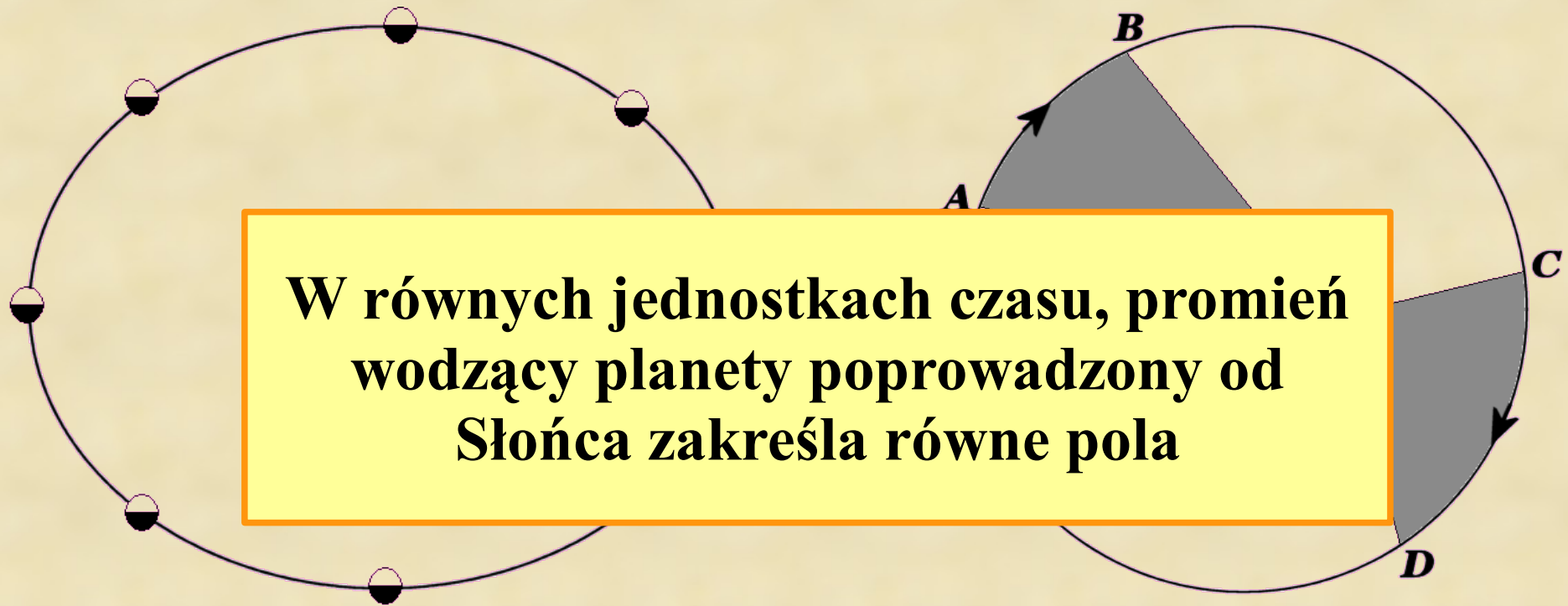
„Ponieważ miałem świadomość, że istnieje nieskończona liczba punktów na orbicie, a zatem nieskończona liczba odległości od Słońca, przyszła mi do głowy myśl, że suma tych odległości zawiera się w powierzchni orbity.”

Kepler wiedział, że nie wolno sumować odległości.
Był już również pewien, że orbita nie jest kołowa.

„Jednak te dwa błędy – jakby cudem – dokładnie się znoszą, czego dowiodę poniżej”



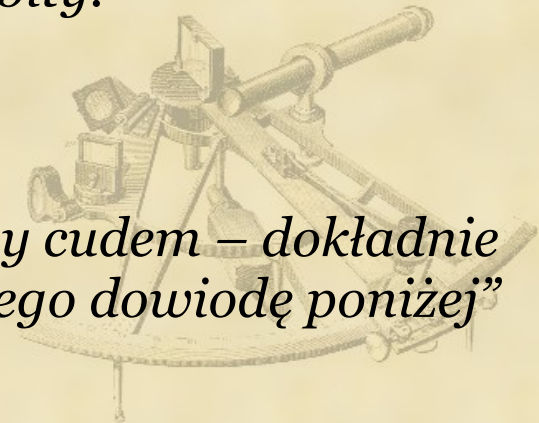
Planety popycha siła pochodząca od Słońca, więc Słońce musi wirować (zasada wiru). Tylko dlaczego nie poruszają się po okręgach?



„Ponieważ miałem świadomość, że istnieje nieskończona liczba punktów na orbicie, a zatem nieskończona liczba odległości od Słońca, przyszła mi do głowy myśl, że suma tych odległości zawiera się w powierzchni orbity.”

Kepler wiedział, że nie wolno sumować odległości.
Był już również pewien, że orbita nie jest kołowa.

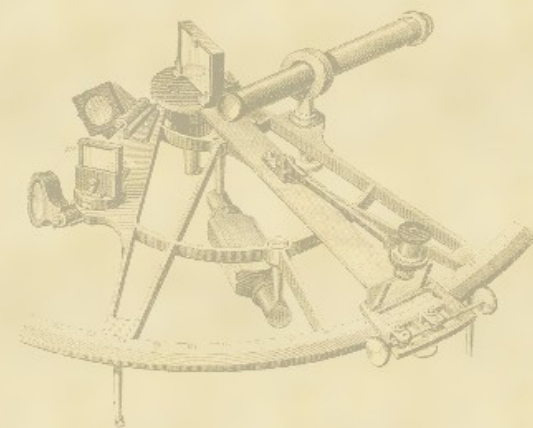
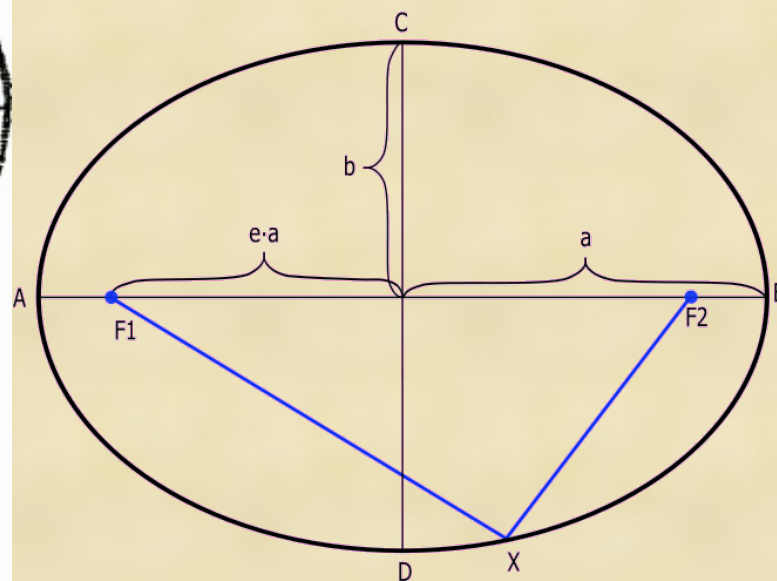
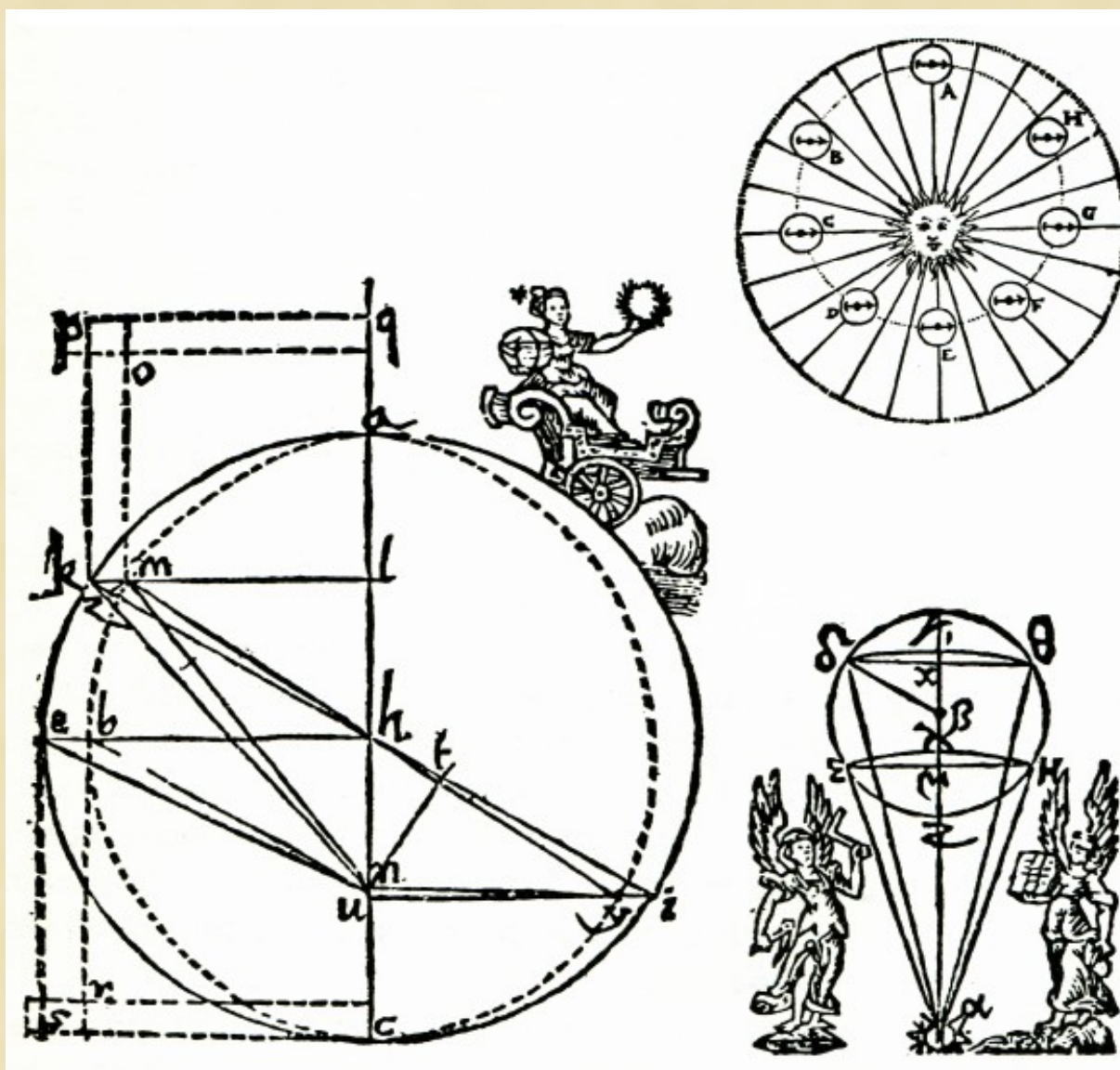
„Jednak te dwa błędy – jakby cudem – dokładnie się znoszą, czego dowiodę poniżej”



Kepler ciągle jednak nie wiedział po jakiej orbicie porusza się Mars.

Sześć lat prób. Dziesiątki pomysłów (owal, jajo).

Nigdy jednak Kepler nie rozważał elipsy, pomimo jej ustawicznego używania do przybliżonego wyznaczania pól powierzchni testowanych orbit.

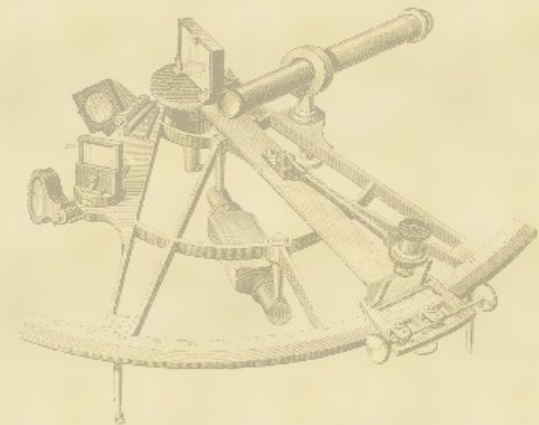


Kepler wiedział już jak opisać ruch Marsa, ale nadal nie wiedział po jakiej orbicie porusza się ta planeta. Postanowił więc zarzucić dotychczasowe rozważania i sprawdzić, jak wyglądałby ruch Marsa ... po elipsie.

„Po co owijać w bawełnę? Prawda natury, którą odrzuciłem i przegnałem od siebie, powróciła ukradkowo tylnymi drzwiami, w przebraniu, aby nie została wypędzona. Inaczej mówiąc, odłożyłem na bok i powróciłem do elips, sądząc, że jest to zupełnie inna hipoteza, podczas gdy są one identyczne. [...] Ach, jaki był ze mnie głuptas!”

***NOWA ASTRONOMIA oparta na przyczynowości, czyli
FIZYKA NIEBA wyprowadzona z dociekań RUCHÓW
GWIAZDY MARS, oparta na obserwacjach
SZLACHETNEGO TYCHONA BRAHE***

1609 *Astronomia Nova*



Kepler wiedział już jak opisać ruch Marsa, ale nadal nie wiedział po jakiej orbicie porusza się ta planeta. Postanowił więc zarzucić dotychczasowe rozważania i sprawdzić, jak wyglądałby ruch Marsa ... po elipsie.

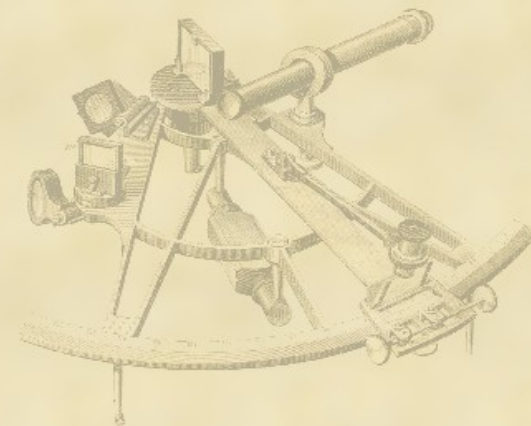
„Po co on
od siebie
została u
elips, są
identyczn

**Każda planeta Układu Słonecznego
porusza się wokół Słońca po elipsie,
w której jednym z ognisk jest Słońce.**

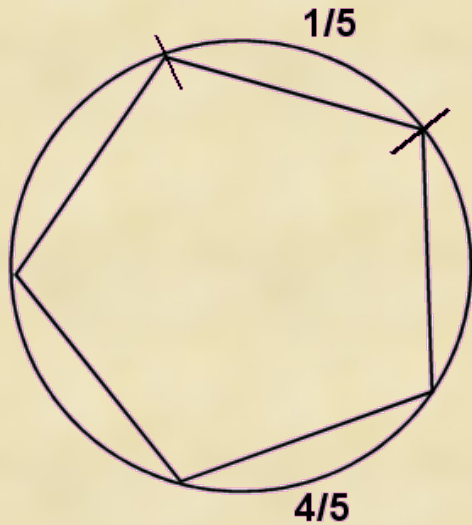
gnatem
aby nie
m do

***NOWA ASTRONOMIA oparta na przyczynowości, czyli
FIZYKA NIEBA wyprowadzona z dociekań RUCHÓW
GWIAZDY MARS, oparta na obserwacjach
SZLACHETNEGO TYCHONA BRAHE***

1609 *Astronomia Nova*



Kepler powraca do rozpoczętych w Grazu rozważań nad interwałami muzycznymi, harmonią, konsonansem i dysonansem. Skąd się jednak biorą pitagorejskie harmonie (1:2, 2:3, 3:4) i dysharmonie (3:7)?



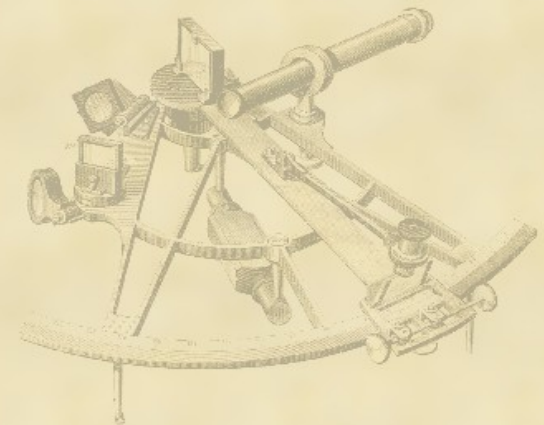
A gdzie wystąpią harmonie na niebie?

- Okresy obiegu planet wokół Słońca?
- Objętości planet?
- Najmniejsze i największe odległości od Słońca?
- Stosunki między skrajnymi prędkościami?
- Czasy na pokonanie jednostki długości?
- Stosunki prędkości kątowych w aphelium i peryhelium?

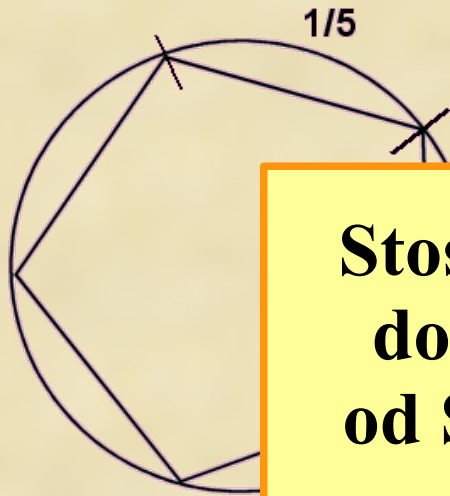
Rozdział „**Główne twierdzenia astronomii, które są potrzebne do badania harmonii niebieskich.**” Pomocnicze twierdzenie numer 8.

1618 Harmonice mundi

1630 Kepler umiera w Ratyzbonie



Kepler powraca do rozpoczętych w Grazu rozważań nad interwałami muzycznymi, harmonią, konsonansem i dysonansem. Skąd się jednak biorą pitagorejskie harmonie (1:2, 2:3, 3:4) i dysharmonie (3:7)?



A gdzie wystąpią harmonie na niebie?

- Okresy obiegu planet wokół Słońca?
- Obietości planet?

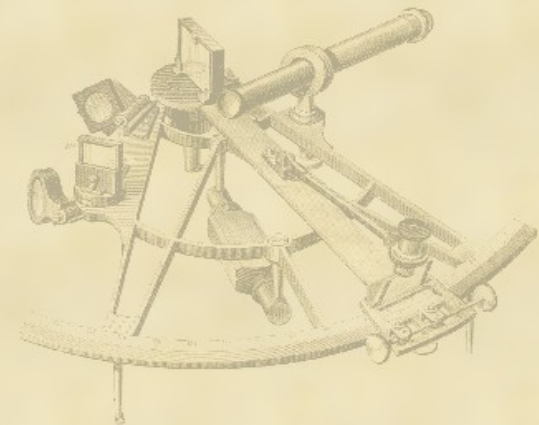
Stosunek drugiej potęgi okresu obiegu do trzeciej potęgi średniej odległości od Słońca jest taki sam dla wszystkich planet Układu Słonecznego.

ryhelium?

Rozdział „*Główne twierdzenia astronomii, które są potrzebne do badania harmonii niebieskich.*” Pomocnicze twierdzenie numer 8.

1618 Harmonice mundi

1630 Kepler umiera w Ratyzbonie



KOPERNIK

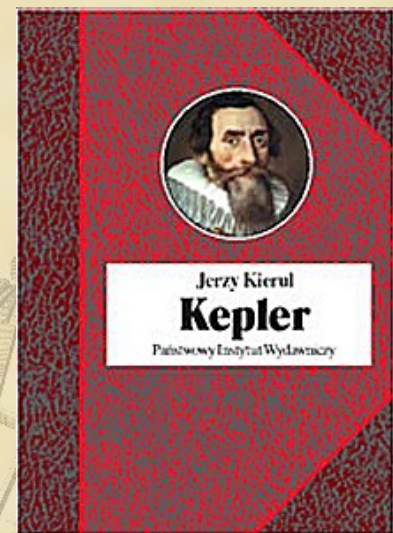
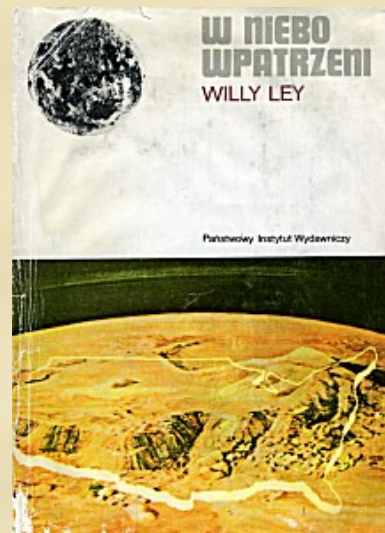
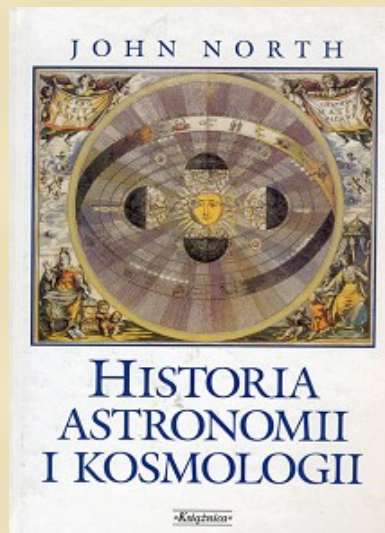
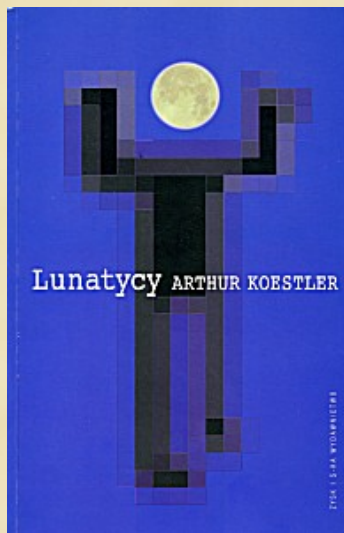
- Jak?
- Posłuszeństwo autorytetom.
- Drugorzędna rola doświadczenia i pomiarów.
- Brak przyczynowości.

KEPLER

- Dlaczego?
- Podważanie autorytetów.
- Decydująca rola doświadczenia i pomiarów.
- Poszukiwanie przyczynowości.
- Pierwsze prawa przyrody.

Koniec nauki średniowiecznej !

Początek nowożytnej nauki !



1450

1500

1550

1600

1650

Dziękuję za uwagę.

