

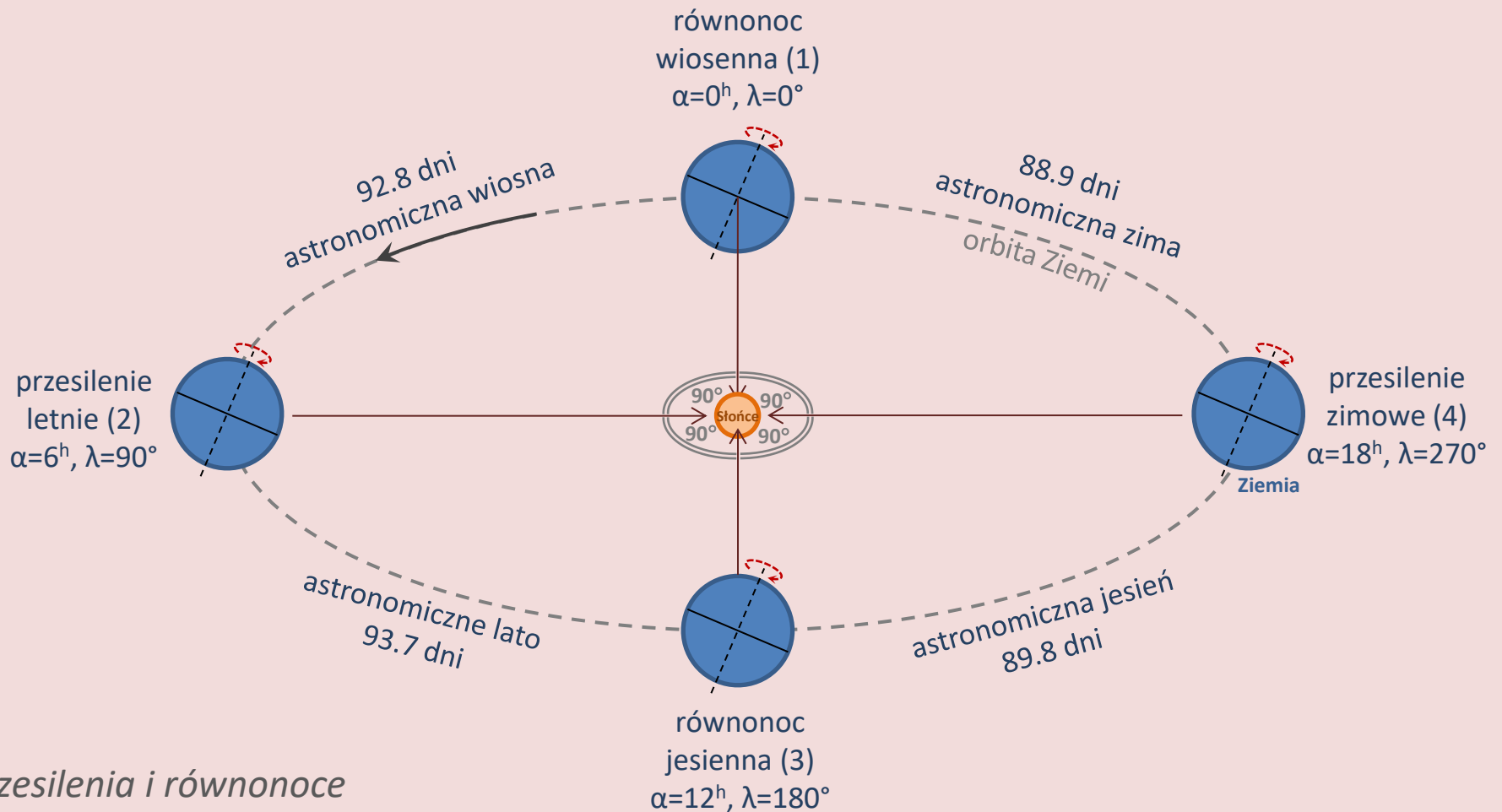
Podstawy Astronomii 1

układ planetarny

układ planetarny

Pory roku nie mają takiej samej długości.

Orbita Ziemi nie jest okręgiem.



*przesilenia i równonoc
oraz pory roku
dla półkuli północnej*

układ planetarny

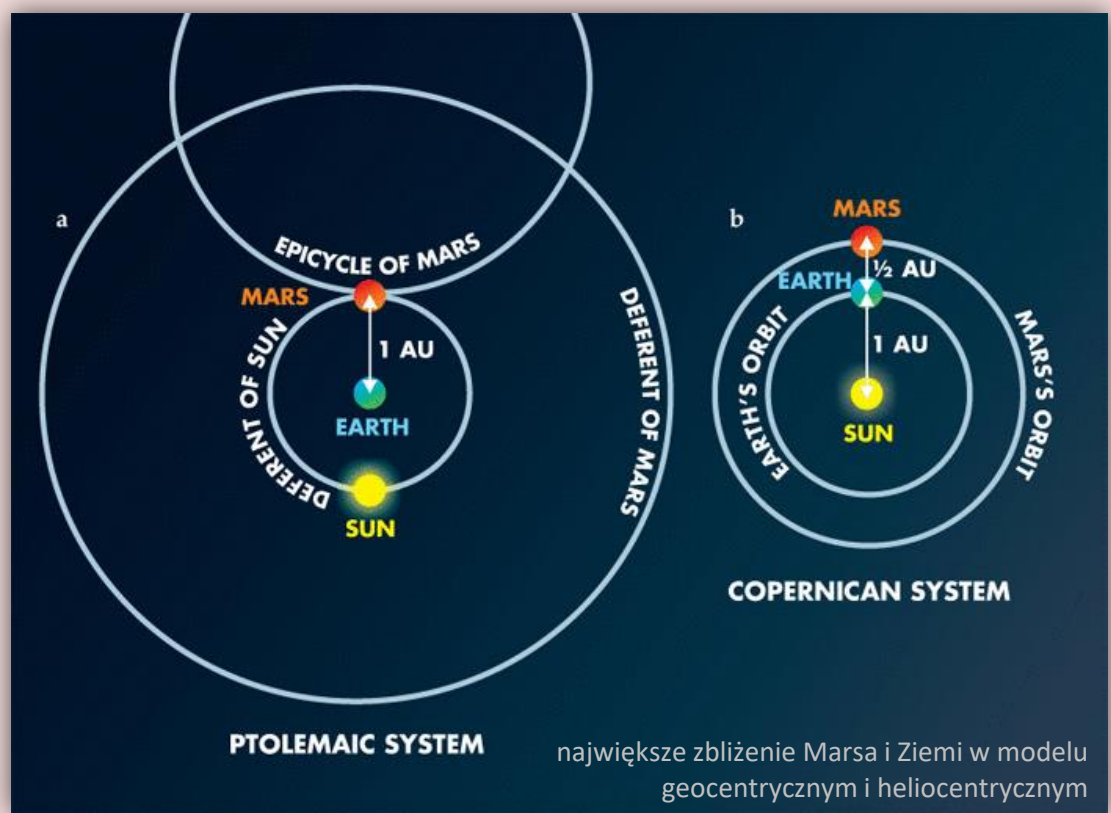
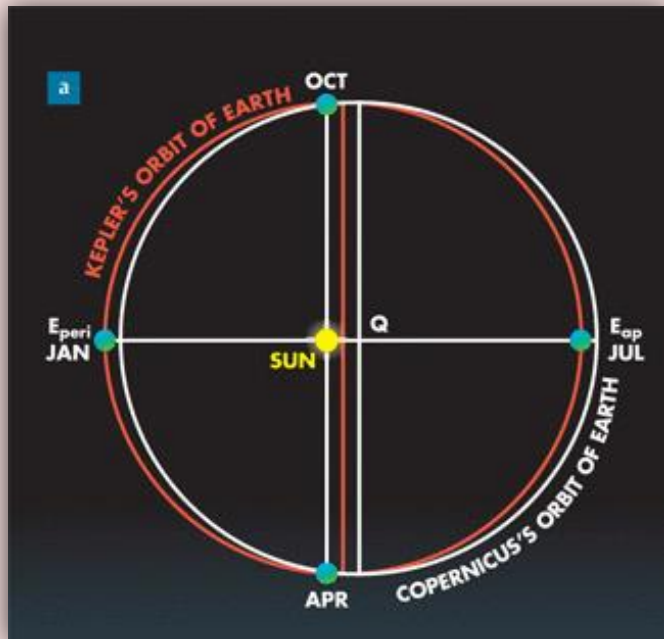
Jaki kształt mają orbity planet?

- Do początku XVII wieku przyjmowano, że są okręgami
- W 1600 roku Tycho Brahe zaprasza do siebie Johannesesa Keplera. To początek końca epoki kołowych orbit



układ planetarny

- Brahe próbuje obserwacyjnie zweryfikować model Układu Słonecznego wykonując obserwacje opozycji Marsa.
- W 1593 r. obserwuje, że Mars jest nie tam, gdzie miał być („wielka katastrofa marsjańska”).
- Kepler dochodzi do wniosku, że problemem jest „zła” orbita Ziemi.

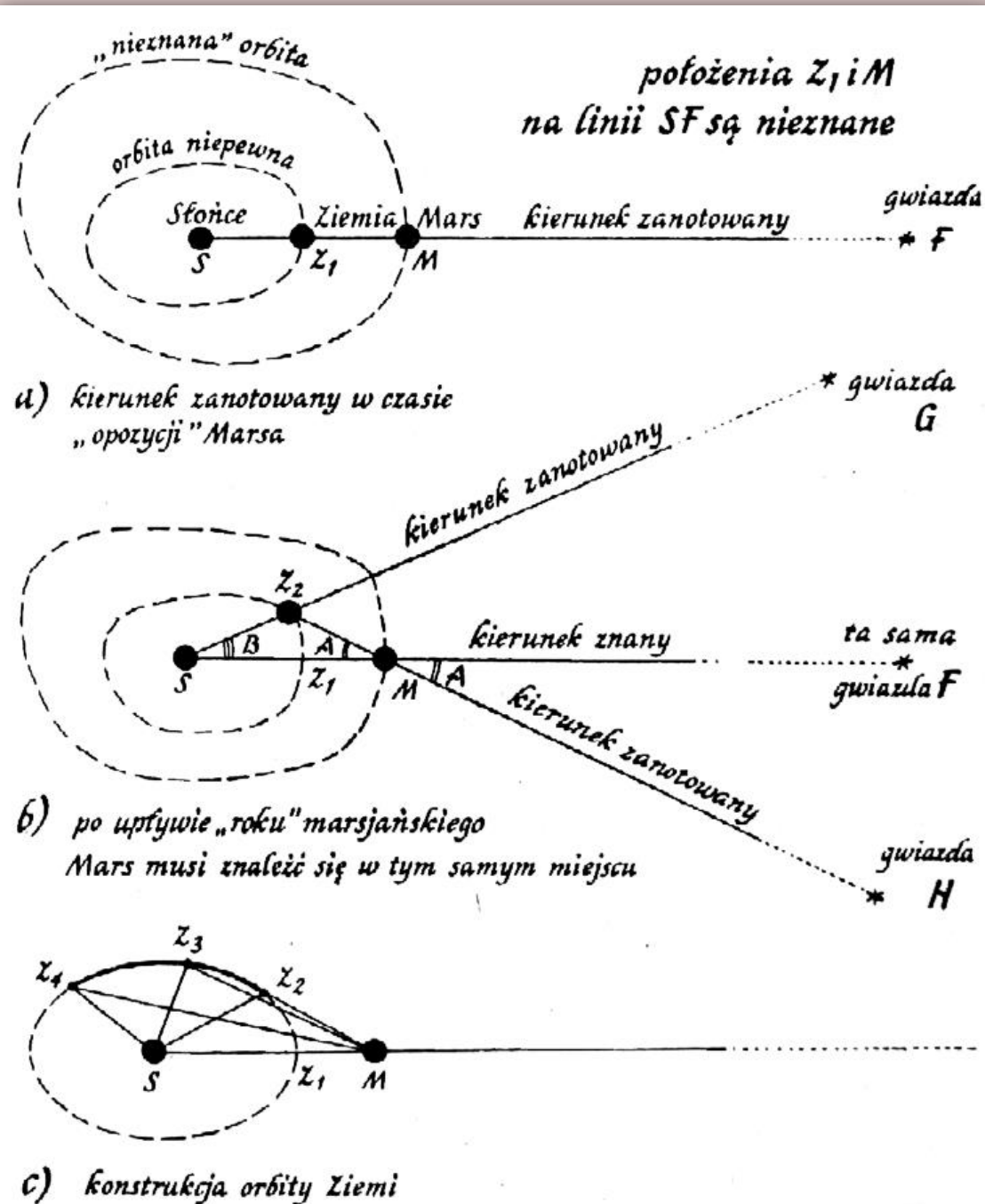


Tycho Brahe's observed errors

przewidywanie i obserwowane położenie Marsa w czasie jego opozycji w 1593 r.	Longitude	Difference
Copernican tables	342° 0'	-4° 71/2'
Tycho's observation	346° 71/2'	
Alfonsine [Ptolemaic] tables	351° 26'	+5° 181/2'

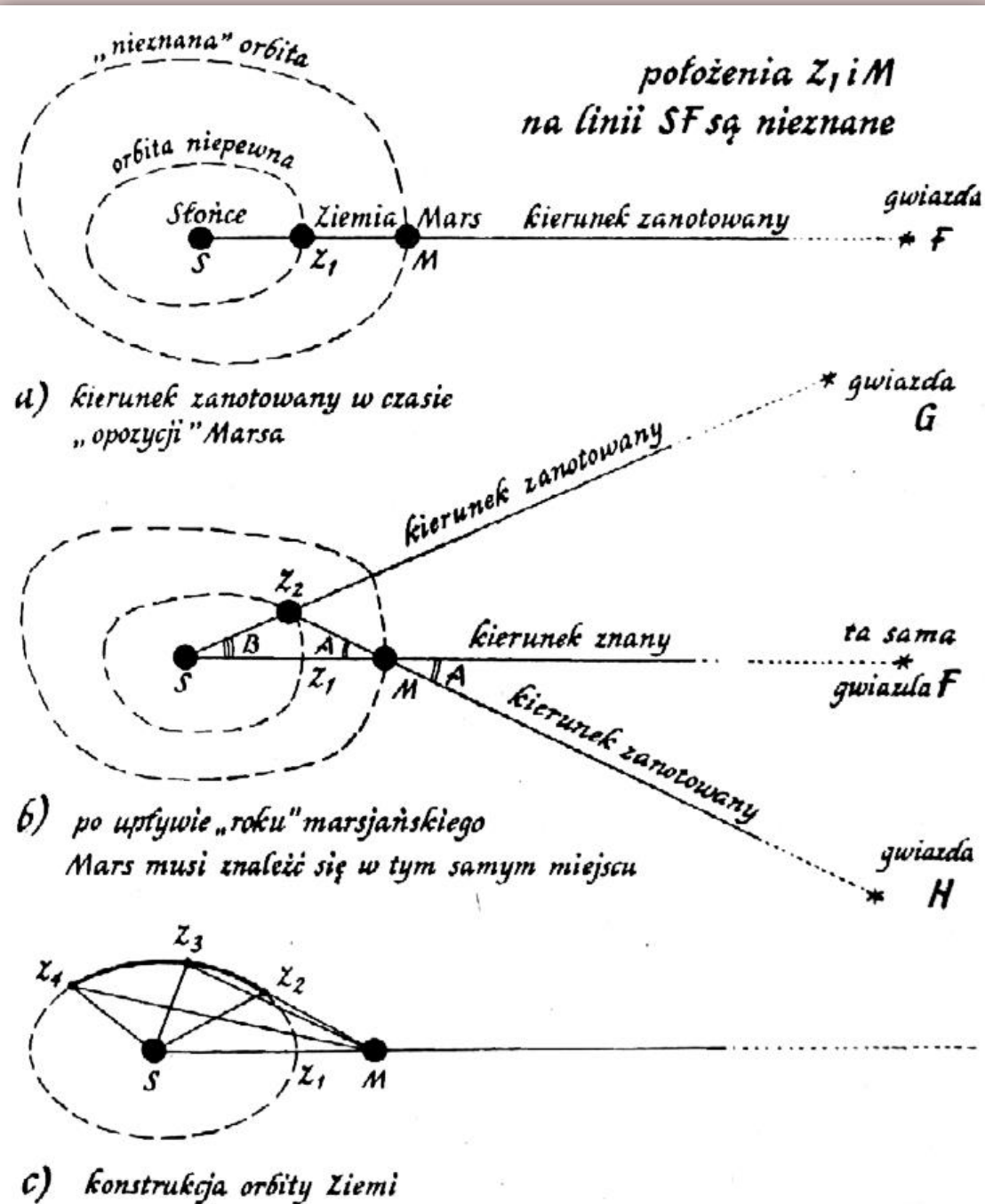
układ planetarny

- Kepler próbuje na podstawie obserwacji Brahego wyznaczyć orbitę Marsa.
- Wychodzi od oczywistego wówczas założenia, że orbity są kołowe.
- Najpierw wyznacza orbitę Ziemi wykorzystując obserwacje Marsa wykonane przez Brahego.
- Orbita Ziemi daje się dobrze opisać ekscentrycznym okręgiem.



układ planetarny

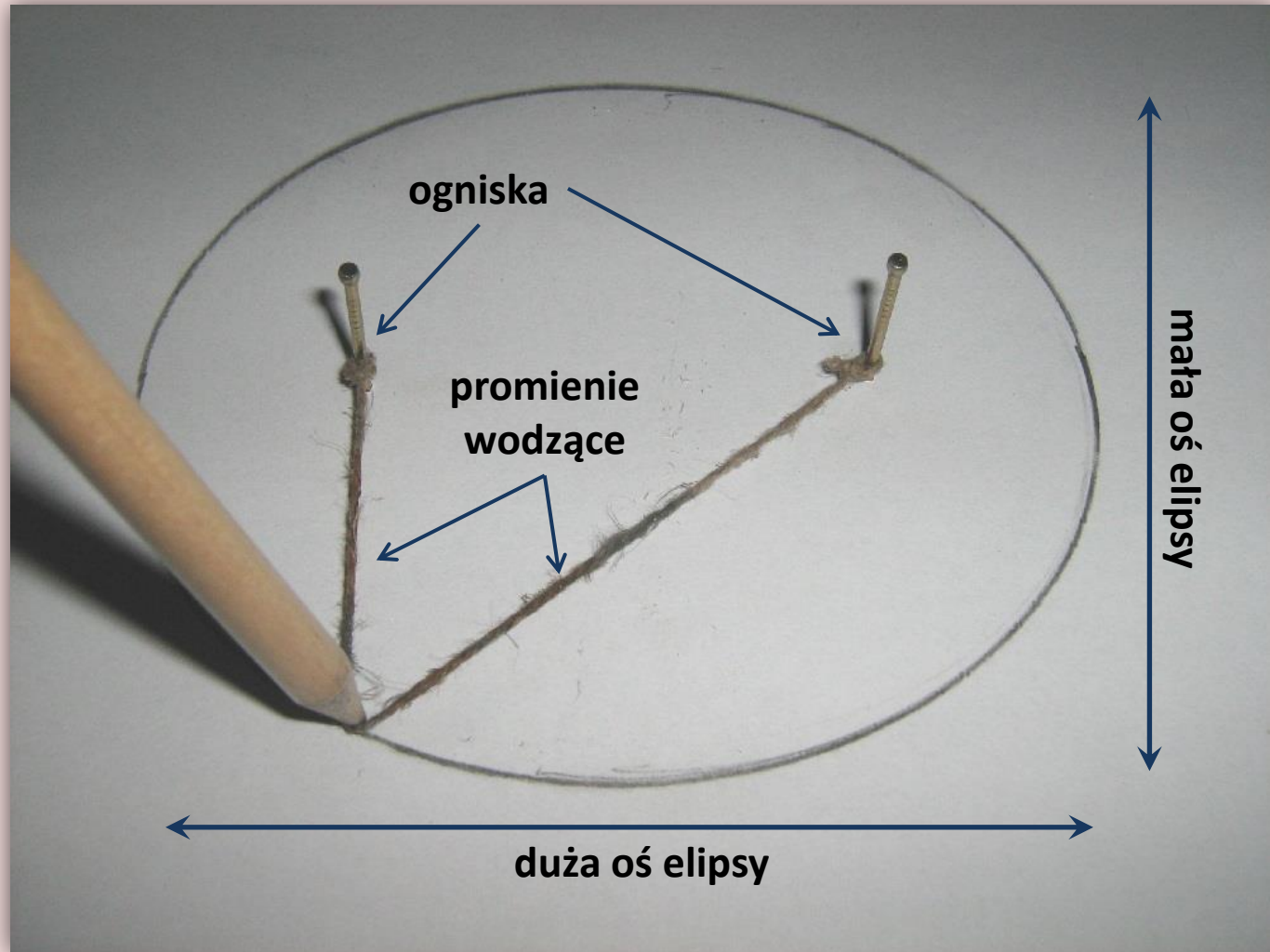
- Następnie próbuje dopasować orbitę kołową dla Marsa.
- Żmudne obliczenia nie dają jednak zadowalającego wyniku.
(błąd 8' większy od dokładności obserwacji Brahego)
- Podobne niezadowalające wyniki dostaje dla orbity owalnej.
- W końcu dostrzega, że najlepiej pasującą krzywą jest elipsa ze Słońcem w jednym z jej ognisk.
- Kilka lat swoich zmagania z Marsem Kepler opisuje w *Astronomia nova* (1609)
- Efekt tych zmagania to 2 prawa opisujące ruch planet.



układ planetarny

I prawo Keplera

Planety poruszają się po elipsach ze Słońcem znajdującym się w jednym z ognisk.



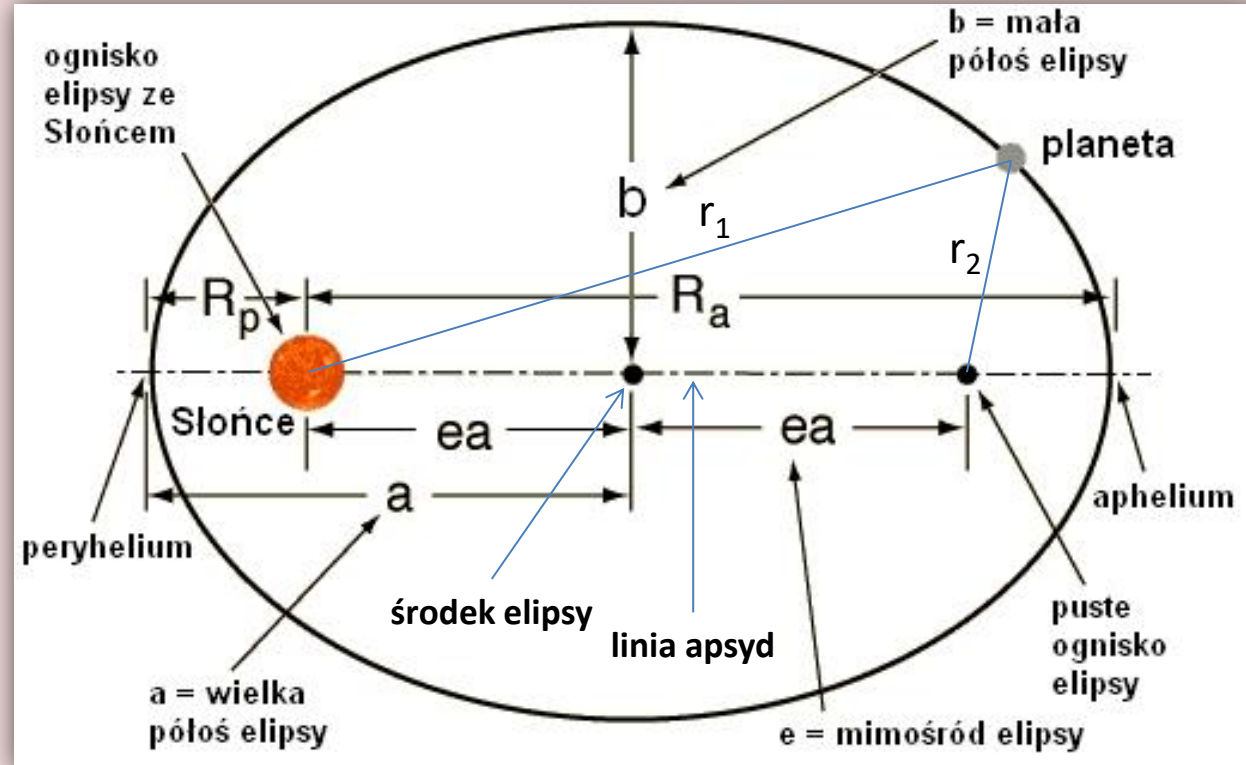
układ planetarny

I prawo Keplera

Planety poruszają się po elipsach ze Słońcem znajdującym się w jednym z ognisk.

Prawo opisuje też ruch innych obiektów, nie tylko planet (zagadnienie dwóch ciał).

wersja uogólniona: ... poruszają się po krzywych stożkowych (okrąg, elipsa, parabola, hiperbola)



Rozmiar i kształt elipsy opisują:

- wielka półoś, a
- mimośród (spłaszczenie), e

Inne ważne parametry:

- ogniskowa: $c = ae$
- promień wodzący:

$$r_1 + r_2 = 2a$$

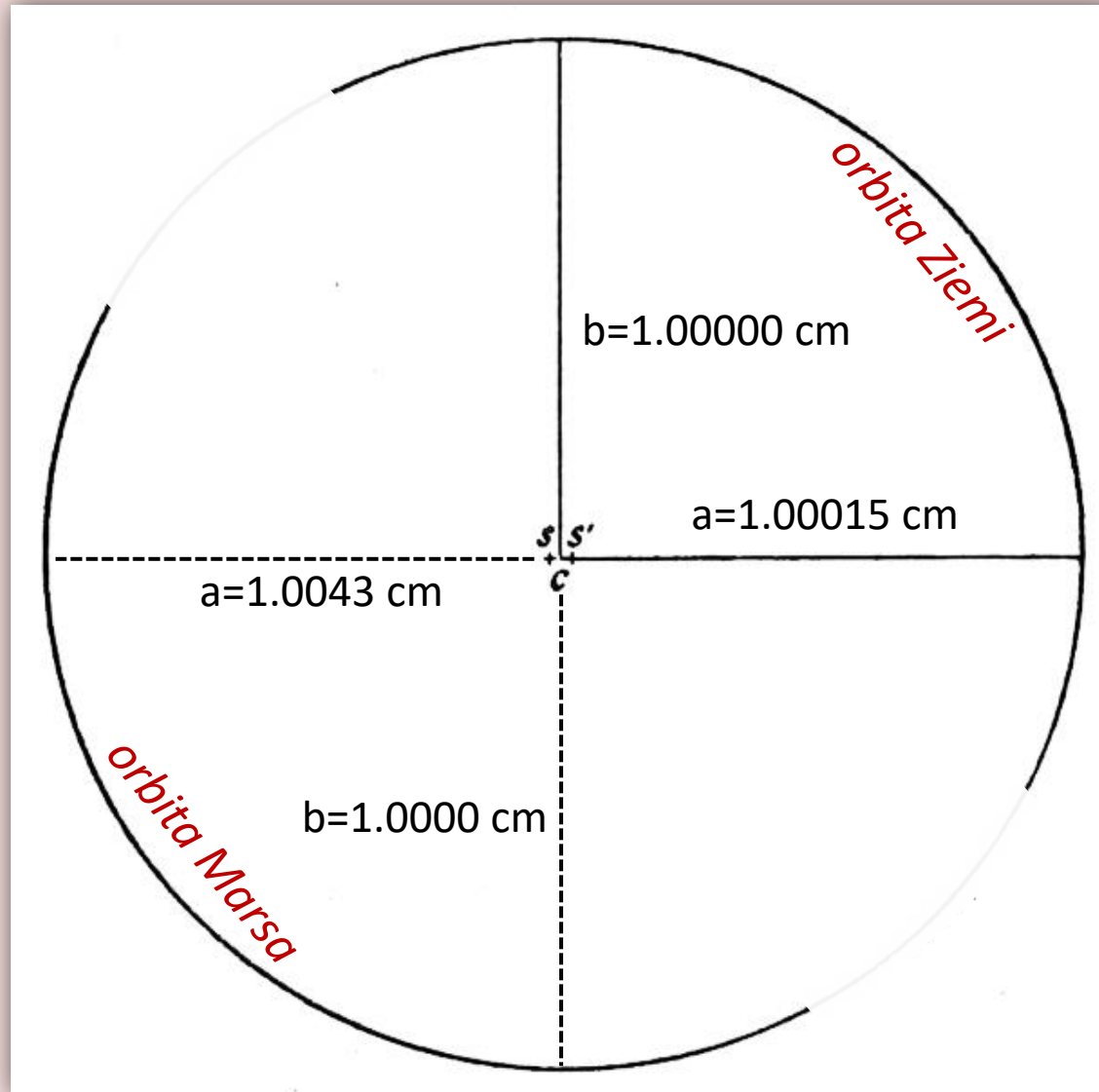
- peryhelium, aphelium (perygeum, apogee; perycentrum, apocentrum):

$$R_p = a - c \quad R_a = a + c$$

- mała półoś: $b^2 = a^2 - c^2$
- pole powierzchni: $A_{el} = \pi ab$

układ planetarny

Jak bardzo eliptyczne są orbity planet?

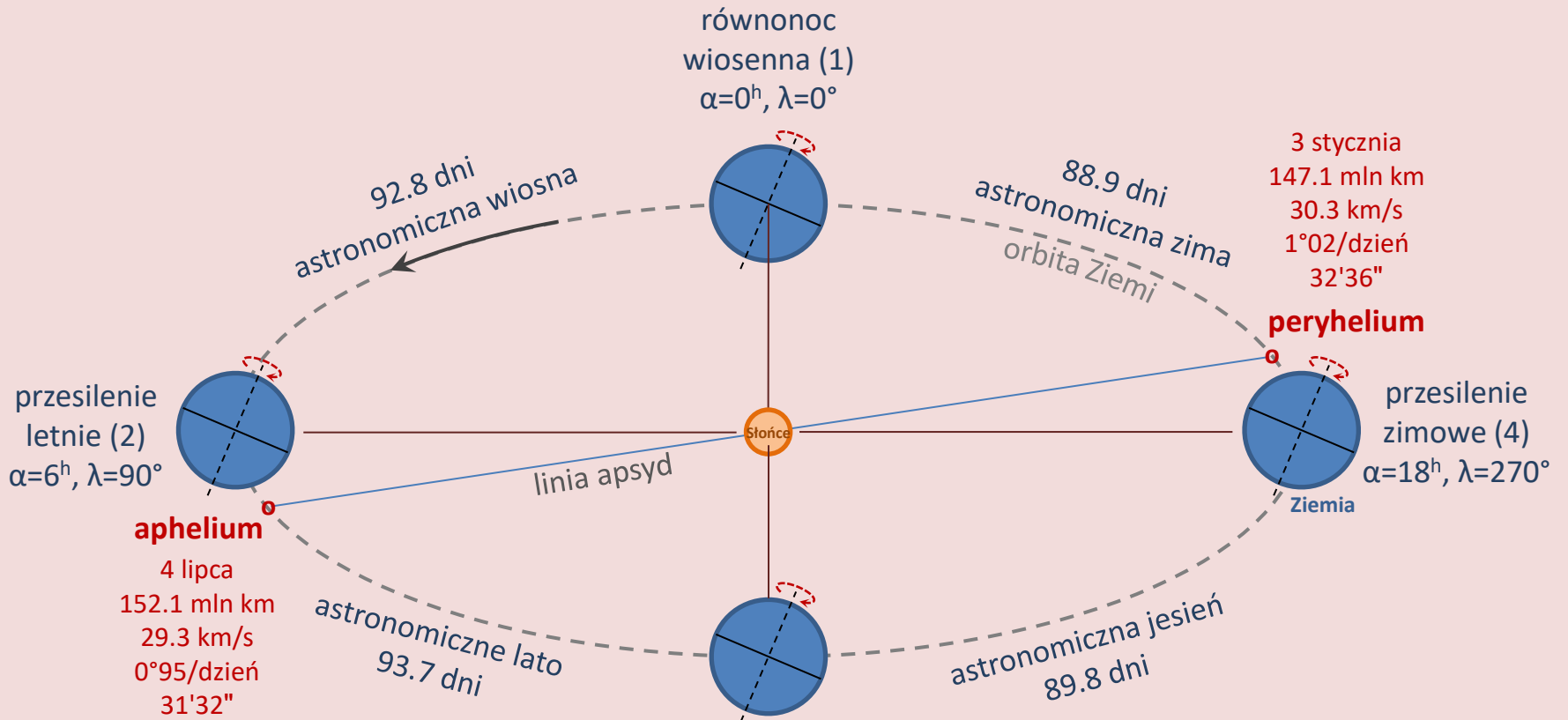


układ planetarny

Orbita Ziemi

$a = 149\,597\,871 \text{ km} = 1 \text{ AU}$ (astronomical unit, jednostka astronomiczna)

$e = 0.01672$



*przesilenia i równonoc
oraz pory roku
dla półkuli północnej*

info podane dla pery- aphelium:
data
odległość od Słońca
prędkość orbitalna
prędkość kąтова
śr. kąтова Słońca

układ planetarny

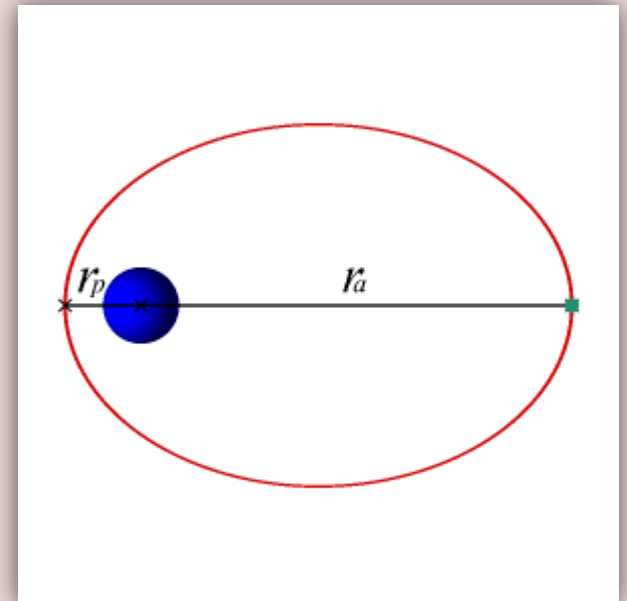
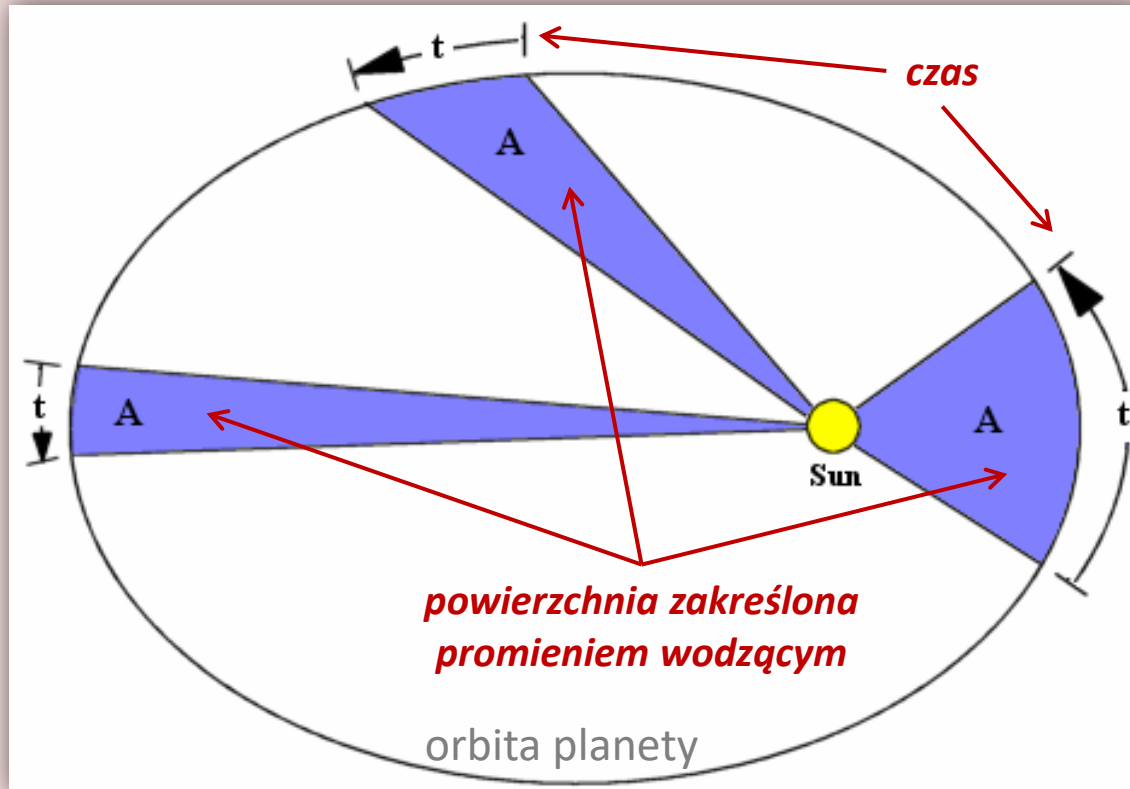
II prawo Keplera

Wektor łączący planetę ze Słońcem zakreśla pole w stałym tempie (stała prędkość polowa):

$$\frac{A}{t} = \text{const} \quad \frac{dA}{dt} = \text{const}$$

Efekt: prędkość liniowa planety jest największa w peryhelium, najmniejsza w aphelium.

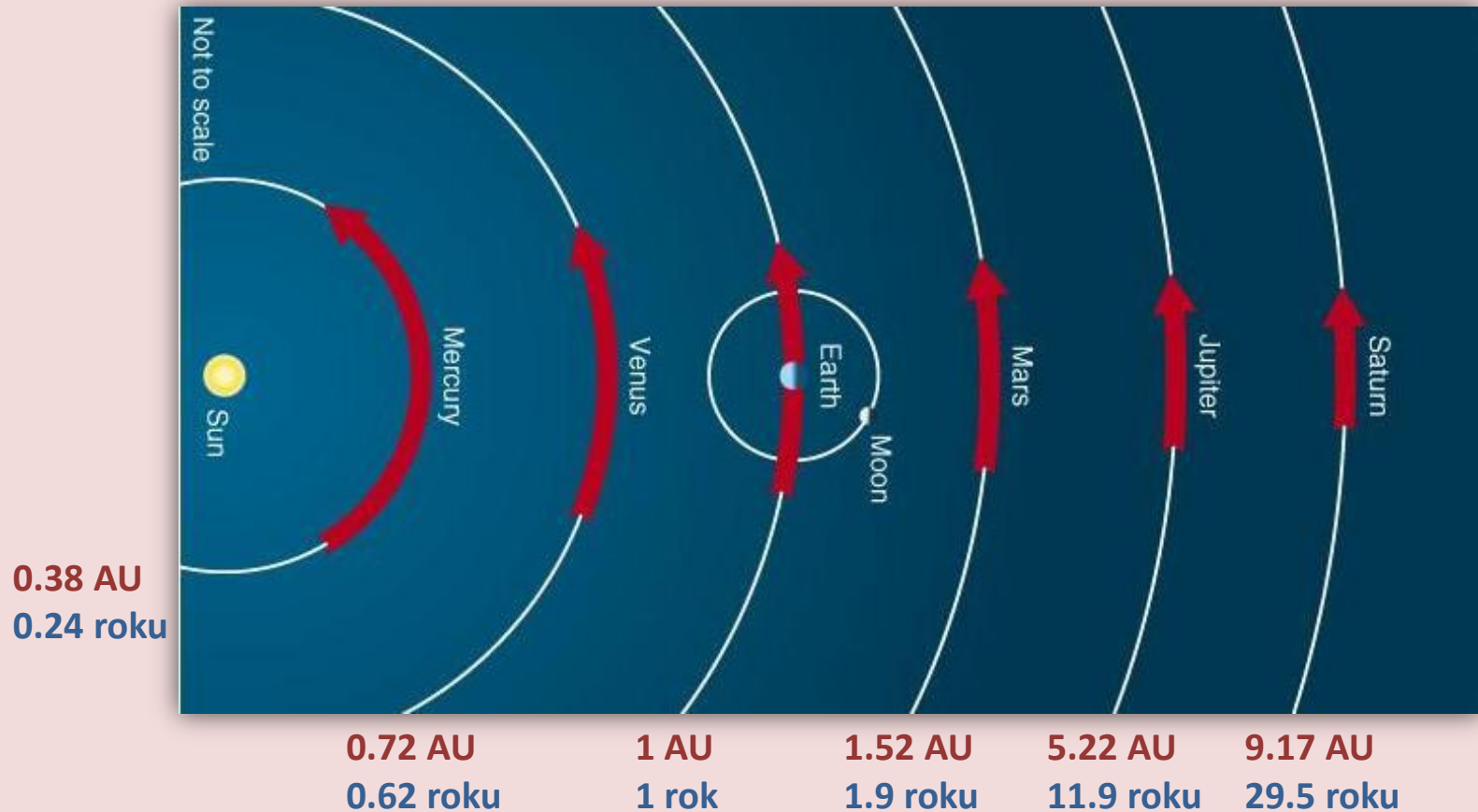
Prawo opisuje też ruch innych obiektów, nie tylko planet (zagadnienie dwóch ciał).



układ planetarny

III prawo Keplera

- Kopernik zauważył, że im dalej od Słońca znajduje się planeta tym więcej czasu zajmuje jej pełny obieg po orbicie (dłuższy okres orbitalny/obiegu).
- Kepler przez wiele lat poszukiwał prawa, które opisałoby tę zależność. Znalazł je w 1618 r. (Harmonices Mundi, 1619)



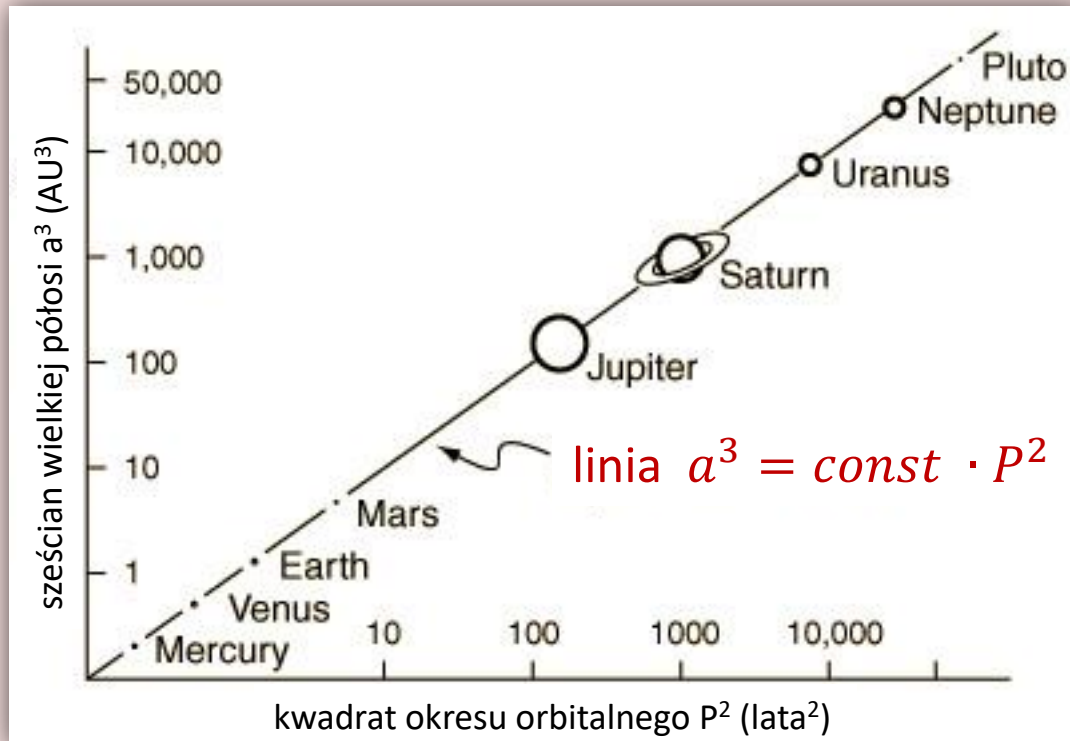
układ planetarny

III prawo Keplera

Kwadrat okresu orbitalnego planety (P) jest proporcjonalny do sześciangu półosi wielkiej jej orbity (a)

$$\frac{a^3}{P^2} = k$$

gdzie k to wartość stała. Jeśli okres orbitalny P wyrazimy w latach ziemskich oraz wielką półoś orbity a w AU, to const ma wartość 1.

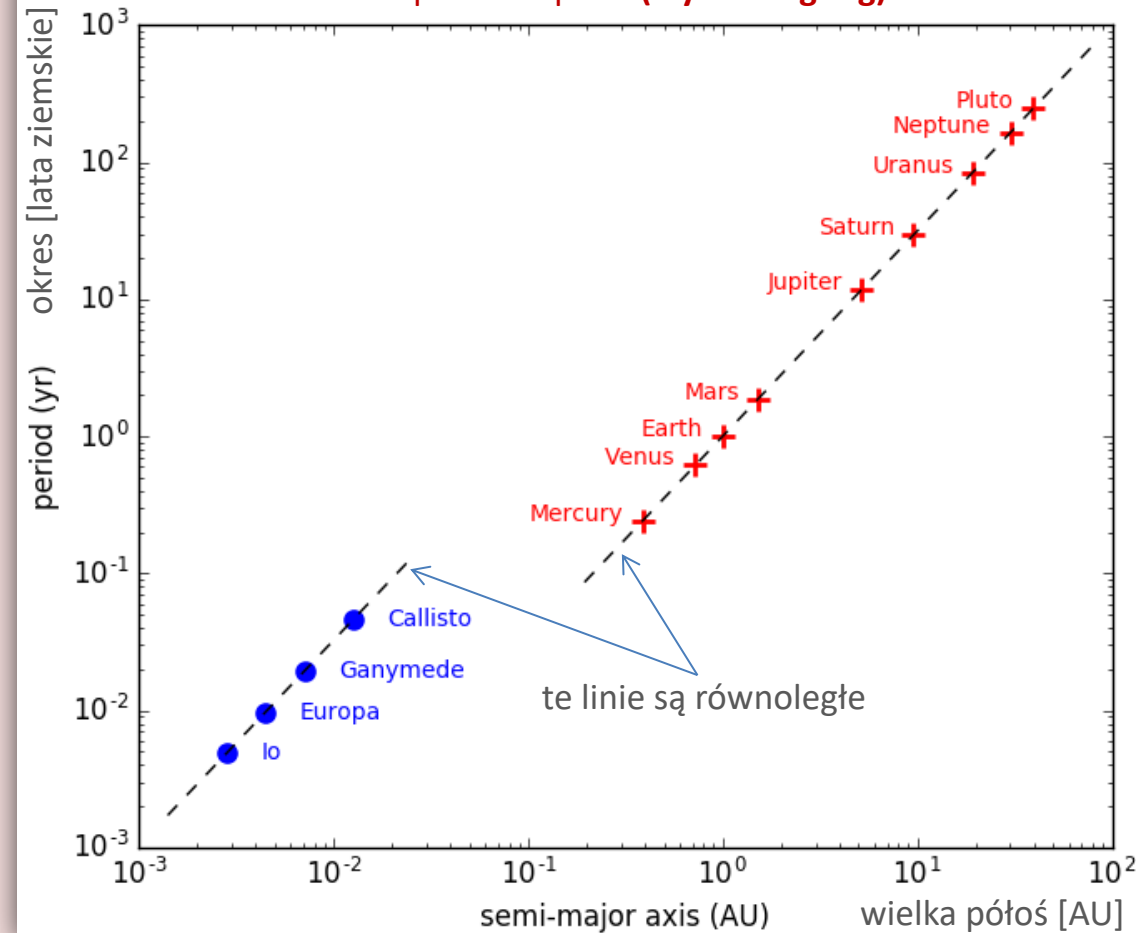


układ planetarny

III prawo Keplera

Prawo to opisuje też ruch innych obiektów, nie tylko planet (zagadnienie dwóch ciał) oraz obowiązuje w innych układach (np. planeta i jej księżyce), ale ma inną wartość stałej

III prawo Keplera (wykres log-log)

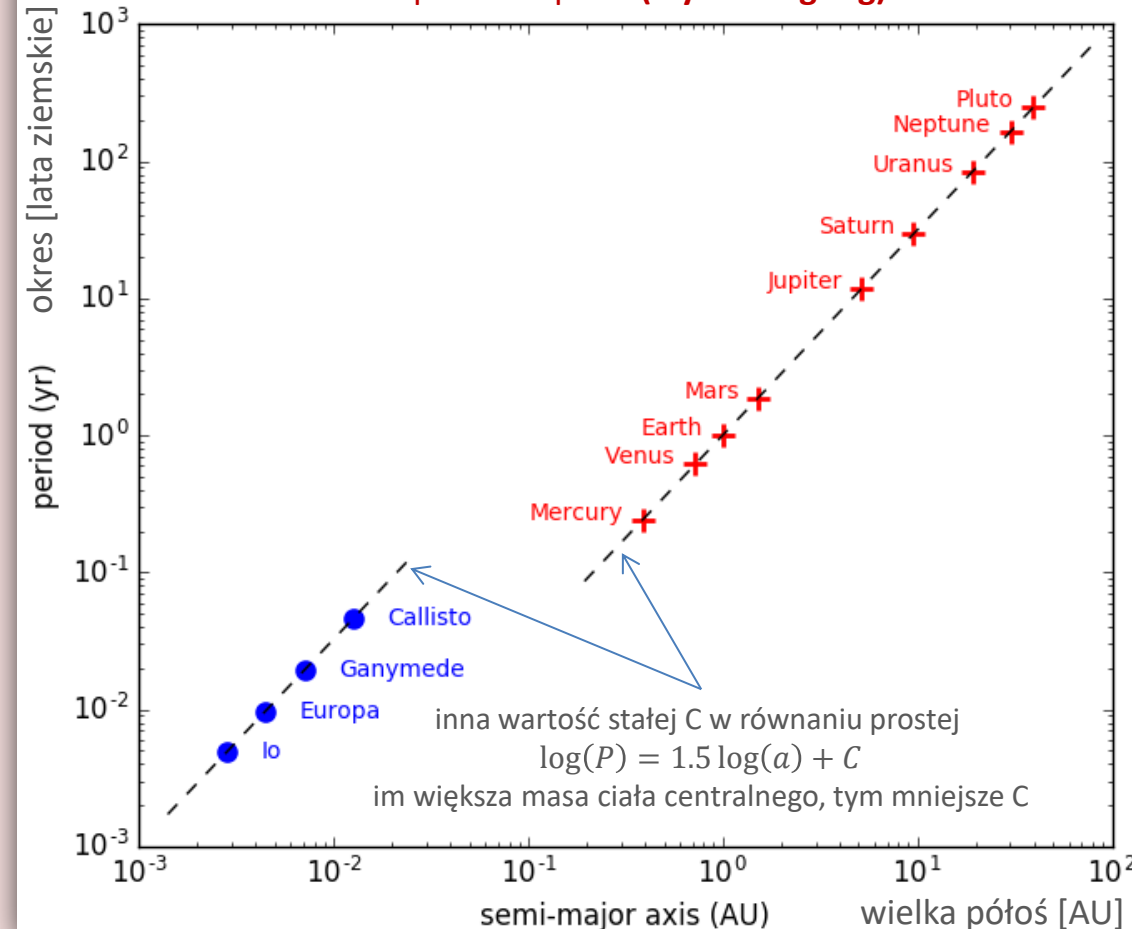


układ planetarny

III prawo Keplera

Prawo to opisuje też ruch innych obiektów, nie tylko planet (zagadnienie dwóch ciał) oraz obowiązuje w innych układach (np. planeta i jej księżyce), ale ma inną wartość stałej

III prawo Keplera (wykres log-log)



Wersja uogólniona III prawa Keplera:

$$G(m_1 + m_2)P^2 = 4\pi^2 a^3$$

G – stała grawitacji,
 m_1, m_2 – masy obiegające się.

Jeśli $m_2 \ll m_1$ to:

$$Gm_1 P^2 = 4\pi^2 a^3$$

dla Słońca (M_S) i planet:

$$GM_S P^2 = 4\pi^2 a^3$$

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{GM_S}{4\pi^2} = \text{const1}$$

dla Jowisza (M_J) i jego księżyców

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{GM_J}{4\pi^2} = \text{const2}$$

W tej wersji III prawo Keplera pozwala wyznaczać masy obiektów.

układ planetarny

Rozmiar kątowy

Promień kątowy θ obiektu kulistego zależy od jego promienia liniowego (r) i odległości od obserwatora (d)

$$\sin \theta = \frac{r}{d}$$

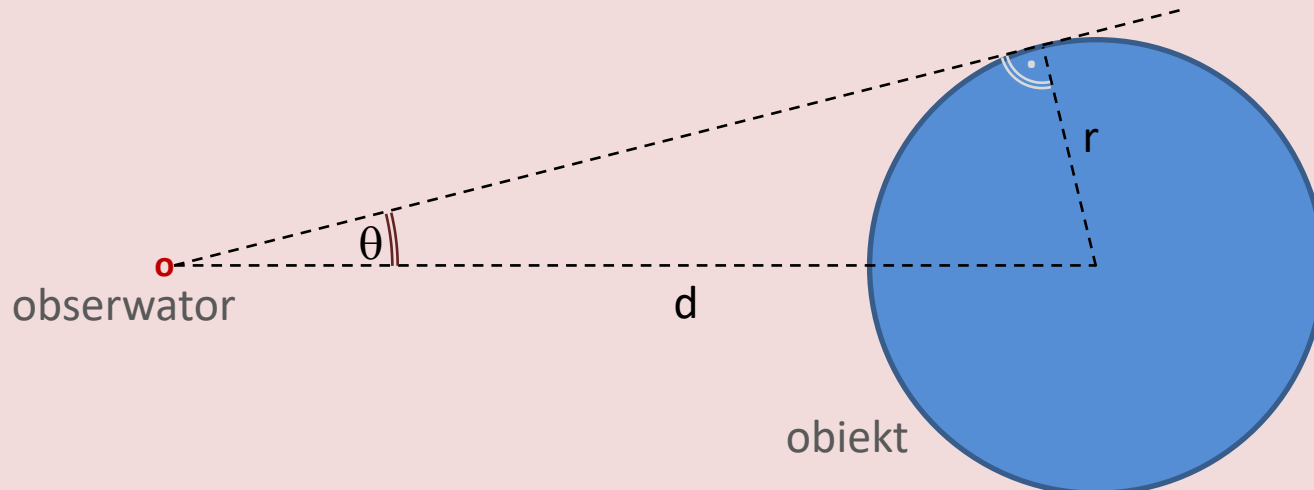
dla małych kątów $\sin \theta \approx \theta$ [rad]

$$\theta[\text{rad}] \approx \frac{r}{d}$$

Zastosowanie: wyznaczenie rozmiaru liniowego obiektu przy znanej odległości i rozmiarze kątowym

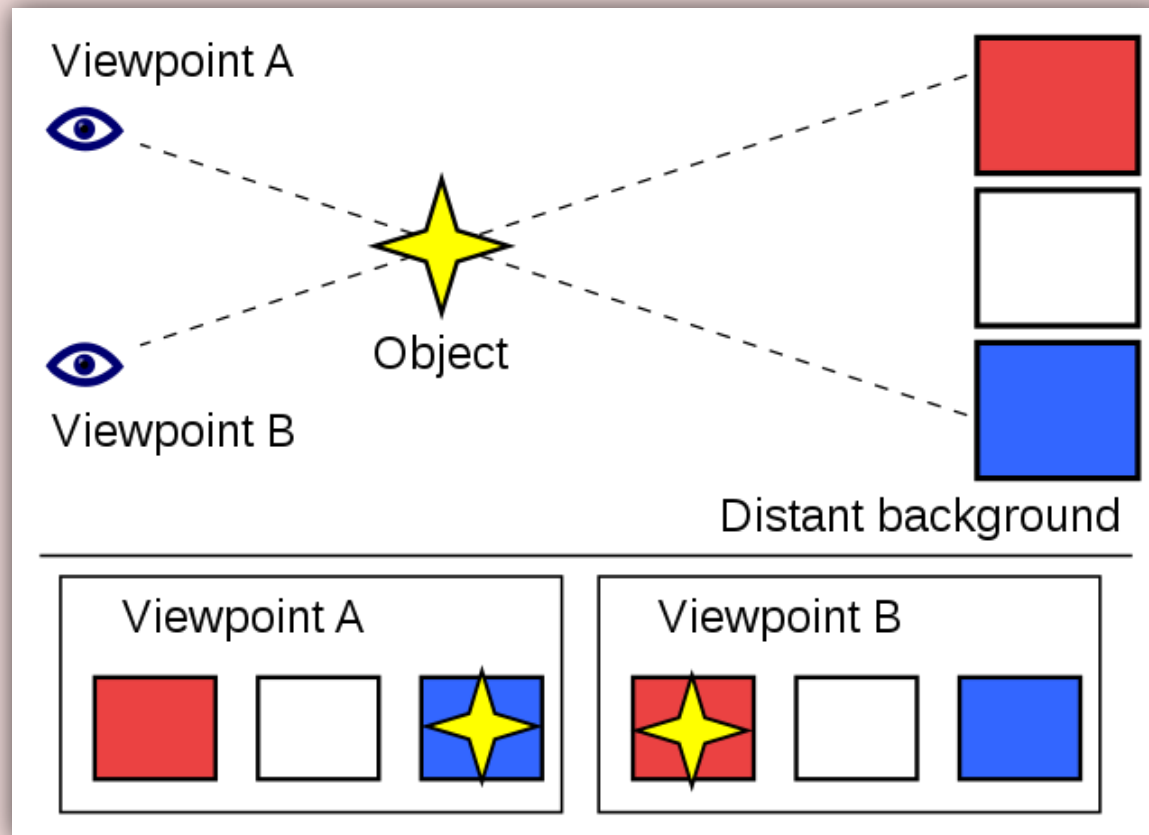
Przykład: Księżyc, $\theta = 15'.53$, $d = 384400$ km

$$r = d \sin \theta$$
$$r = 1737 \text{ km}$$



układ planetarny

paralaksa geocentryczna



ogólne działanie paralaksy

układ planetarny

paralaksa geocentryczna

Obiekt obserwowany z dwóch różnych miejsc na Ziemi widoczny jest w innym miejscu na niebie (na tle innych gwiazd, ma inne współrzędne).

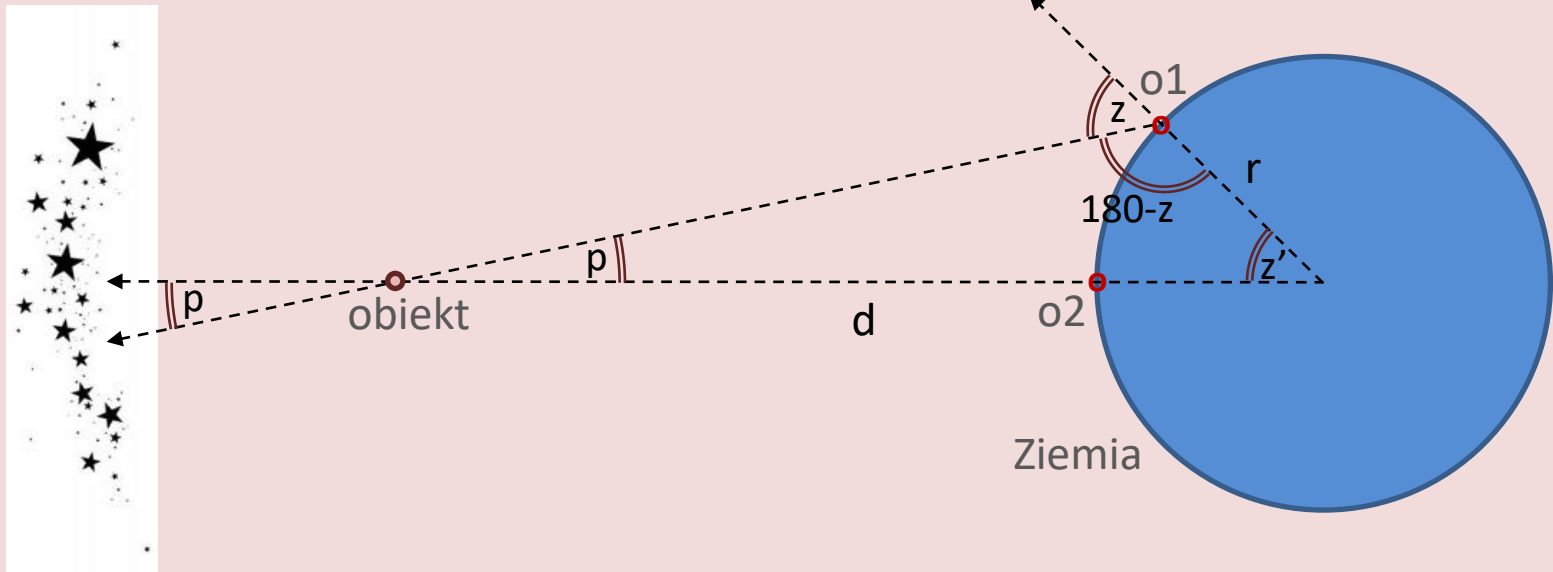
Kąt paralaksy (paralaksa, p) to różnica kierunków w jakich widoczny jest obiekt z dwóch miejsc (na rys.: dla obserwatora $o1$ obiekt jest w odległości zenitalnej z , dla obserwatora $o2$ – w zenicie).

Z twierdzenia sinusów:

$$\frac{\sin p}{r} = \frac{\sin(180^\circ - z)}{d} = \frac{\sin z}{d}$$

$$\sin p = \frac{r}{d} \sin z$$

r – promień Ziemi, d – odległość do obiektu



układ planetarny

paralaksa geocentryczna

$$\sin p = \frac{r}{d} \sin z$$

Maksymalną wartość p uzyskamy dla $z = 90$ (obiekt na horyzoncie). Otrzymujemy wtedy paralaksę horyzontalną:

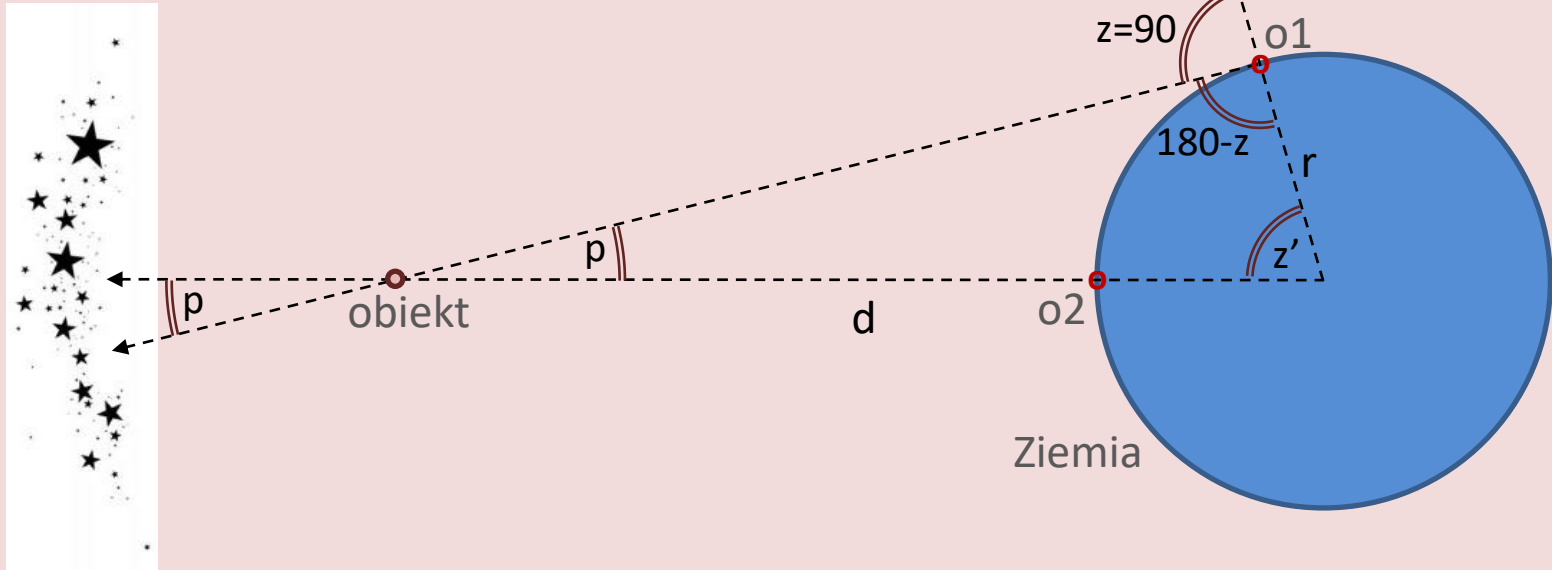
$$\sin p = \frac{r}{d}$$

Jeśli punkty o_1, o_2 znajdują się na równiku, to mamy paralaksę horyzontalną równikową:

$$\sin p = \frac{r_R}{d} \quad r_R - \text{promień równikowy Ziemi}$$

Wartość paralaksy geocentrycznej horyzontalnej jest jednocześnie promieniem kątowym Ziemi obserwowanej z obiektu.

Zastosowanie paralaksy: wyznaczenie odległości do obiektu.



układ planetarny

użycie paralaksy i rozmiaru kąowego

Mierząc paralaksę geocentryczną i promień kątowy obiektu możemy wyznaczyć odległość do niego (d) i jego promień (r).

Paralaksa horyzontalna (p):

$$\sin p = \frac{R}{d}$$

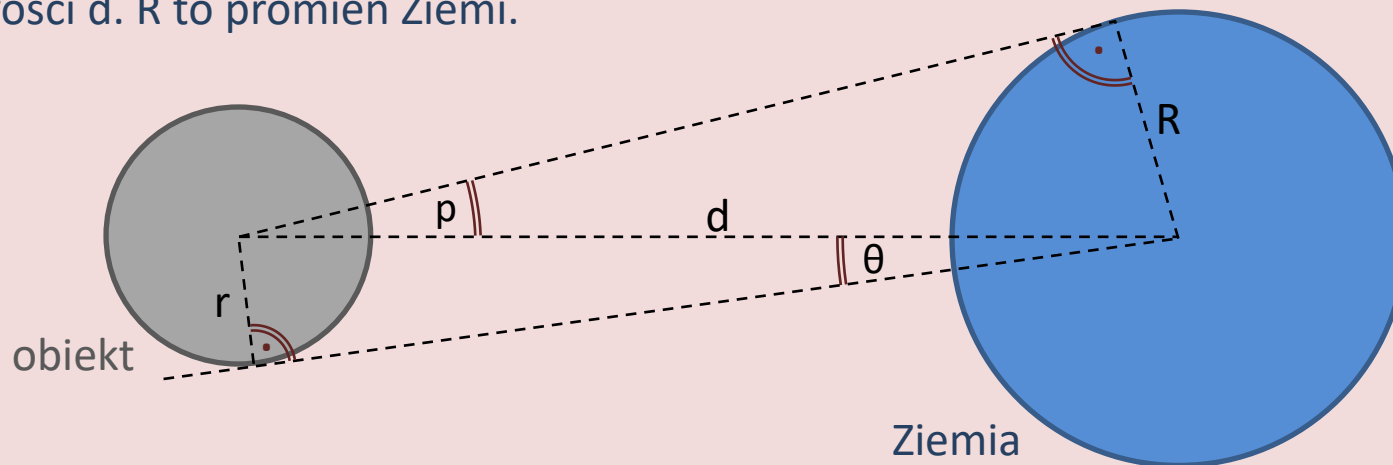
Promień kątowy (θ):

$$\sin \theta = \frac{r}{d}$$

Oba wzory zawierają d . Łącząc je otrzymamy:

$$r = \frac{\sin \theta}{\sin p} R \approx \frac{\theta[\text{rad}]}{p[\text{rad}]} R$$

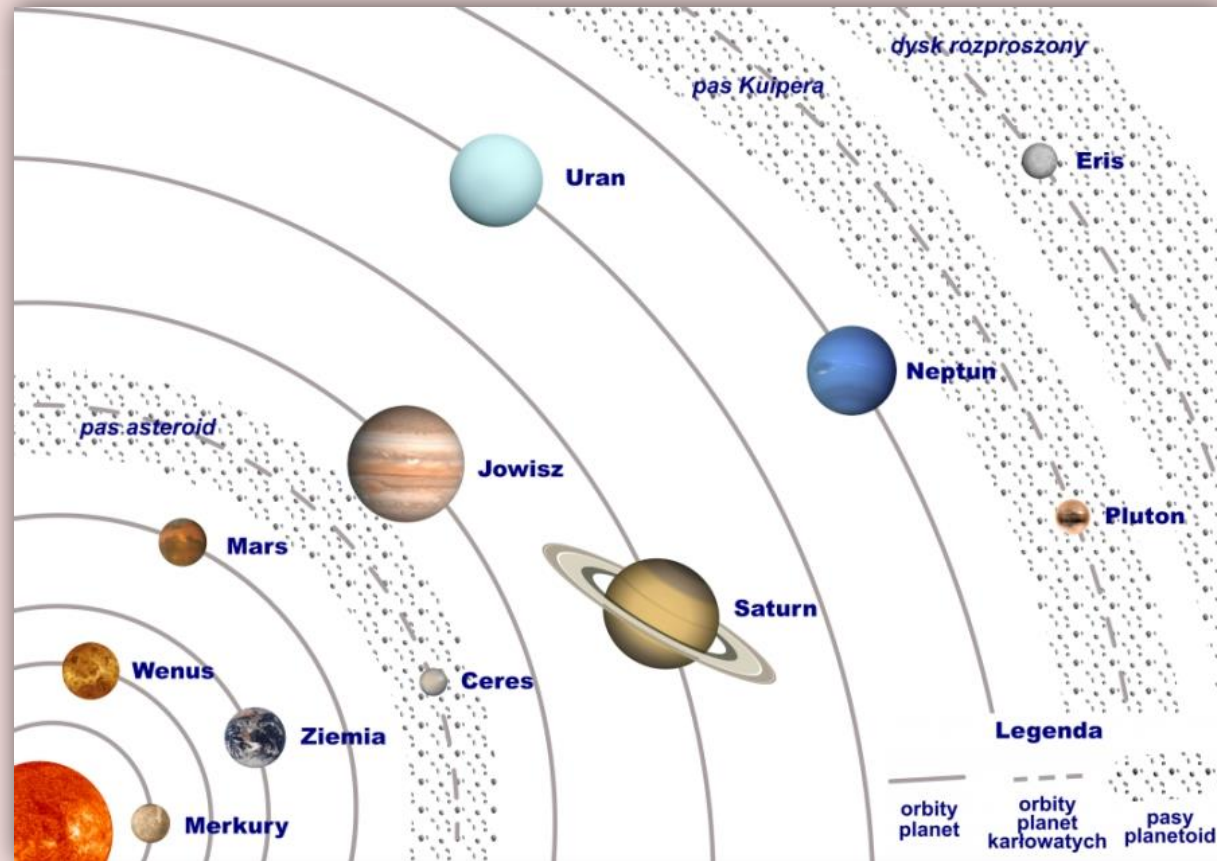
Możemy więc wyznaczyć promień obiektu z samego pomiaru θ i p , bez wyznaczania odległości d . R to promień Ziemi.



układ planetarny

Ruch planet na niebie

Układ Słoneczny – widok z nad płaszczyzny orbit planet



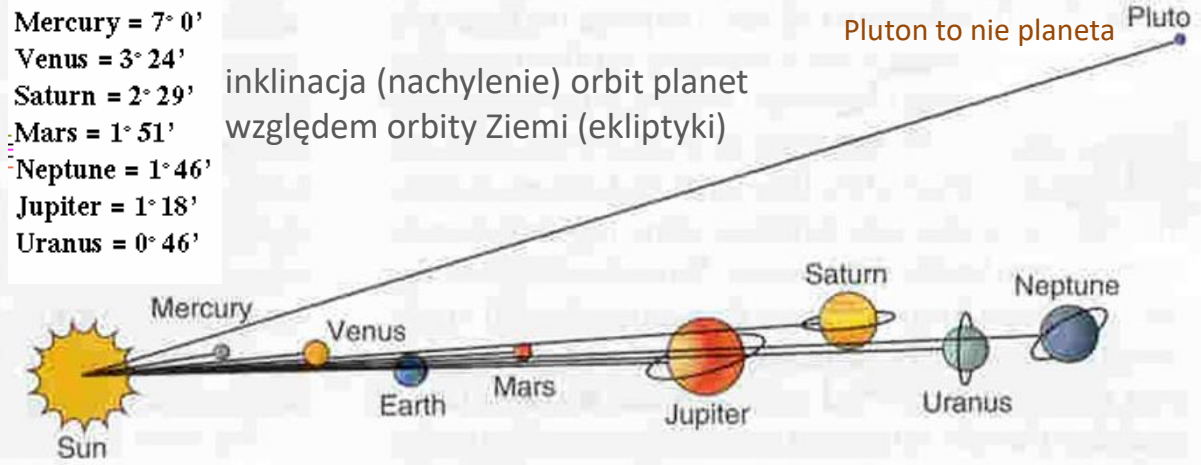
Układ Słoneczny – widok z płaszczyzny orbit planet

Orbity planet położone są prawie w tej samej płaszczyźnie, stąd na niebie widoczne są zawsze w pobliżu ekliptyki

Mercury = $7^{\circ} 0'$
Venus = $3^{\circ} 24'$
Saturn = $2^{\circ} 29'$
Mars = $1^{\circ} 51'$
Neptune = $1^{\circ} 46'$
Jupiter = $1^{\circ} 18'$
Uranus = $0^{\circ} 46'$

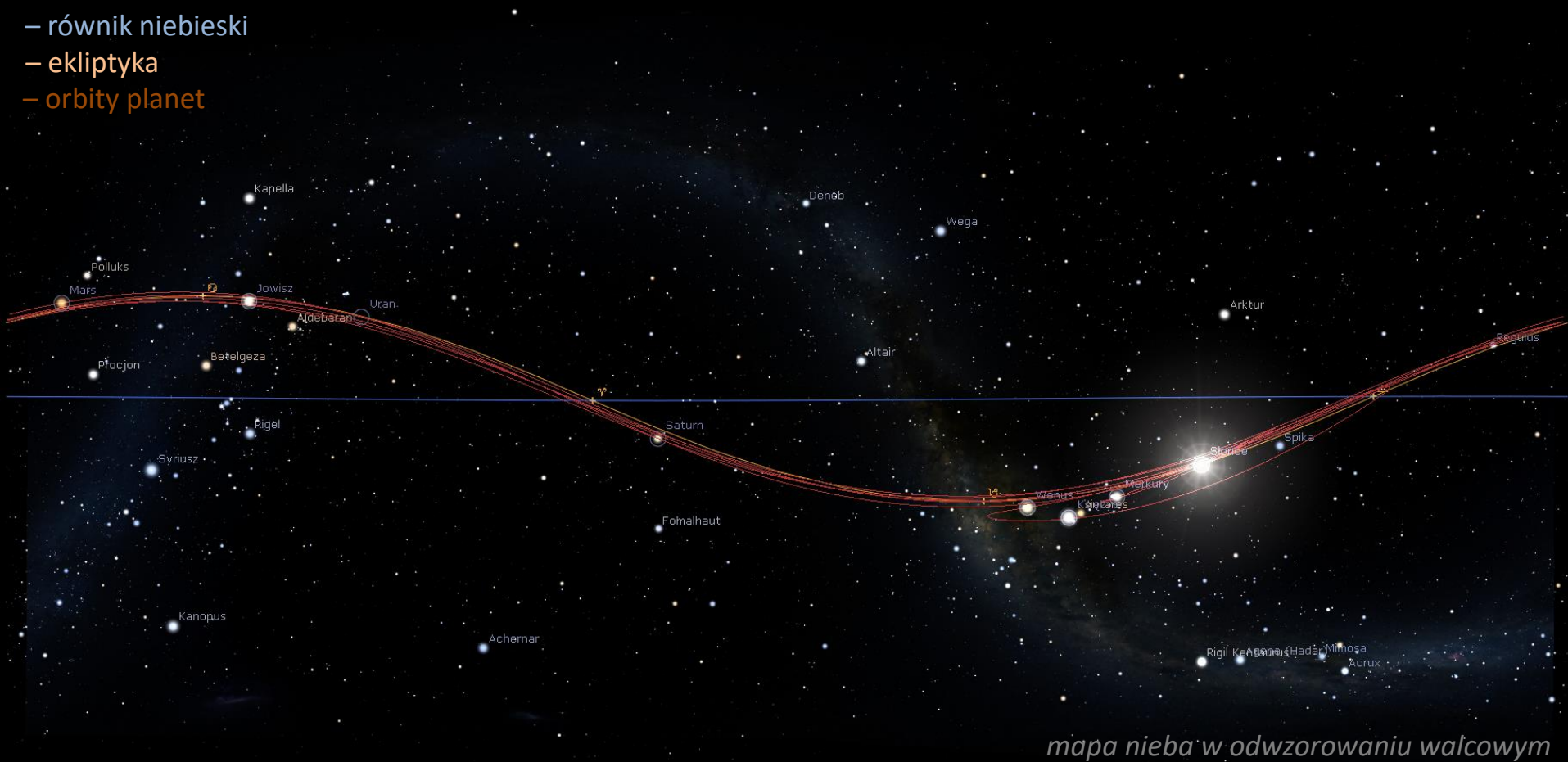
inklinacja (nachylenie) orbit planet względem orbity Ziemi (ekliptyki)

Pluton to nie planeta Pluton



układ planetarny

- równik niebieski
- ekliptyka
- orbity planet



mapa nieba w odwzorowaniu walcowym

Orbity planet na tle nieba

Orbity planet położone są prawie w tej samej płaszczyźnie, stąd na niebie widoczne są zawsze w pobliżu ekliptyki

układ planetarny

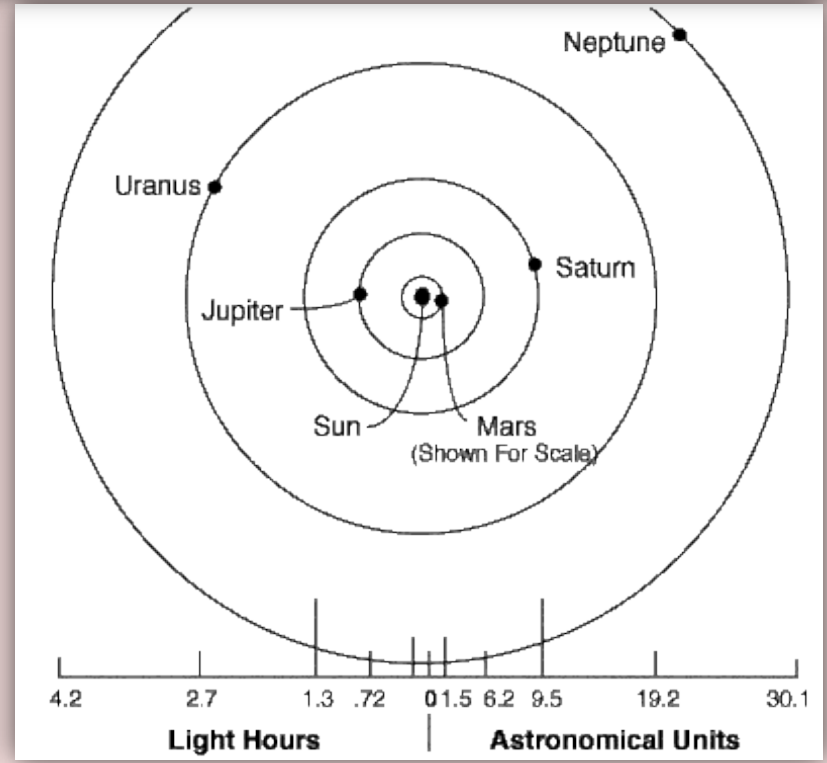
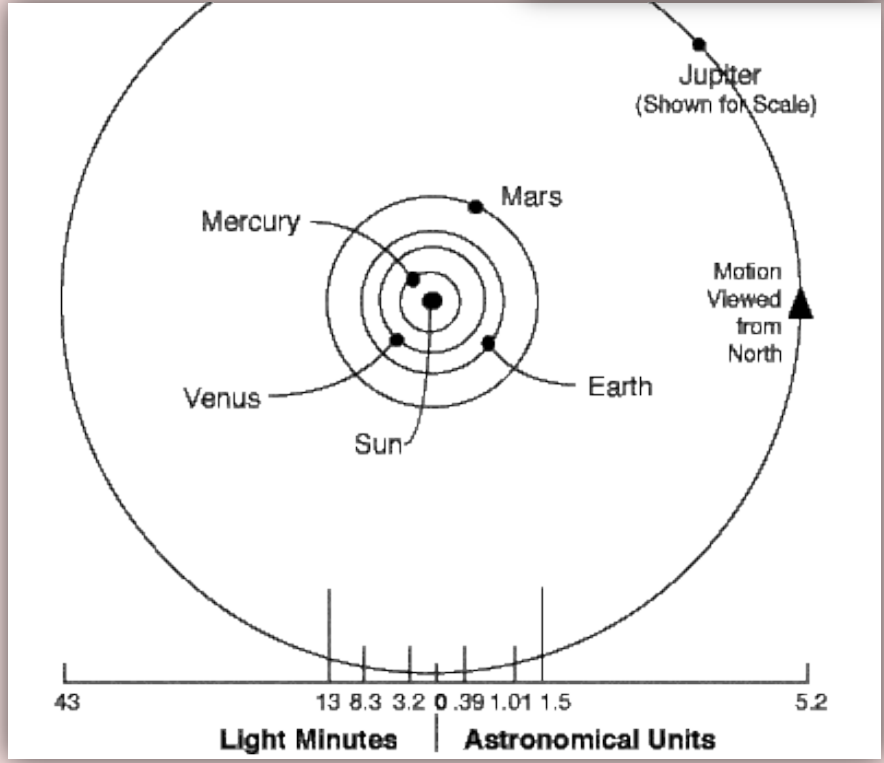
Ruch planet na niebie

Układ Słoneczny w skali
(zobacz: youtu.be/UzbnPX8Stnc)



zachowana skala dla rozmiarów obiektów

zachowana skala dla rozmiarów orbit

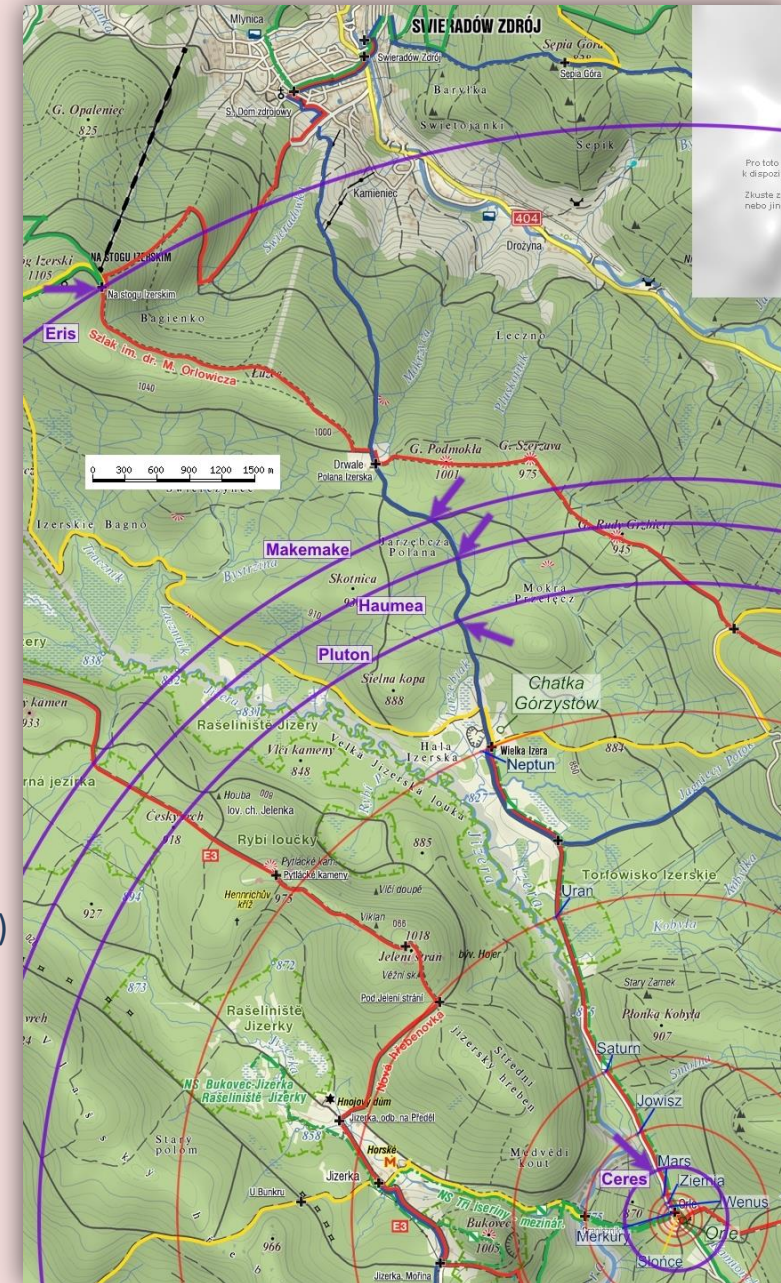


układ planetarny

Model Układu Słonecznego 1:1mld (Góry Izerskie)



- Ziemia – Księżyc 38 cm
- Ziemia – Mars 80 m (minimalnie)
- Ziemia – Słońce 150 m
- Ziemia – Neptun 4.5 km
- Ziemia – Voyager 1 24 km
- Ziemia – α Centauri ?? km



ścieżka planetarna w Górach Izerskich

układ planetarny

Ruch planet na niebie

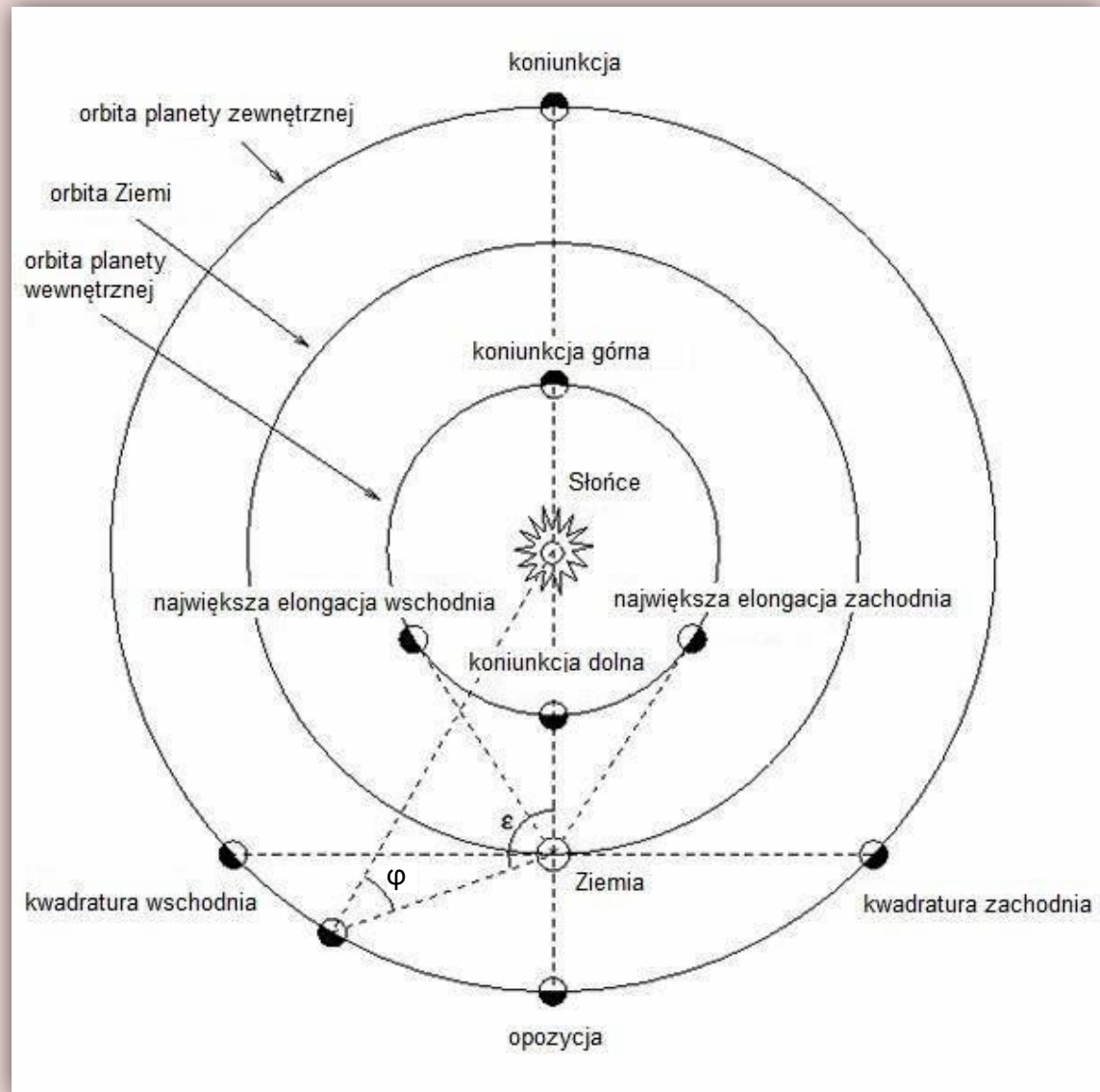
Konfiguracje planet, momenty charakterystyczne:

- **planety wewnętrzne:** koniunkcja górna i dolna, największa elongacja wschodnia i zachodnia
- **planety zewnętrzne:** opozycja i koniunkcja, kwadratura wschodnia i zachodnia

Konfiguracje planet umożliwiają wyznaczenie rozmiarów ich orbit (ćwiczenia).

φ – kąt fazowy

ε – elongacja

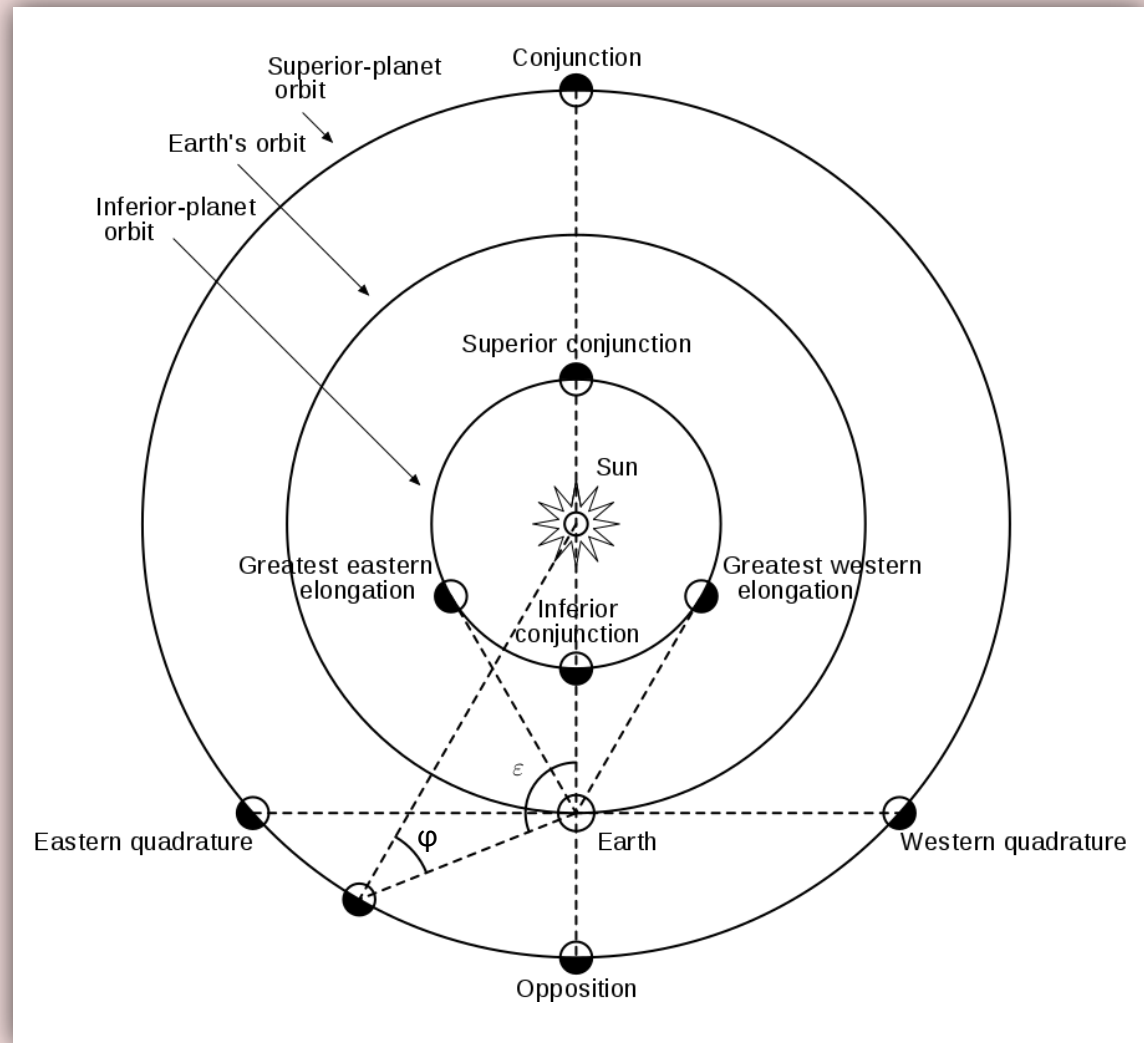


układ planetarny

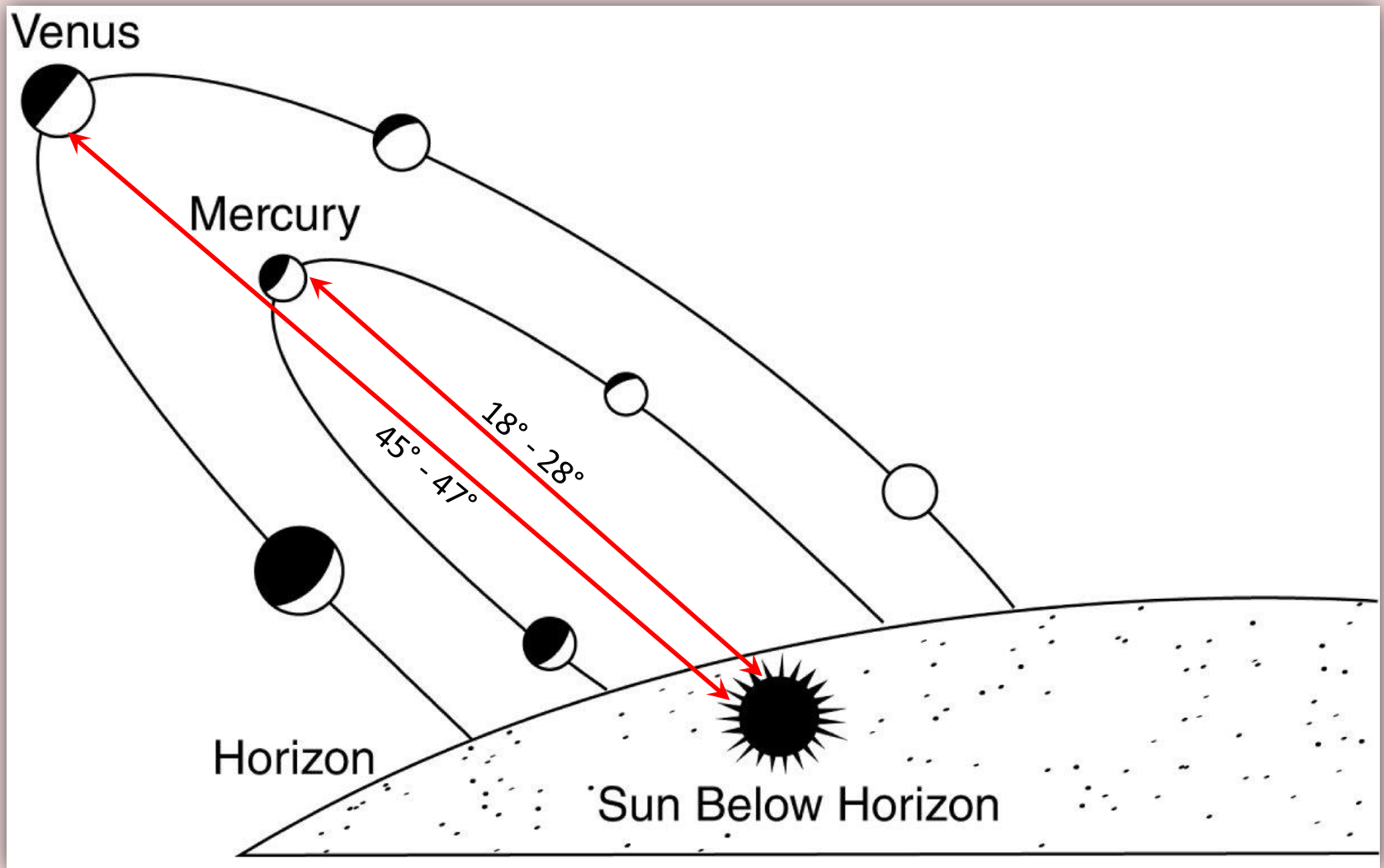
Ruch planet na niebie

Efekty obserwacyjne:

- **Planety wewnętrzne** są widoczne na niebie w odległości kątowej nie większej niż maksymalna elongacja.
- **Planety wewnętrzne** przechodzą przez fazy podobnie jak Księżyc.
- **Planety zewnętrzne** mogą być widoczne w dowolnej odległości kątowej od Słońca.
- **Planety zewnętrzne** wykazują małe zmiany faz. Faza minimalna występuje w momencie kwadratury.
- Dla wszystkich planet zmienia się ich odległość od Ziemi i rozmiar kątowny.



układ planetarny



Wenus i Merkury – widoczność na niebie

układ planetarny

Phases of Venus

Equipment
Bresser Messier 10" Dobson
Explore Scientific 3x Focal Extender
ZWO ASI 290MC + UV/IR Cut Filter
ZWO ADC Mark II

Date: 2020-01-21
Illumination: 77 %
Apparent Size: 14"
Distance: 173,000,000 km

Date: 2020-03-22
Illumination: 52 %
Apparent Size: 23"
Distance: 108,000,000 km

Date: 2020-04-15
Illumination: 37 %
Apparent Size: 31"
Distance: 81,000,000 km

Date: 2020-05-05
Illumination: 21 %
Apparent Size: 41"
Distance: 59,000,000 km

Date: 2020-05-17
Illumination: 9 %
Apparent Size: 51"
Distance: 49,000,000 km

Date: 2020-05-25
Illumination: 3 %
Apparent Size: 56"
Distance: 45,000,000 km

VENUS

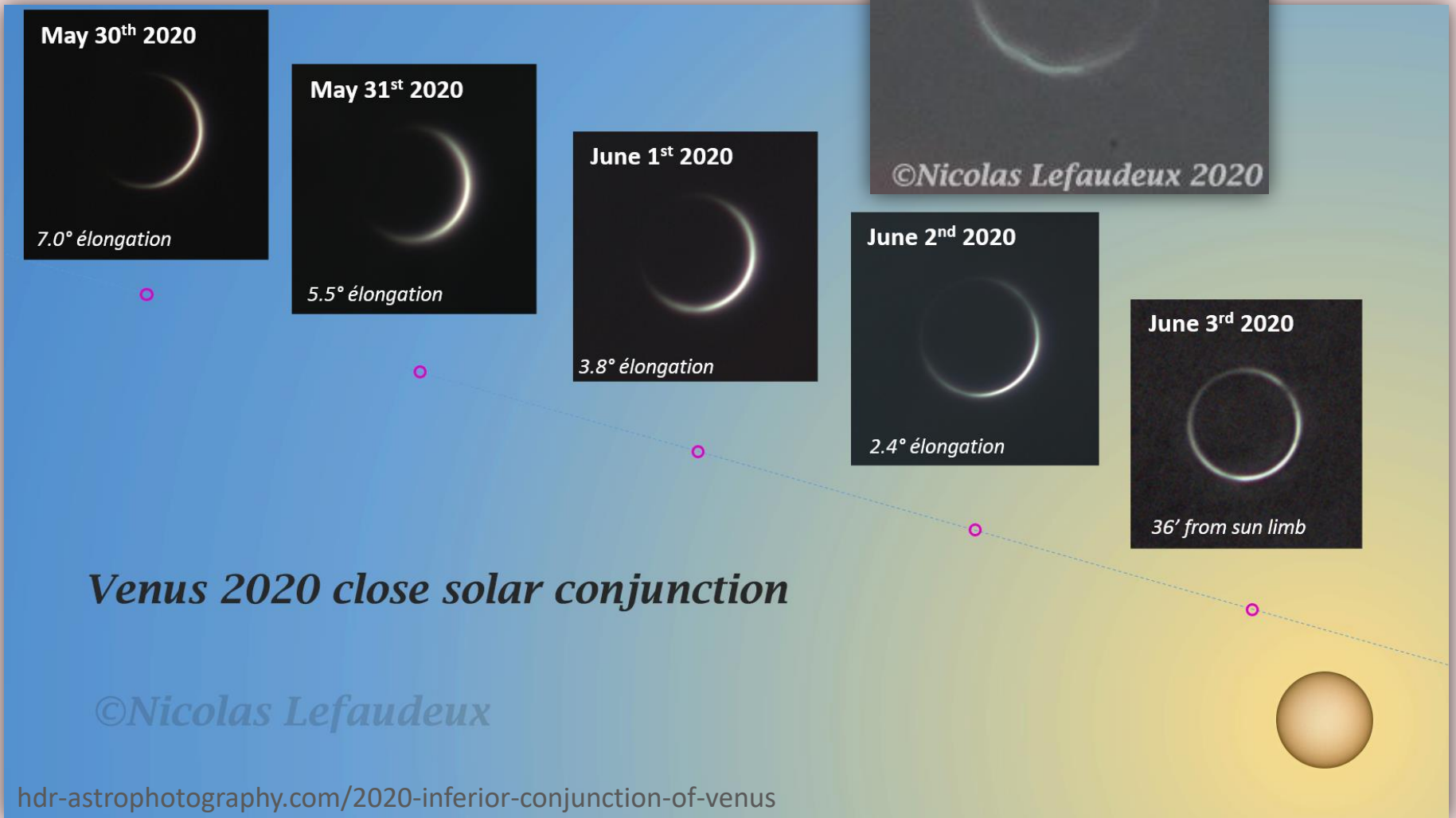
May 31, 2020
Illuminated: 0.4%



Wenus – zmiany fazy i rozmiaru kąтового

zobacz animację: astro.unl.edu/mobile/VenusPhases/index.html

układ planetarny



Wenus blisko koniunkcji dolnej, widoczna atmosfera

układ planetarny

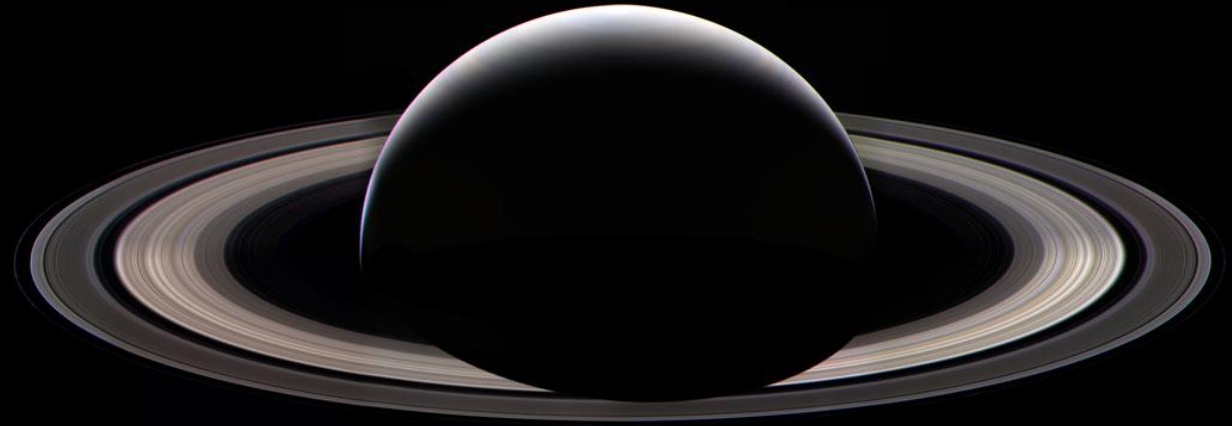
Mars – July 30th, 2011 – June 10th, 2012



Mars – zmiany
rozmiaru kąowego
i fazy

układ planetarny

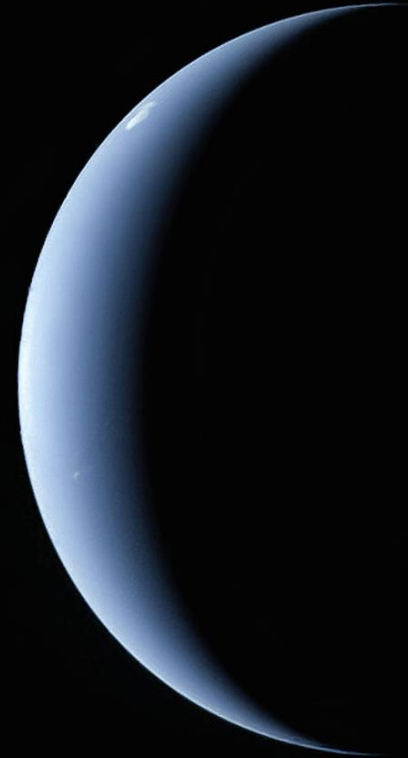
Saturn blisko nowiu



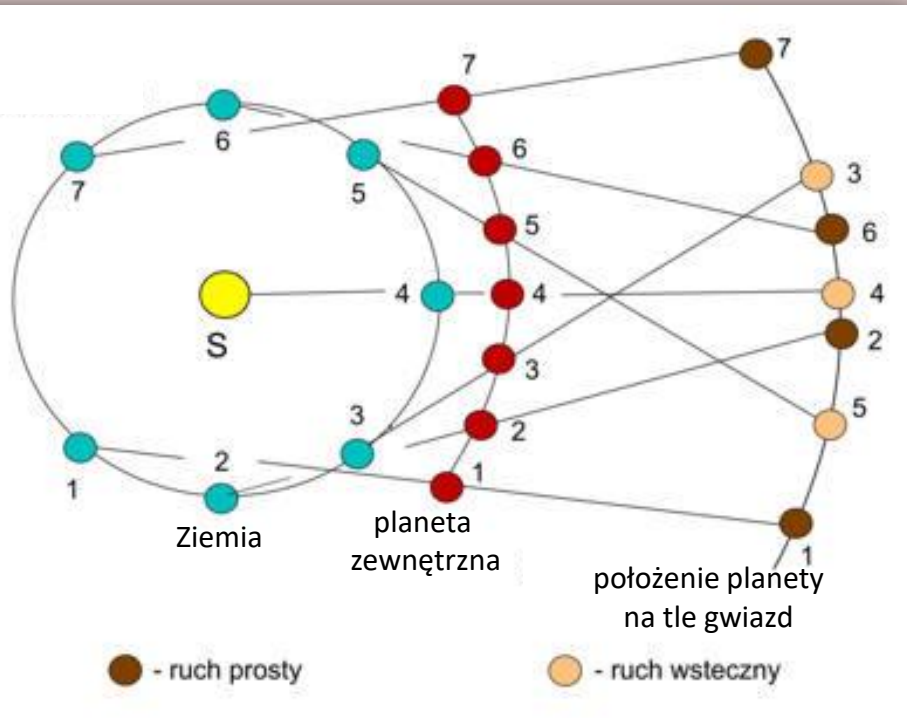
Pluton w nowiu



Neptun i Tryton blisko nowiu

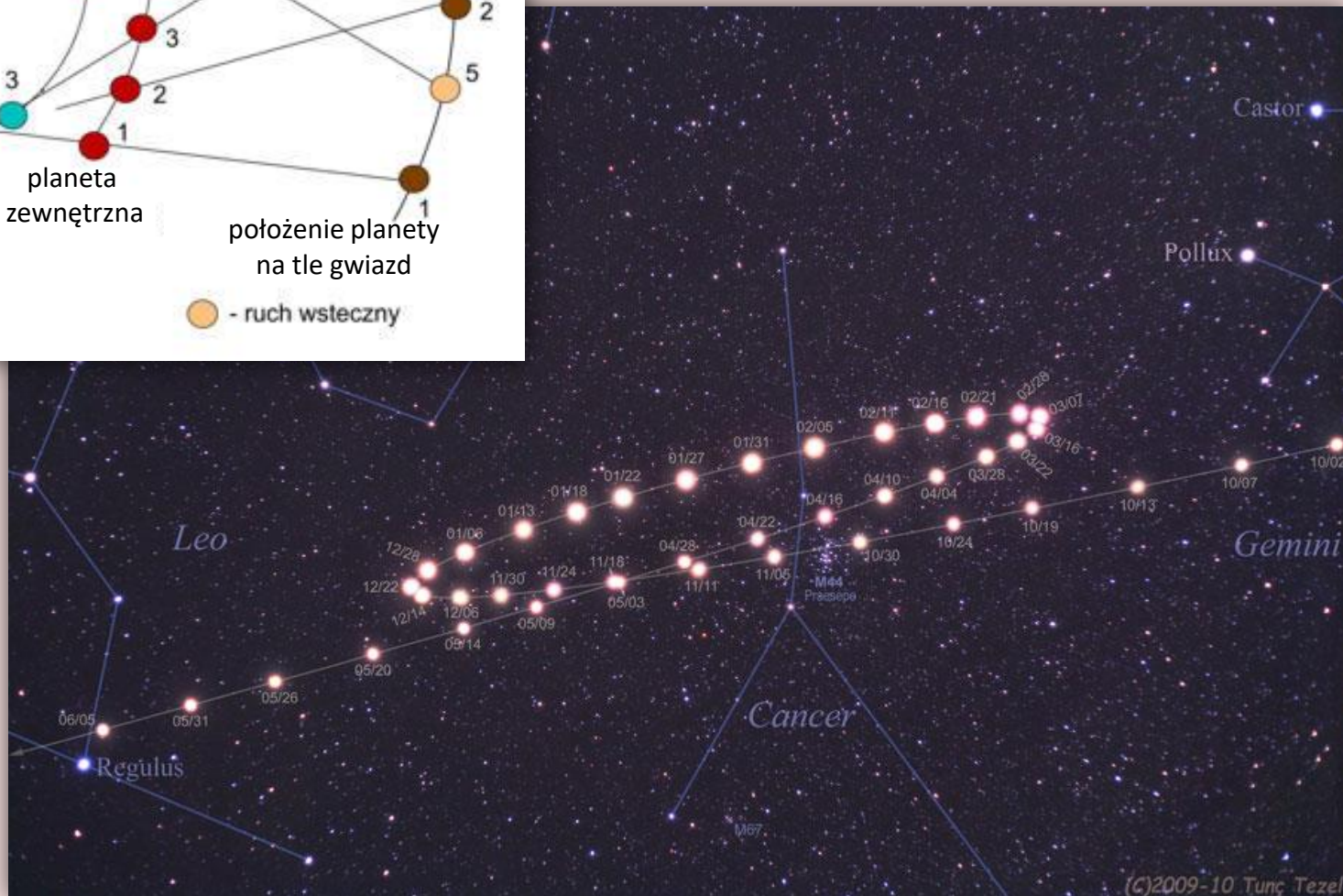


układ planetarny



Planety zewnętrzne zataczają pozorne pętle w okolicy opozycji.

Było to wyzwanie dla geocentrycznego modelu budowy Układu Słonecznego.



Położenie Marsa w okresie X 2009 – VI 2010

układ planetarny



Saturn in CNC & LEO 1-8-2005 - 1-9-2008

8-2005

(c) Peter Wienerroither <http://homepage.univie.ac.at/~pww/>

Saturn na tle gwiazd (2005-2008)

obejrzyj animację: apod.nasa.gov/apod/ap070407.html

układ planetarny

Ruch planet na niebie

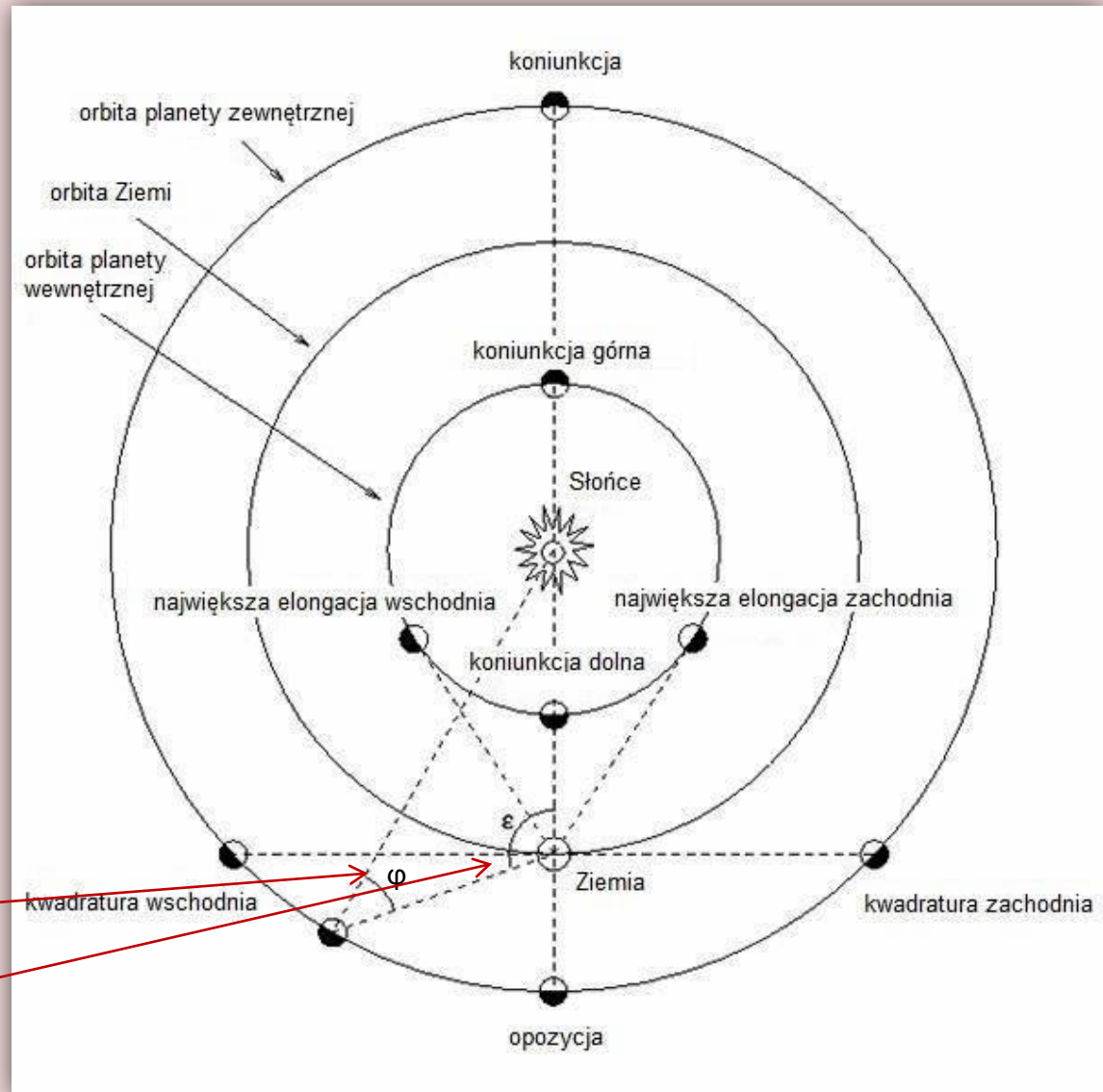
Konfiguracje planet, momenty charakterystyczne:

- planety wewnętrzne: koniunkcja górna i dolna, największa elongacja wschodnia i zachodnia
- planety zewnętrzne: opozycja i koniunkcja, kwadratura wschodnia i zachodnia

Konfiguracje planet umożliwiają wyznaczenie rozmiarów ich orbit (ćwiczenia).

φ – kąt fazowy

ε – elongacja



układ planetarny

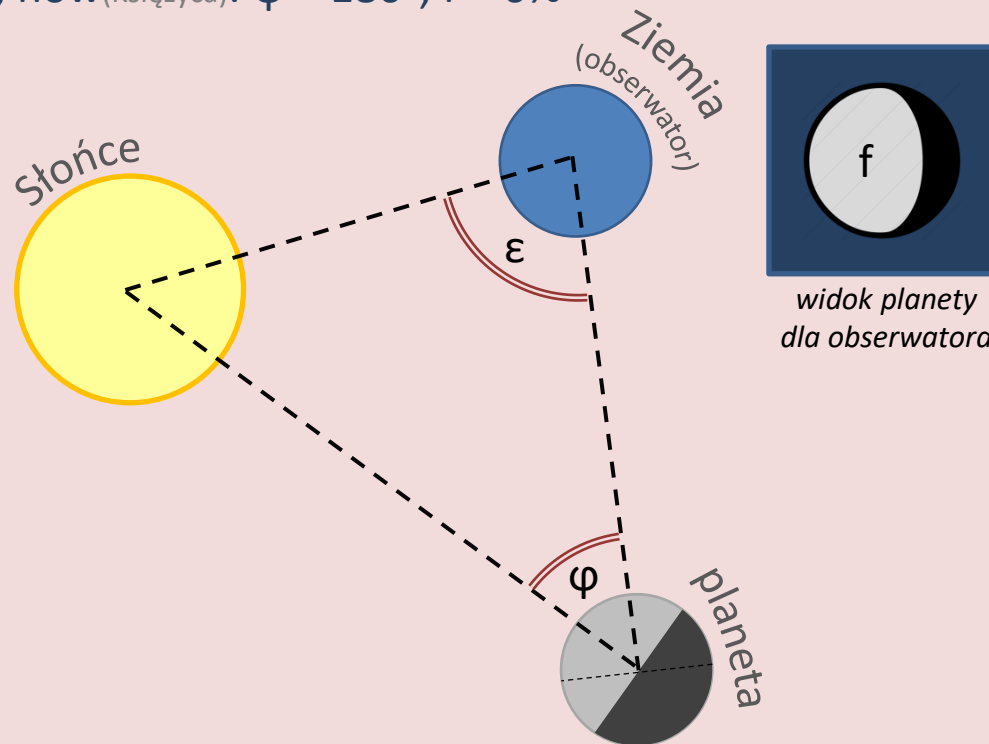
Ruch planet na niebie

Elongacja (elongation), ε : kąt Słońce – Ziemia (obserwator) – planeta. Kątowe oddalenie planety od Słońca.

Kąt fazowy (phase angle), φ : kąt Słońce – planeta – Ziemia (obserwator)

Faza (phase), f : podaje jaka część widocznej tarczy planety jest oświetlona

- opozycja, koniunkcja, koniugacja górna, pełnia_(Księżycyca): $\varphi = 0^\circ$, $f = 100\%$
- największa elongacja wschodnia i zachodnia, kwadra_(Księżycyca): $\varphi = 90^\circ$, $f = 50\%$
- koniugacja dolna, nów_(Księżycyca): $\varphi = 180^\circ$, $f = 0\%$



układ planetarny

Ruch planet na niebie

Ile czasu upływa pomiędzy dwoma takimi samymi konfiguracjami, np. dwoma kolejnymi opozycjami Marsa?

Okres synodyczny (S) – czas pomiędzy dwiema takimi samymi konfiguracjami dwóch planet. Zależy on od względnej orbitalnej prędkości kątowej planety obserwowanej ω i Ziemi ω_o (lub ogólnie – planety, na której znajduje się obserwator): $\omega_{rel} = |\omega - \omega_o|$

Dla planety wewnętrznej:

$$S = \frac{2\pi}{\omega_{rel}} = \frac{2\pi}{\omega - \omega_o} = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{P} - \frac{2\pi}{P_o}} = \frac{PP_o}{P_o - P}$$
$$P = \frac{SP_o}{P_o + S}$$

Dla planety zewnętrznej:

$$S = \frac{2\pi}{\omega_{rel}} = \frac{2\pi}{\omega_o - \omega} = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{P_o} - \frac{2\pi}{P}} = \frac{PP_o}{P - P_o}$$
$$P = \frac{SP_o}{S - P_o}$$

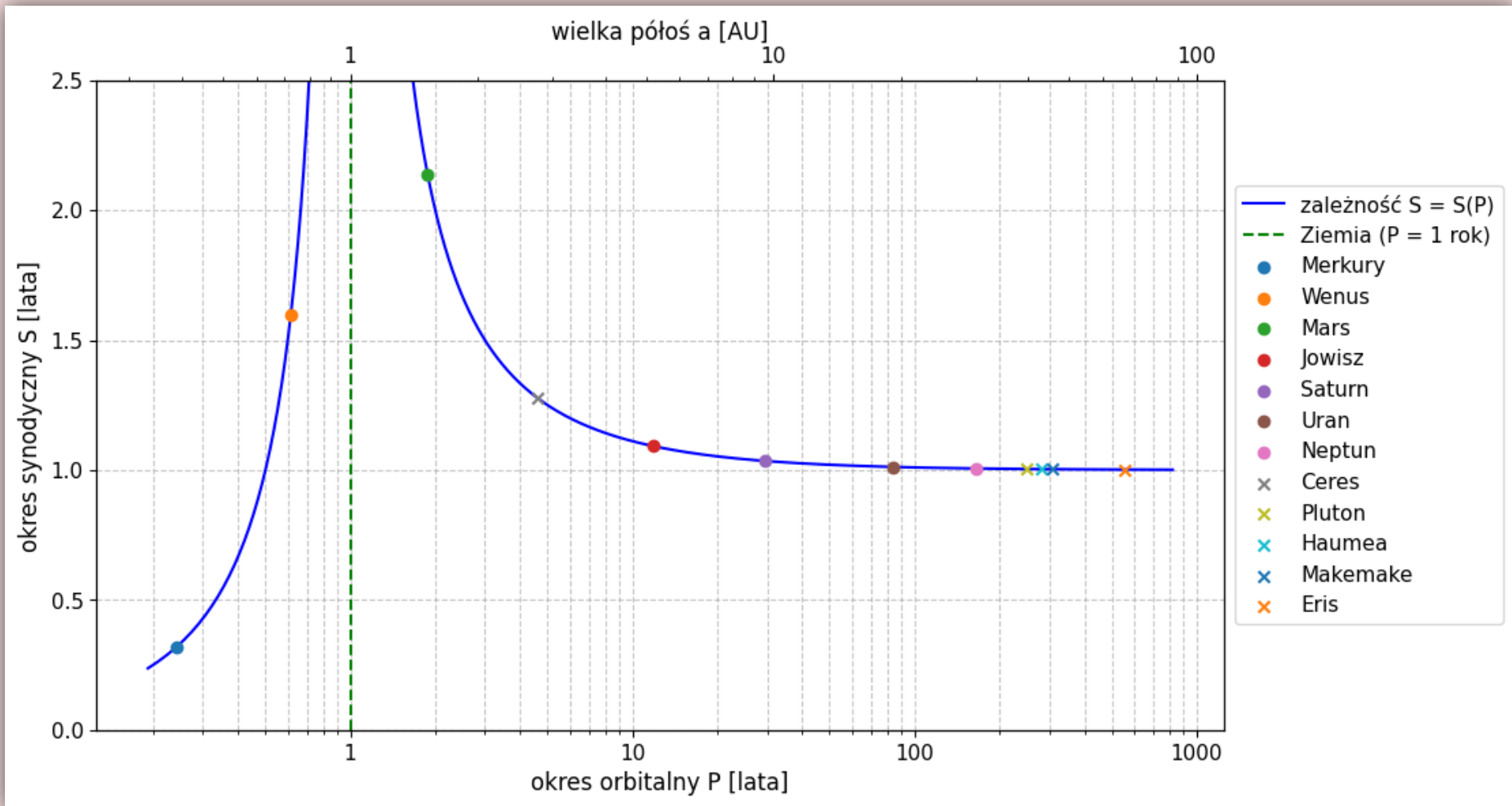
Wzór ogólny dla obu przypadków:

$$\frac{1}{S} = \left| \frac{1}{P_o} - \frac{1}{P} \right|$$

P to okres orbitalny (obiegu, gwiazdowy) planety obserwowanej, P_o – okres orbitalny Ziemi (lub ogólnie – planety, na której znajduje się obserwator). Dla Ziemi możemy przyjąć P_o równy 1 rok lub 365.2564 dni.

układ planetarny

Ruch planet na niebie



Graficzne przedstawienie zależności okresu synodycznego od okresu orbitalnego $S=S(P)$ dla obserwatora na Ziemi. Zaznaczono punkty dla planet i planet karłowatych. Górna oś X pokazuje rozmiar orbity (a) odpowiadający danemu okresowi P (z 3 prawa Keplera).

Księżyc



typ	księżyc
rozmiar	27% promienia Ziemi
masa	1.23% masy Ziemi
odległość	średnio 384 000 km (30 średnic Ziemi)
długość dnia	29.5 dnia ziemskiego
temperatura	maks. 120° C min. -247° C

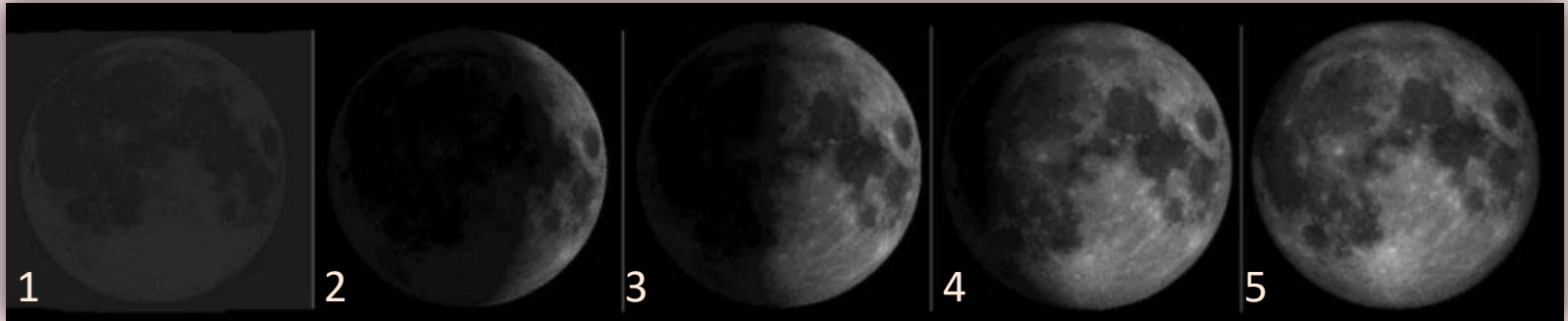


układ planetarny

nów ($\varphi = 180^\circ$, $f = 0\%$)

pierwsza kwadra ($\varphi = 90^\circ$, $f = 50\%$)

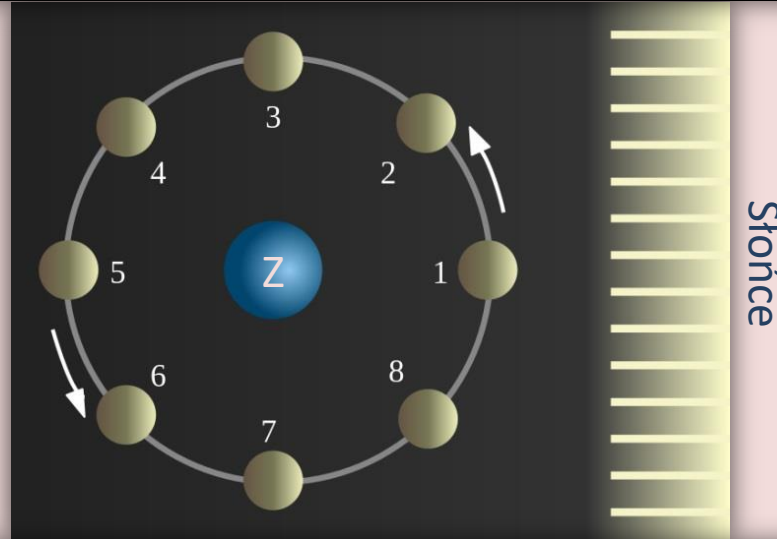
pełnia ($\varphi = 0^\circ$, $f = 100\%$)



Fazy Księżyca

pełny cykl faz trwa średnio 29.531 dnia
(średniej doby słonecznej)

jest to **miesiąc synodyczny**



pełnia

ostatnia kwadra ($\varphi = 90^\circ$, $f = 50\%$)

nów

układ planetarny



co charakterystycznego widać?

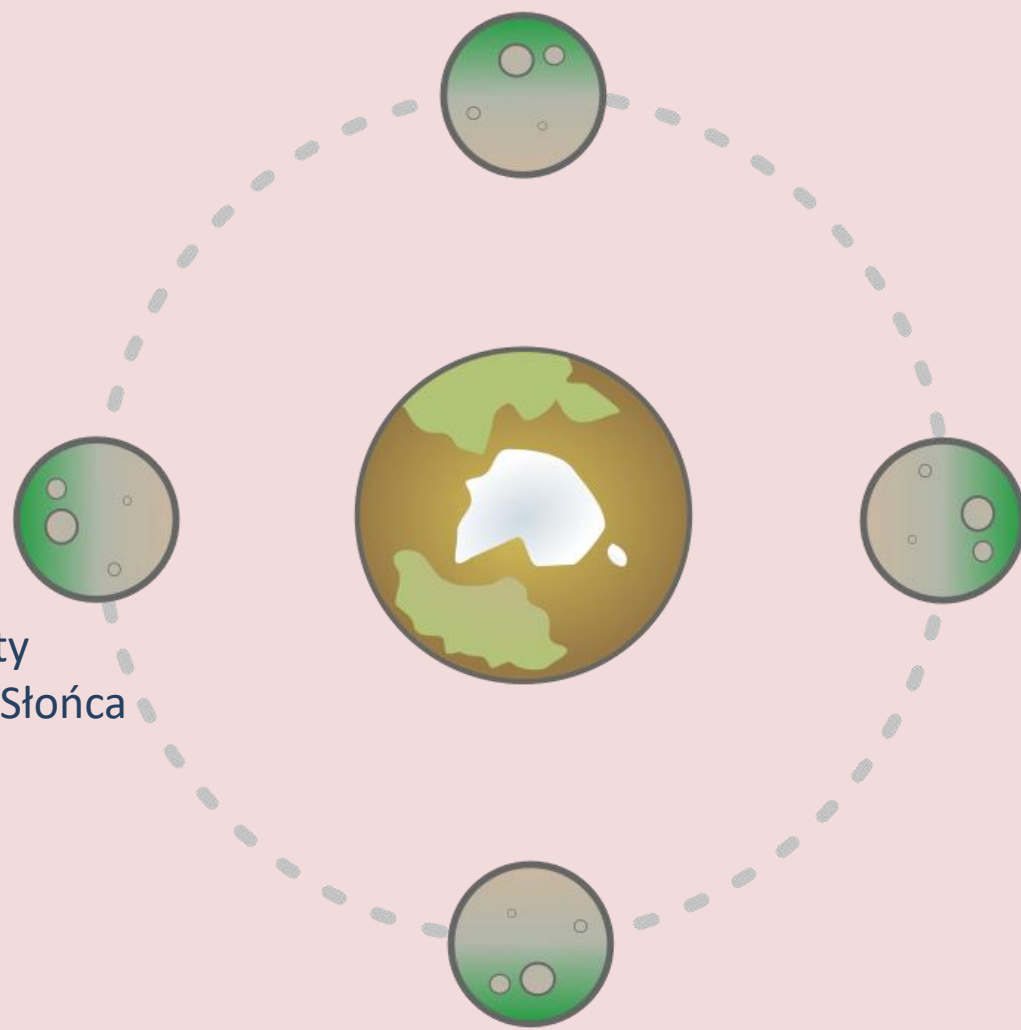
zobacz animację: upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Lunar_libration_with_phase_Oct_2007_%28continuous_loop%29.gif

układ planetarny

Rotacja synchroniczna Księżyca
efekt działania sił pływowych

Zmiana rozmiaru kąтового
efekt eliptyczności orbity

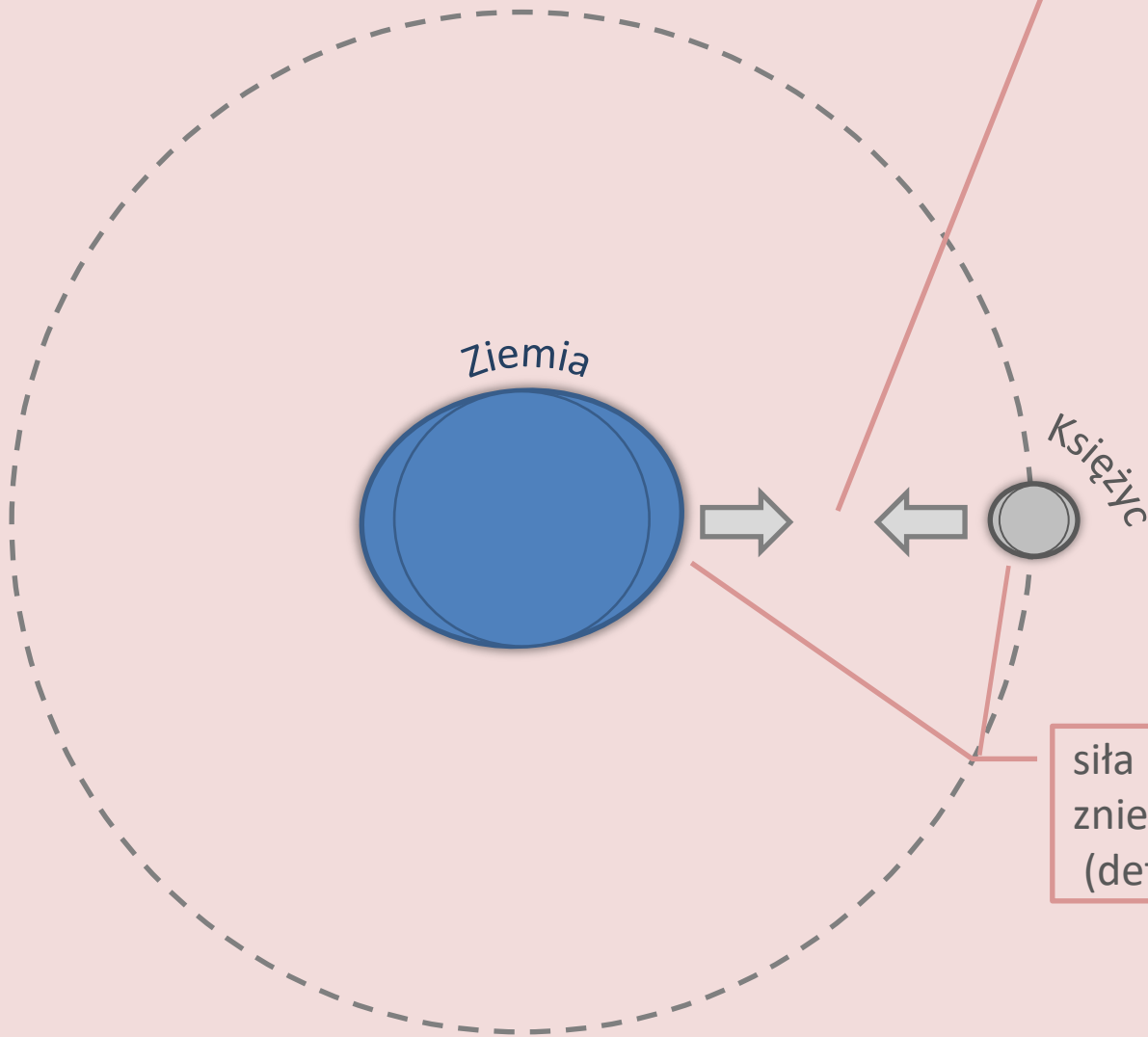
Kołysanie się (libracja)
efekt eliptyczności orbity
efekt ustawienia osi obrotu względem orbity
efekt oddziaływanie grawitacyjnego Ziemi, Słońca



Libracja umożliwia zobaczenie z Ziemi 59% powierzchni Księżyca

układ planetarny

siły pływowe w układzie Ziemia – Księżyc



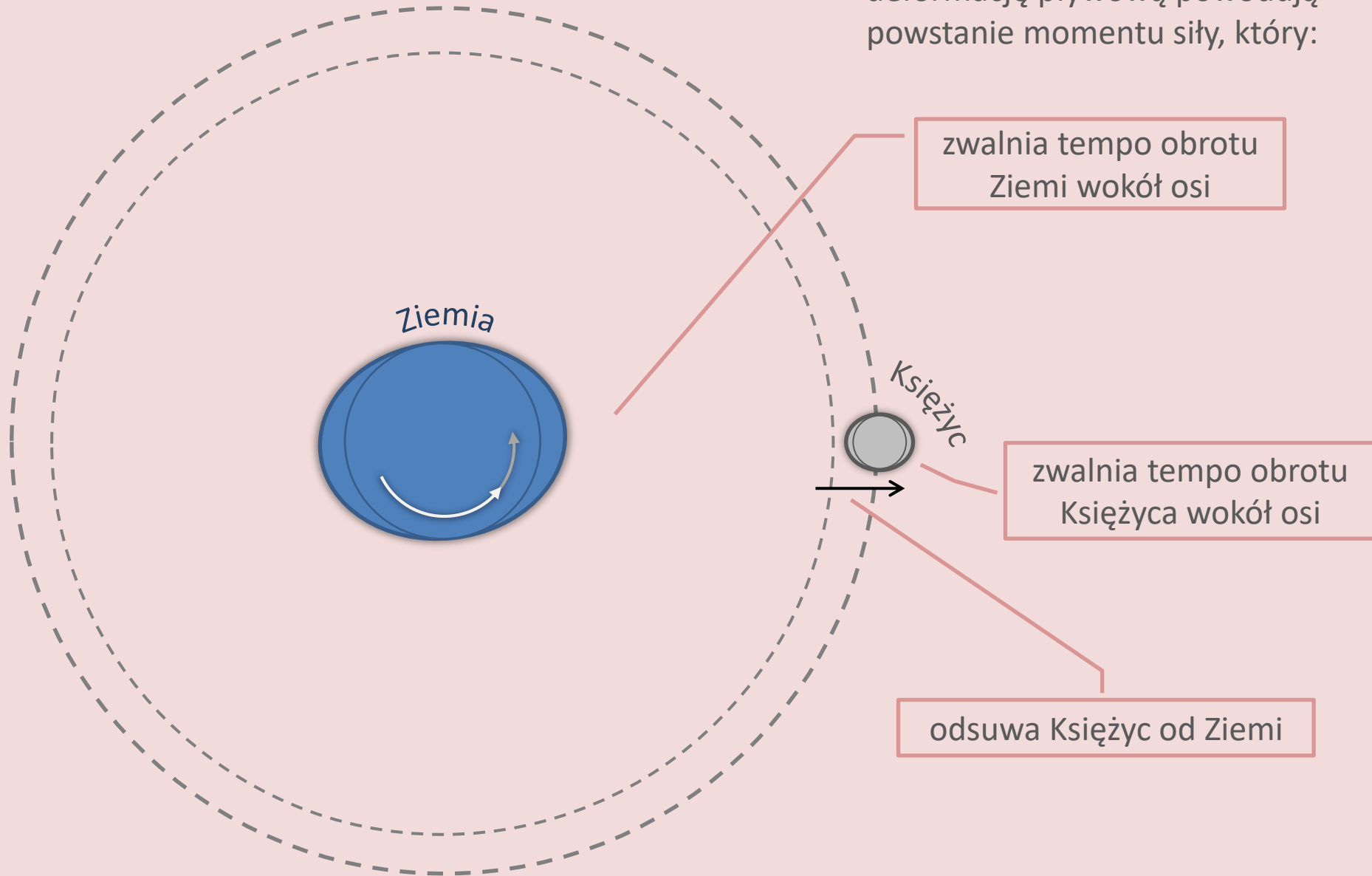
Ziemia i Księżyc działają na siebie siłą grawitacji, w tym tzw. siłą pływową

siła pływowa powoduje zniekształcenie obu ciał (deformacja pływowa)

układ planetarny

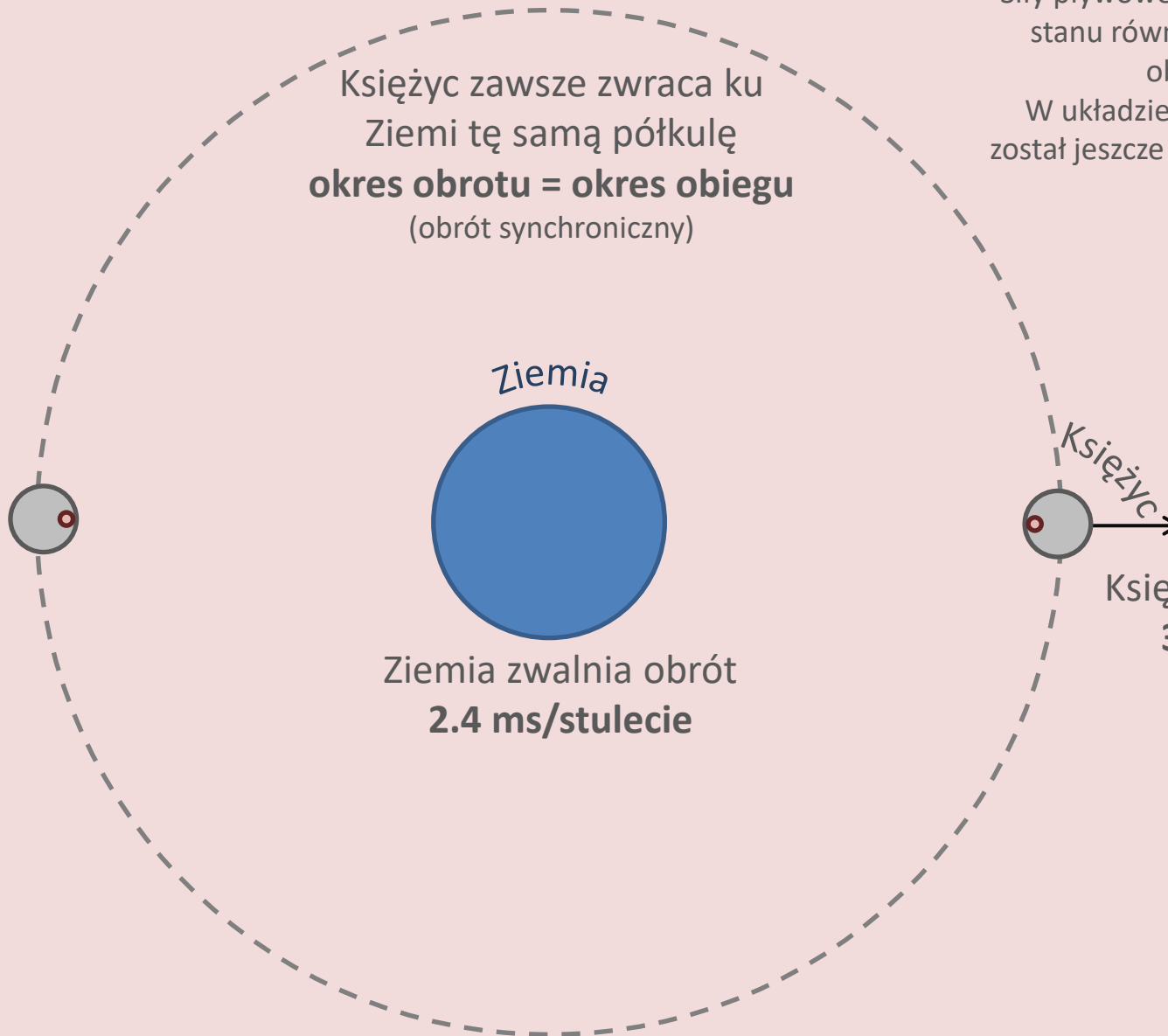
siły pływowe w układzie Ziemia – Księżyc

Siły grawitacyjne działające na deformację pływową powodują powstanie momentu siły, który:



układ planetarny

siły pływowe w układzie Ziemia – Księżyc



Skutki sił pływowych

Siły pływowe w układzie dwóch ciał dążą do stanu równowagi: pełnej synchronizacji obrotowo-obiegowej.

W układzie Ziemia – Księżyc ten stan nie został jeszcze osiągnięty (synchronizacja tylko dla Księżyca).

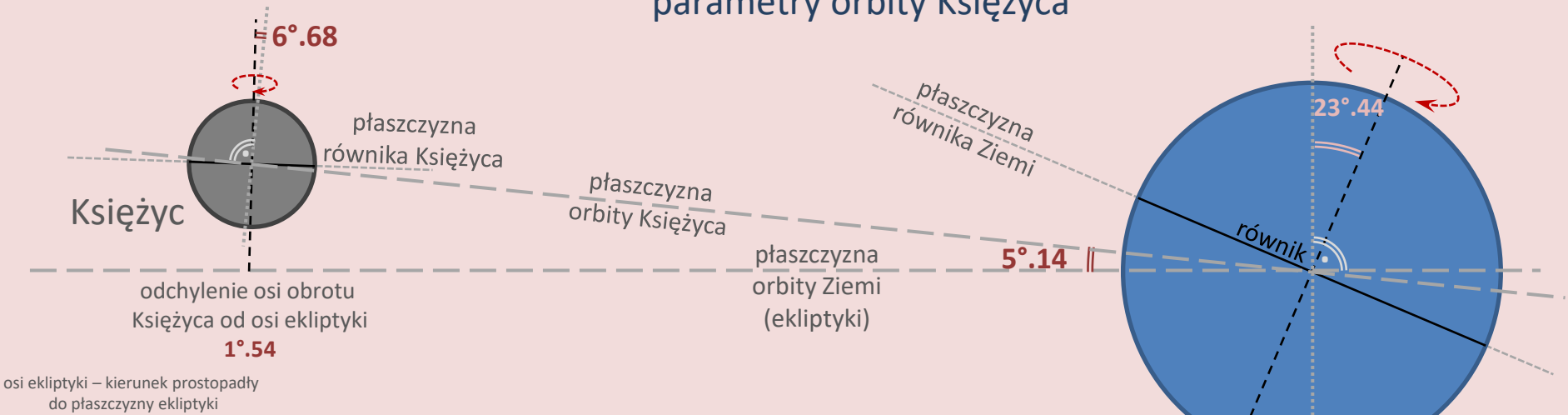
w przeszłości:

400 mln lat temu
doba trwała 22 h
Księżyc był 16 tys. km bliżej

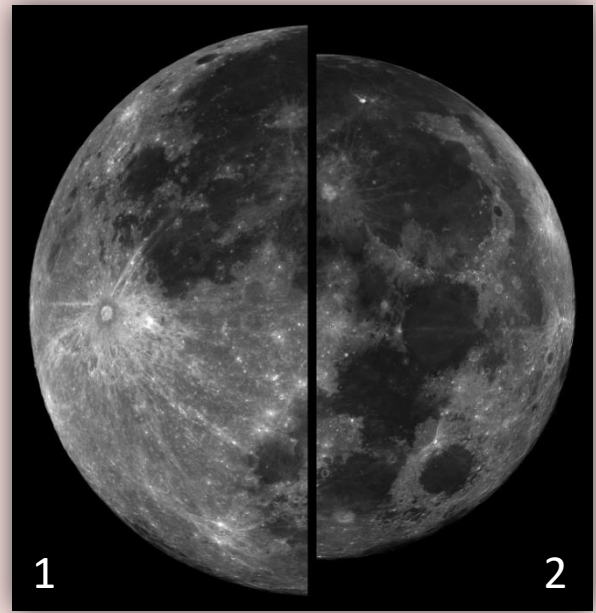
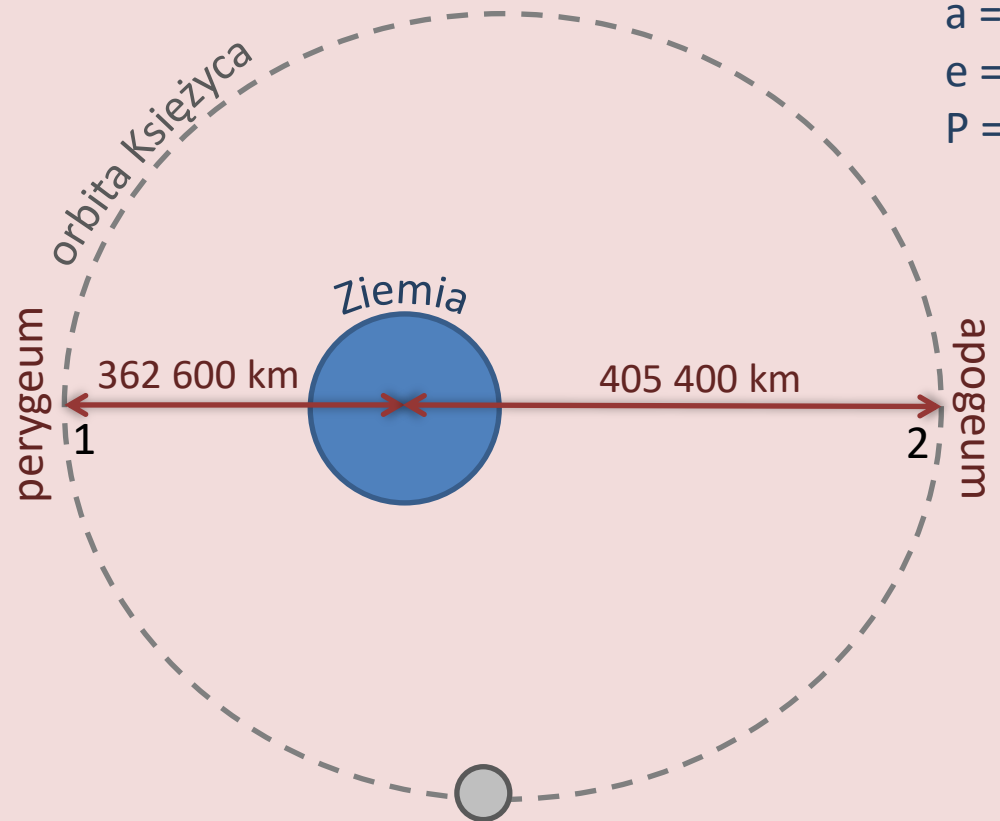
1.4 mld lat temu
doba trwała 18.7 h
Księżyc był 44 tys. km bliżej

układ planetarny

parametry orbity Księżyca



$a = 384\,748\text{ km}$
 $e = 0.0549$
 $P = 27.32\text{ dni}$ (miesiąc gwiazdowy)



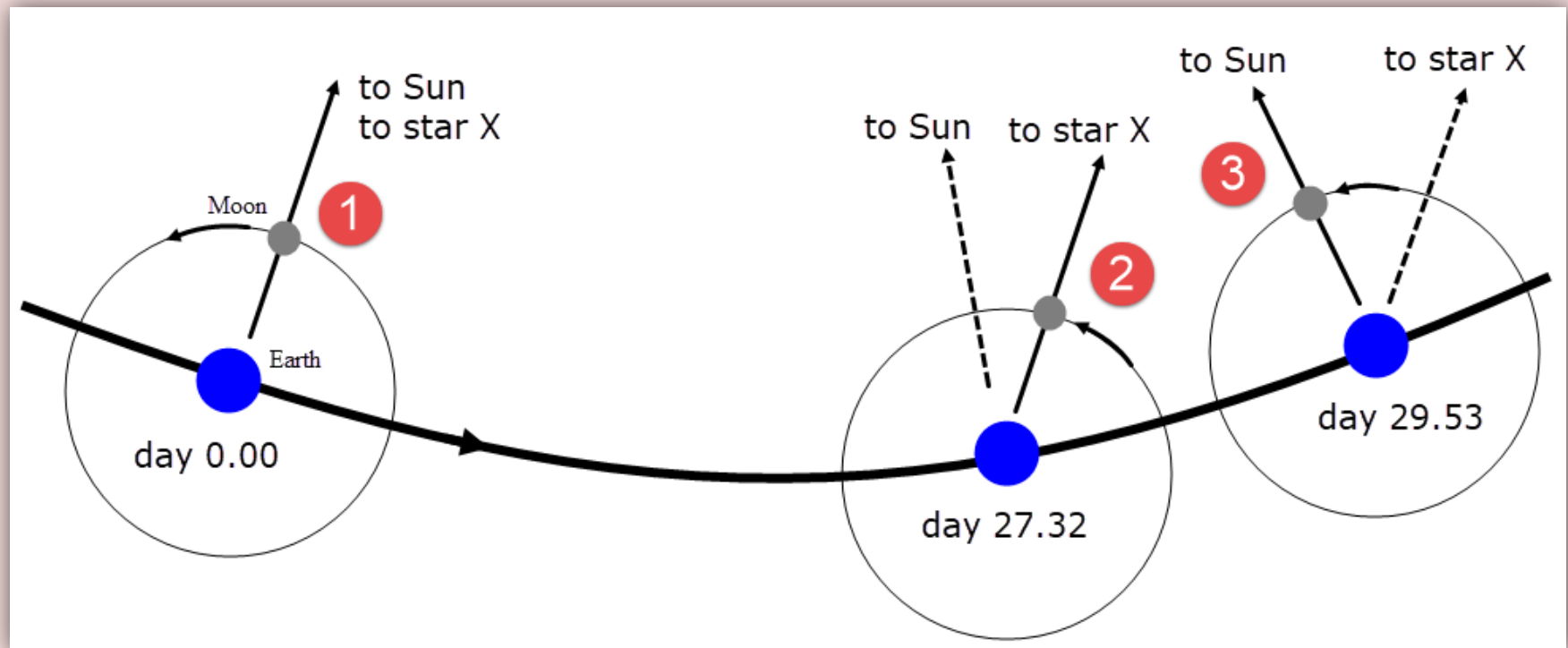
układ planetarny

Miesiąc gwiazdowy i synodyczny

- 1 do 2: **miesiąc gwiazdowy** (sidereal month) 27.32 dnia (okres orbitalny Księżyca)
- 1 do 3: **miesiąc synodyczny** (synodic month) 29.531+/-0.4 dnia* (okres pełnego cyklu faz Księżyca)

Inne: miesiąc anomalistyczny, miesiąc smoczy, miesiąc zwrotnikowy

(* +/-0.4 wynika z eliptyczności orbity Ziemi i Księżyca)



układ planetarny

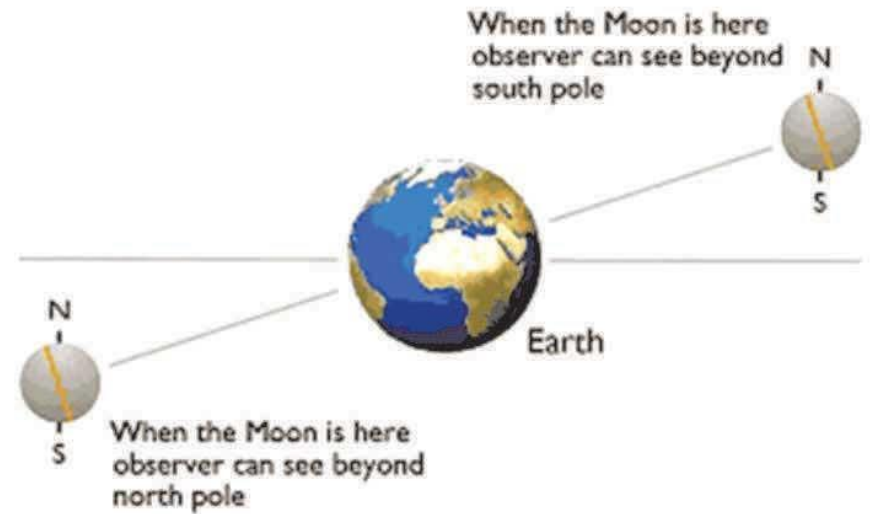
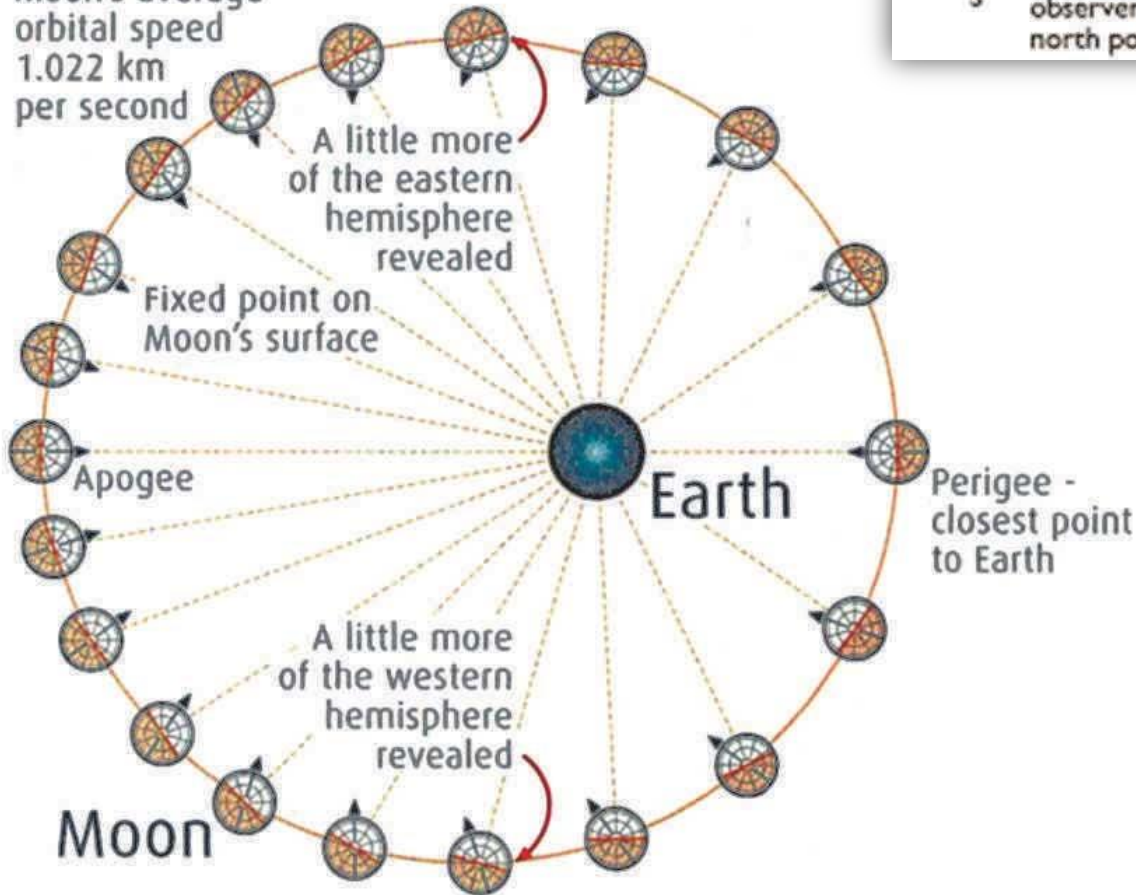
Libracja Księżyca

eliptyczności orbity

ustawienie osi obrotu względem orbity

oddziaływanie grawitacyjne Ziemi, Słońca

Moon's average orbital speed
1.022 km per second



libracja w szerokości

libracja w długości

układ planetarny

Libracja Księżyca

6-16-2013

Mare Crisium

1-9-2014

Mare Humboldtianum

Mare Marginis

Mare Smythii

Mare Australe

Mare Crisium (Morze Przesileń), Mare Australe (Morze Południowe),
Mare Smythii (Morze Smytha), Mare Marginis (Morze Brzegowe),
Mare Humboldtianum (Morze Humboldta)

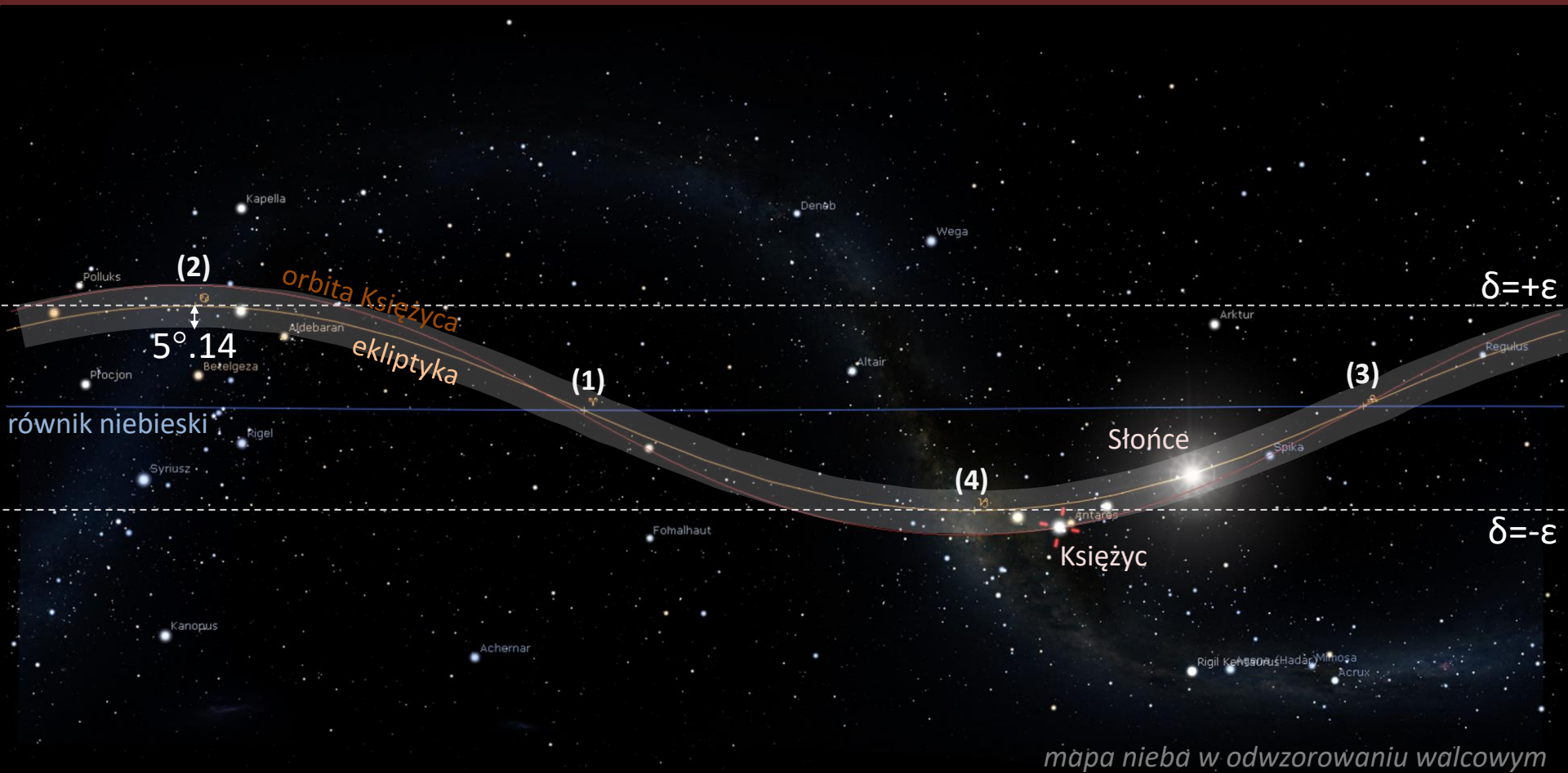
układ planetarny

Atlasy, mapy, fotomapy Księżyca

- Virtual Moon Atlas (<https://sourceforge.net/projects/virtualmoon>)
- Google Moon (<https://www.google.com/moon>)
- Moon Atlas 3D, LunarMap HD, ...
- Atlas Księżyca (<http://www.astrocd.pl/oferta.html>)
- Fotomapa Księżyca (<https://astrostrona.pl/category/na-ziemi/mapa-ksiezyca-aktualizacje>)



układ planetarny

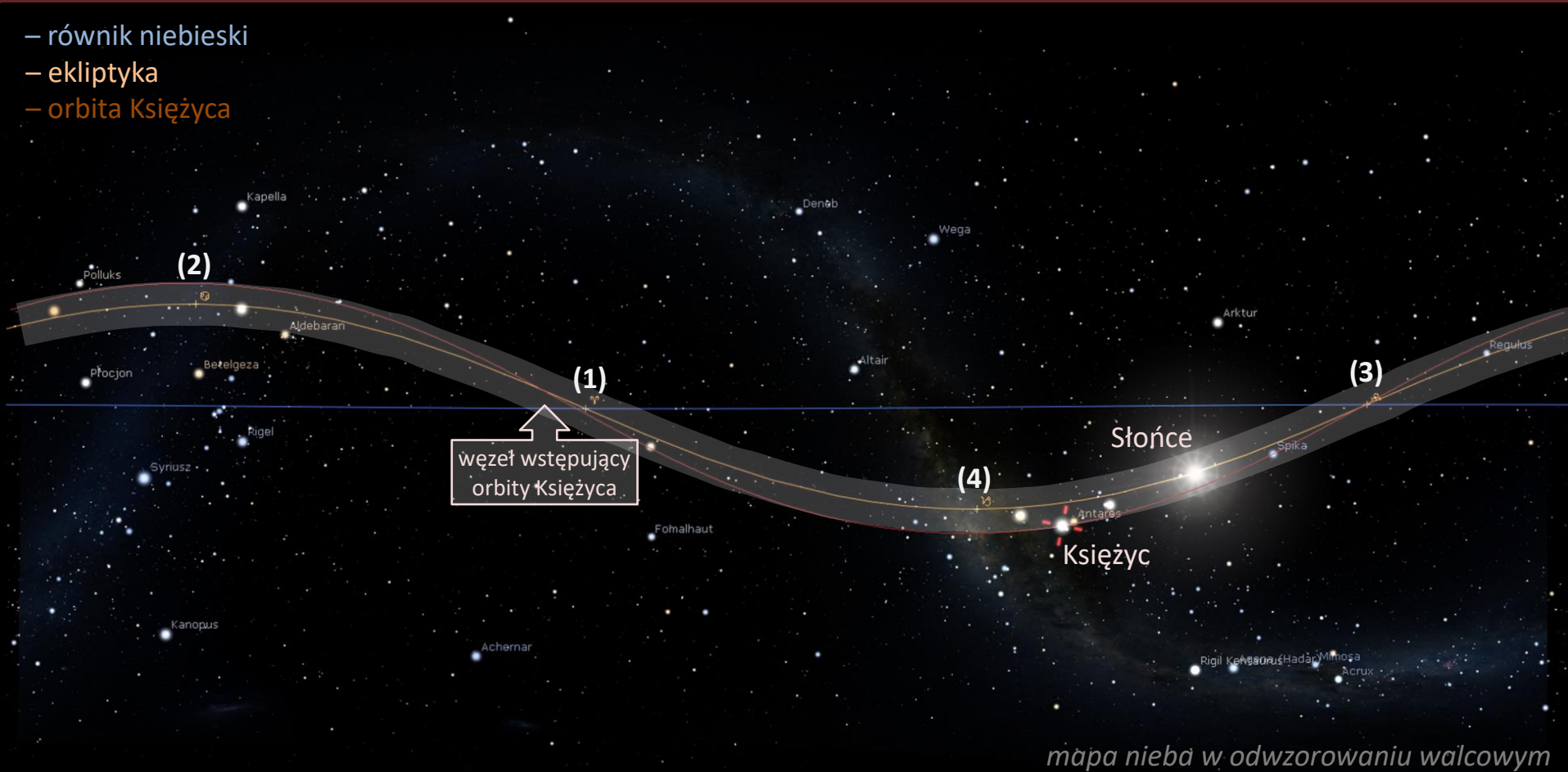


Księżyc widoczny jest na niebie w pasie $\pm 5^{\circ}.14$ względem ekliptyki – efekt inklinacji orbity Księżyca

Dobowy ruch Księżyca na niebie wynosi ok. 13° – najszybciej przemieszczający się na niebie obiekt naturalny*

układ planetarny

- równik niebieski
- ekliptyka
- orbita Księżyca

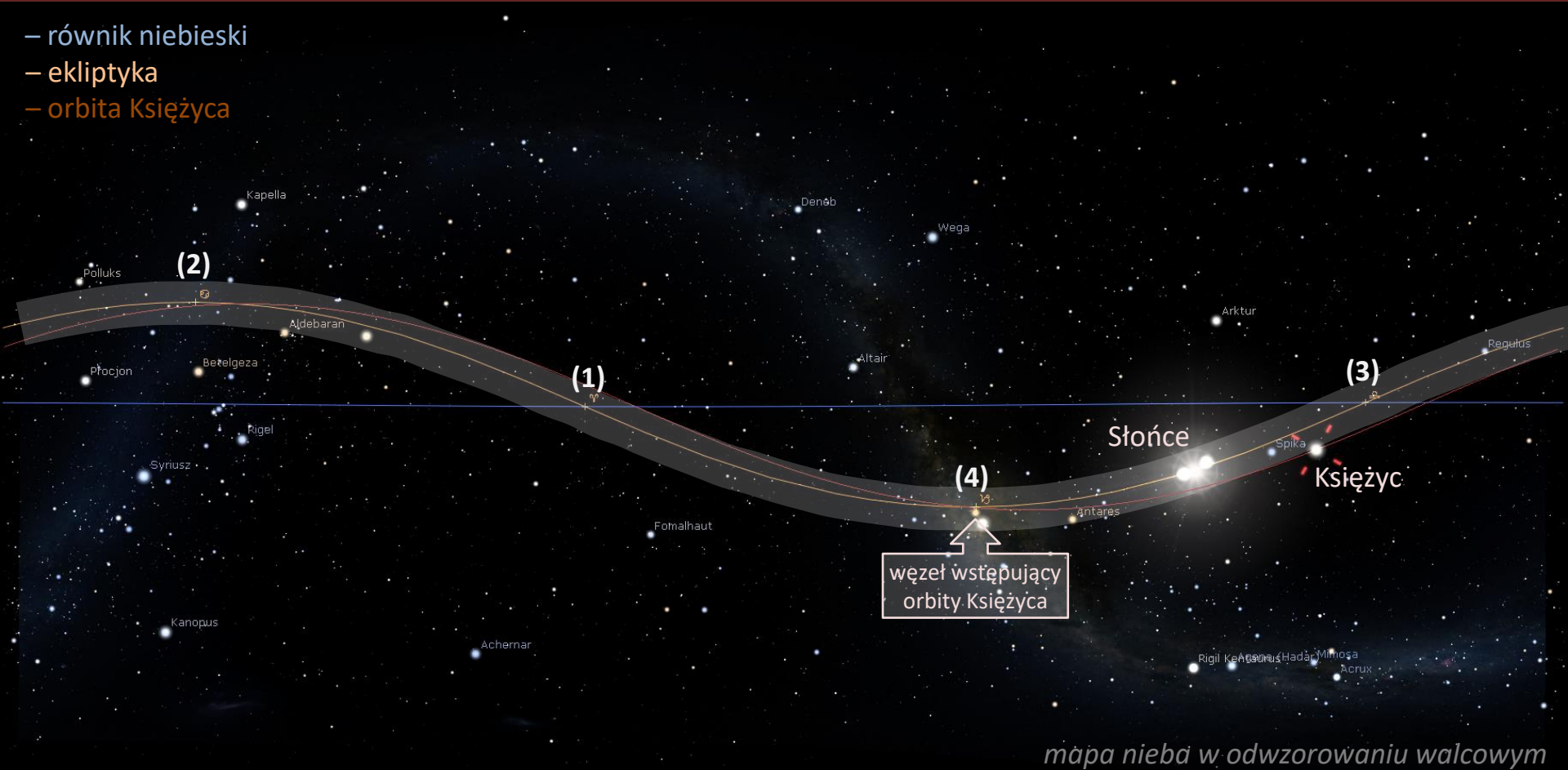


mapa nieba w odwzorowaniu walcowym

Orbita Księżyca na tle nieba, 11.2024 (11.2043)

układ planetarny

- równik niebieski
- ekliptyka
- orbita Księżyca

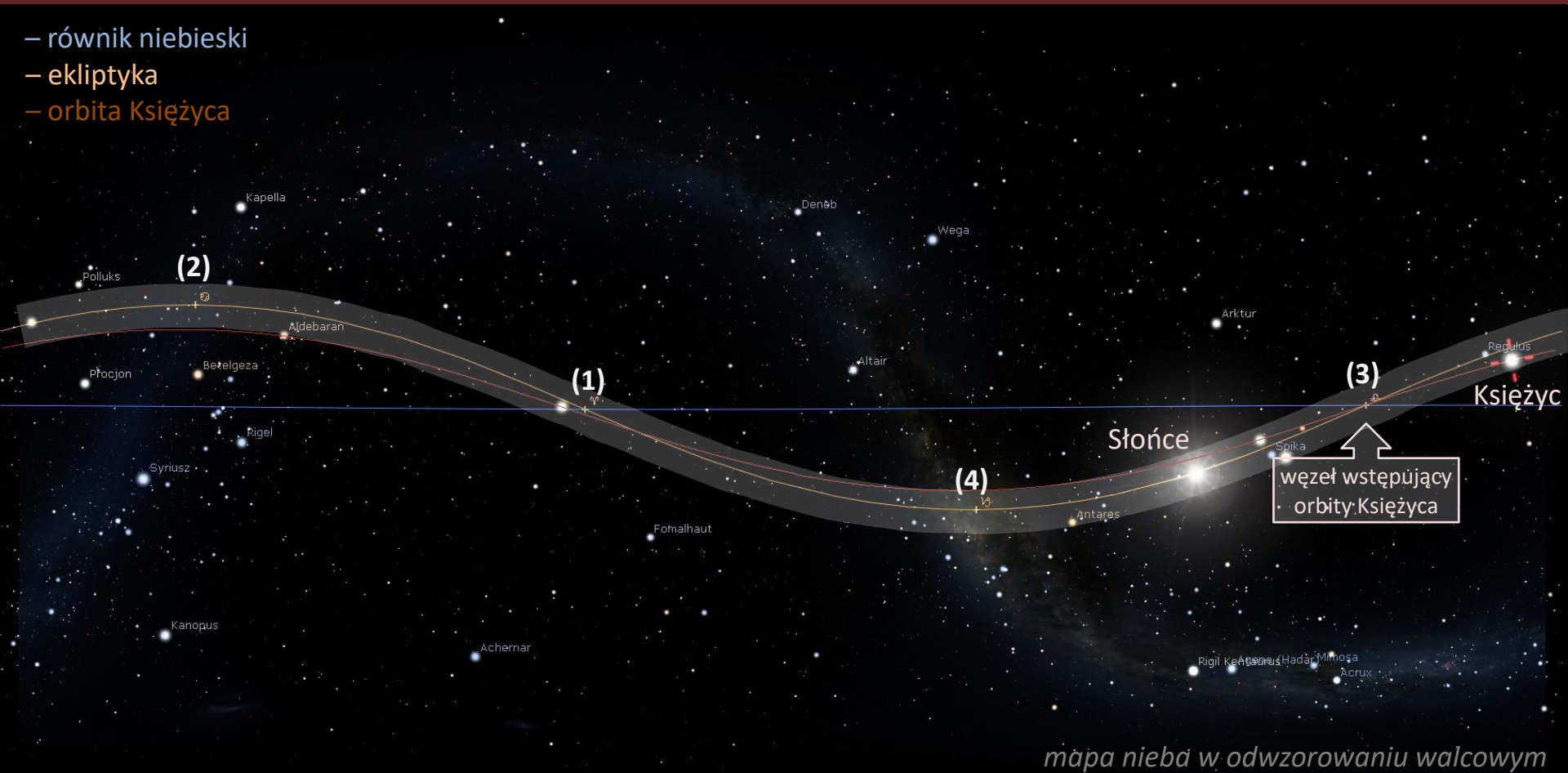


mapa nieba w odwzorowaniu walcowym

Orbita Księżyca na tle nieba, 11.2029

układ planetarny

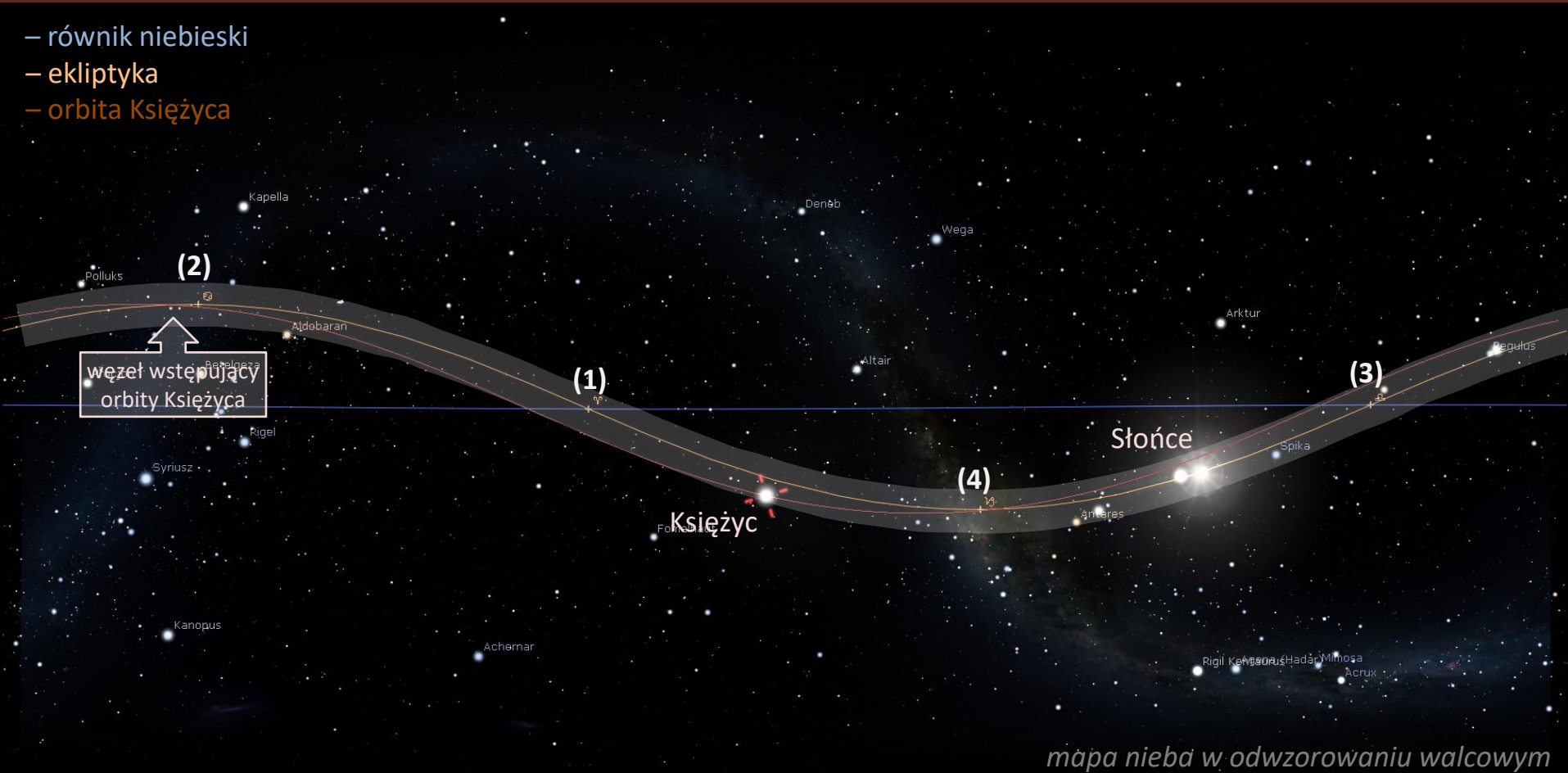
- równik niebieski
- ekliptyka
- orbita Księżyca



Orbita Księżyca na tle nieba, 11.2034

układ planetarny

- równik niebieski
- ekliptyka
- orbita Księżyca



mapa nieba w odwzorowaniu walcowym

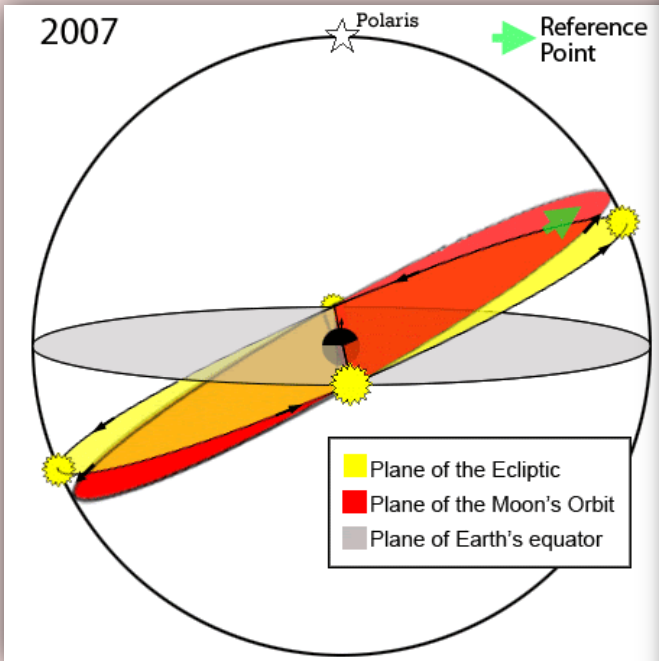
Orbita Księżyca na tle nieba, 11.2038

orbita Księżyca przesuwa się na tle gwiazd – to efekt precesji orbity

układ planetarny

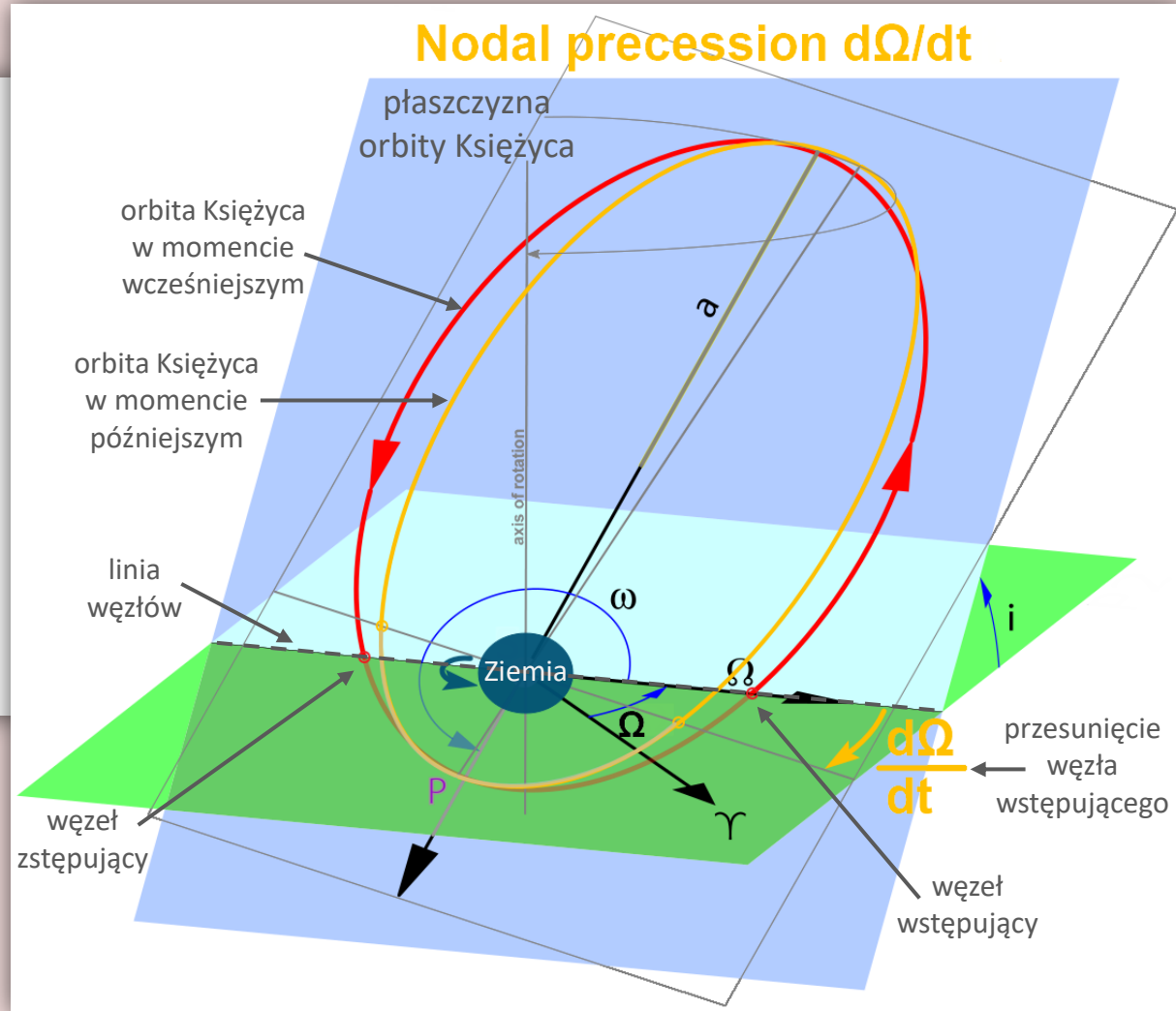
Precesja orbity Księżyca (precesja linii węzłów)

Płaszczyzna orbity Księżyca obraca się wokół osi obrotu Ziemi. Przesuwa to linię węzłów orbity Księżyca, bez zmiany jej inklinacji. Węzły (wstępujący, zstępujący) cofają się po ekliptyce. Pełny obrót trwa 18.61 lat.



animacja precesji orbity Księżyca (linii węzłów)

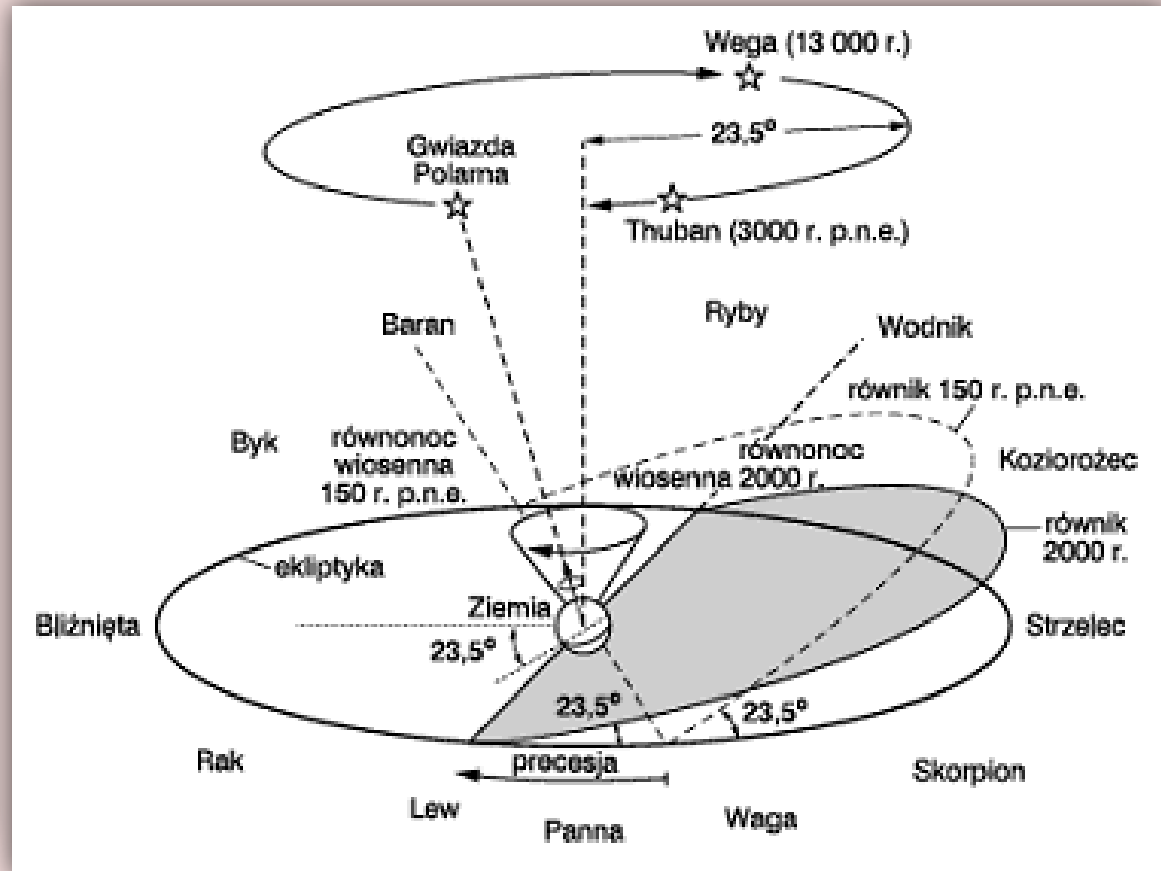
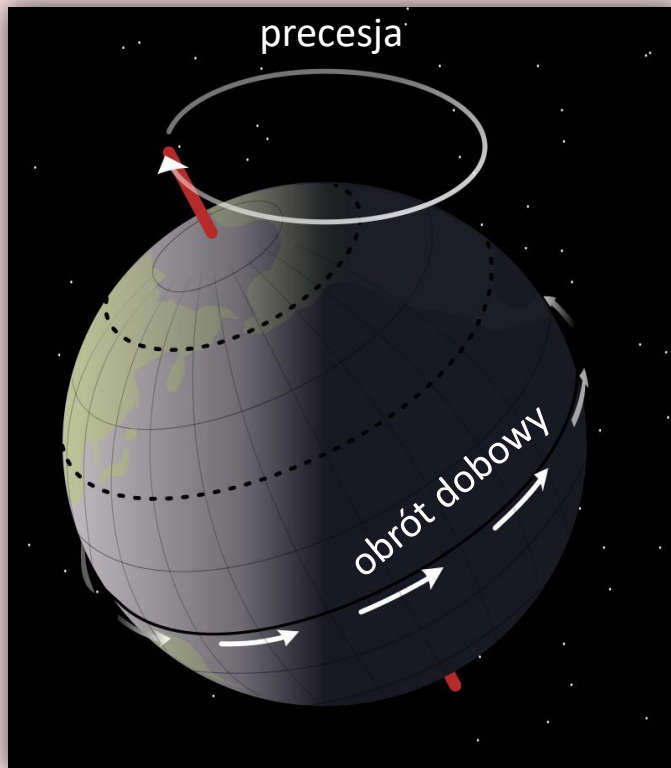
obejrzyj:
kaiserscience.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/07/gif-lunar-precession-2.gif



układ planetarny

Precesja osi obrotu Ziemi (precesja punktów równonocy)

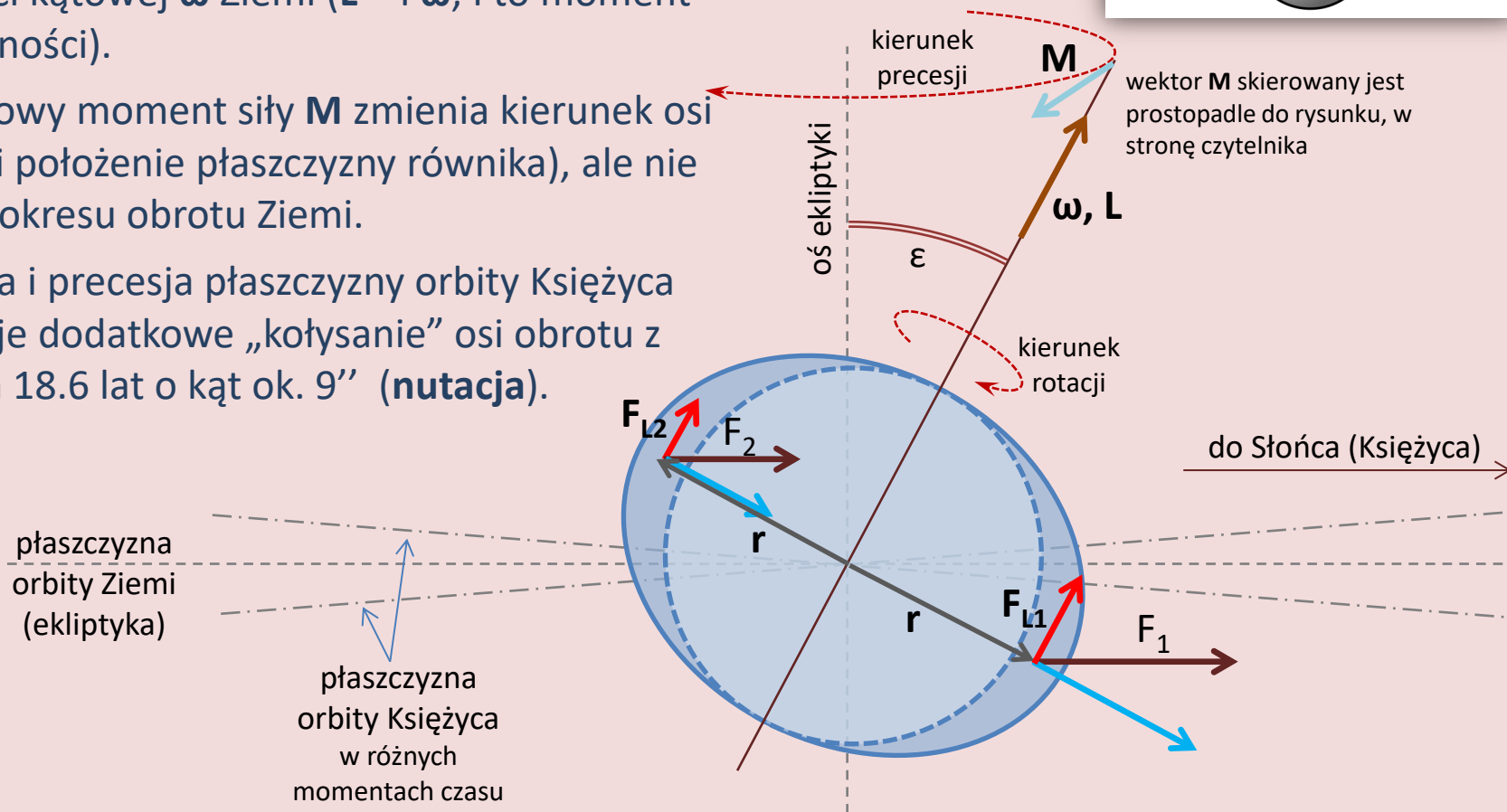
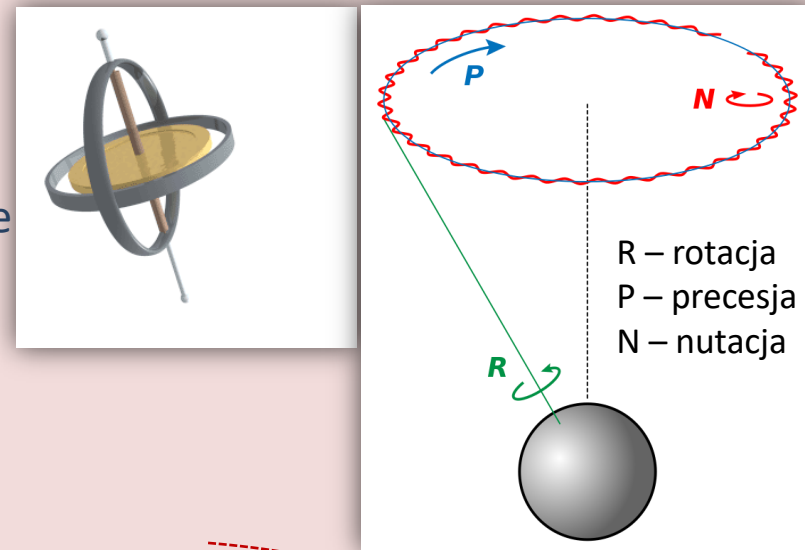
- Hipparch z Nikei (~190 – ~120 p.n.e.) zauważył, że punkt Barana przesuwa się wstecz po ekliptyce.
- To efekt precesji osi obrotu Ziemi wywołanej przez siły grawitacyjne Słońca i Księżycy (głównie).
- Oś Ziemi zatacza stożek wokół osi ekliptyki w czasie ok. 26 tys. lat.

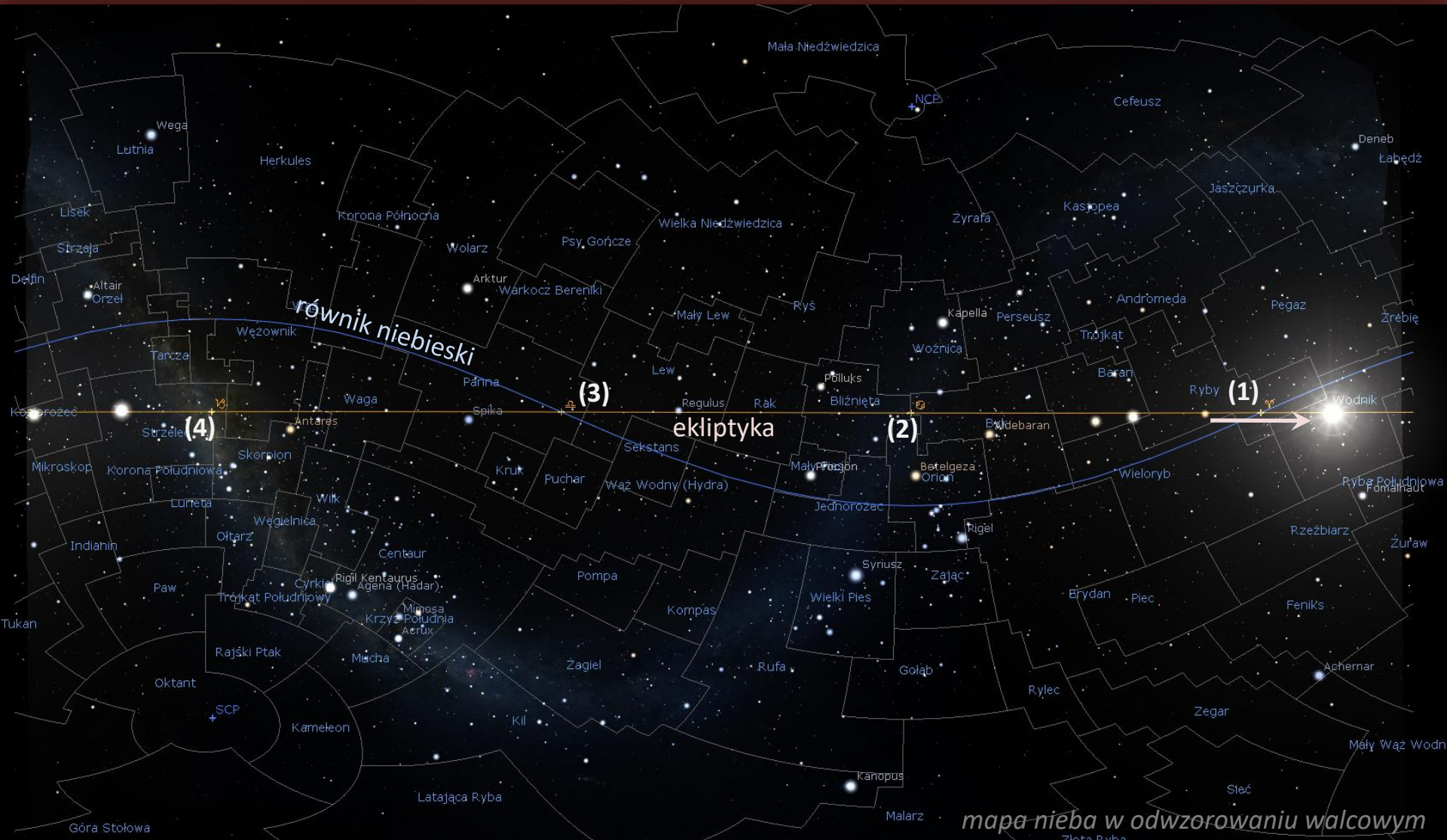


układ planetarny

Precesja osi obrotu Ziemi (punktów równonocy)

- Podstawą dla pojawienia się precesji jest spłaszczenie Ziemi i odchylenie osi obrotu od osi ekliptyki.
- Składowe (F_{L1} , F_{L2}) siły grawitacyjnej powodują powstanie momentów siły ($M = r \times F_L$), które wpływają na wektor momentu pędu L i wektor prędkości kątowej ω Ziemi ($L = I \omega$, I to moment bezwładności).
- Wypadkowy moment siły M zmienia kierunek osi obrotu (i położenie płaszczyzny równika), ale nie zmienia okresu obrotu Ziemi.
- Inklinacja i precesja płaszczyzny orbity Księżyca powoduje dodatkowe „kołysanie” osi obrotu z okresem 18.6 lat o kąt ok. 9'' (nutacja).

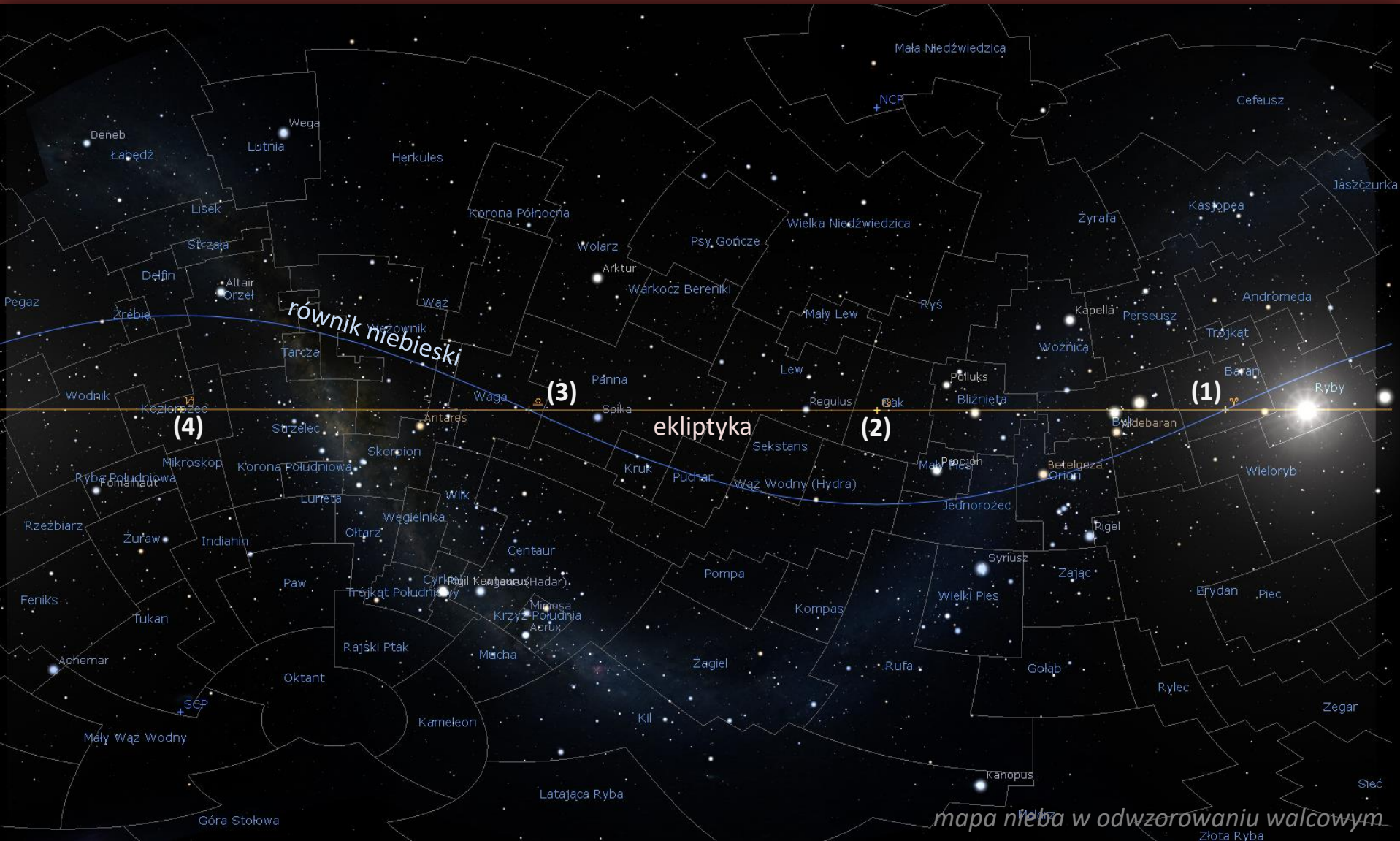


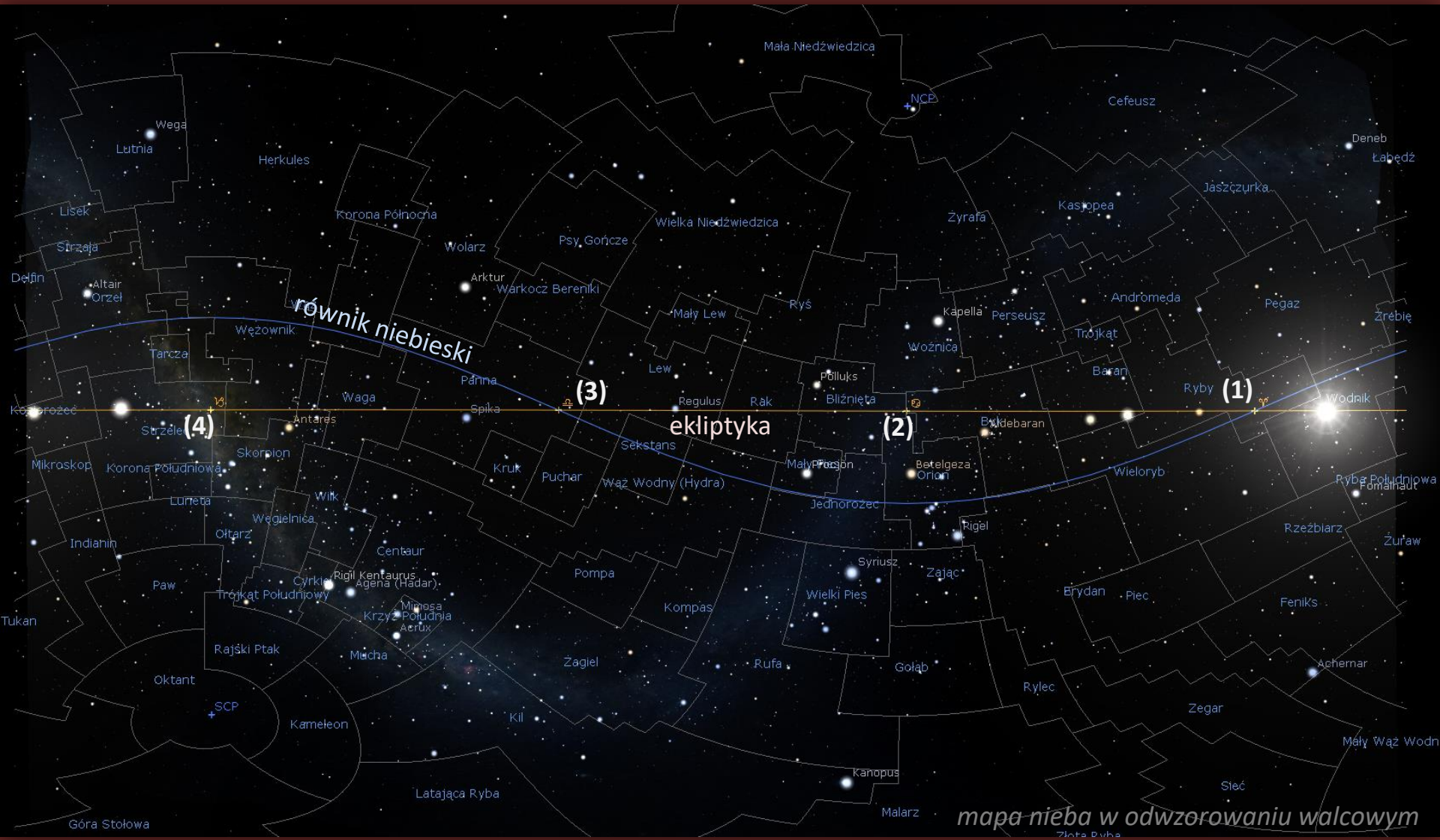


Precesja powoduje:

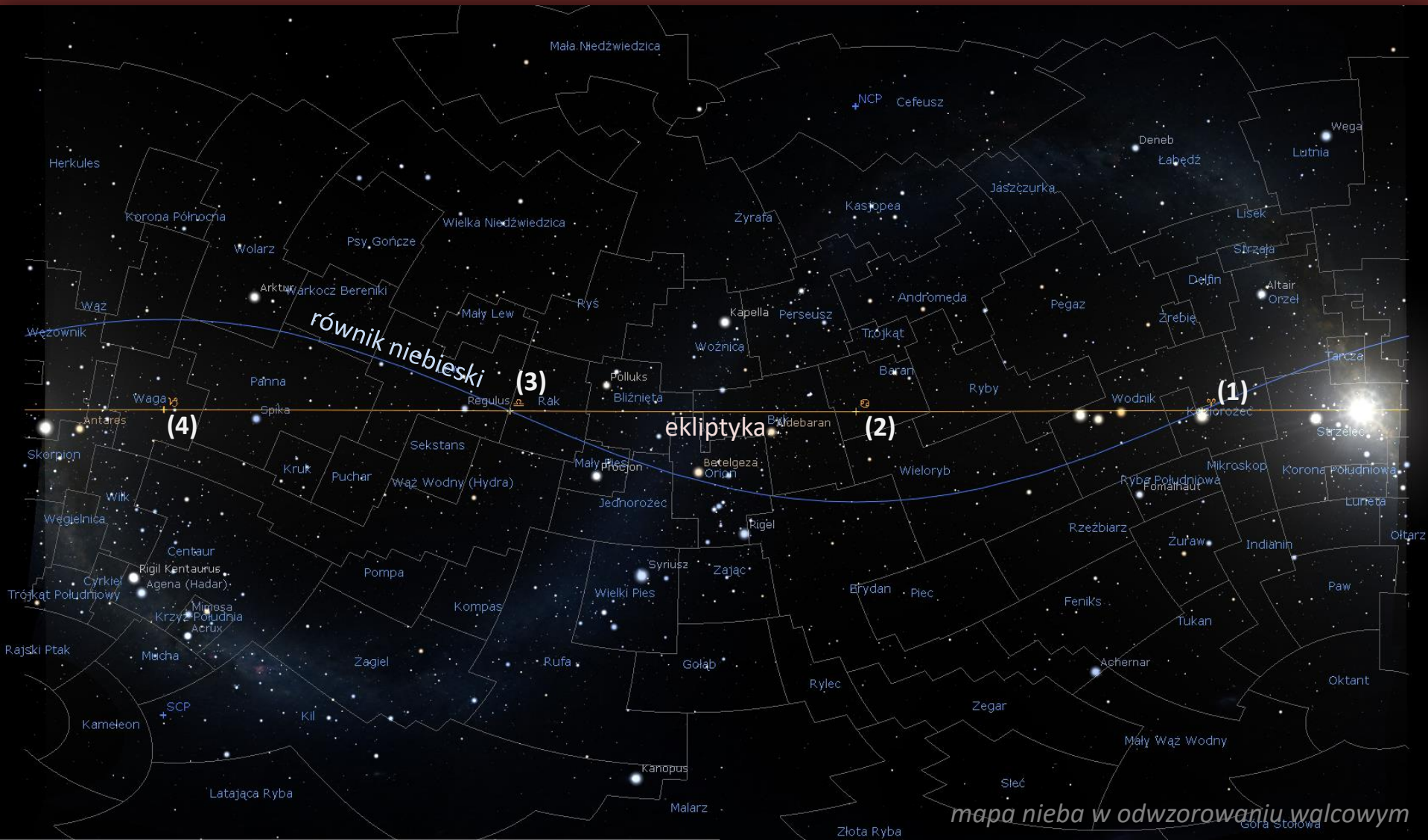
cofanie się punktu Barana po ekliptyce ($\sim 50''/\text{rok}$)

ciągłą zmianę współrzędnych równikowych równonocnych oraz długości ekliptycznej





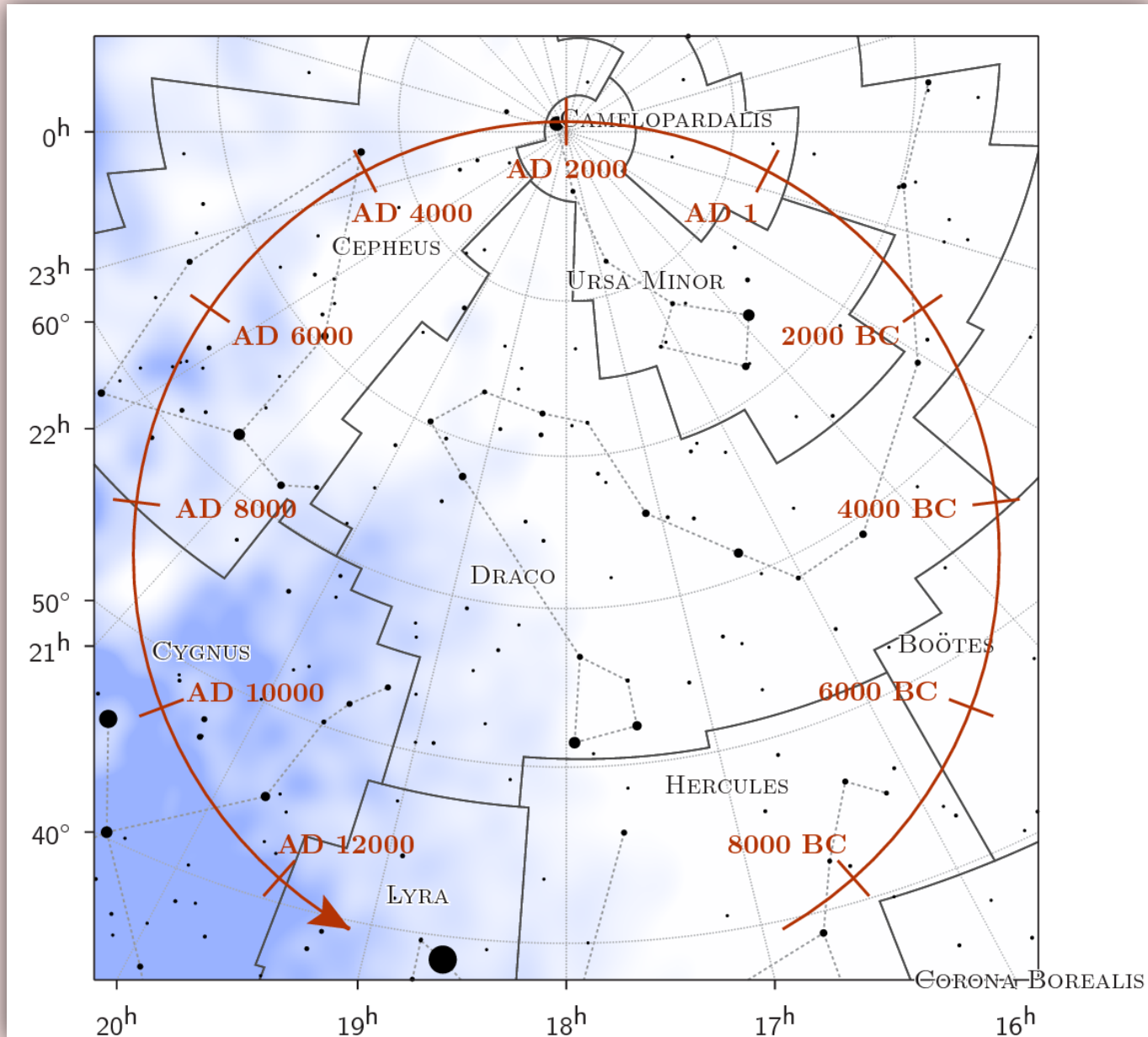
mapa nieba w odwzorowaniu walcowym



mapa nieba w odwzorowaniu walcowym

układ planetarny

Precesja zmienia też położenie północnego i południowego bieguna nieba

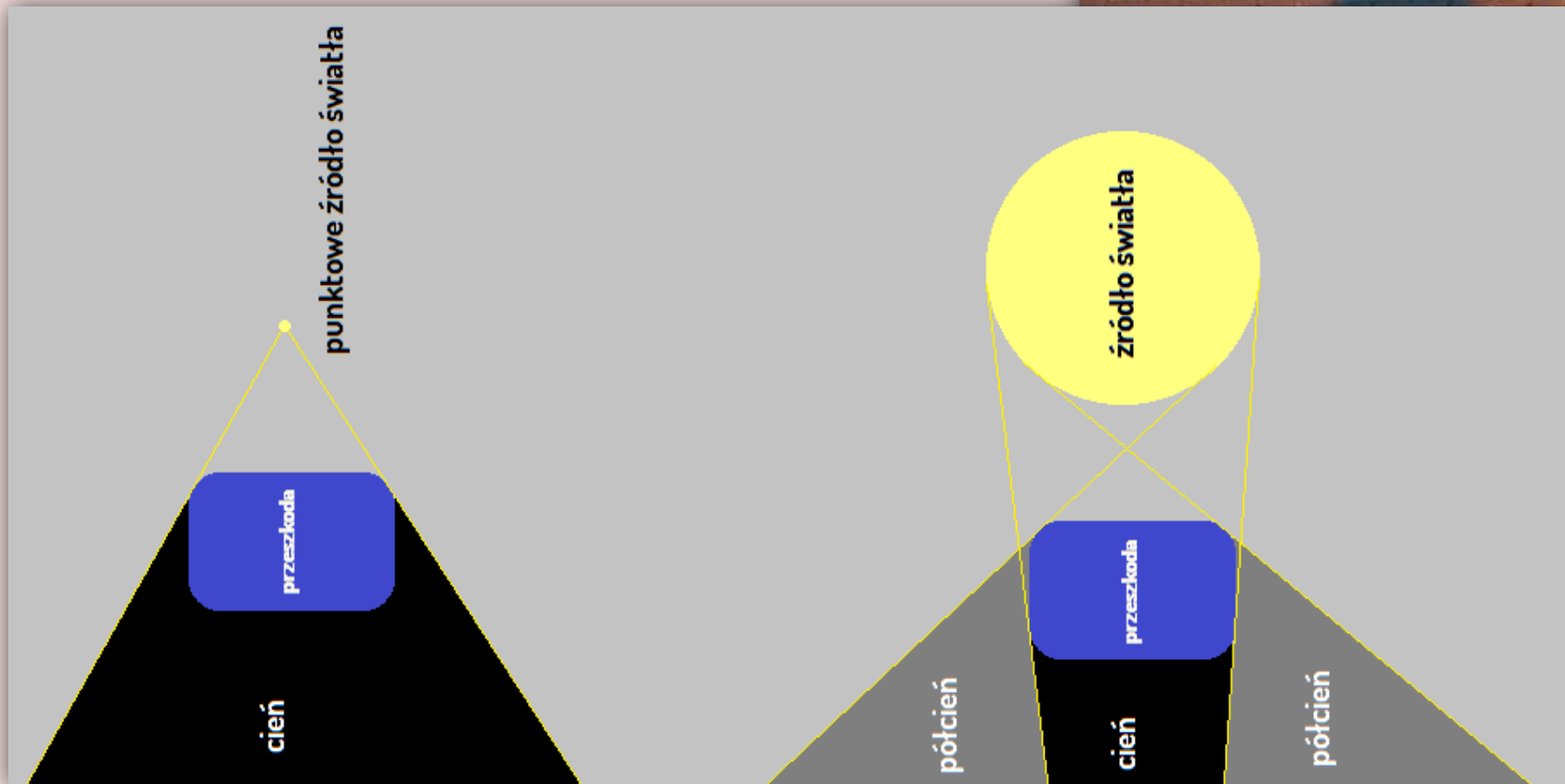


układ planetarny

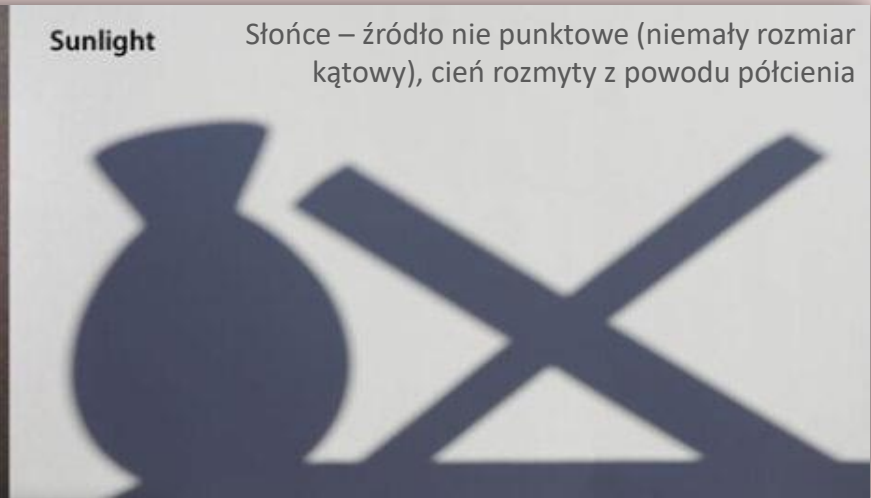
zaćmienia i tranzyty

Oświetlany obiekt tworzy obszar cienia i półcienia.

Do zaćmienia dochodzi w momencie, gdy jeden obiekt wchodzi w cień lub półcień drugiego obiektu.



układ planetarny



układ planetarny

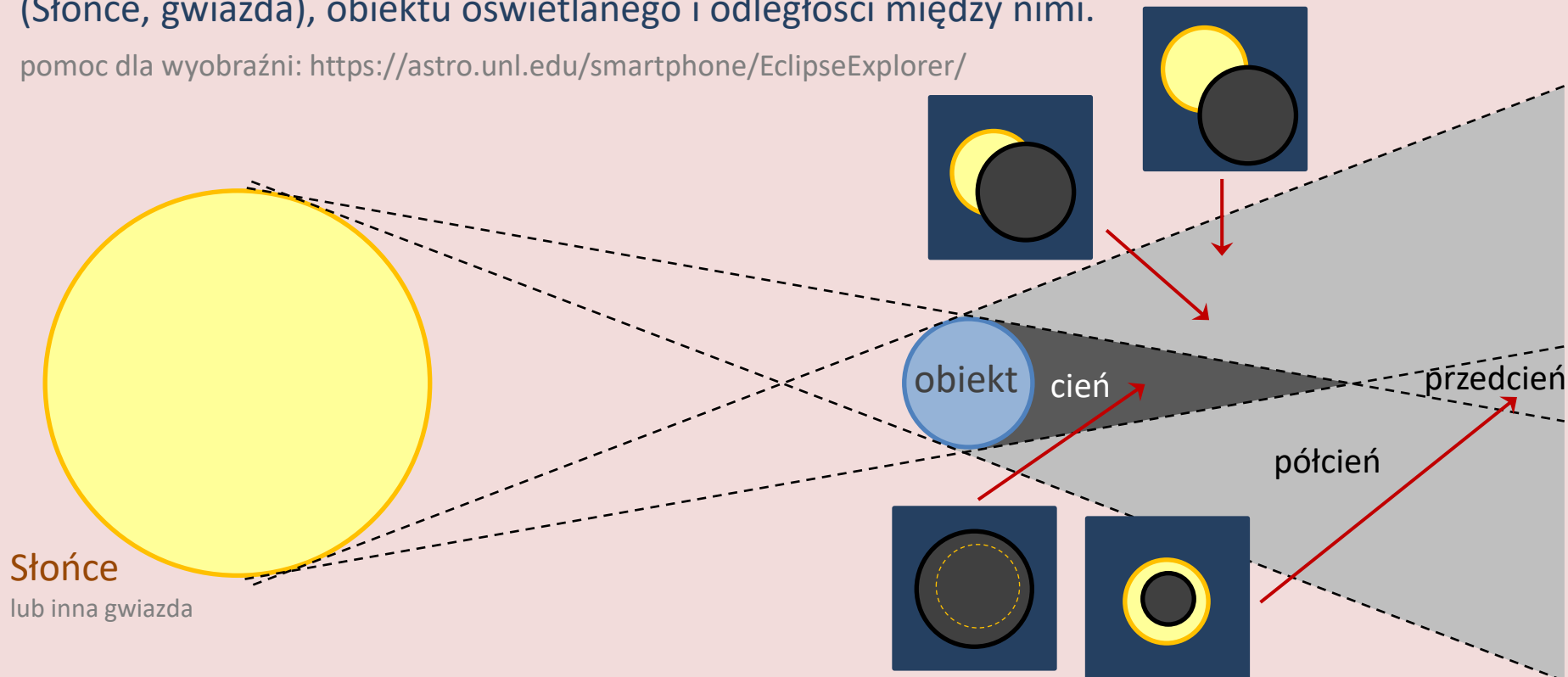
zaćmienia

Obszary cienia:

- cień (całkowity) (umbra) – obiekt całkowicie przestania Słońce
- półcień (penumbra) – obiekt częściowo przestania Słońce
- przedcień (antumbra) – obiekt częściowo przestania Słońce i widoczny jest całkowicie wewnątrz dysku Słońca (przedcień nie istnieje, jeśli obiekt jest większy od źródła światła)

Rozmiar tych obszarów (w tym długość cienia) zależy od wielkości obiektu świecącego (Słońce, gwiazda), obiektu oświetlanego i odległości między nimi.

pomoc dla wyobraźni: <https://astro.unl.edu/smartphone/EclipseExplorer/>



układ planetarny

zaćmienie Słońca (solar eclipse)

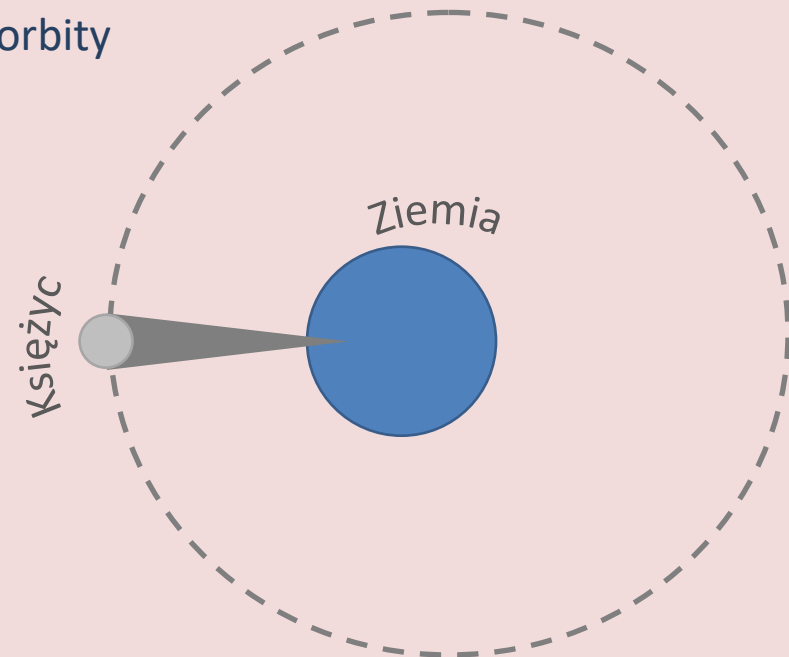
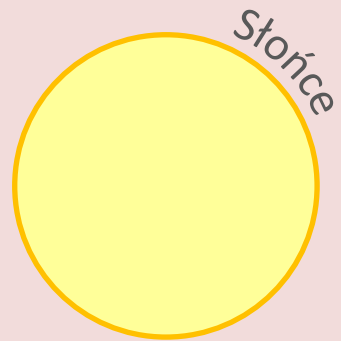
Zaćmienie Słońca zachodzi w momencie nowiu Księżyca, kiedy Ziemia znajduje się w obszarze cienia Księżyca.

Rodzaje zaćmień Słońca

- częściowe (partial)
- całkowite (total)
- obrączkowe (annular)
- hybrydowe (obróczkowo-całkowite) (hybrid)

Rodzaj zaćmienia zależy od położenia obserwatora w obszarze cienia.

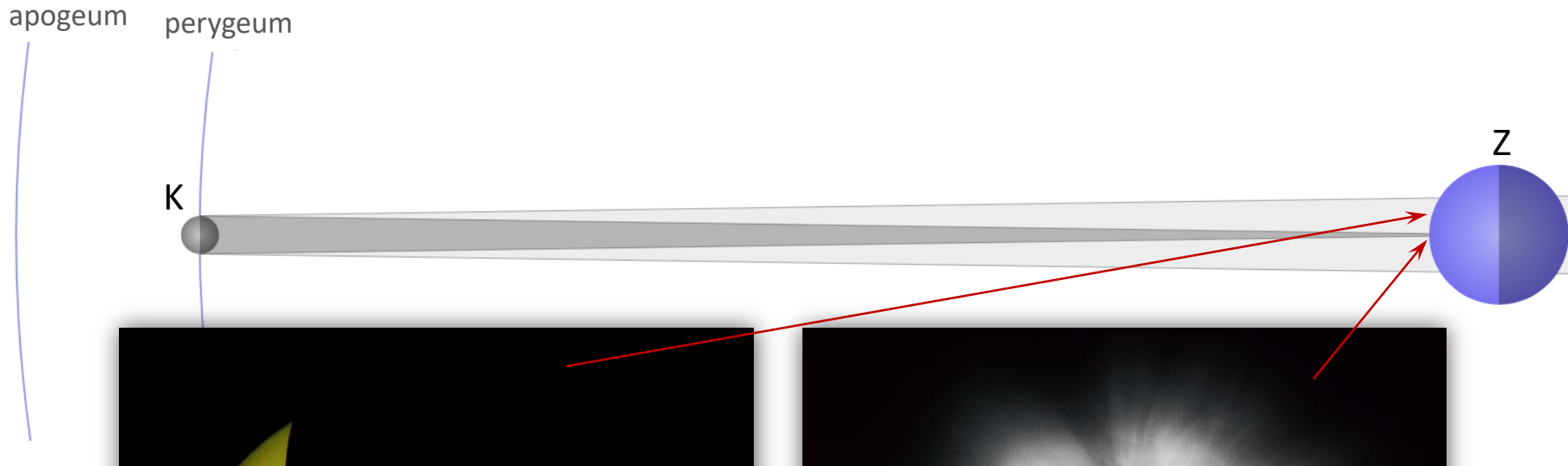
Czynniki wpływające na zaćmienia Słońca: eliptyczność orbity Księżyca (Ziemi), rozmiar Słońca i Księżyca.



układ planetarny

zaćmienie Słońca

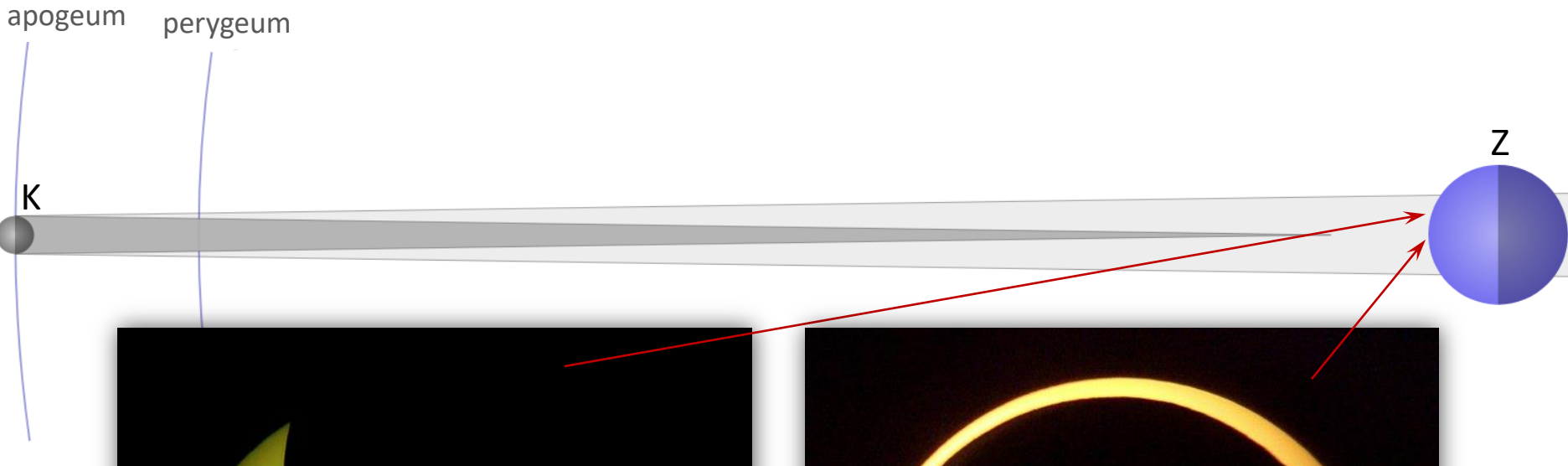
Zaćmienie całkowite – stożek cienia Księżyca dosięga powierzchni Ziemi



układ planetarny

zaćmienie Słońca

Zaćmienie obrączkowe – stożek cienia Księżyca nie dosięga powierzchni Ziemi (przedcień dosięga)





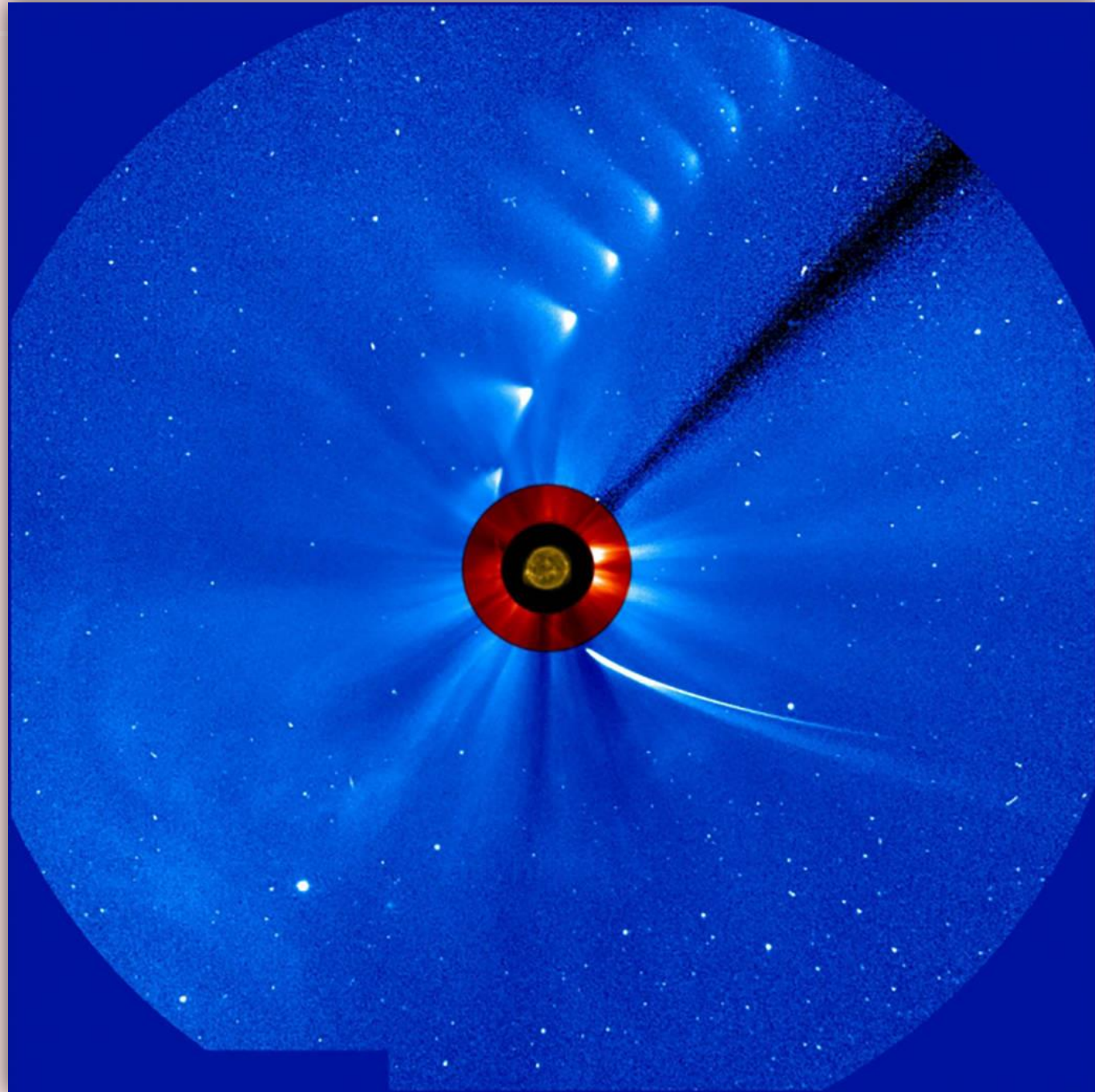
przebieg zaćmienia

w czasie zaćmienia całkowitego widoczna jest korona słoneczna



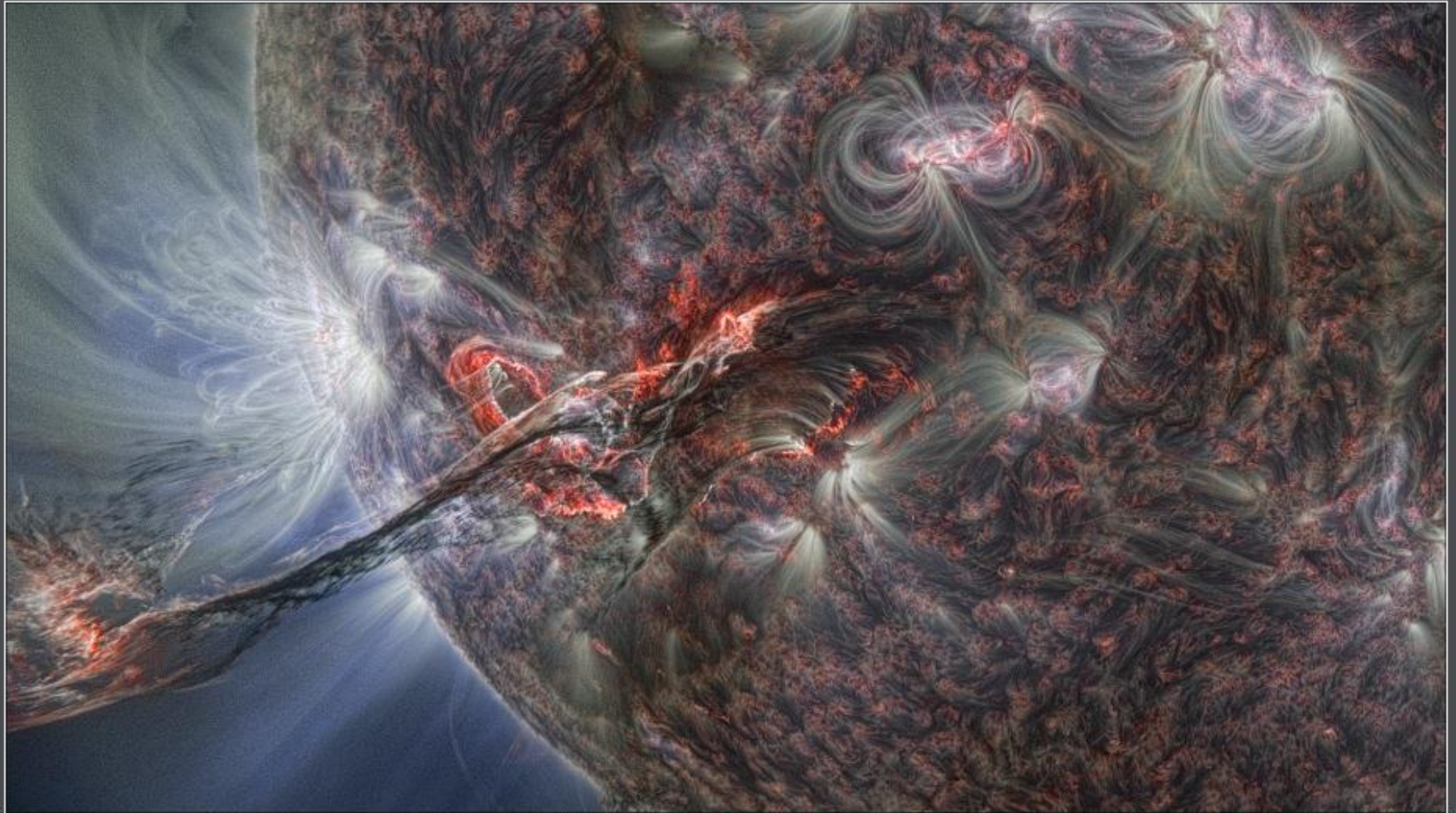
układ planetarny

Zaćmienia Słońca są rzadkie i trwają krótko (maks 7 min.), dlatego obserwacje korony słonecznej prowadzone są z użyciem koronografów i teleskopów orbitalnych UV/X.



Słońce i jego korona oraz
kometa ISON, 2013 r.
(SOHO/EIT /LASCO)

układ planetarny



© 2015 Miloslav Druckmüller NASA SDO AIA 304 A, 171 A, 211 A, PM-NAFE

erupcja słoneczna w świetle UV, 31.08.2012 (SDO/AIA)

zobacz film: www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/SDO/Pm-nafe/2012_08_31/0-info.htm

układ planetarny



zaćmienie Słońca 9.03.2016 z orbity okołoziemskiej (DSCOVR)
zobacz animację: commons.wikimedia.org/wiki/File:An_EPIC_Eclipse.gif

film z samolotu: youtu.be/InlUONyIpdM
i z balonu: youtu.be/CK9NP88myPc

zaćmienie Słońca
11.08.1999 z orbity
okołoziemskiej (Mir)

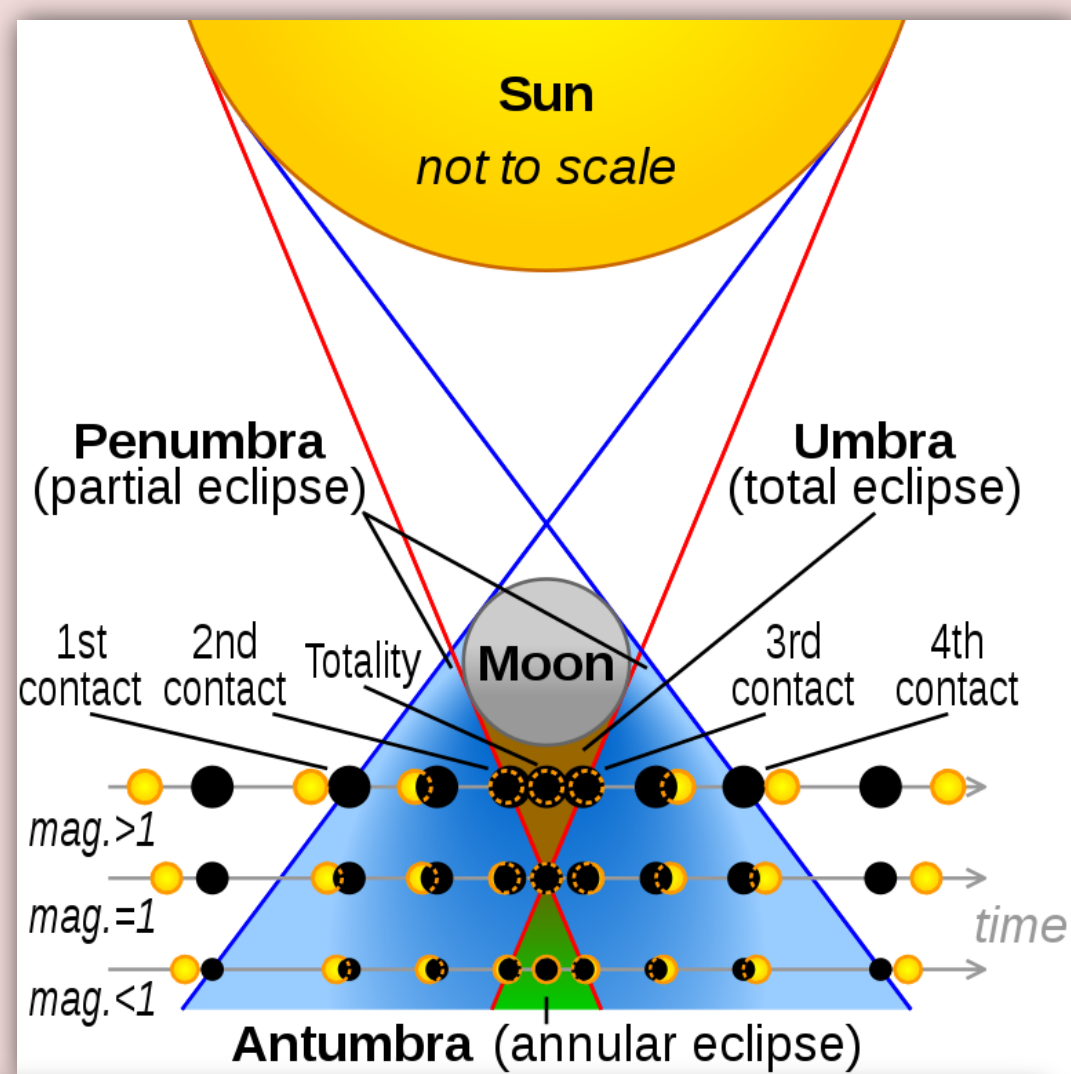
ciekawostka: najdłuższe obserwowane zaćmienie (74 min.)
https://youtu.be/mzwwofB5_Nc

układ planetarny

zaćmienie Słońca

Etapy zaćmienia:

- 1 kontakt – początek zaćmienia częściowego (A)
- 2 kontakt – początek zaćmienia całkowitego / obrączkowego (B)
- maksimum zaćmienia (C)
- 3 kontakt – koniec zaćmienia całkowitego / obrączkowego (D)
- 4 kontakt – koniec zaćmienia częściowego (E)



układ planetarny

zaćmienie Księżyca (lunar eclipse)

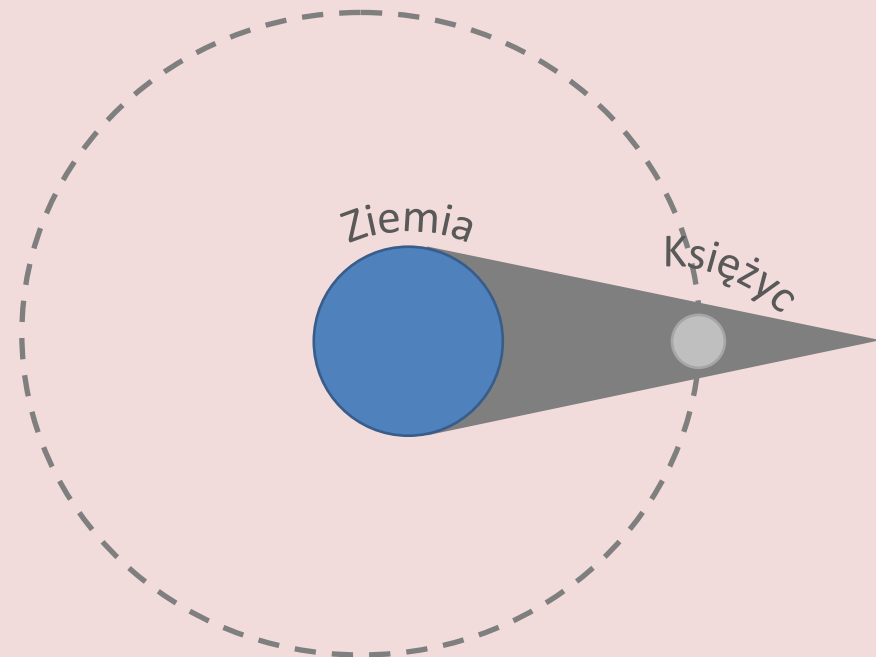
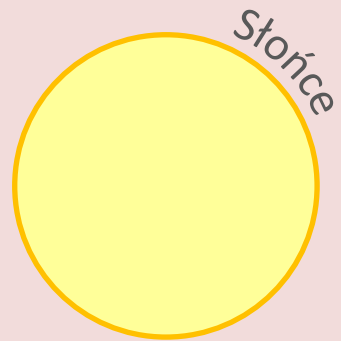
Zaćmienie Księżyca zachodzi w momencie pełni Księżyca, kiedy Księżyc znajduje się w obszarze cienia Ziemi.

Rodzaje zaćmień Księżyca

- częściowe (partial)
- całkowite (total / central)
- półcieniowe (penumbral)

Rodzaj zaćmienia zależy od przebiegu drogi Księżyca przez obszar cienia Ziemi.

Czynniki wpływające na zaćmienia Księżyca: eliptyczność orbity Księżyca (Ziemi), rozmiar Słońca, Ziemi i Księżyca.



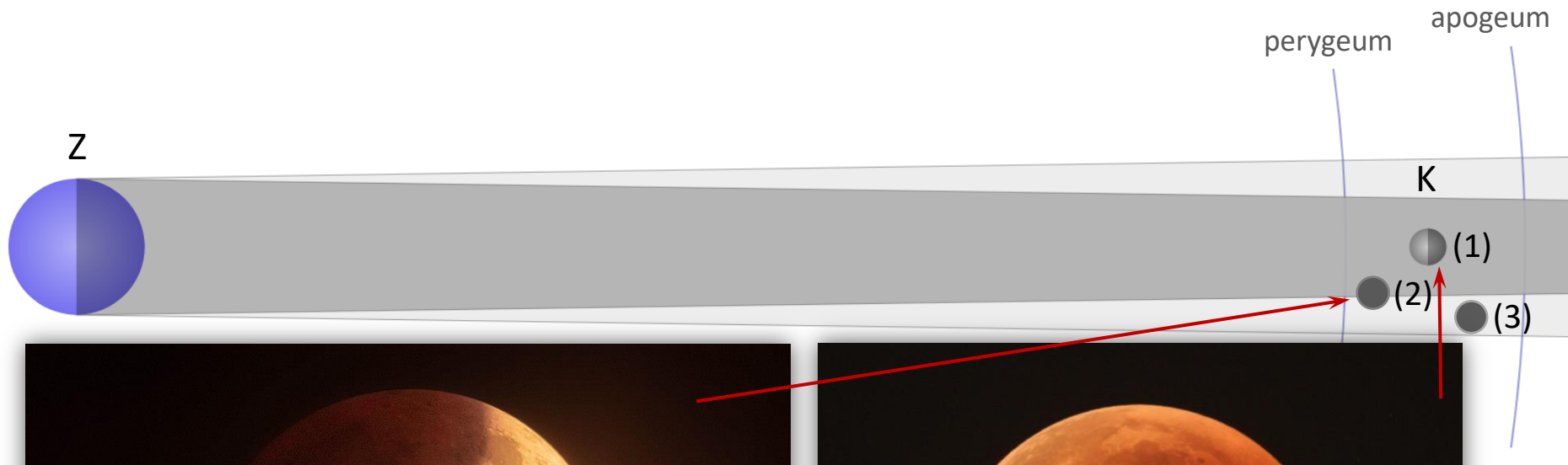
układ planetarny

zaćmienie Księżyca

Zaćmienie całkowite – Księżyc cały w cieniu Ziemi (1)

Zaćmienie częściowe – Księżyc częściowo w cieniu Ziemi (2)

Zaćmienie półcieniowe – Księżyc w półcieniu Ziemi (3)



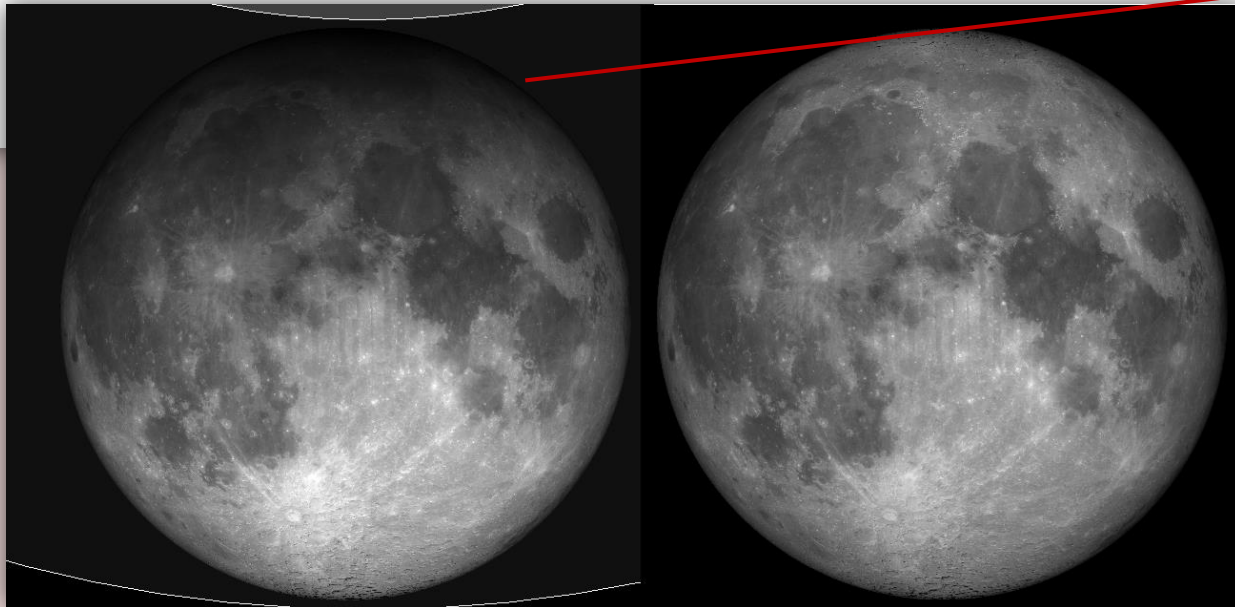
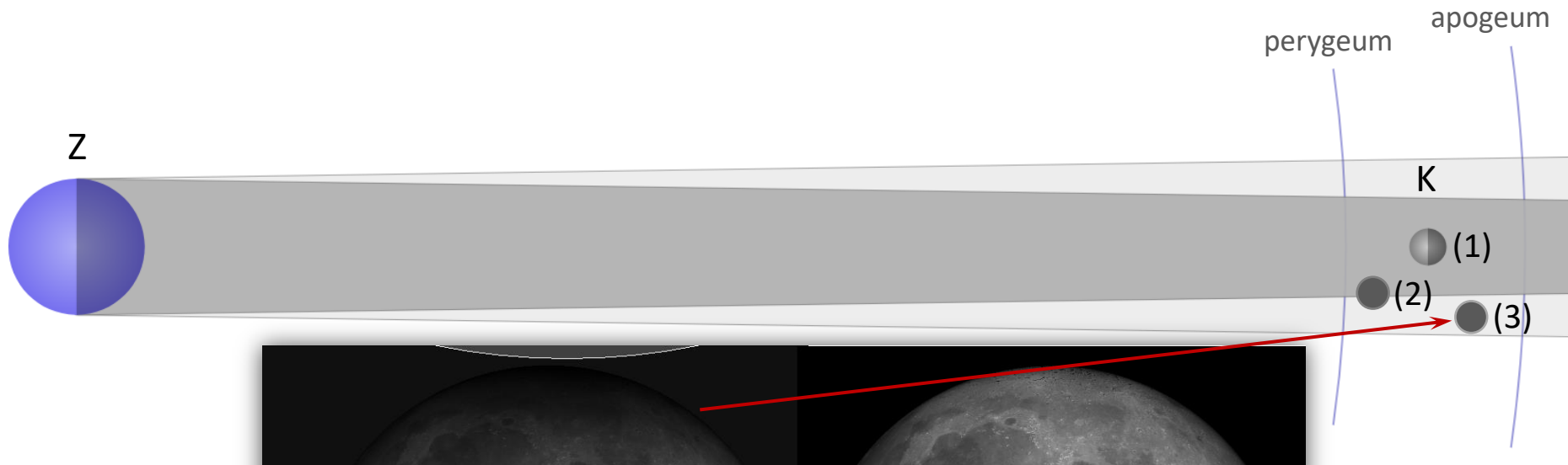
układ planetarny

zaćmienie Księżyca

Zaćmienie całkowite – Księżyc cały w cieniu Ziemi (1)

Zaćmienie częściowe – Księżyc częściowo w cieniu Ziemi (2)

Zaćmienie półcieniowe – Księżyc w półcieniu Ziemi (3)



układ planetarny

zaćmienie Księżyca



© Rodney Pommier

Zarys cienia Ziemi

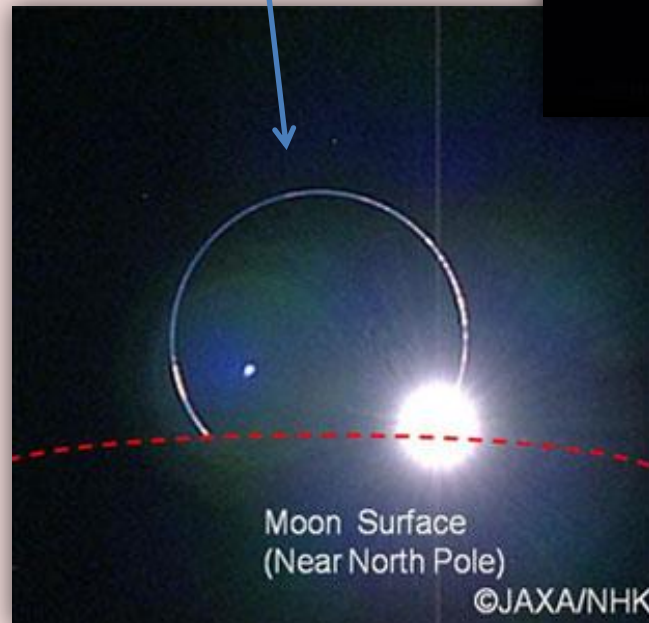
układ planetarny

zaćmienie Księżyca

Księżyc w cieniu Ziemi oświetlany jest słabym światłem słonecznym załamany w atmosferze Ziemi (cienki pierścień poniżej)



etapy zaćmienia Księżyca



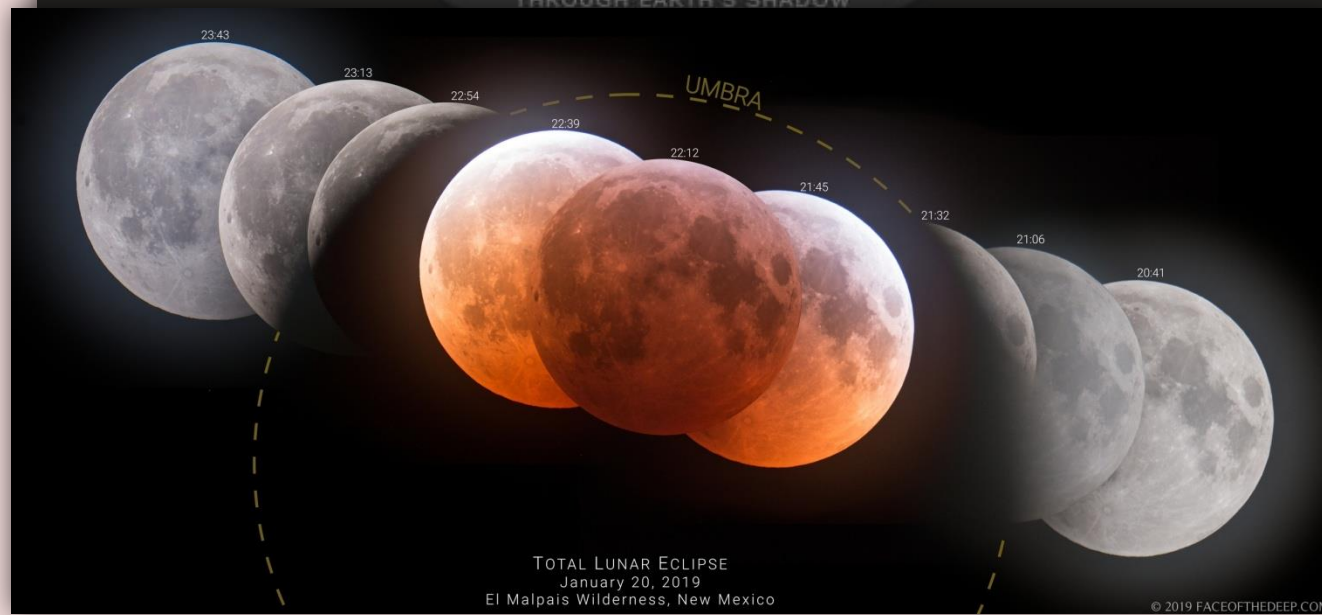
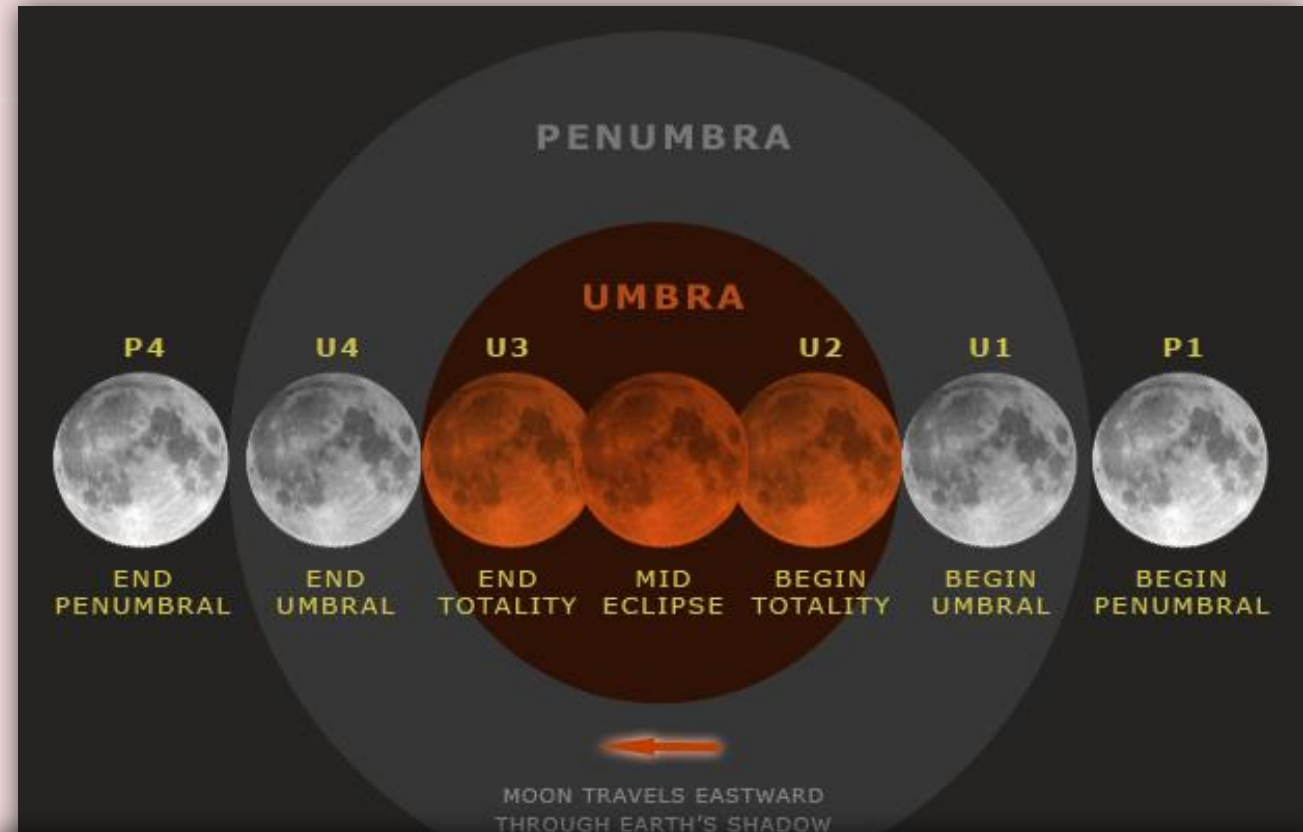
Zaćmienie Księżyca z Księżyca, czyli zaćmienie Słońca przez Ziemię, 10.02.2009 (Kaguya)
youtu.be/L36OsnEinI4

układ planetarny

zaćmienie Księżyca

Etapy zaćmienia:

- P1 (1 kontakt) – początek zaćmienia półcieniowego
- U1 (2 kontakt) – początek zaćmienia częściowego
- U2 (3 kontakt) – początek zaćmienia całkowitego
- maksimum zaćmienia
- U3 (4 kontakt) – koniec zaćmienia całkowitego
- U4 (5 kontakt) – koniec zaćmienia częściowego
- P4 (6 kontakt) – koniec zaćmienia półcieniowego

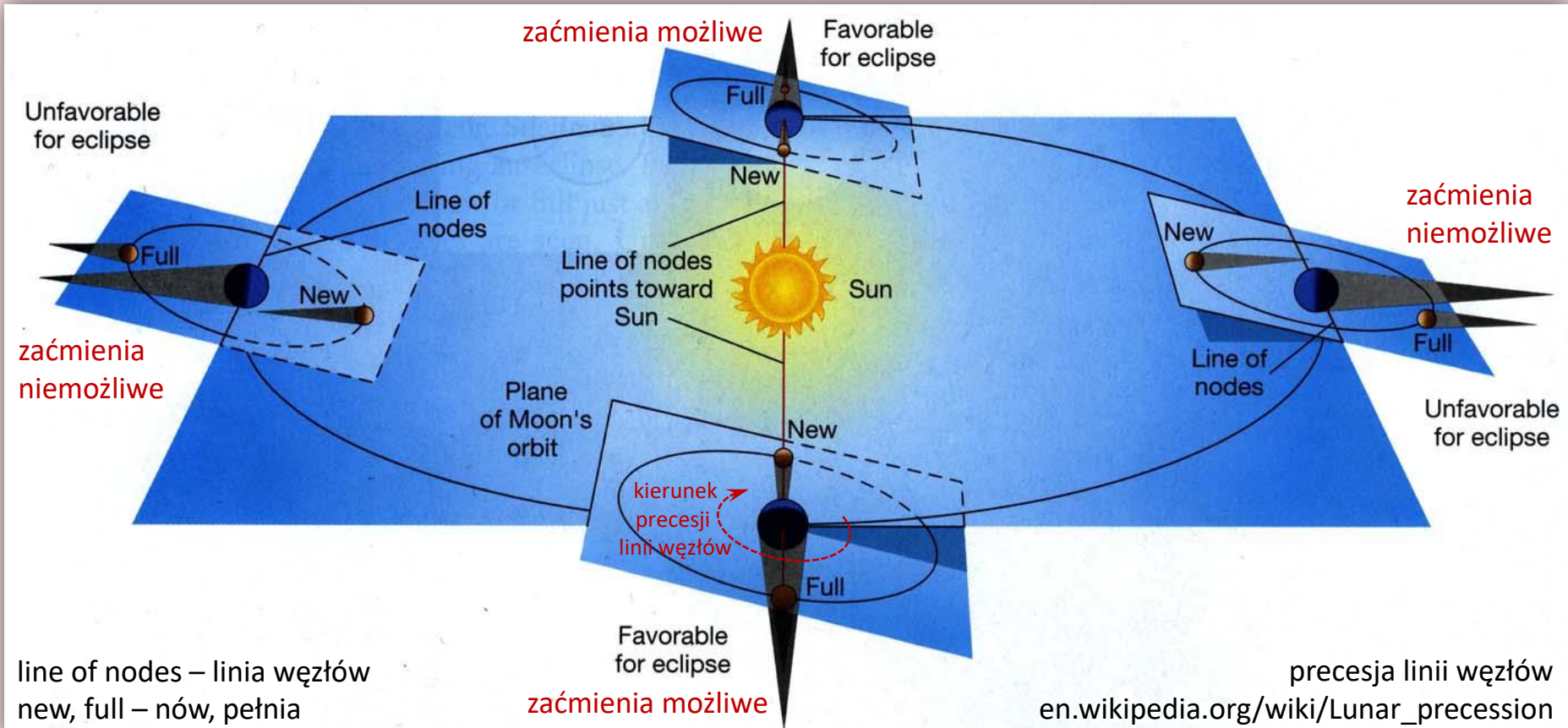


układ planetarny

zobacz przesuwanie się sezonów zaćmień:
astro.unl.edu/smartphone/EclipseExplorer/

zaćmienia

- Do zaćmień nie dochodzi podczas każdej pełni i nowiu – efekt nachylenia orbity Księżyca do orbity Ziemi.
- Zaćmienie wystąpi tylko jeśli podczas nowiu / pełni Księżyc znajdzie się blisko jednego z dwóch węzłów swojej orbity.
- Linia węzłów orbity Księżyca wykonuje pełny obrót w ciągu 18.6 lat (precesja linii węzłów) – sezon zaćmień przypada na różne momenty w ciągu roku.



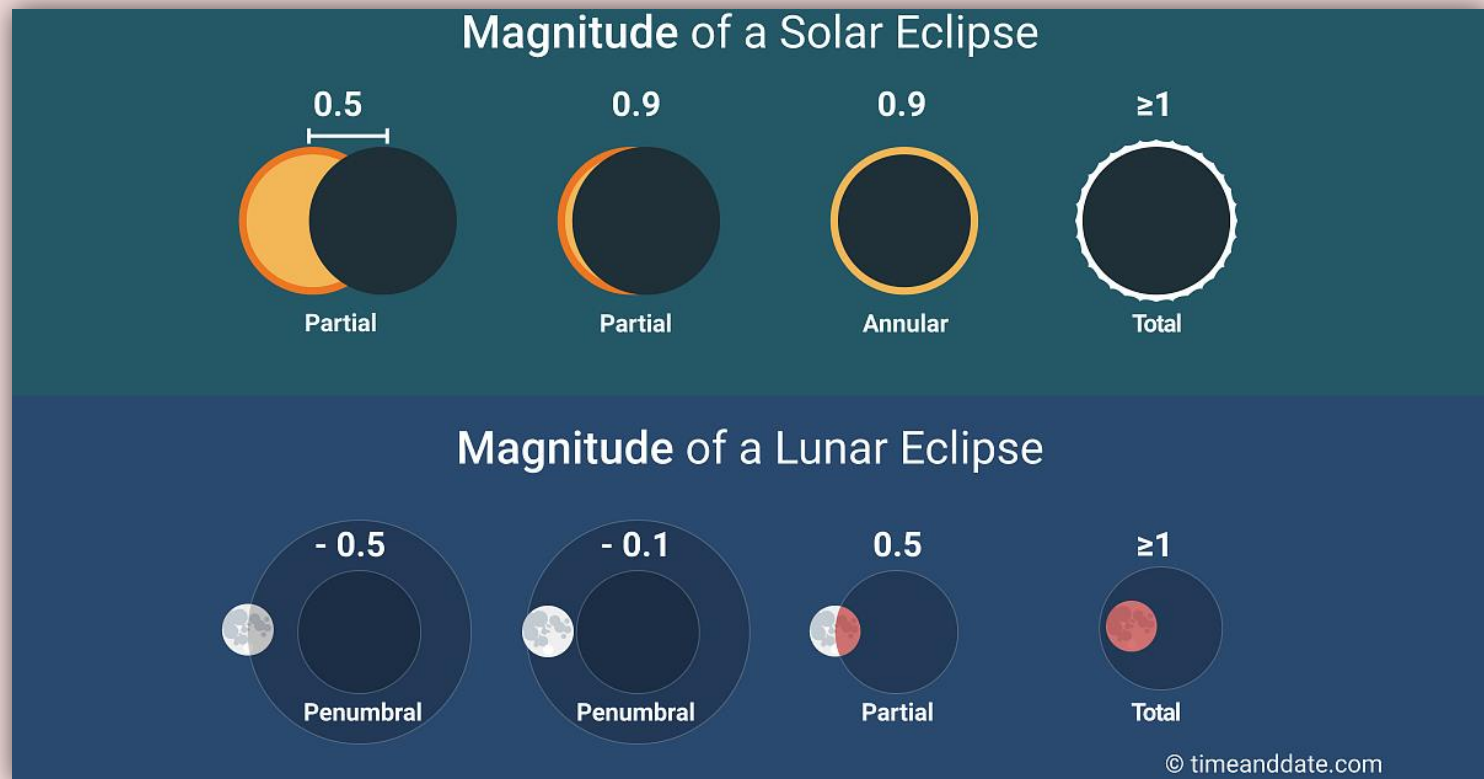
układ planetarny

głębokość zaćmienia

- wielkość fazy maksymalnej zaćmienia (magnitude) – opisuje jaką część średnicy dysku ciała zaćmiewanego jest przesłonięta w maksimum zaćmienia
- maksymalne przesłanianie (obscuration) – opisuje jaka część powierzchni dysku ciała zaćmiewanego jest przesłonięta w maksimum zaćmienia

przykład: faza = 0.5 oznacza przesłanianie = 0.39 (39%),
przesłanianie = 0.5 (50%) wstąpi przy fazie = 0.6

zobacz więcej: www.geogebra.org/m/SnZ7QGTJ



układ planetarny

częstotliwość występowania zaćmień

Na 3 zaćmienia Słońca przypadają 2 zaćmienia Księżyca, jeśli nie uwzględnimy zaćmień półcieniowych Księżyca.

Jeśli uwzględnić zaćmienia półcieniowe to, np.: w XX wieku było 228 zaćmień Słońca i 229 zaćmień Księżyca.

Z danego miejsca na Ziemi oczywiście znacznie częściej widoczne są zaćmienia Księżyca niż Słońca.

zaćmienia Słońca w Polsce

- 30 czerwca 1954 – ostatecznie całkowite zaćmienie Słońca obserwowane z Polski
- 25 października 2022 – częściowe o dużej fazie (0.46 we Wrocławiu)
- 12 sierpnia 2026 – częściowe o dużej fazie (całkowite zaćmienie widoczne w północnej Hiszpanii)
- 13 lipca 2075 – zaćmienie obrączkowe
- 23 lipca 2093 – zaćmienie obrączkowe
- 7 października 2135 – zaćmienie całkowite

zaćmienia Księżyca w Polsce – sprawdź samodzielnie

eclipse.gsfc.nasa.gov

www.timeanddate.com/eclipse

układ planetarny

częstotliwość występowania zaćmień

Na 3 zaćmienia Słońca przypadają 2 zaćmienia Księżyca (nie są tu uwzględnione zaćmienia półcieniowe).

Jeśli uwzględnić zaćmienia półcieniowe to, np.: w XX wieku było 228 zaćmień Słońca i 229 zaćmień Księżyca.

Z danego miejsca na Ziemi oczywiście znacznie częściej widoczne są zaćmienia Księżyca niż Słońca

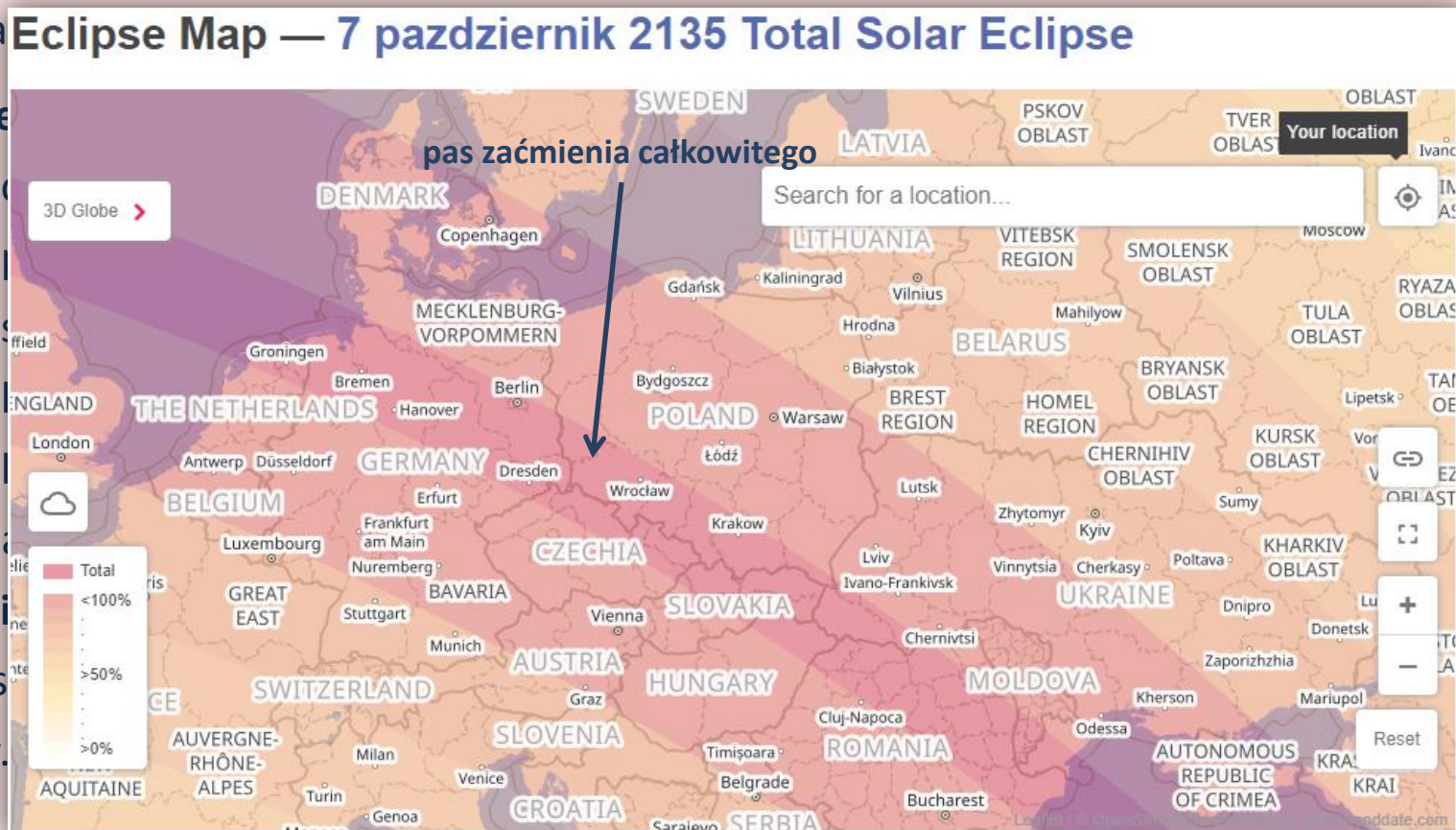
zaćmie

- 30 c
- 25 p
- 12 s
- 13 e
- 23 p
- 7 p

zaćmi

eclips

www.



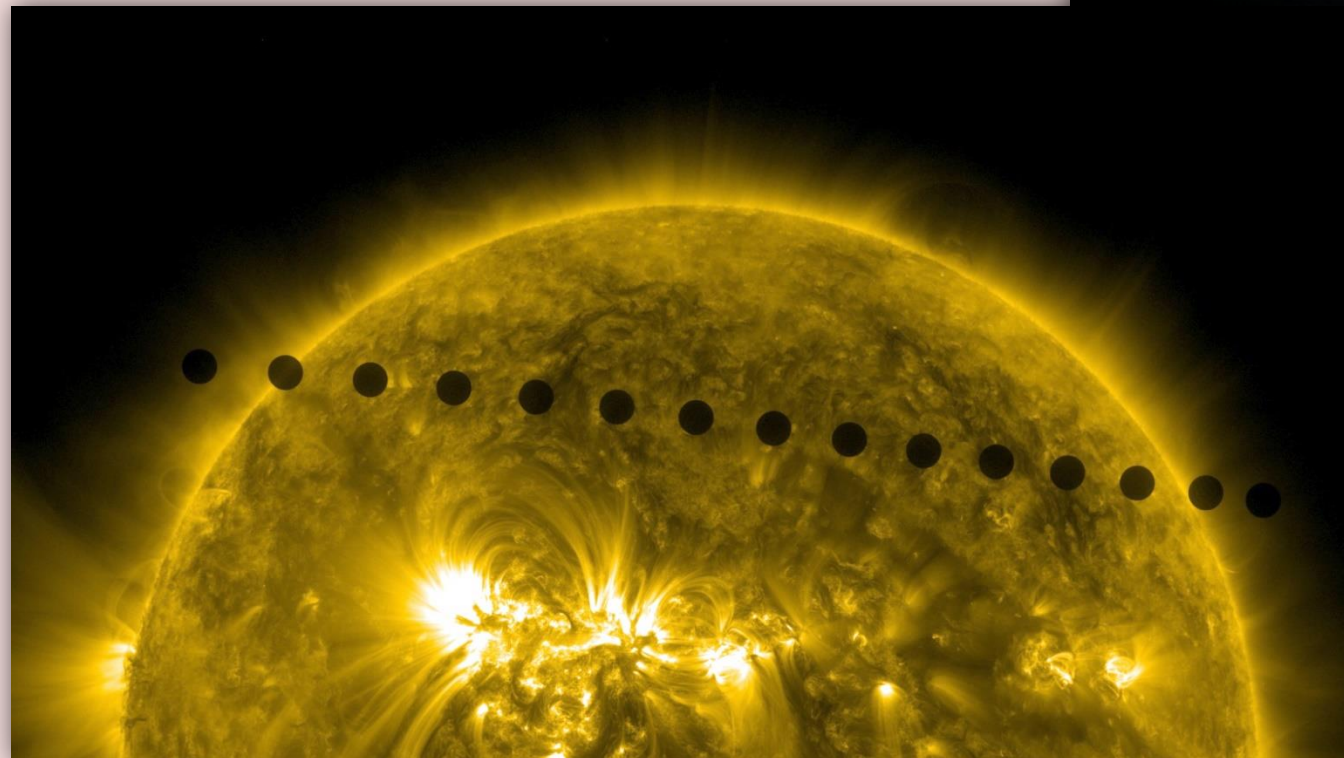
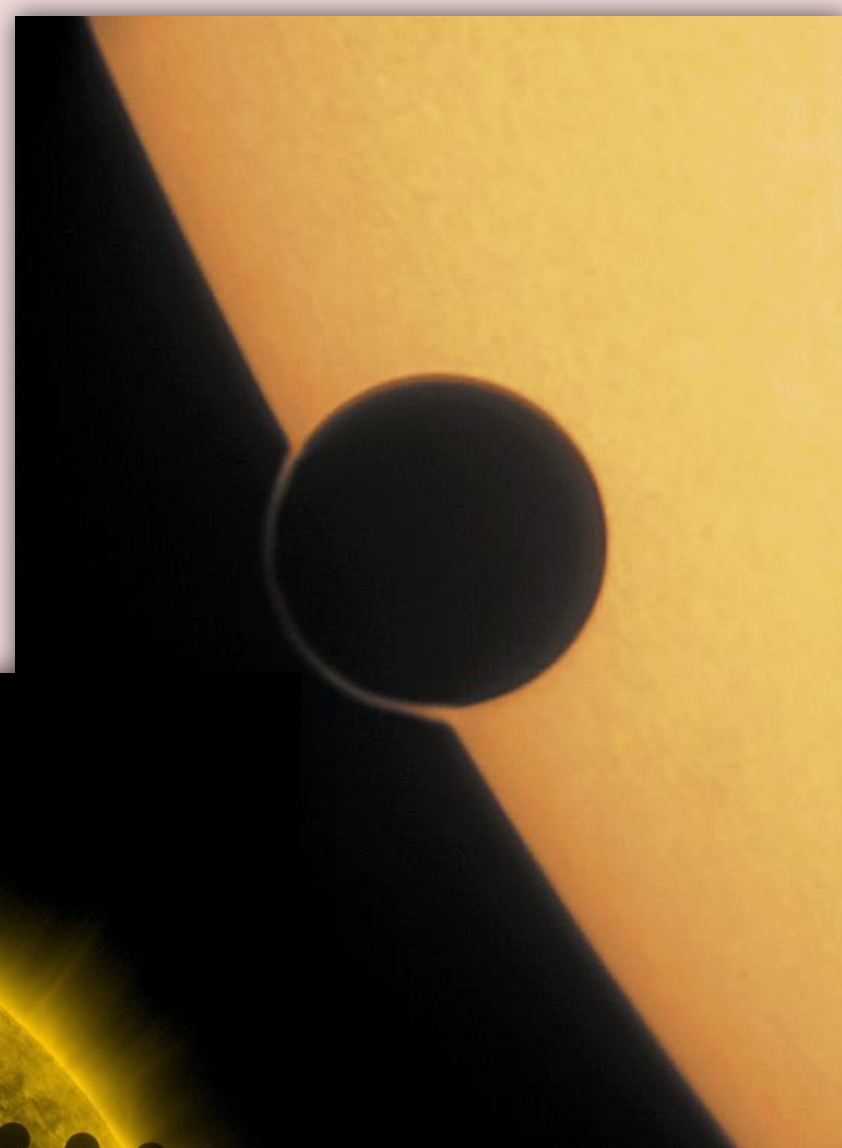
anii)

układ planetarny

Tranzyty, zakrycia, zaćmienia poza Ziemią

Zakrycie (occultation) – obiekt o większym rozmiarze kątowym przesłania obiekt o rozmiarze mniejszym

Tranzyt (transit) - obiekt o mniejszym rozmiarze kątowym przechodzi na tle obiektu o rozmiarze większym



tranzyt Wenus

układ planetarny

Tranzyty, zakrycia, zaćmienia poza Ziemią

Zakrycie (occultation) – obiekt o większym rozmiarze kątowym przestania obiekt o rozmiarze mniejszym

Tranzyt (transit) - obiekt o mniejszym rozmiarze kątowym przechodzi na tle obiektu o rozmiarze większym



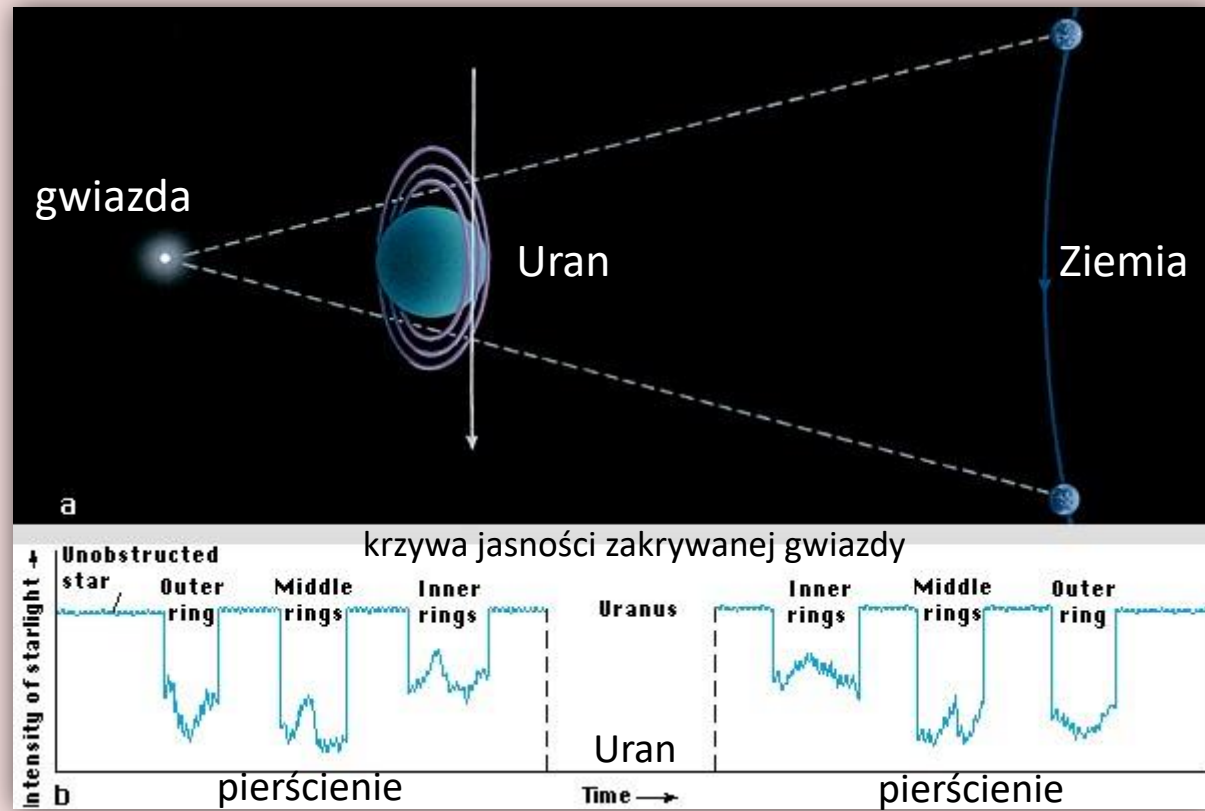
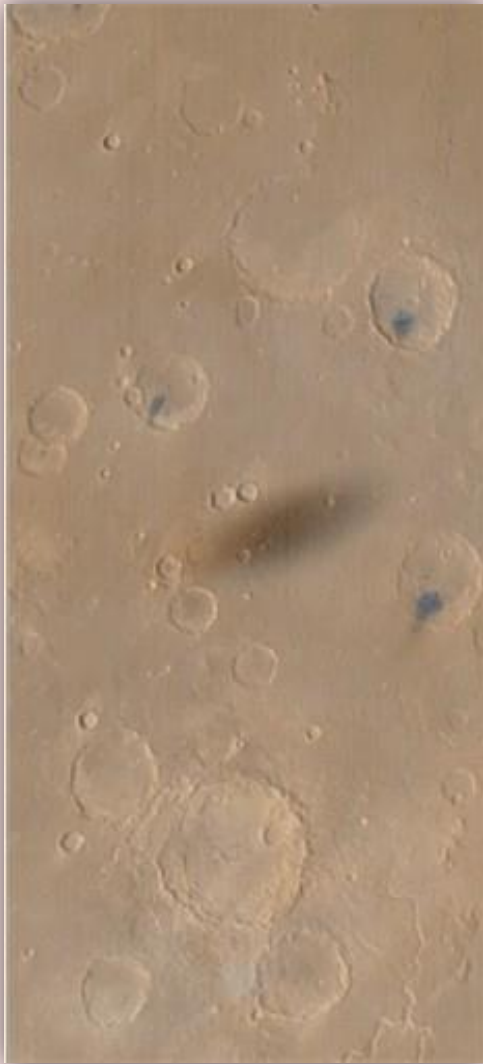
zakrycie Wenus przez Księżyc

zakrycie Saturna przez Księżyc

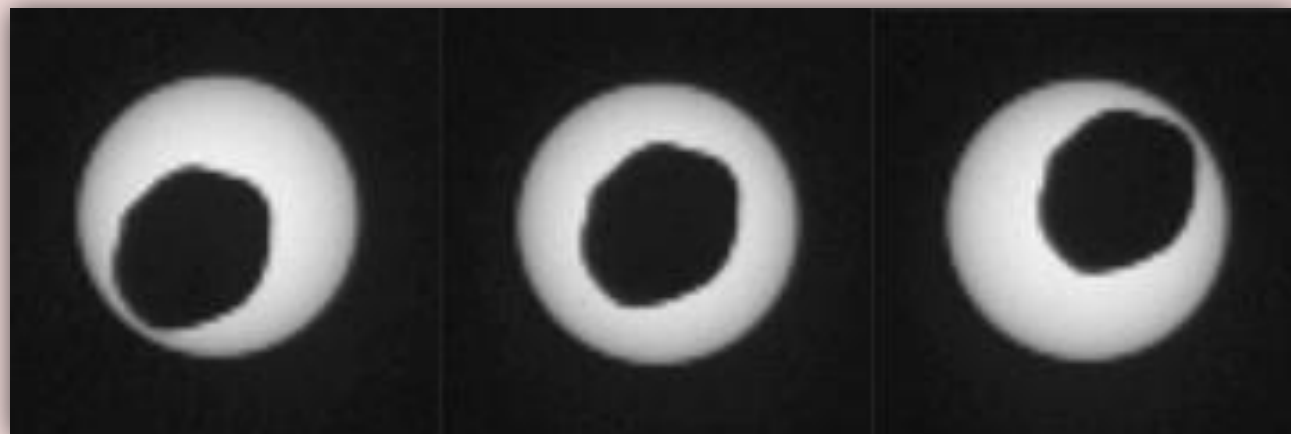


układ planetarny

półcień Fobosa na powierzchni Marsa



Zakrycie gwiazdy przez Urana i jego pierścienie

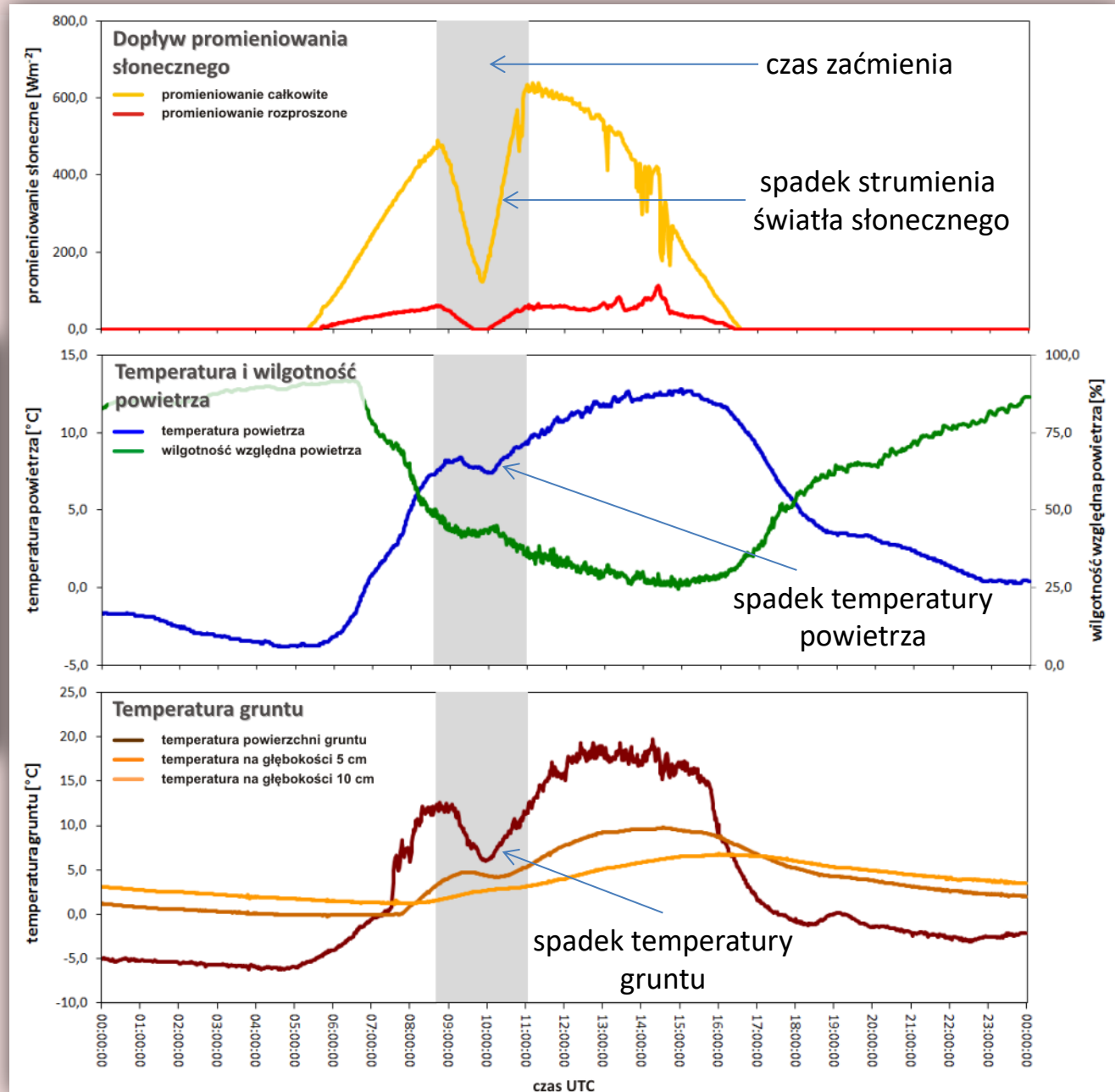


Tranzyt Fobosa na tle Słońca widziany z powierzchni Marsa (film: en.wikipedia.org/wiki/Transit_of_Phobos_from_Mars)

układ planetarny

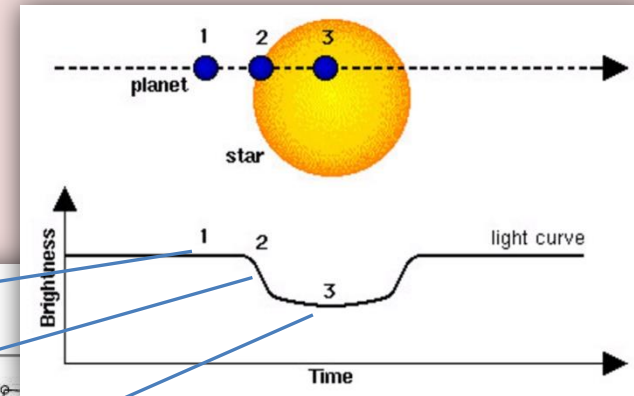


częściowe zaćmienie Słońca
20.03.2015



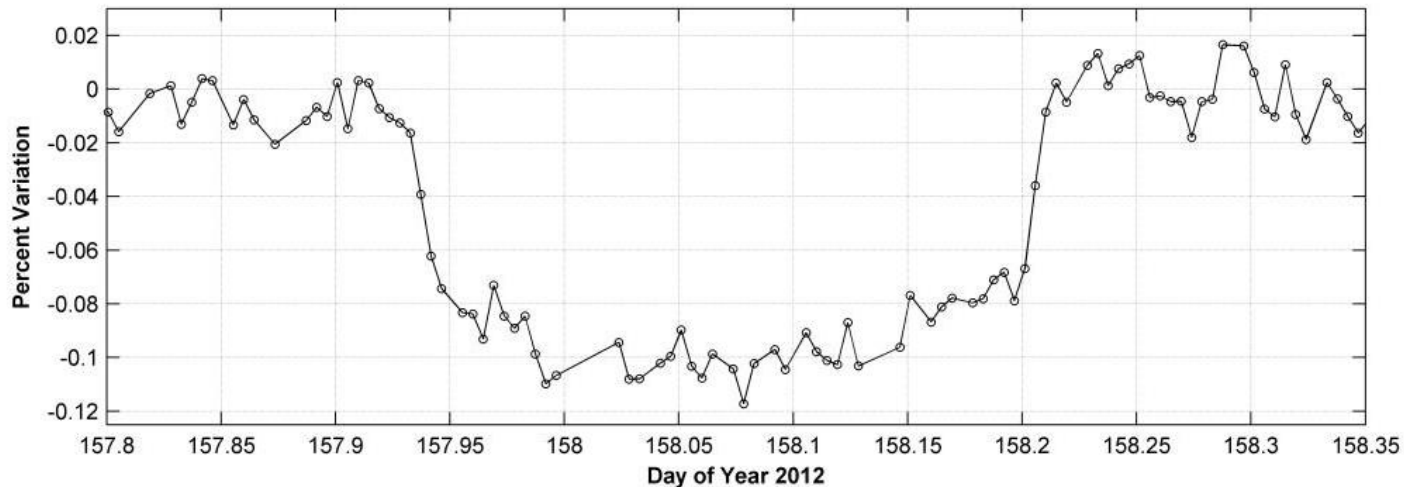
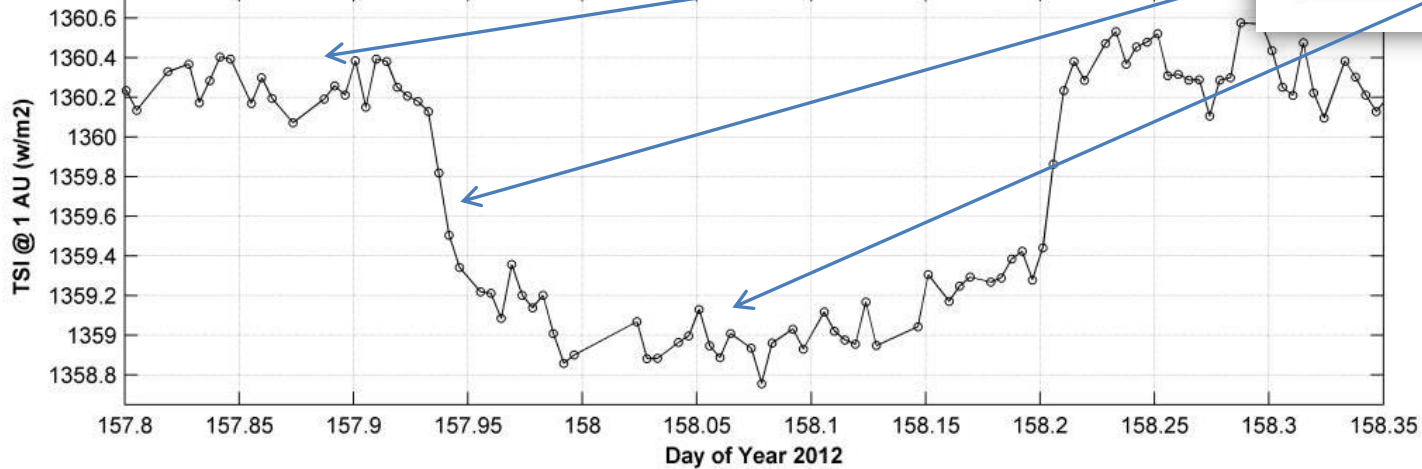
W czasie zaćmień spada nasłonecznienie i temperatura

układ planetarny



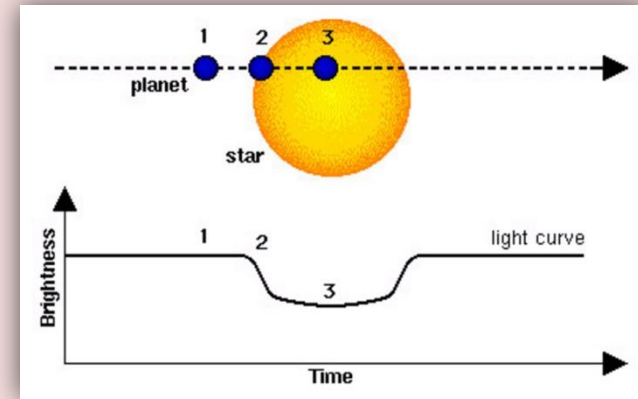
Krzywa jasności Słońca w czasie tranzytu Wenus w 2012 r.

ACRIM3 Total Solar Irradiance during 2012 Venus transit



układ planetarny

Metoda tranzytów jest bardzo skuteczną metodą odkrywania planet pozasłonecznych (egzoplanet)



Tranzyt egzoplanety Kepler-15b (planeta o rozmiarze Jowisza)

