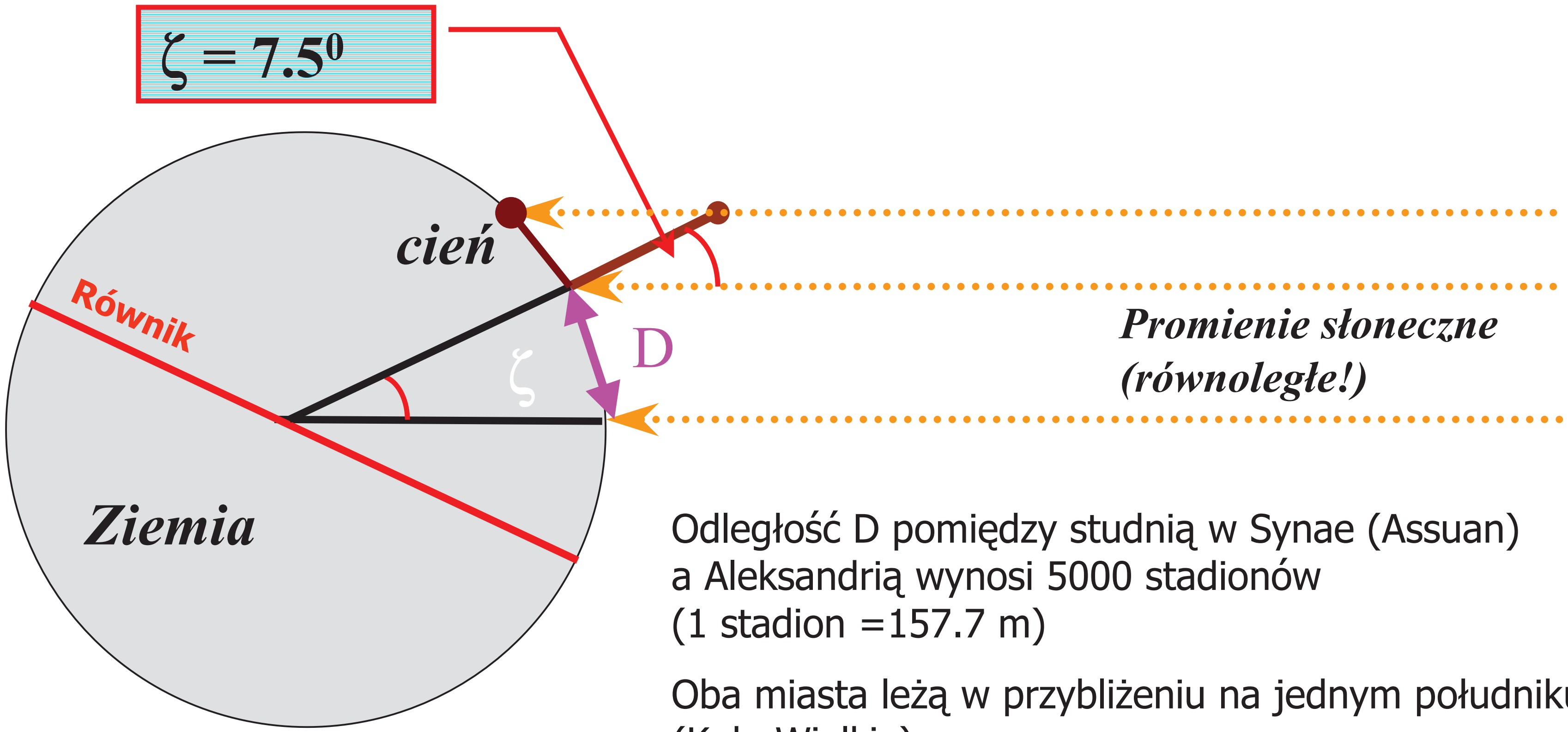
Rozdział VI

Kształt i rozmiar Ziemi, zjawiska na powierzchni Ziemi związane z ruchem obrotowym

Doświadczenie Eratostenesa - *pomiar rozmiarów Ziemi*



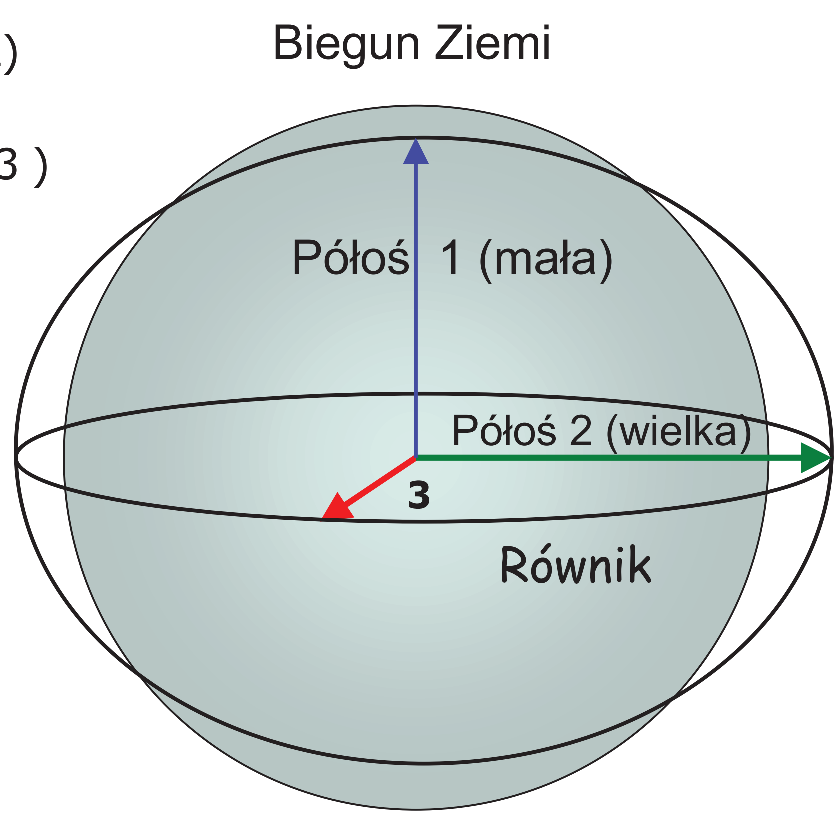
Odległość D pomiędzy studnią w Synae (Assuan)
a Aleksandrią wynosi 5000 stadionów
(1 stadion =157.7 m)

Oba miasta leżą w przybliżeniu na jednym południku
(Koło Wielkie)

W Synae Słońce było w Zenicie,
a w Aleksandrii nie!

Przybliżenia kształtu Ziemi

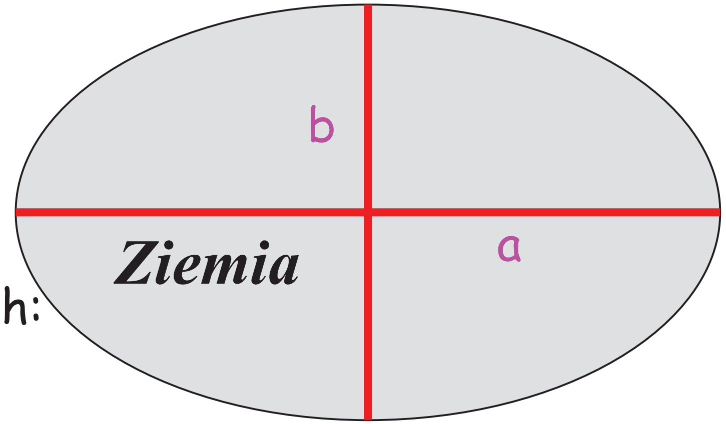
1. Kula (stały promień)
2. Elipsoida obrotowa
   równik jest kołem (różne półosie 1 i 2)
3. Elipsoida trójosiowa
   Równik jest elipsą (różne półosie 2 i 3)
4. Geoida



Elipsoida obrotowa

- Skonstruowana na podstawie pomiarów długości 1^0 fragmentów południków ziemskich na różnych szerokościach geograficznych
- Spłaszczenie Ziemi powoduje, że aby zmienić szerokość geograficzną o 1 stopień przy równiku trzeba przebyć inną drogę niż przy biegunie (a > b)

Elipsoida obrotowa WGS-84

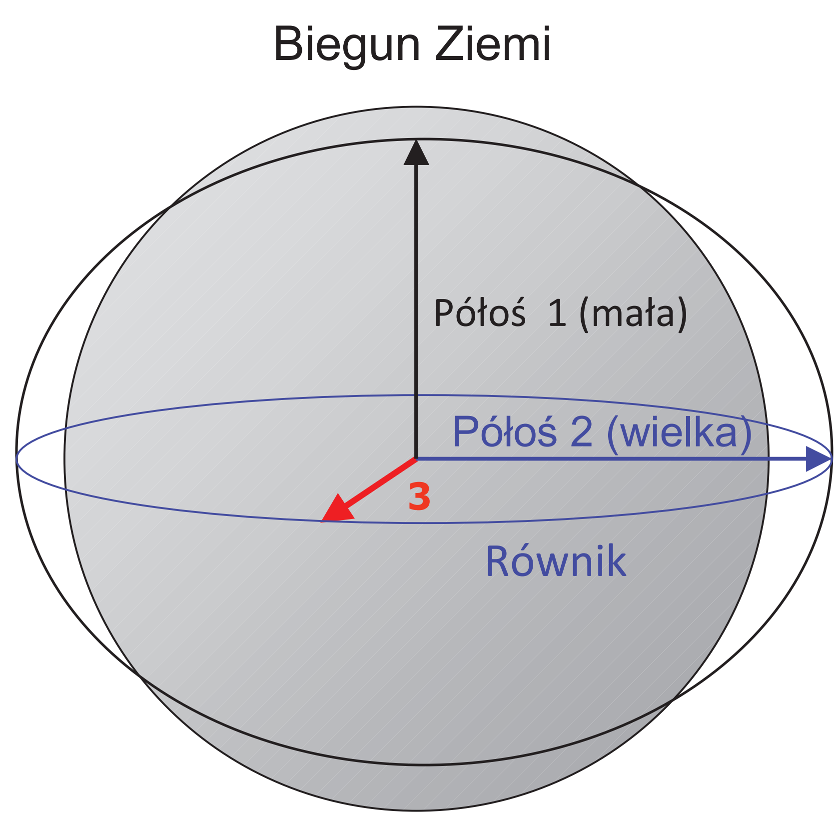


- Promień równikowy Ziemi a
- Promień biegunowy Ziemi b
- Spłaszczenie s = (a-b)/a
- Obecnie stosuje się elipsoidę o rozmiarach:

a = 6378137.0 m
b = 6356087.0 m
s = 1/298.25722356

Elipsoida trójosiowa

- Promień biegunowy Ziemi jest o ok. 21 km krótszy od równikowego
- Równik ziemski nie jest kołem lecz elipsą, której wielka oś jest dłuższa o 200m od krótszej i oś skierowanej w kierunku południków: -15^0 i 165^0
- Południowy promień biegunowy jest o 30 m dłuższy od północnego

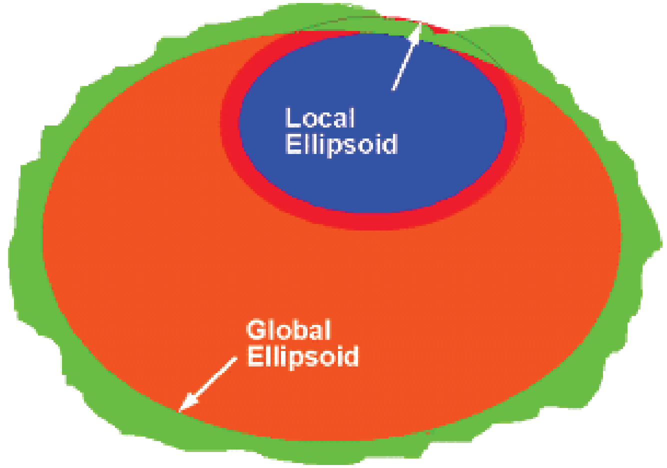


Geoida

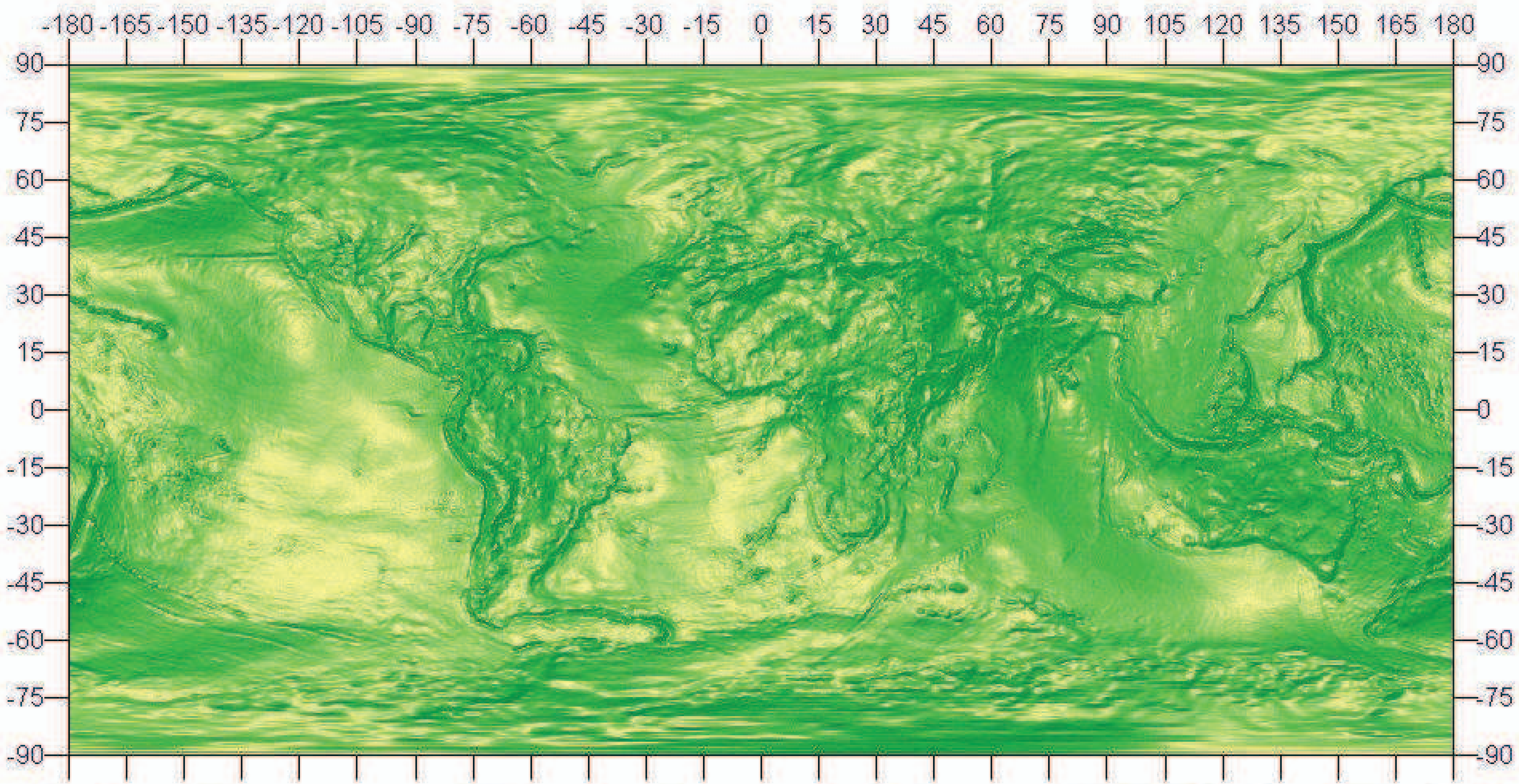
Geoida jest to powierzchnia prostopadła do kierunku pionu w każdym punkcie

Może być wyznaczana lokalnie lub globalnie

Obecnie najczęściej stosuje się globalną geoidę WGS-84 (World Geodetic System)



Elipsoida	Data	Promień równikowy	Promień biegunowy	Spłaszczenie biegunowe	Gdzie jest używana
Airy	1830	3962.65	3949.32	1/299.32	Great Britian
Australian	1969	3962.93	3949.64	1/298.25	Australia, South America
Bessel	1841	3962.46	3949.21	1/299.15	China, Korea, Japan
Clarke	1866	3962.96	3949.53	1/294.98	North America, Central America, Greenland
Clarke	1880	3962.99	3949.48	1/293.46	Much of Africa
Everest	1830	3962.38	3949.21	1/300.80	India, Southeast Asia, Indonesia
GRS	1980	3962.94	3949.65	1/298.25	Newly adopted for North America
International	1924	3962.07	3949.73	1/297.00	Europe, Indivisual states in South America
Krassovsky	1940	3962.98	3949.7	1/298.30	Russia
WGS	1972	3962.92	3949.62	1/298.26	NASA, US DOD, oil companies, Russia

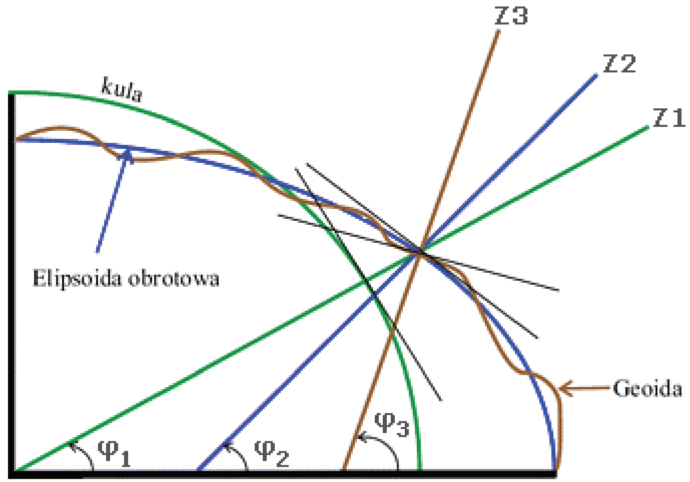


National Imagery and Mapping Agency 0.25 Degree WGS-84 Geoid Model

Shaded Relief (light from 315° azimuth, 80° elevation) by Peter H. Dana 6/6/97

Współrzędne geograficzne

W zależności od tego jaką figurą przybliżamy powierzchnię Ziemi, wyróżniamy:
1. szerokość astronomiczną (geoida),
2. szerokość geodezyjną (elipsoida obrotowa)
3. szerokość geocentryczną (kula).



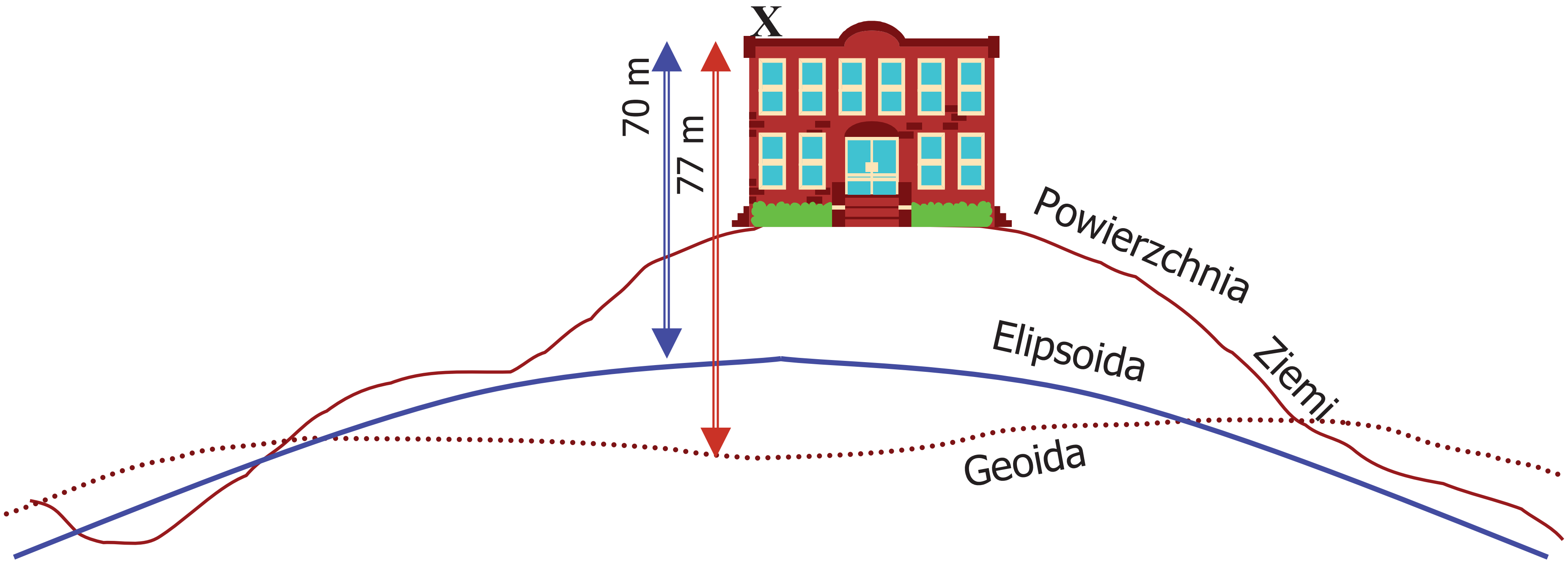
Astronomiczną szerokością geograficzną nazywamy kąt jaki tworzy kierunek pionu (linia zenit-nadir) z jego rzutem prostym na płaszczyznę równika.

Geodezyjna szerokość geograficzna to kąt pomiędzy linią prostopadłą do powierzchni elipsody obrotowej, a jej rzutem na płaszczyznę równika.

Geocentryczna szerokość geograficzna to kąt pomiędzy prostą łączącą środek Ziemi a jej rzutem na płaszczyznę równika.

Uwaga: na mapach mamy albo szerokość astronomiczną, albo geodezyjną (mapy geodezyjne). Szerokość geocentryczna różni się od astronomicznej o około 11' dla punktów położonych w odległości 50° od równika.

Wysokość n.p.m. zależy od układu odniesienia



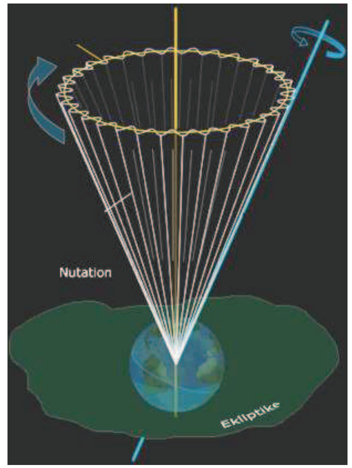
Uwagi związane z kształtem i ruchem obrotowym Ziemi

Niesferyczność Ziemi ma istotny wpływ na ruch obrotowy Ziemi.
Z równań Eulera ruchu obrotowego dla bryły sztywnej wynika, że oś obrotu Ziemi zmienia swe położenie względem układu współrzędnych sztywno związanym z Ziemią. W przybliżeniu bryły sztywnej okres ten wynosiłby 303 dni, w rzeczywistości Ziemia nie jest bryłą sztywną i wynosi on około 420 dni.

Ruch bieguna ma wpływ na współrzędne geograficzne. Współrzędne geograficzne mogą być chwilowe odnoszące się do chwilowego położenia bieguna i umowne, odniesione do umownego (międzynarodowego) układu współrzędnych.

$$\varphi - \varphi' = -x\cos\lambda + y\sin\lambda$$
$$\lambda - \lambda' = -\cos\lambda - y\sin\lambda$$

x,y - współrzędne chwilowego bieguna Ziemii – **http://www.iers.org**

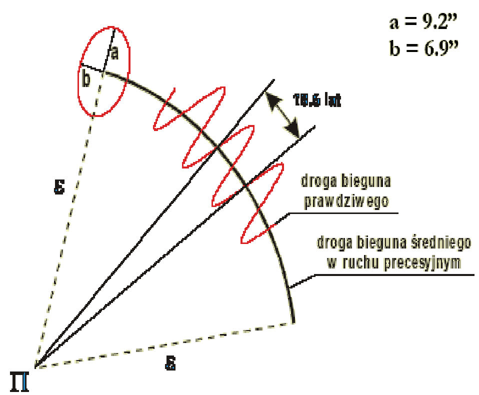


Oś obrotu Ziemi wykonuje nie tylko ruch precesyjny ale i nutacyjny – zmienia się nachylenie płaszczyzny równika do płaszczyzny ekliptyki. W dodatku ruch punktu Barana przestaje być jednostajny. W przybliżeniu:

$$\varepsilon = 84381.448'' - 48.8150''\cdot T - 0.00059''\cdot T^2 + 0.001813''\cdot T^3 \text{ gdzie } T=(JD-JD2000)/36525$$

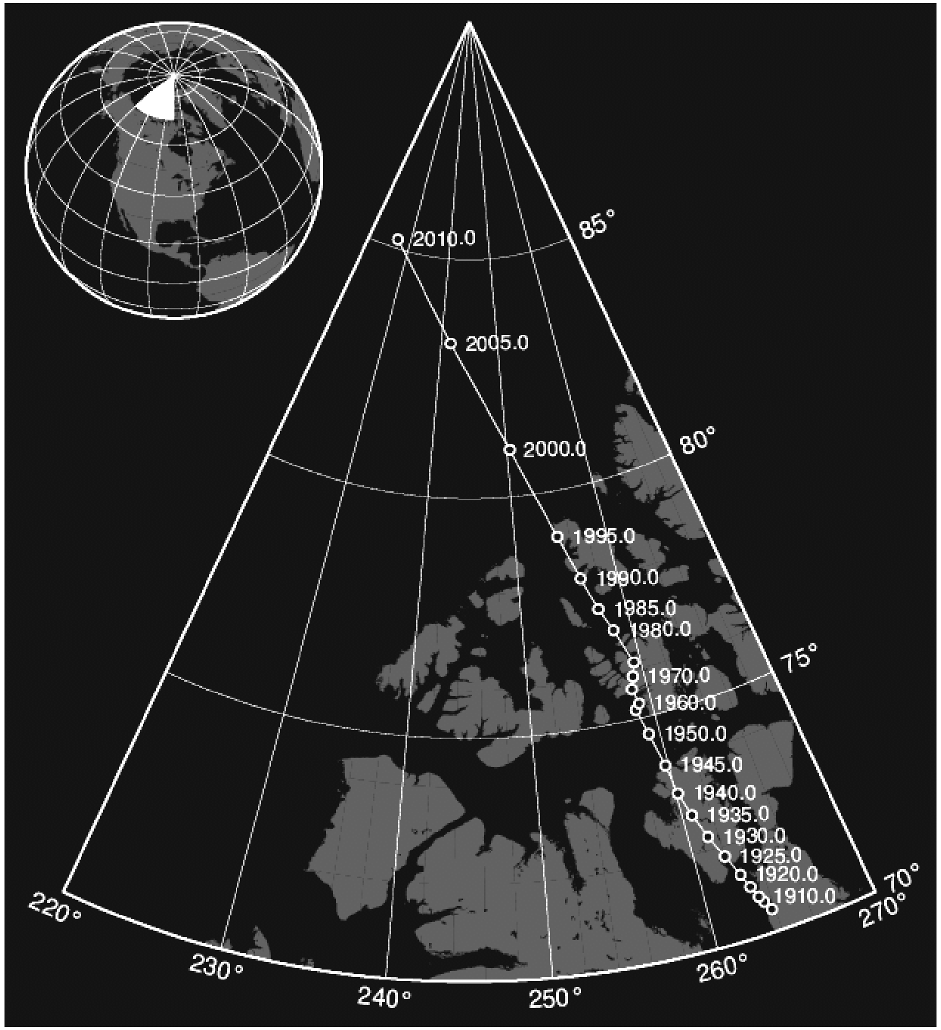
JD2000=2451545.0 JD(21-04-2007 12:00UT) =2454212.0 (czyli *T wyrażone jest w stuleciach gwiazdowych*)

Jasne, że efekty te oddziałują na czasy w astronomii – np. mamy do czynienia z czasem gwiazdowym prawdziwym i średnim. Dla nas to nieistotne, ale geodezji satelitarnej tak.

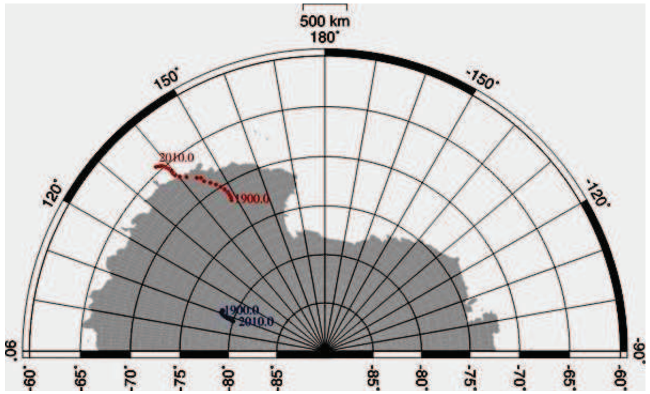


Zwróć uwagę, że węzły orbity Księżyca wędrują po ekliptyce z okresem również 18.6 la
Oba efekty mają tę samą przyczynę – oddziaływania Słońce-Ziemia-Księżyc.
Te same oddziaływania powodują zwalnianie okresu gwiazdowego obrotu Ziemi o około 0.5ms/rok

Biegun magnetyczny



Dryf północnego bieguna magnetycznego

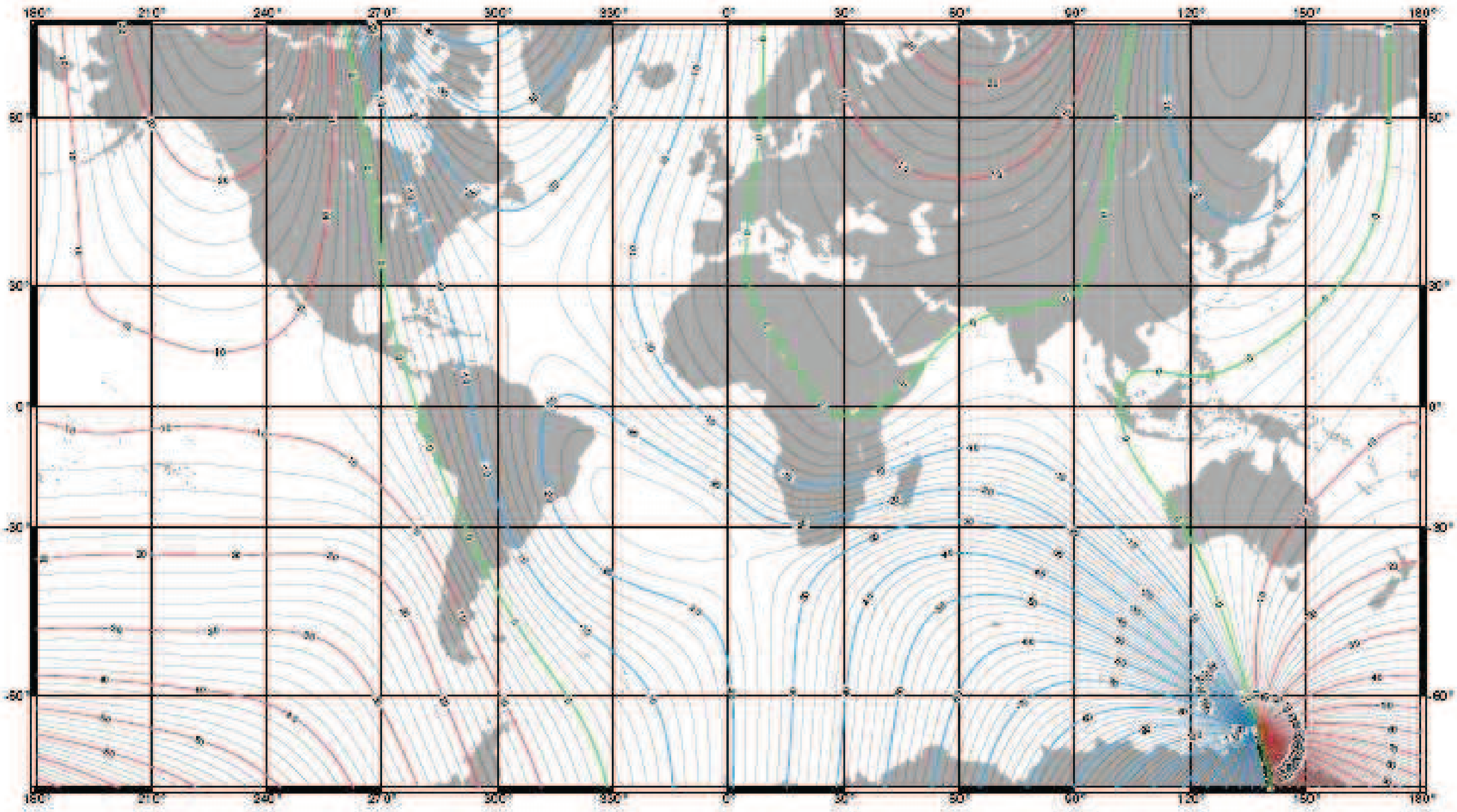


Deklinacja magnetyczna

- Deklinacja magnetyczna to kąt pomiędzy rzeczywistym kierunkiem N na wskazaniami kompasu magnetycznego
- Deklinacja jest zmienna w czasie. Jej wartość oraz tempo zmian podają mapy nawigacyjne na dany rok
- Deklinację magnetyczną liczy się od rzeczywistego (geograficznego) południka na wschód i zachód, od 0 do 180°. Wartość deklinacji jest dodatnia lub ujemna.
- Dodatnia (E) jest wtedy gdy południk magnetyczny jest odchylony od południka rzeczywistego w prawo, na wschód.
- Ujemna (W) wartość deklinacji jest wtedy gdy południk magnetyczny jest odchylony od południka rzeczywistego w lewo, na zachód.

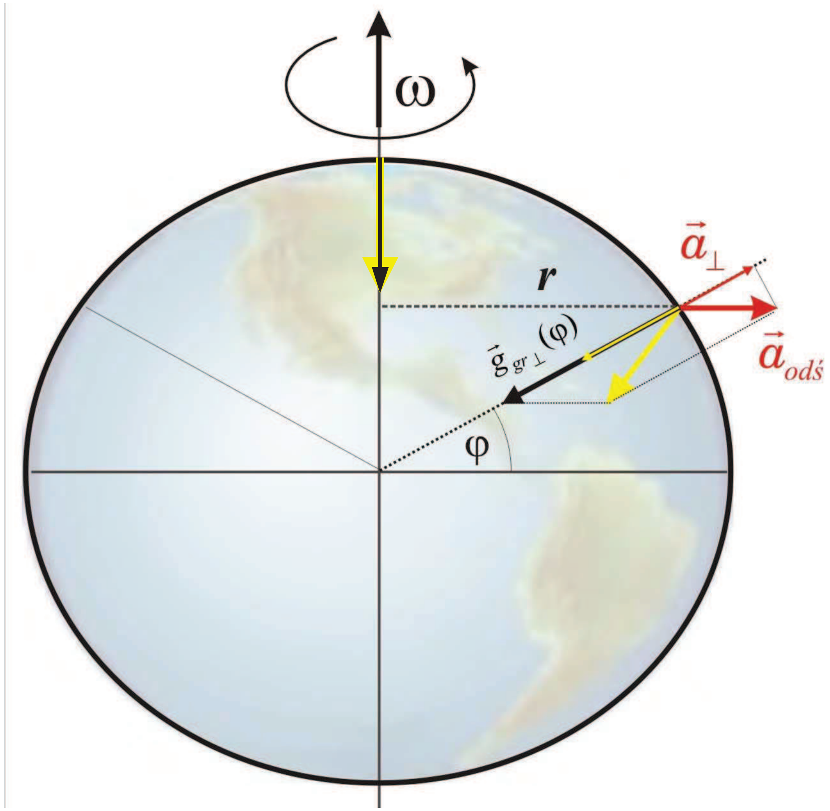
Deklinacja magnetyczna

US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2005.0
Main Field Declination (D)



Rozkład przyspieszenia g na powierzchni Ziemi

$a_{odś} = \omega^2 r$ $\vec{g}_g$ $\vec{g} = \vec{g}_{gr} - \vec{g}_{odś}$



składowa odśrodkowa

$$|\vec{a}(\varphi)| = \frac{4\pi^2 R_\otimes}{T^2}\cos\varphi$$

$$a_\perp(\varphi) = \frac{4\pi^2 R_\otimes}{T^2}\cos^2\varphi = \frac{4\pi^2 R_\otimes}{T^2}(1-\sin^2\varphi)$$

$$a_\perp(\varphi) = a_\perp(0^\circ) + 0.0339\sin^2\varphi \quad [m\cdot s^{-2}]$$

składowa grawitacyjna (niekulistość Ziemi)

$$g_{gr\perp}(\varphi) = g_0 + 0.0178\sin^2\varphi \quad [m\cdot s^{-2}]$$

To są wartości średnie!
Patrz - grawimetria

$$\mathbf{g(\varphi)=9.7805+0.0517\sin^2(\varphi)\ [m\cdot s^{-2}]}$$

równik $g = 9.780$ m · s $^{-2}$; Kraków $g = 9.811$ m·s $^{-2}$; biegun $g = 9.832$ m·s $^{-2}$;

Rozkład przyspieszenia g na powierzchni Ziemi

Wzór na przyspieszenie grawitacyjne pozwala wyznaczyć masę Ziemi

$$g = -G\frac{M}{R^2}$$ *jest ujemne bo kierunek do środka ciała*

$$\boxed{\boldsymbol{M = g R^2 / G}}$$

g – przyspieszenie grawitacyjne (średnie na Ziemi $g=9.81 m/s^2$)

R – promień ciała niebieskiego ($R_\oplus = 6371 km$)

$G = 6.67259 \cdot 10^{-11}\ [m^3 kg^{-1} s^{-2}]$

$M_\oplus = 5.9736 \cdot 10^{24}$ kg

gęstość Ziemi $\rho_\oplus = 5520\ kg/m^3$

Słońce

Masa $M_\odot$: $1.989 \cdot 10^{30}$ kg

Promień $R_\odot$: 696 000 km

Łatwo wyliczyć, że

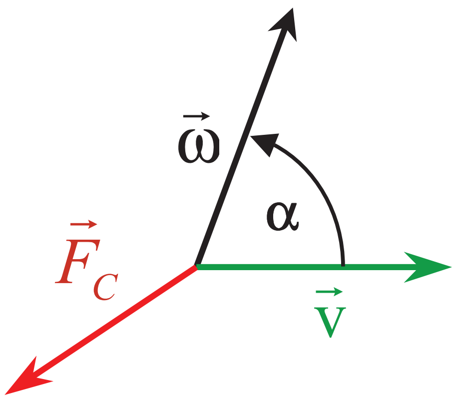
$g_\odot = 274\ m/s^2$

$\rho_\odot = 1408\ kg/m^3$

Siła Coriolisa

Zastosowanie zasad dynamiki Newtona w układzie obracającym się wymaga wprowadzenia pseudosił – odśrodkowej i Coriolisa

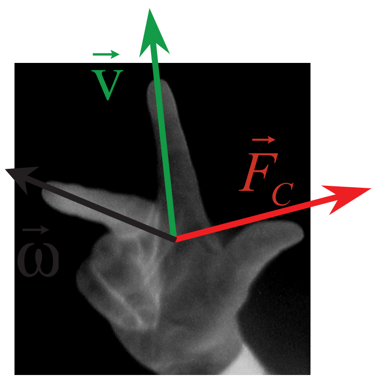
$$\vec{F}_C = 2m\,\vec{v}\times\vec{\omega}$$



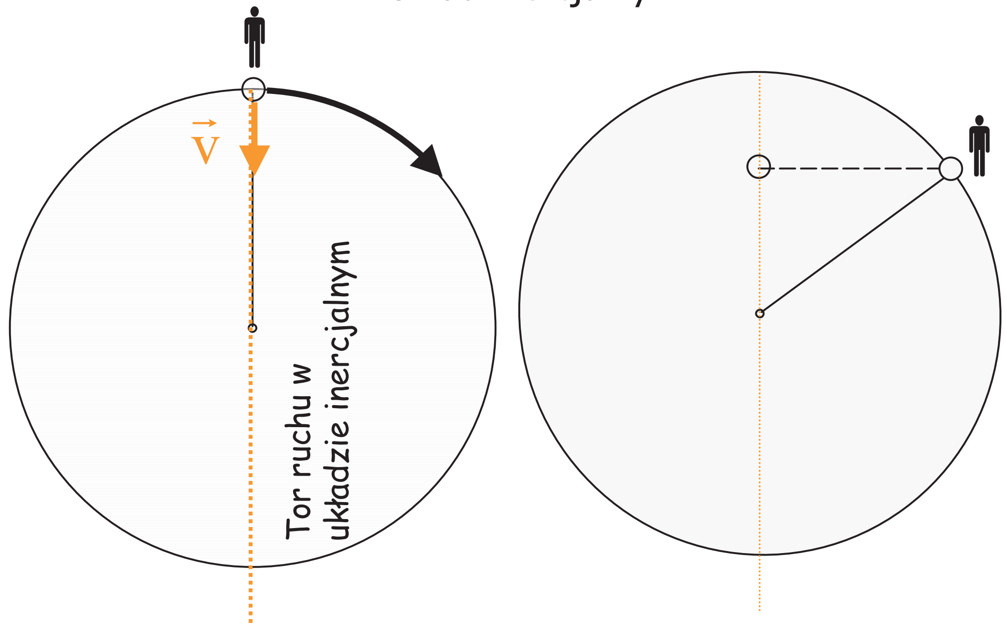
$$F_C = |\vec{F}| = 2m\,v\,\omega\,\sin(\alpha)$$

$$\vec{F}_C \perp \vec{\omega} \quad i \quad \vec{F}_C \perp \vec{v}$$

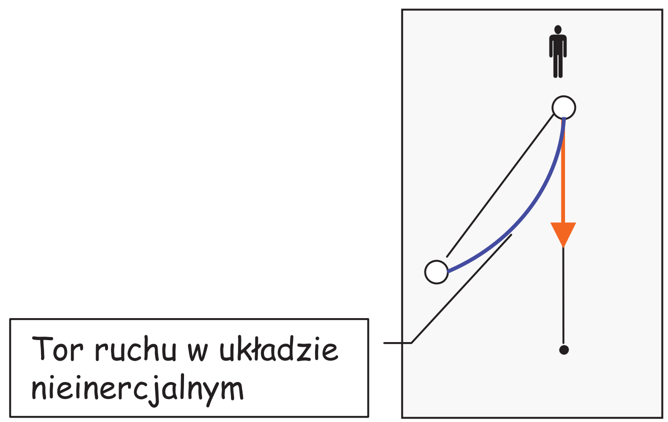
Zwrot określa reguła śruby prawoskrętnej



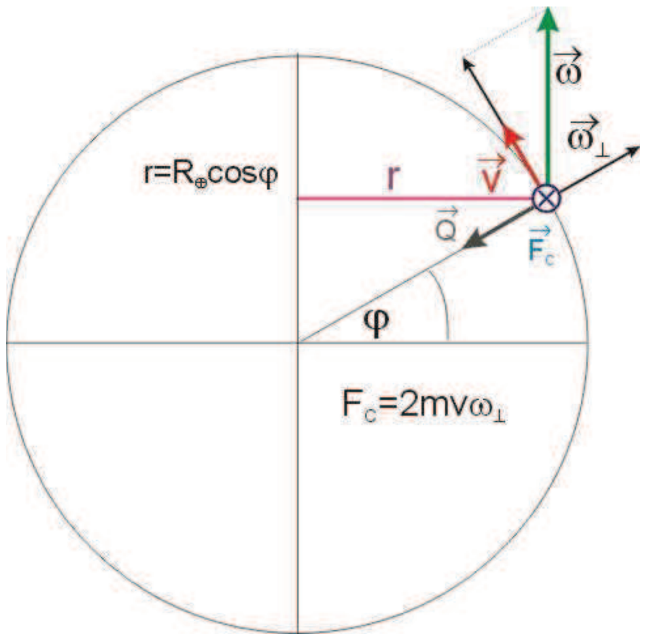
Układ inercjalny



Obraz ruchu w układzie obracającym się



Siła Coriolisa



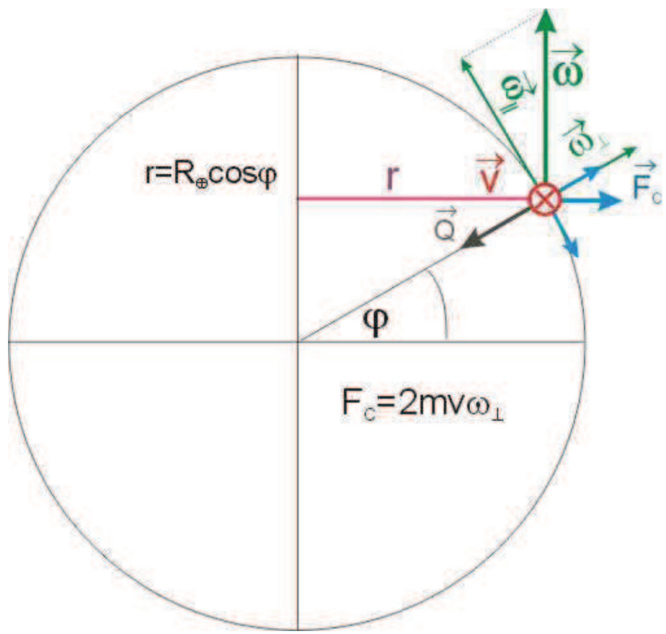
$$\vec{F}_C = 2m\,\vec{v}\times\vec{\omega}$$

$$\omega_\perp(\varphi) = \omega_0 \sin\varphi$$

$$\omega_\parallel(\varphi) = \omega_0 \cos\varphi$$

Uwaga:
na równiku $\omega_\perp=0$
na biegunie $\omega_{||}=0$

Ruch w płaszczyźnie Ziemi



składowa $\omega_\perp$:

Odchylenie ruchu ciała

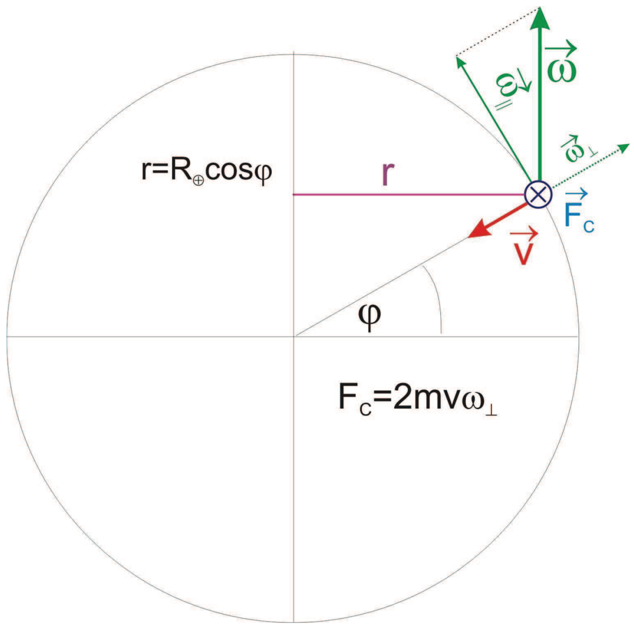
Na półkuli północnej zawsze w prawo
Na półkuli południowej zawsze w lewo

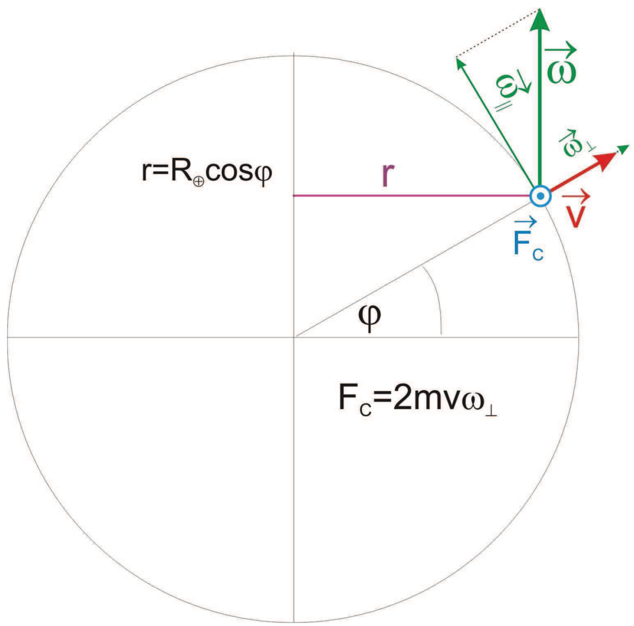
składowa $\omega_{||}$:

zmiana ciężaru ciała, w zależności od kierunku ruchu ciała.

Na półkuli północnej ciężar ciała poruszającego się ze wschodu na zachód jest mniejszy niż przy ruchu z zachodu na wschód.
Na półkuli południowej jest na odwrót

Siła Coriolisa





$$\vec{F}_C = 2m\,\vec{v} \times \vec{\omega} \qquad \omega_{\parallel}(\varphi) = \omega_0 \cos\varphi$$

Ruch w kierunku prostopadłym do Ziemi
składowa $\omega_{\perp}=0$

składowa $\omega_{||}$:

Na półkuli północnej

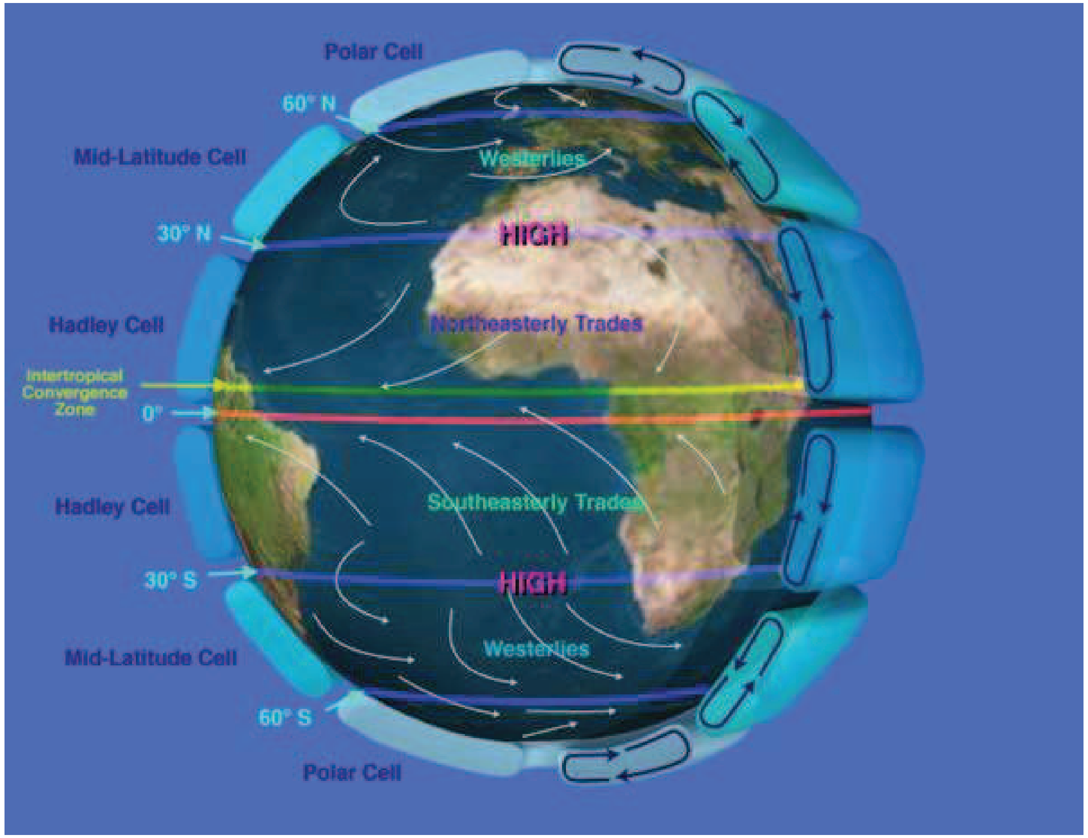
Jeśli ciało spada odchylane jest na wschód

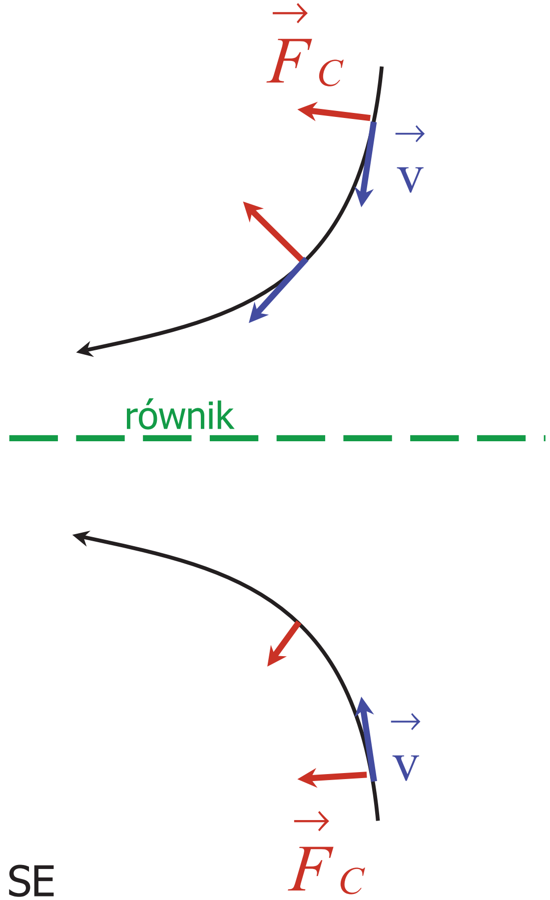
Jeśli się wznosi to odchylane jest na zachód

Na półkuli południowej jest na odwrót

Siła Coriolisa a klimatologia

PASATY

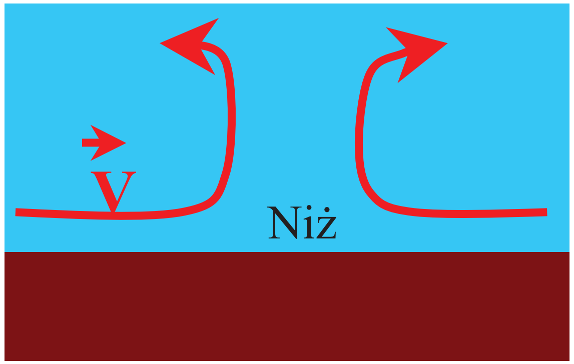


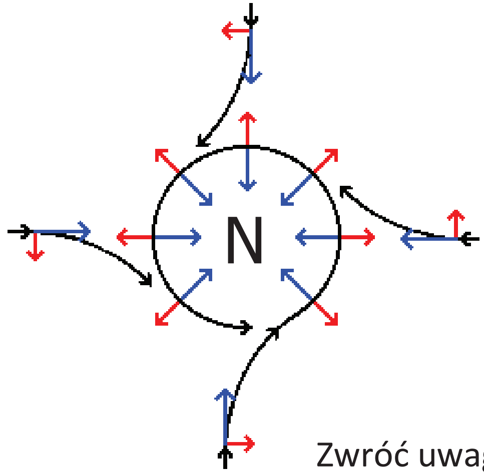


Na półkuli północnej kierunek pasatu jest NE, na południowej SE

Siła Coriolisa a klimatologia

Siła Coriolisa a klimatologia





Widok z góry półkula N

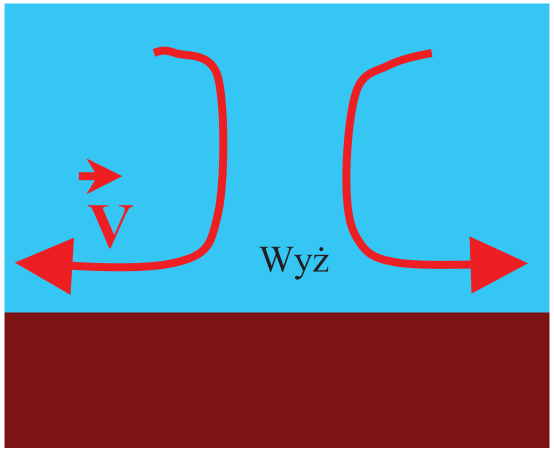
Ruch CCW

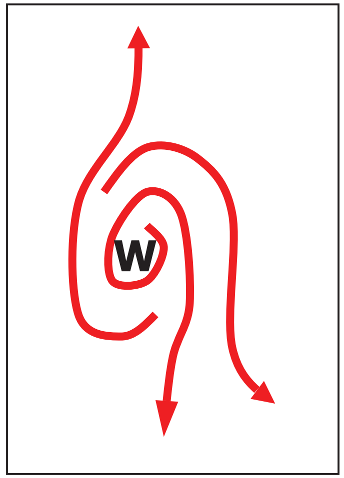
Siła ciśnienia barycznego

Siła Coriolisa

Kierunek ruchu powietrza

Zwróć uwagę na kierunek siły wypadkowej!





Widok z góry półkula N

Ruch CW

Na półkuli południowej jest odwrotnie!

Siła Coriolisa

Ruch w poziomie

Na półkuli północnej zawsze w prawo, na południowej w lewo

Efekty na półkuli północnej składowa $\omega_{\perp}$:

- Podmywanie prawych brzegów rzek (niezależnie od kierunku w jakim płyną)
- Szybsze ścieranie się prawych szyn kolejowych
- Odchylenie toru pocisków
- Ruch mas powietrza
  - ✓ W niżu barycznym powietrze krąży przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara (*CCW*), a w wyżu barycznym – zgodnie z ruchem wskazówek zegara (*CW*).
  - ✓ Kierunek pasatu jest NE

Efekty na półkuli północnej dla składowej $\omega_{||}$:

- zmiana ciężaru ciała, w zależności od kierunku ruchu ciała. Na półkuli północnej ciężar ciała poruszającego się ze wschodu na zachód jest mniejszy niż przy ruchu z zachodu na wschód.

Ruch w pionie

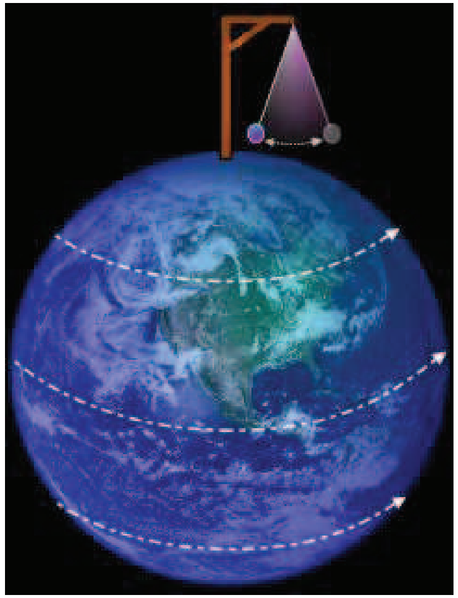
Efekty na półkuli północnej

- Jeśli ciało spada to odchylane jest na wschód, jeśli się wznosi to odchylane jest na zachód.

Na półkuli południowej wszystko jest odwrotnie niż na północnej!

Wahadło Foucaulta

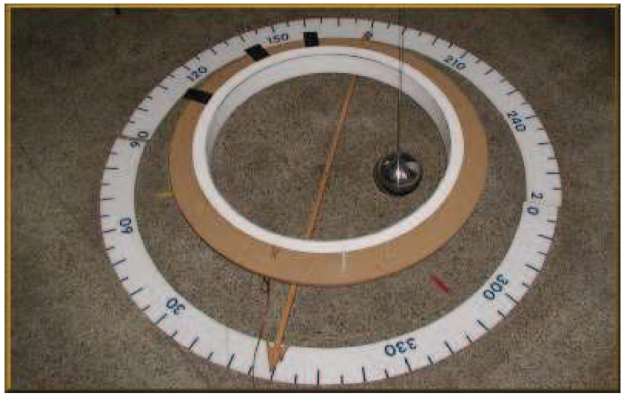
- Na biegunie płaszczyzna wahań jest stała w przestrzeni (zasada zachowania momentu pędu)
- Dla obserwatora związanego z wirującą Ziemią płaszczyzna wahań będzie się pozornie skręcać a okres jej obrotu będzie równy okresowi obrotu Ziemi
- Poza biegunem płaszczyzna wahań nie może być stała gdyż porusza się punkt zamocowania

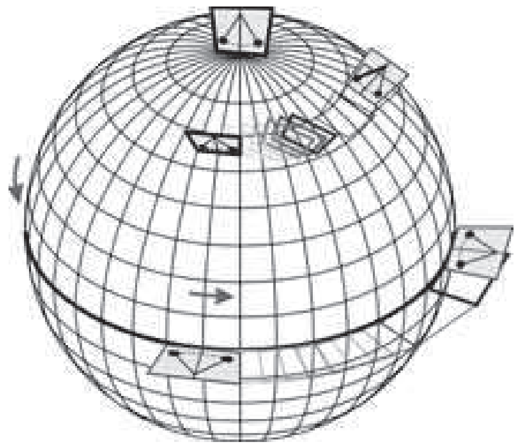


$$\omega_{\perp}(\varphi) = \omega_{\oplus} \sin\varphi$$

$$T(\varphi) = \frac{2\pi}{\omega_{\perp}(\varphi)} = \frac{23^h 56^m}{\sin\varphi}$$

w Krakowie $31^h 14^m$





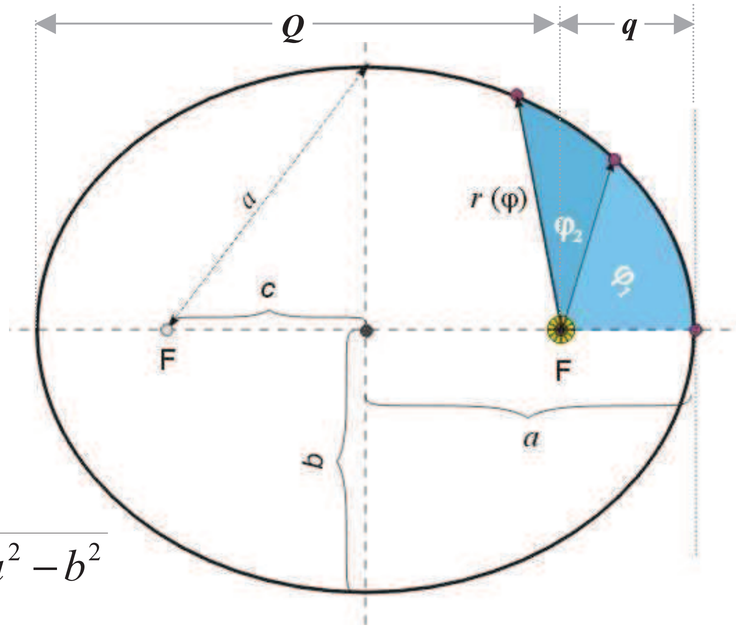
Rozdział VII

Układ Słoneczny

Prawa Keplera

Krzywe stożkowe

Jak zapewne Państwo wiedzą, powstają jako część wspólna pobocznicy stożka i płaszczyzny.
W astronomii ich analityczna reprezentacja w układzie prostokątnym jest niewygodna i używa się równania krzywej w układzie cylindrycznym.



$$r(\varphi) = \frac{p}{1 + e\cos\varphi}$$

e nazywamy mimośrodem stożkowej $e = \frac{c}{a}$

Mimośród określa kształt krzywej stożkowej

$e < 1$ *krzywa zamknieta,*
$e \geq 1$ *krzywa otwarta*

$e = 0$ – okrąg
$0 < e < 1$ – elipsa
$e = 1$ – parabola
$e > 1$ – hiperbola

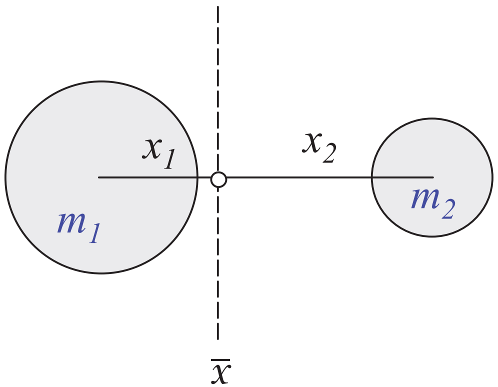
$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

F – ognisko elipsy, c – ogniskowa
q – długość peryhelium (perygeum, peryastron)
Q – długość aphelium (apogeum, apoastron)

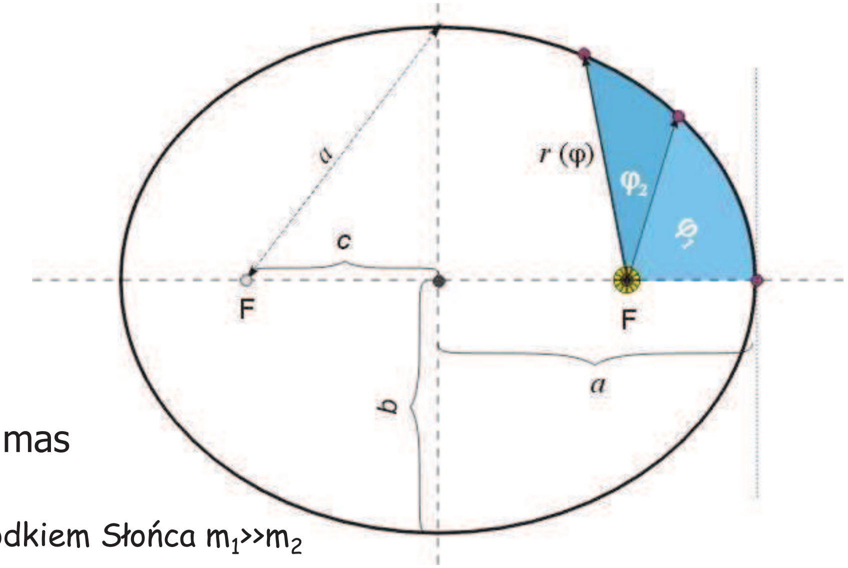
1. Orbita każdej planety jest elipsą, a Słońce znajduje się w jednym z jej ognisk.
   (automatycznie wynika stąd, że wszystkie punkty orbity są współpłaszczyznowe)
2. Promień wodzący planety w równych odstępach czasu zakreśla równe pola.
   (Wynika to z zasady zachowania momentu pędu $J = mr^2 \frac{d\varphi}{dt}$)
3. Stosunek kwadratów okresów obiegu dwóch planet jest równy stosunkowi sześcianów ich wielkich półosi $\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$

Tak sformułowane prawa określają ruch punktu w polu siły centralnej $F = A \cdot R^{-2}$ $\quad F_g = -G\frac{mM}{R^2}, \quad m << M$

Prawa Keplera uogólnione



$$\bar{x} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$



Barycentrum - geometryczny środek masy dwóch lub więcej mas związanych siłą grawitacji.

Dla Układu Słonecznego brycentrum praktycznie pokrywa się ze środkiem Słońca $m_1 >> m_2$

1. Orbita każdej planety jest krzywą stożkową a barycentrum znajduje się w jednym z jej ognisk.
2. Promień wodzący obiektu w równych odstępach czasu zakreśla równe pola.
3. Stosunek sześcianu wielkiej półosi do kwadratu okresu obiegu jest proporcjonalny do sumy mas układu

W postaci uogólnionej gdy masy m_1 i m_2 są porównywalne $\quad \frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2}(m_1 + m_2)$

W Układzie Słonecznym $\quad m_\odot >> m_{plan.} \Rightarrow \frac{a^3}{P^2} \cong \frac{G}{4\pi^2} m_\odot$

Identyczna sytuacja występuje w układzie Jowisz – księżyce Jowisza

Planety

	Symbol	Masa M	Promień równikowy R_0	Okres obrotu (w) - ruch wsteczny P_r	Nachylenie równika do płaszcz. orbity ε	Półoś wielka a	Mimośród e	Nachylenie orbity do płaszcz. ekliptyki i	Okres obiegu P	Księżyce *(liczba)*
		$[M_\oplus]$	$[R_\oplus]$			[AU]		[°]	[lat]	
Merkury	☿	0.0553	0.382	58.65^d	0°	0.3871	0.2056	7°	0.241	0
Wenus	♀	0.8150	0.949	(w) 243.01^d	-2°	0.7233	0.0068	3°24′	0.615	0
Ziemia	⊕	**1.000**	**1.00**	$23^h56^m04^s$	**23.4°**	**1.000**	0.0167	**0°**	**1.000**	1
Mars	♂	0.1074	0.533	$24^h37^m23^s$	25.2°	1.5237	0.0934	1°51′	1.881	2
Jowisz	♃	317.89	11.2	9^h51^m	3.1°	5.2026	0.0479	1°18′	11.86	63
Saturn	♄	95.2	9.41	10^h14^m	25.1°	9.5548	0.0559	2°29′	29.46	60
Uran	⛢	14.56	3.98	(w) 17^h24^m	98°	19.218	0.0477	0°46′	84.0	27
Neptun	♆	17.24	3.81	17^h50^m	29°	30.110	0.0079	1°46′	164.8	13

Pomiędzy Marsem a Jowiszem rozciąga się pas planetoid
Za Neptunem rozciąga się pas Kuipera (najjaśniejszy obiekt pasa Kuipera to planeta karłowata Pluton)

Pluton	♇	*~ 0.0021*	*0.18*	*153.3 h*	*?*	*39.5*	*0.249*	*17.1°*	*248.5*	*3*

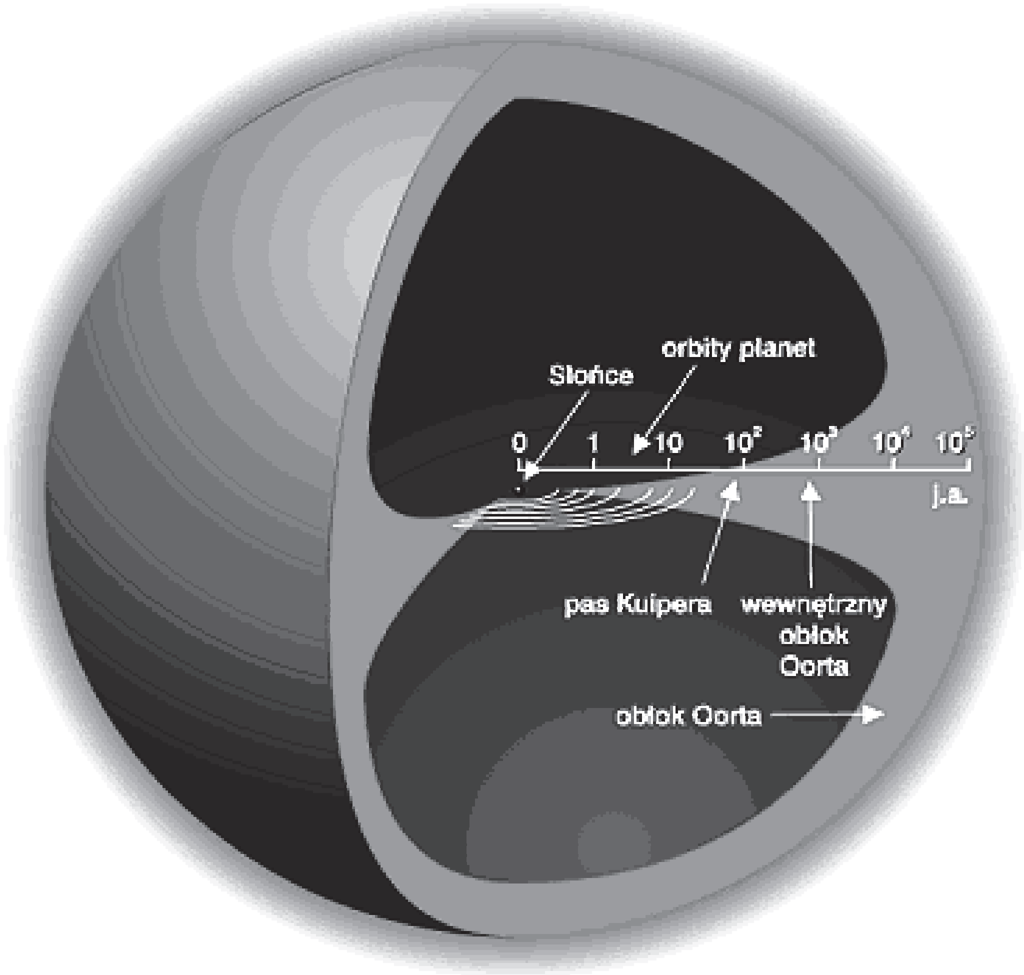
Ziemia

$M_\oplus = 5.974 \cdot 10^{24}$ kg
$R_\oplus = 6371$ km
$\rho_\oplus = 5520$ kg/m^3
AU = $149.6 \cdot 10^6$ km
$\varepsilon_\oplus = 23°26'$

Słońce

Masa $M_\odot$: $1.989 \cdot 10^{30}$ kg = 332 946 $M_\oplus$
Promień $R_\odot$: 696 000 km = 109.12 $R_\oplus$
$\rho_\odot = 1410$ kg/m^3
Średnia średnica kątowa: 32′
Okres obrotu na równiku : 25.38^d
$\varepsilon_\odot = 7°12'$ (*Nachylenie równika słonecznego do płaszczyzny ekliptyki)*

Elementy składowe Układu Słonecznego



Układ Słoneczny dziś

Planety (okrągłe orbity, dominacja grawitacyjna, małe nachylenia orbit):
Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran, Neptun

Planety karłowate (ich masa była wystarczająca do uzyskania kulistego kształtu):
Ceres, Pluton, Eris (dawniej Xena)

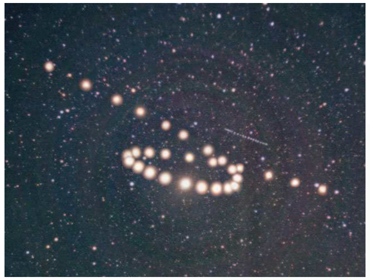
Obiekty pasa Kuipera

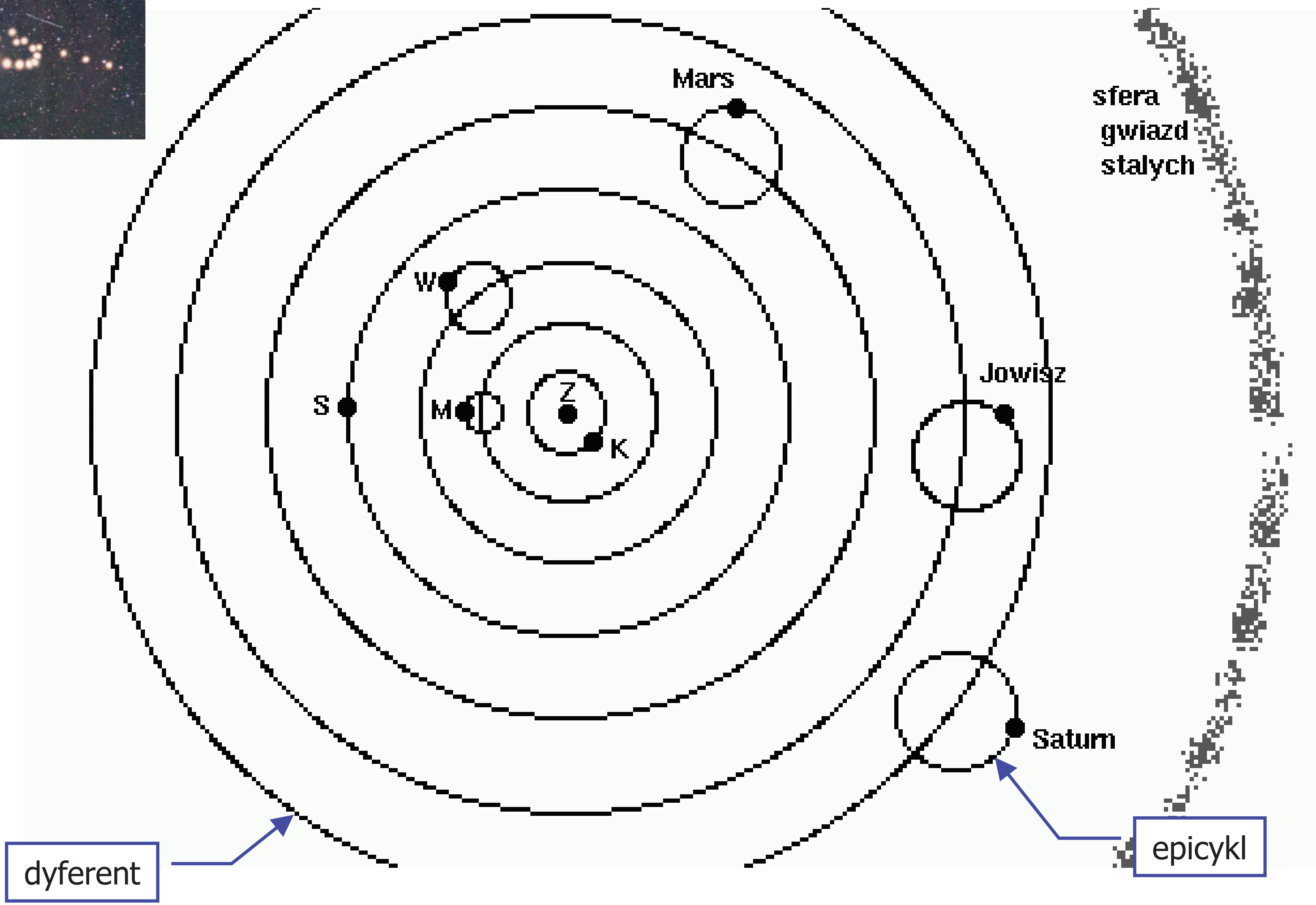
Galileuszowe Księżyce Jowisza

Cztery największe księżyce Jowisza, odkryte przez Galileusza 7 stycznia 1610 za pomocą skonstruowanej przez siebie lunety.
Na podstawie swoich obserwacji Galileusz uznał, że księżyce krążą wokół Jowisza. Odkrycie to wspierało heliocentryczną teorię Kopernika, pokazując że nie wszystkie ciała niebieskie krążą wokół Ziemi.
Księżyce noszą nazwy (w kolejności od planety): Io, Europa, Ganimedes i Kallisto. Ich orbity są prawie kołowe o mimośrodzie e<0.007

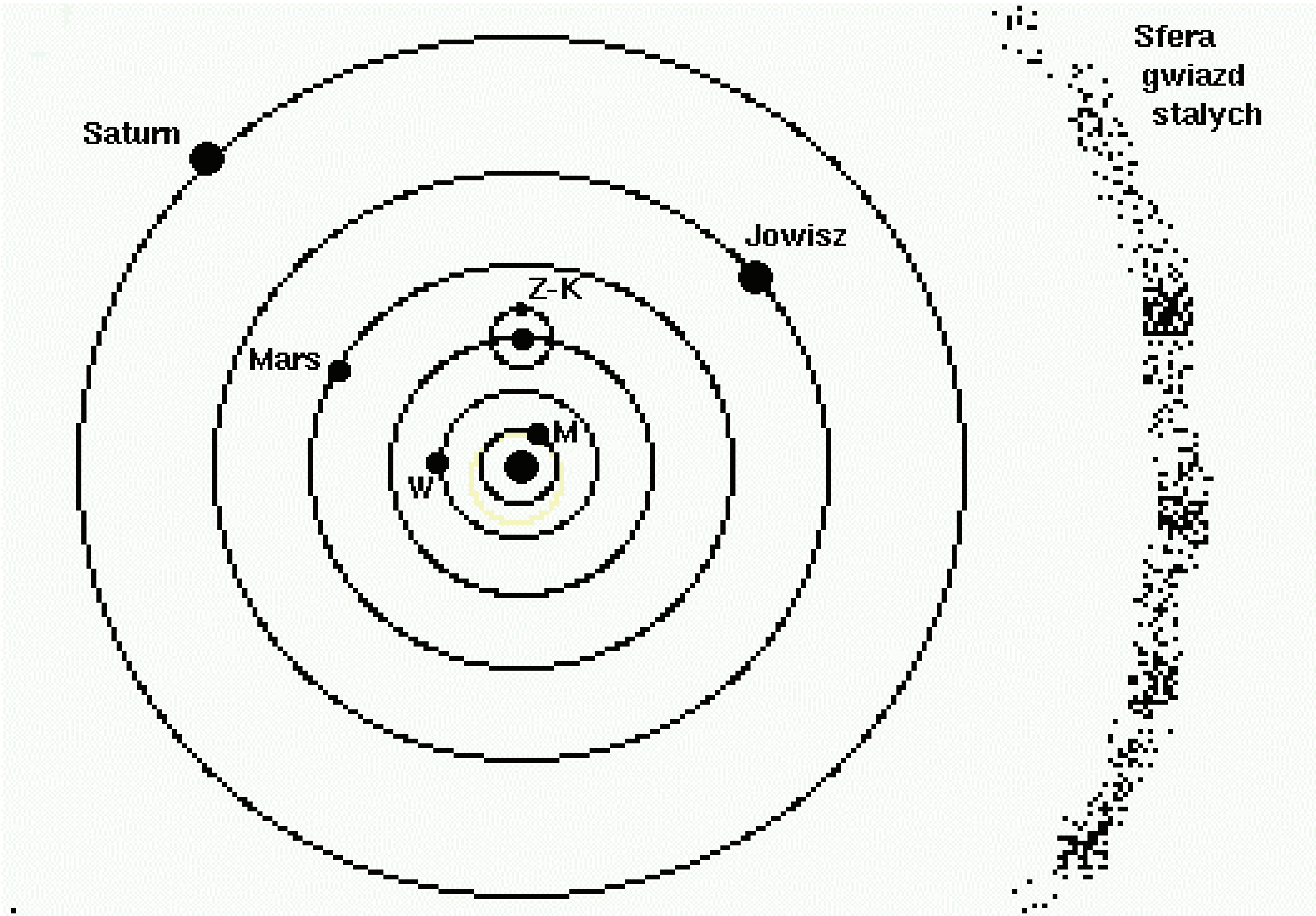
	Nazwa	Jasność widoma	Średnica	Półoś wielka	Okres obiegu	Mimośród orbity	Nachylenie orbity do płaszczyzny orbity Jowisza
		[mag]	[km]	[tys. km]	[^{d}]		[°]
I	Io	5.0	3 643	421.8	1,77	0,0041	0,036
II	Europa	5,3	3 122	671,1	3,55	0,0094	0,467
III	Ganimedes	4,6	5 262	1 070,4	7,16	0,001	0,172
IV	Kallisto	5,7	4 821	1 882,7	16,69	0,007	0,307

Układ Słoneczny wg. Ptolemeusza

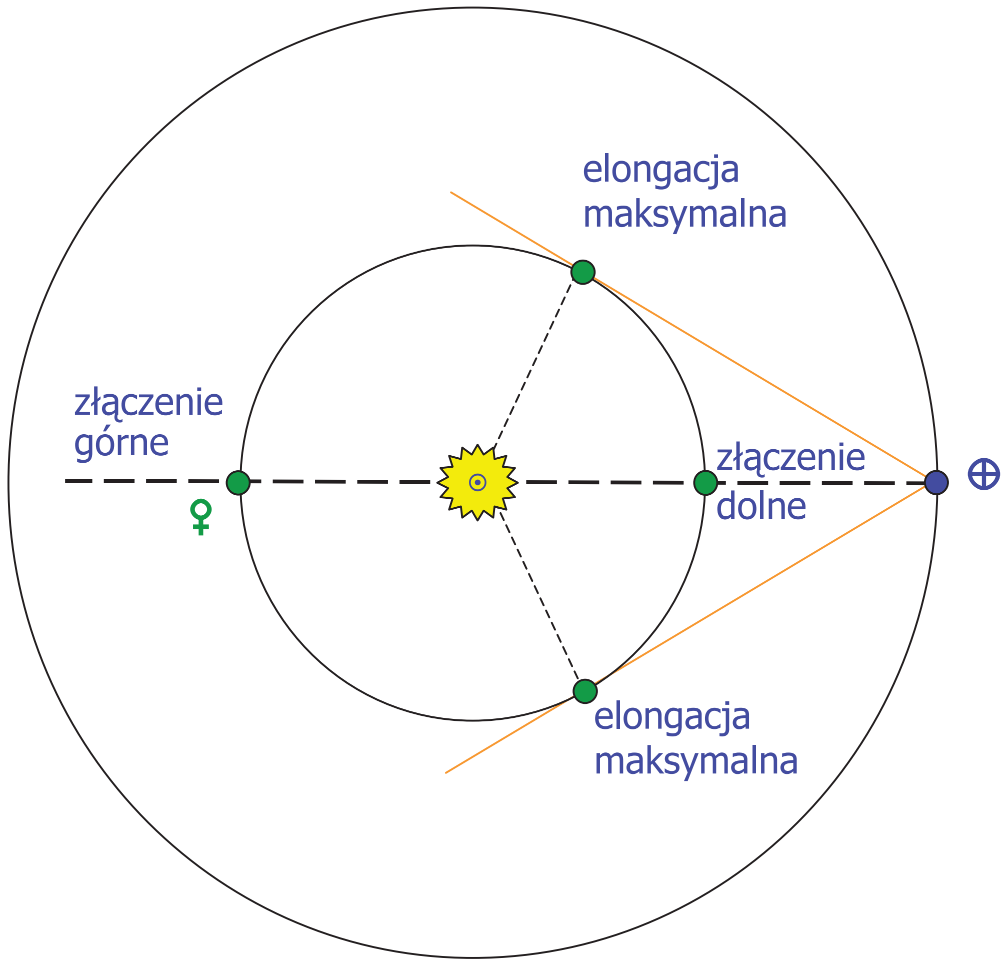




Układ Słoneczny wg. Kopernika

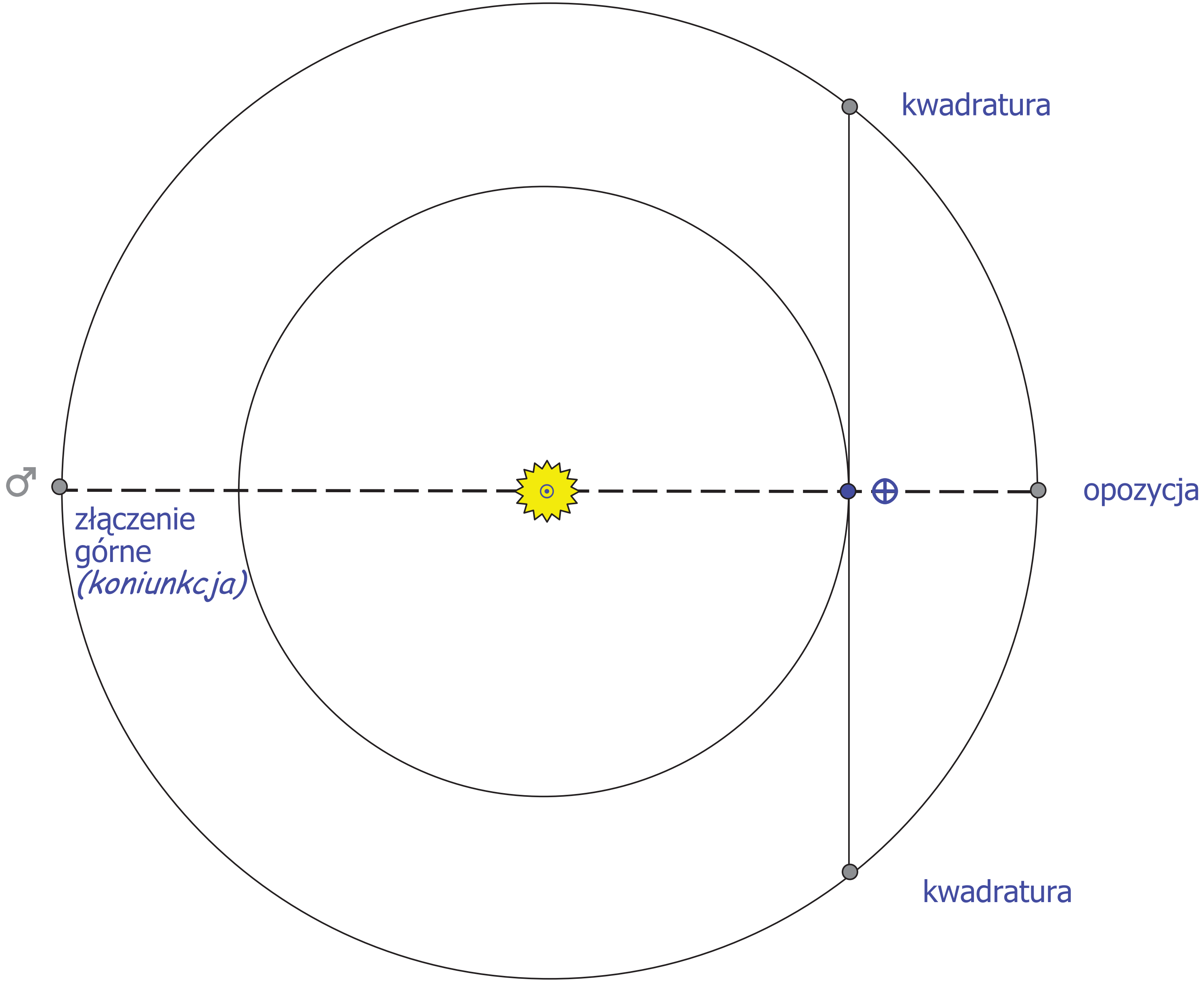


Planety wewnętrzne

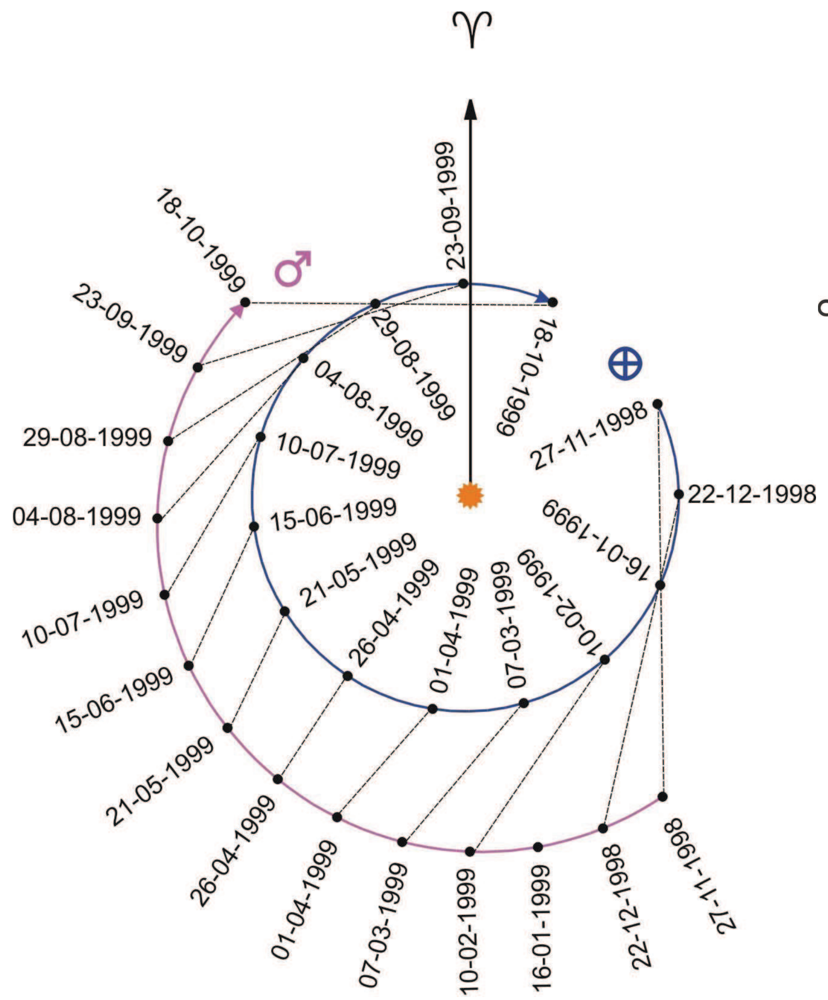


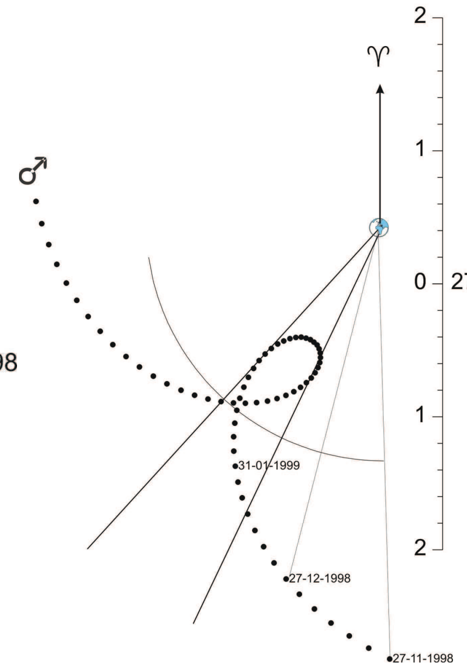
Planety wewnętrzne są widoczne krótko przed wschodem Słońca lub krótko po zachodzie Słońca. Wynika też stąd, że widoczne są nisko nad horyzontem!

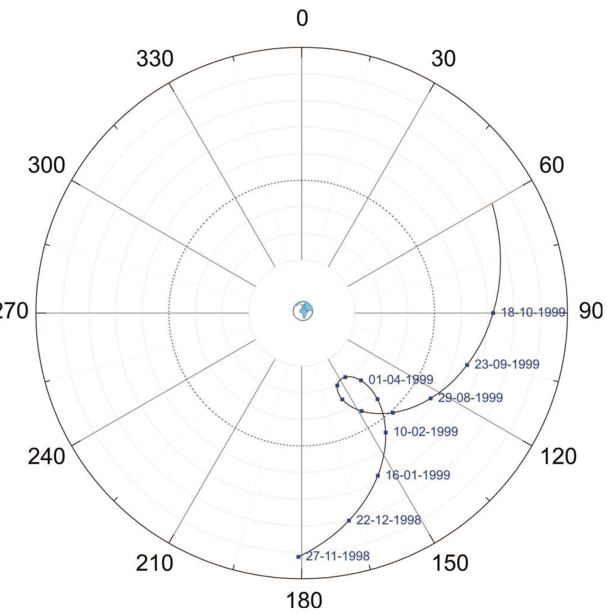
Planety zewnętrzne

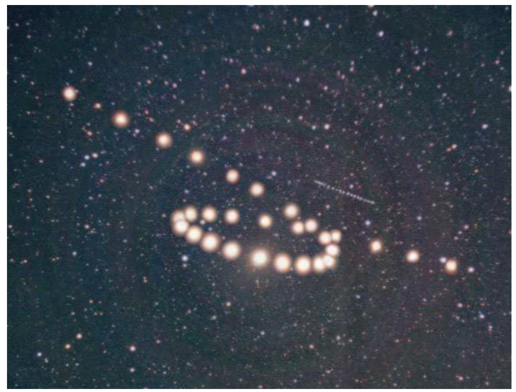


Pętle planet









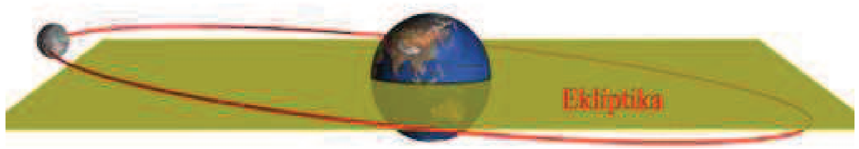
Księżyc

Księżyc

- Promień: 1738 km $R_☽ = 0.27\ R_\oplus$ (promienia Ziemi)
- Masa: $7.35 \cdot 10^{22}$ kg $M_☽ = 1/81\ M_\oplus$ (masy Ziemi)
- Orbita: $e = 0.055$, $a = 384.4 \times 10^3$ km ≈ 0.0026AU $\approx 60R_\oplus$,
  $i = 5.1°$ (nachylenie płaszczyzny orbity do ekliptyki)
- Średnia średnica kątowa = 31'05" *(max 33'31", min 29'22")*
- Okres obiegu (miesiąc gwiazdowy): 27.322^d. Okres rotacji: 27.322^d (synchroniczność!)
- Miesiąc synodyczny (księżycowa doba słoneczna) 29.5306^d
- Nachylenie równika Księżyca do ekliptyki: 1°32'40"=1.5424°
- Temperatura na półkuli: dziennej 380 K nocnej: 190 K


Strona widoczna


Strona niewidoczna

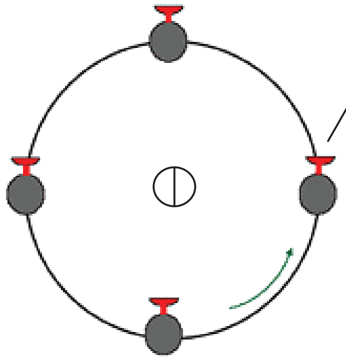


Księżyc

Okres obiegu: 27.322^d. Okres rotacji: 27.322^d

Tak zwany rezonans 1:1 - na jeden obieg Księżyca dookoła Ziemi przypada jeden jego obrót wokół własnej osi.

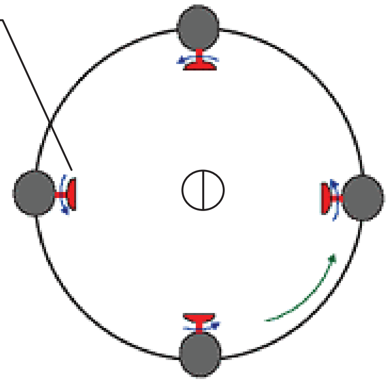
Brak rotacji, tylko ruch obiegowy



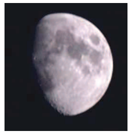
Obiekt zachowuje stałą orientację w przestrzeni

Rotacja synchroniczna z obiegiem

Obiekt zachowuje stałą orientację względem <u>środka orbity</u>

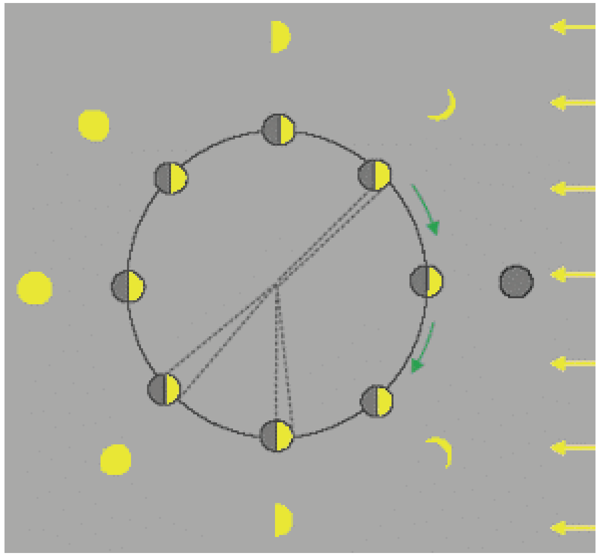


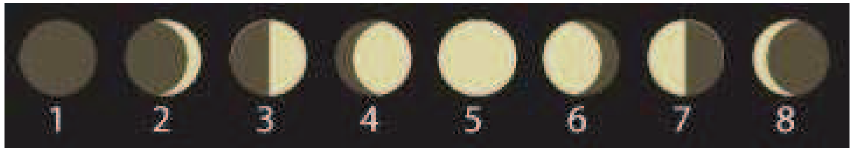
- Zwróć uwagę na to, że Ziemia z Księżyca widoczna jest zawsze w tym samym miejscu na niebie (albo wcale nie jest widoczna, gdy obserwator znajduje się na jego odwróconej stronie).
- Linia, która oddziela oświetloną i ciemną część tarczy Księżyca nazywana jest terminatorem. Obserwator znajdujący się na terminatorze widzi wschód i zachód Słońca.
- Doba słoneczna trwa 29.5 dnia a więc od wschodu do zachodu Słońca mijają prawie dwa tygodnie.

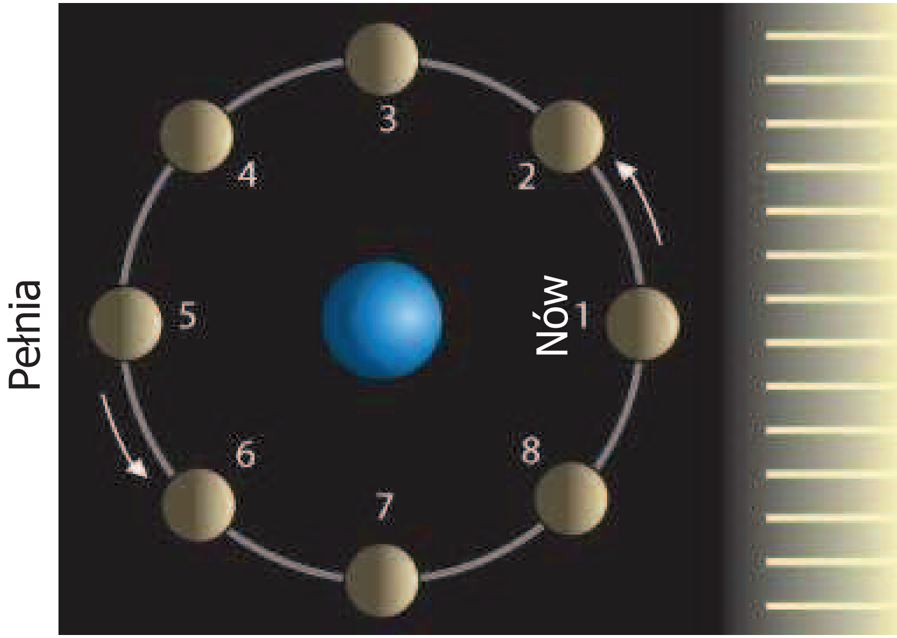


Fazy Księżyca

- Widać tylko część oświetloną przez Słońce
- Okres zmian faz to miesiąc synodyczny (około 29.53 dnia)
- Księżyc widać zawsze z tej samej strony bo okres obrotu Księżyca jest równy okresowi obiegu
- Czasem tuż po nowiu widać część Księżyca oświetloną przez Ziemię (światło popielate)

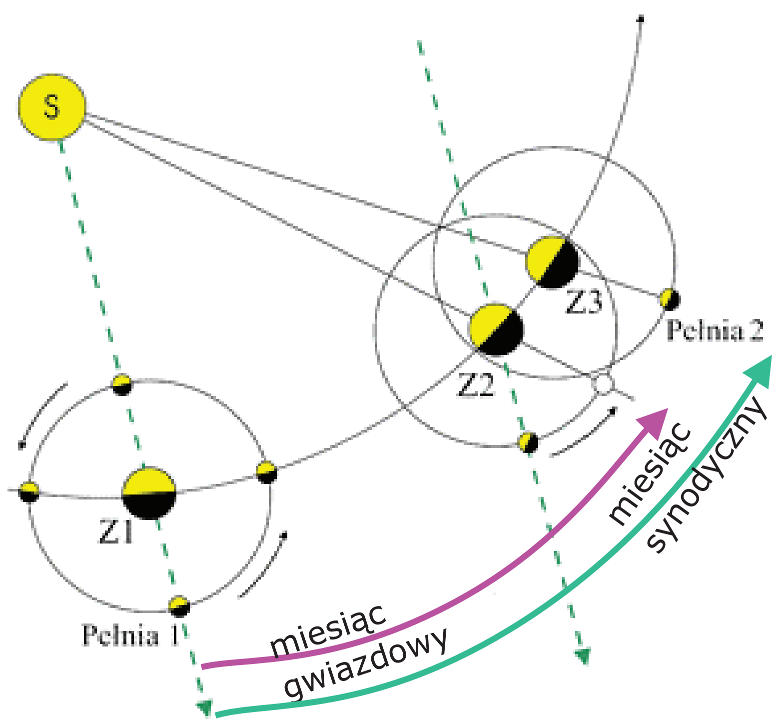






Uwaga rysunki nie w skali bo odległość Ziemia-Księżyc to 60 promieni Ziemi

Miesiąc synodyczny i gwiazdowy



Okresy gwiazdowe: powtórzenie się zjawiska względem gwiazd stałych.
Okresy synodyczne: względem obserwatora na Ziemii.

Ziemia ma okres obiegu wokół Słońca równy $T_Z = 1$ rok, czyli jej prędkość kątowa orbitalna $\omega_Z = 2\pi/T_Z$.
Obiekt (Księżyc, planeta ...) ma okres gwiazdowy inaczej syderyczny T_O, Czyli $\omega_O = 2\pi/T_O$.
Zgodnie z prawem dodawania prędkości, prędkość kątowa obiektu O względem Ziemi (synodyczna) $\underline{\omega} = \omega_O - \omega_Z$. Okres synodyczny P_O wyliczamy ze wzoru $2\pi/P_O = |2\pi/T_O - 2\pi/T_Z|$ czyli :

$$1/P_O = |1/T_O - 1/T_Z|$$

Księżyc

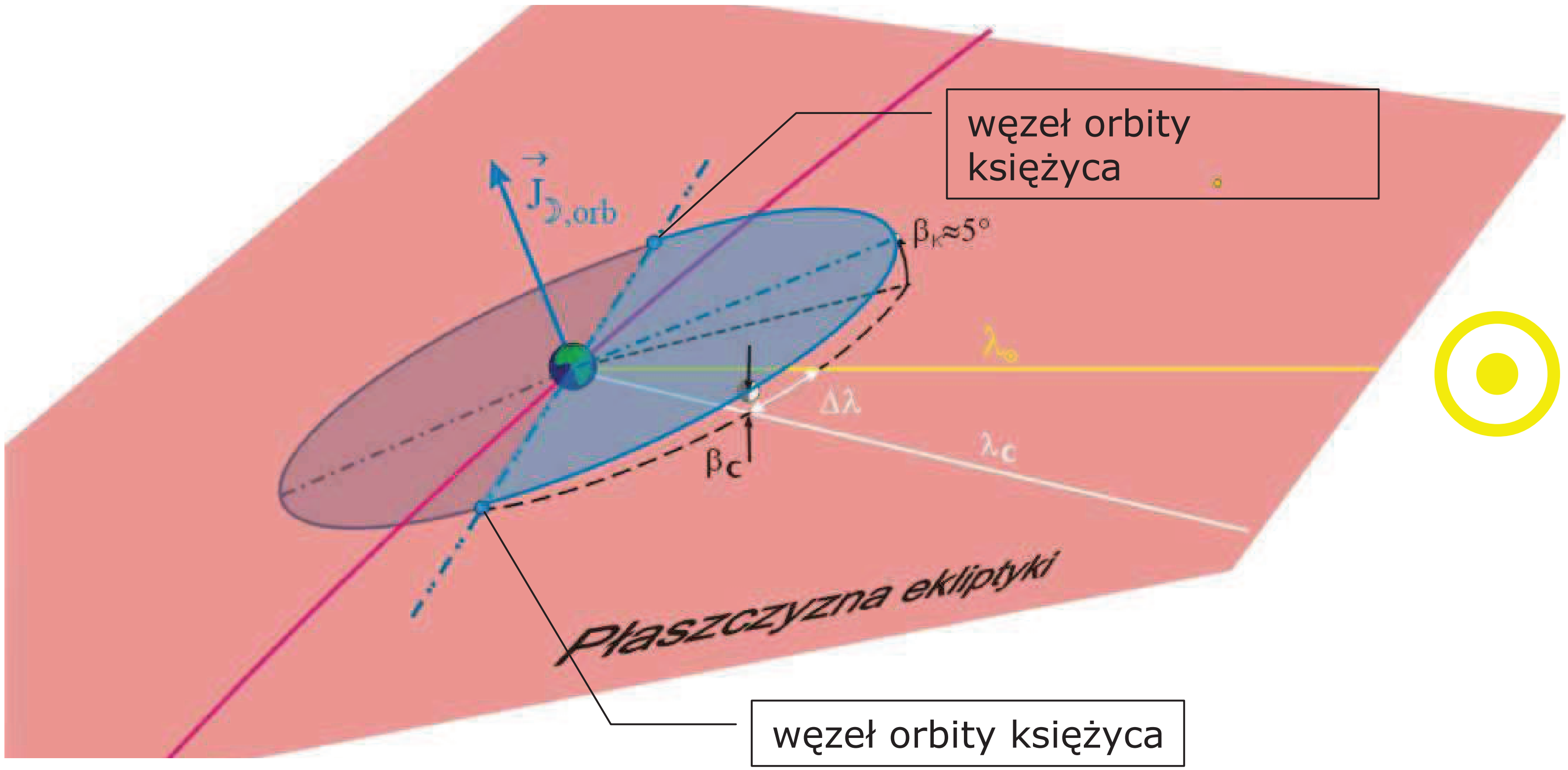
1 miesiąc gwiazdowy (okres obrotu) $27^d 7^h 43^m 3^s$

1 miesiąc synodyczny (od pełni do pełni) $29^d 12^h 44^m 3^s$

Ziemia: doba gwiazdowa $23^h 56^m$ (okres obrotu)
doba słoneczna (od południa do południa) 24^h

Księżyc położenie orbity w przestrzeni

węzły orbity: punkty przecięcia się orbity z płaszczyzną ekliptyki



Wskutek precesji orbity księżyca węzły wędrują po ekliptyce z okresem 18.6 lat

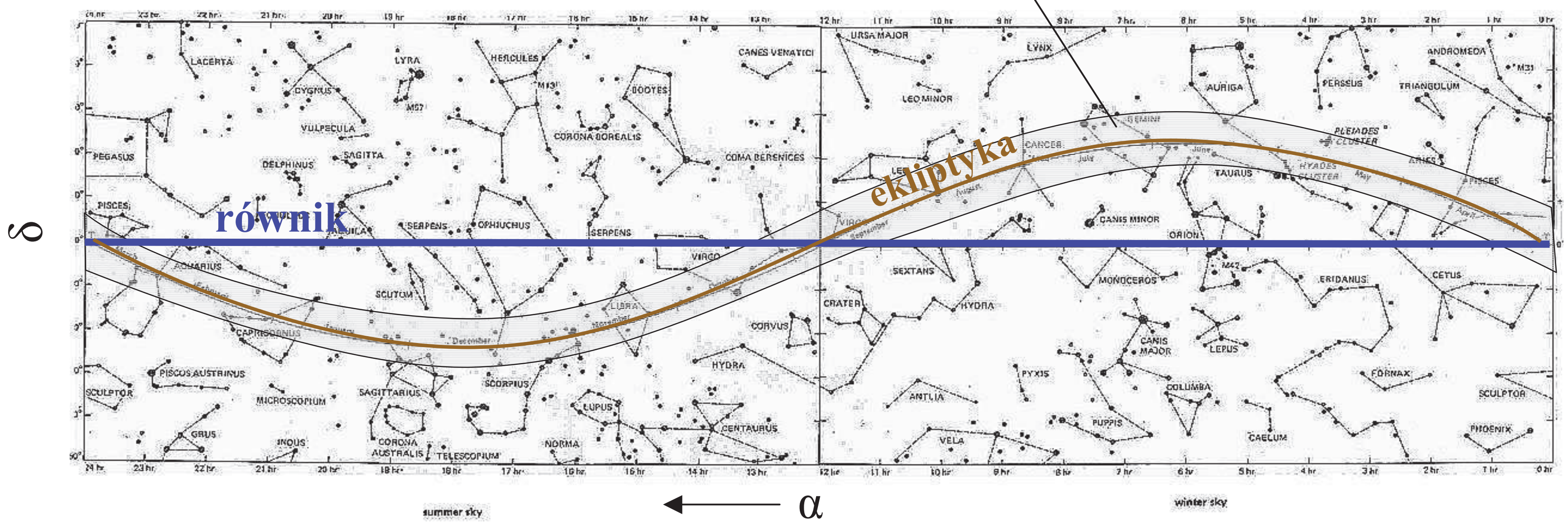
Odstęp czasu pomiędzy przejściami Księżyca przez ten sam węzeł:
miesiąc smoczy: $27^d 5^h 5^m 36^s = 27.2122^d$

Deklinacja Księżyca może się różnić od deklinacji Słońca o co najwyżej o 5.1°

$$\delta_\odot - 5.1° \leq \delta_☽ \leq \delta_\odot + 5.1°$$

Położenie Księżyca na niebie

w tym pasie o szerokości 2×5.1°
może być Księżyc

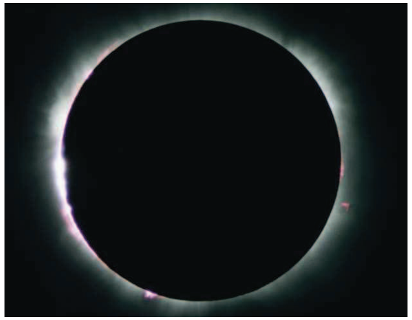


$$\delta_{\odot} - 5.1^\circ \leq \delta_{☽} \leq \delta_{\odot} + 5.1^\circ$$

- Księżyc obiega całą ekliptykę w ciągu 1 miesiąca gwiazdowego ($27^d 7^h 43^m 3^s$)
- Przecięcie się toru Księżyca z ekliptyką to węzły orbity Księżyca
- Węzły się cofają dlatego miesiąc smoczy ($27^d 5^h 5^m 36^s$) jest krótszy niż gwiazdowy

ZAĆMIENIA

Zaćmienia Słońca i Ksieżyca

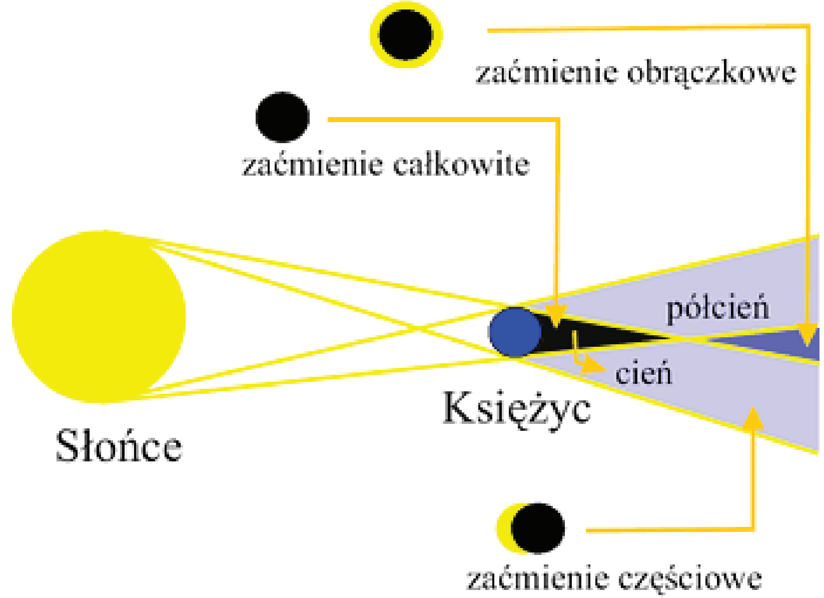


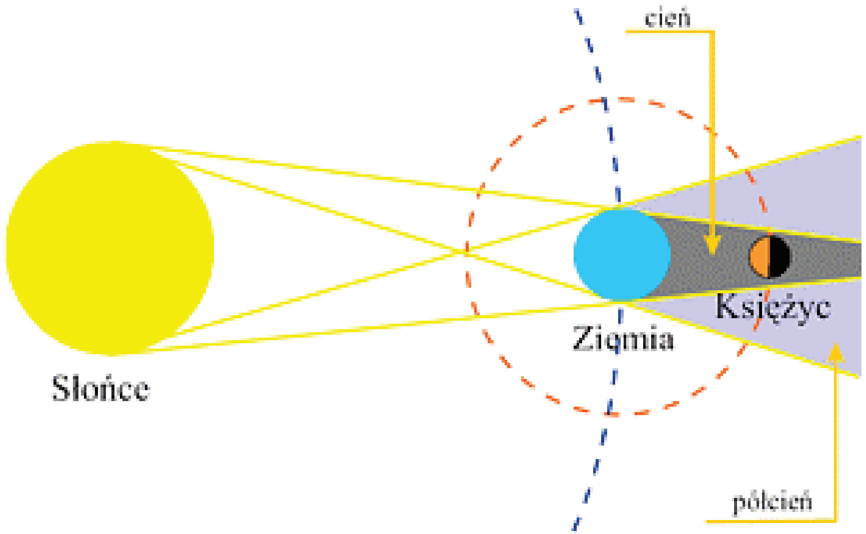
Całkowite zaćmienie Słońca

Całkowite zaćmienie Słońca korona słoneczna

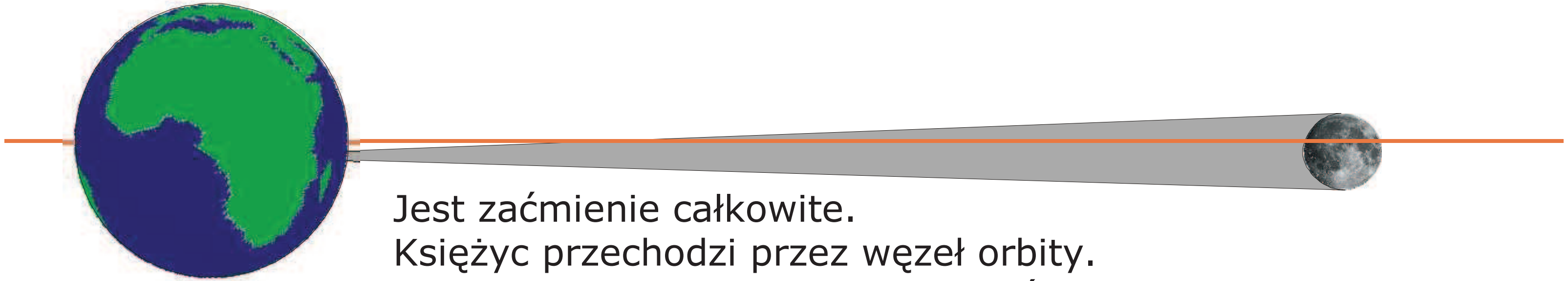
Obrączkowe zaćmienie Słońca

$(29'22'' < \Phi_{☽} < 33'31'')$

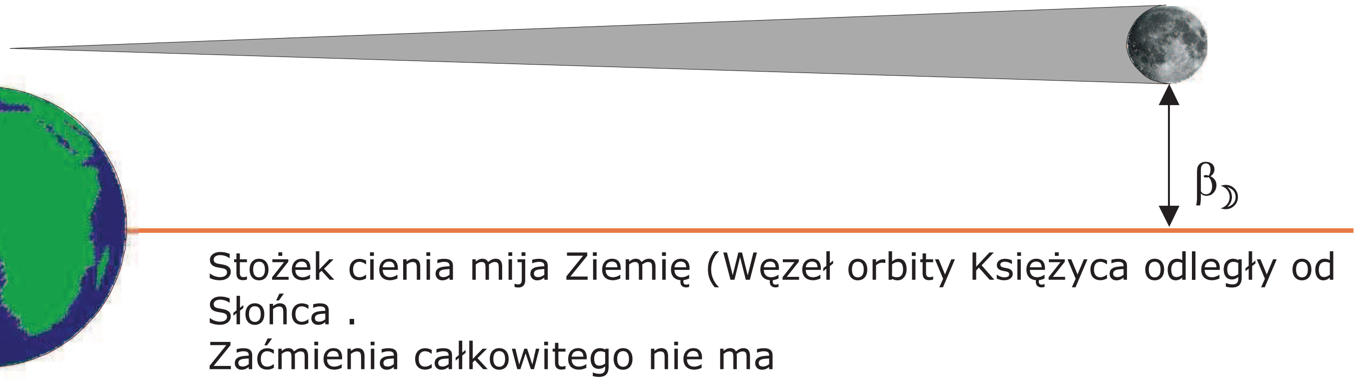




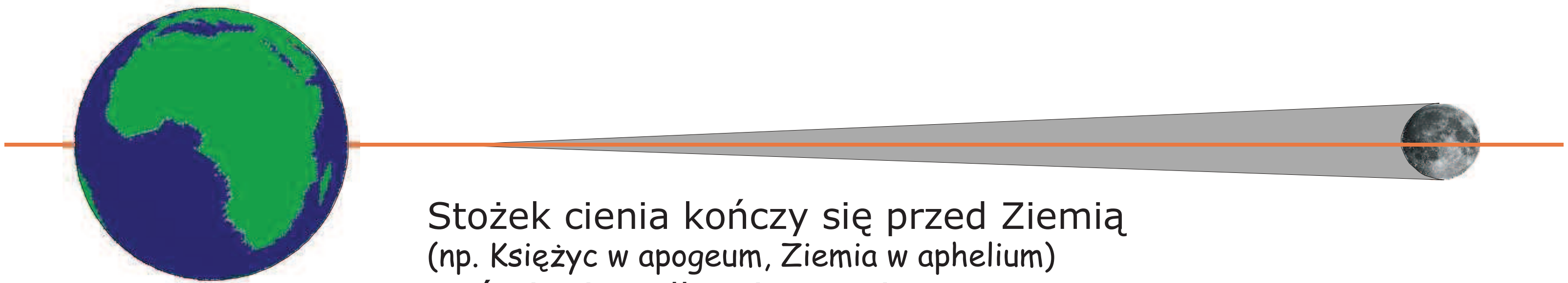
Zaćmienia a orbity Księżyca i Ziemi



Jest zaćmienie całkowite.
Księżyc przechodzi przez węzeł orbity.
Węzeł położony prawie na linii Słońce Ziemia
Koniec stożka cienia wewnątrz Ziemi



Stożek cienia mija Ziemię (Węzeł orbity Księżyca odległy od Słońca .
Zaćmienia całkowitego nie ma
(jeśli β☽ jest niewielkie to może być zaćmienie częściowe)



Stożek cienia kończy się przed Ziemią
(np. Księżyc w apogeum, Ziemia w aphelium)
Zaćmienia całkowitego nie ma (jest obrączkowe)

Powtarzalność zaćmień

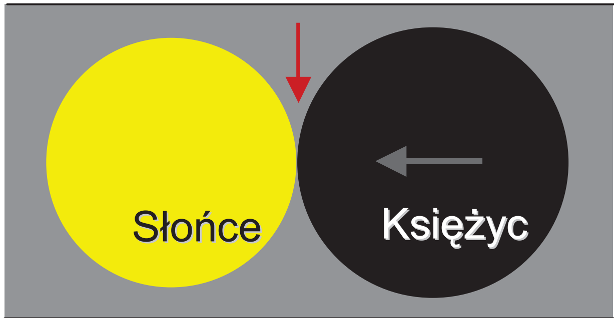
Warunki zaistnienia zaćmienia Słońca

- Księżyc musi być w nowiu - okres: miesiąc synodyczny ($29^d 12^h\ 44^m\ 3^s = 29.5306^d$)
- Księżyc musi być blisko węzła: okres miesiąc smoczy $27^d\ 5^h\ 5^m\ 36^s = 27.2122^d$
- Słońce musi być blisko węzła orbity Księżyca.
  Wskutek precesji orbity księżyca węzły wędrują po ekliptyce z okresem 18.6 lat,
  stąd okres pomiędzy kolejnymi przejściami Słońca przez ten sam węzeł orbity Księżyca wynosi 346.62 dni
  (jest to tzw. rok zaćmieniowy)

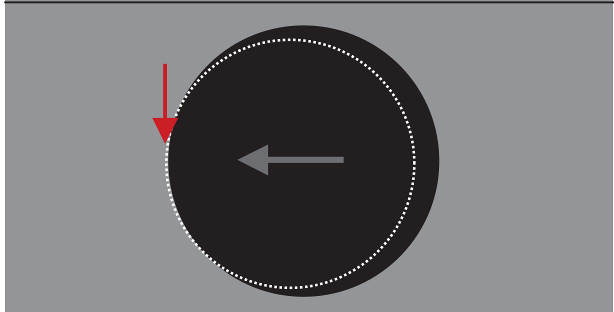
242 miesiące smocze to 223 miesiące synodyczne i niemal dokładnie 19 lat zaćmieniowych.
(Dokładnie to odpowiednio 6585.32, 6585.36 i 6585.78 dni).
Jest to tzw. saros 18 lat i 11 dni (10 dni gdy jest 5 lat przestępnych).
Już w starożytności Babilończycy odkryli prawidłowości rządzące zaćmieniami. Przez nich właśnie cykl zaćmień nazwany został sarosem (w jęz. asyryjskim szāru).
Uwaga zaćmienia mogą należeć do różnych sarosów!
Jednocześnie biegnie obok siebie wiele cykli sarosów.

Uwaga, zależność nie jest ścisła, więc zaćmienia należące do tego samego sarosu są podobne a nie identyczne. Niewielka zmiana położenia Słońca i Księżyca po każdym sarosie sprawia, że cały cykl zaćmień kończy się po ok. 71 zaćmieniach Słońca i 48 Księżyca.
Każdy cykl saros rozpoczyna się zaćmieniem częściowym o niewielkiej fazie w pobliżu jednego z ziemskich biegunów, kulminację (najdłuższe zaćmienie całkowite cyklu) osiąga w pobliżu równika i kończy się jako zaćmienie częściowe o małej fazie blisko drugiego bieguna.
Zaćmienie w 2006r było powtórzeniem częściowego zaćmienia, które miało miejsce 7 marca 1989 roku w Ameryce Północnej i należy do cyklu saros 149, który zaczął się 21.08.1664 r. i zakończy 29 września 2926 r.
W ciągu 1000 lat jest przeciętnie 2375 zaćmień Słońca (716 całkowitych) i 1543 zaćmień Księżyca (650 całkowitych)

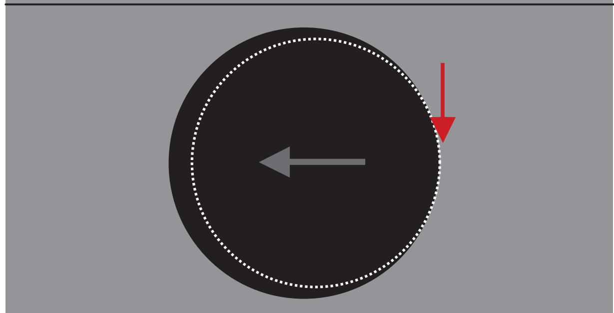
Zaćmienia Słońca - kontakty



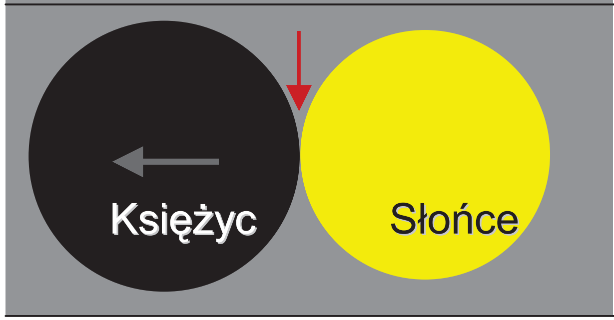
1 Kontakt – początek zaćmienia częściowego



2 Kontakt – początek zaćmienia całkowitego



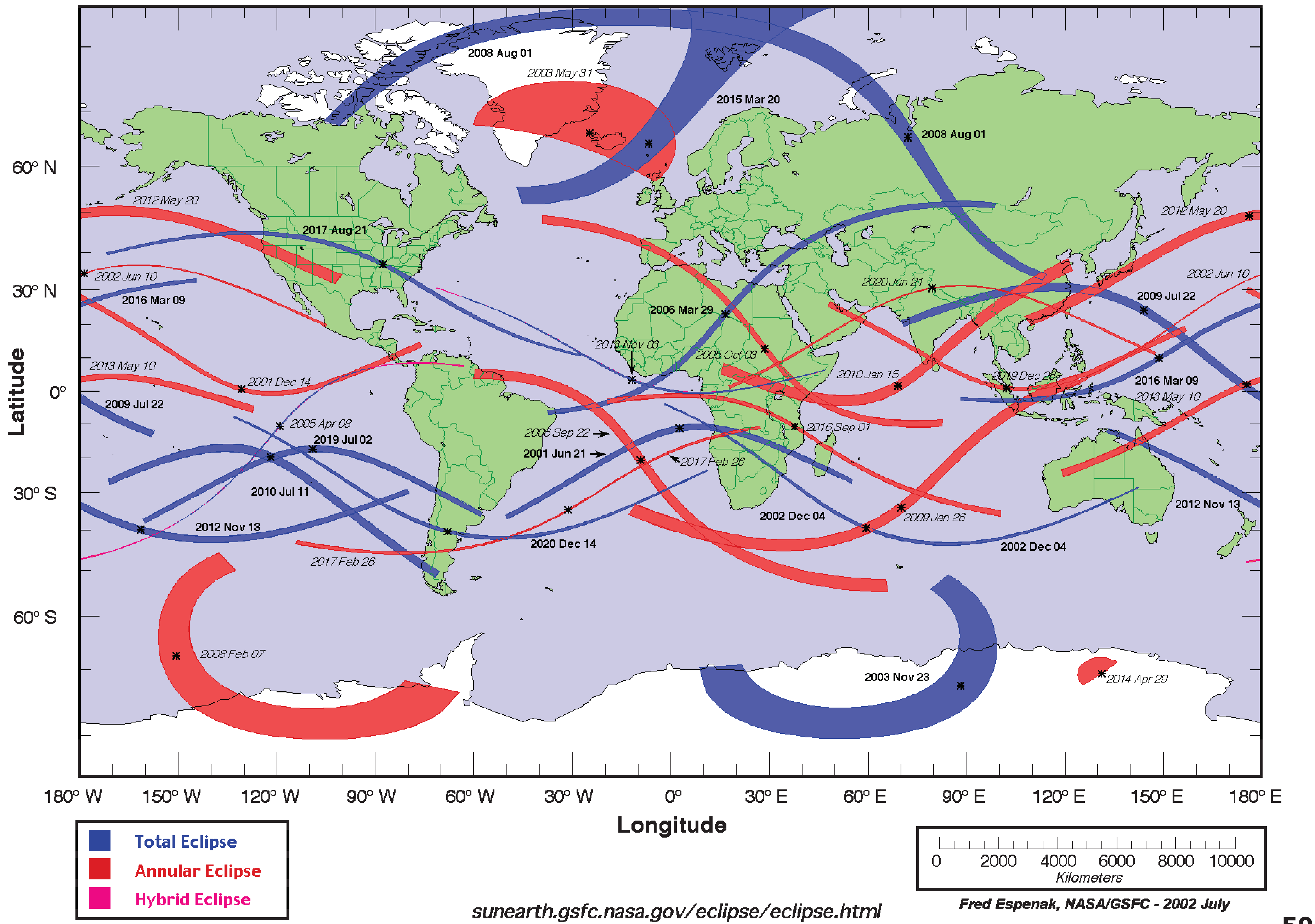
3 Kontakt – koniec zaćmienia całkowitego



4 Kontakt – koniec zaćmienia częściowego

Fred Espenak. NASA's GSFC

Zaćmienia Słońca w latach 2001-2020

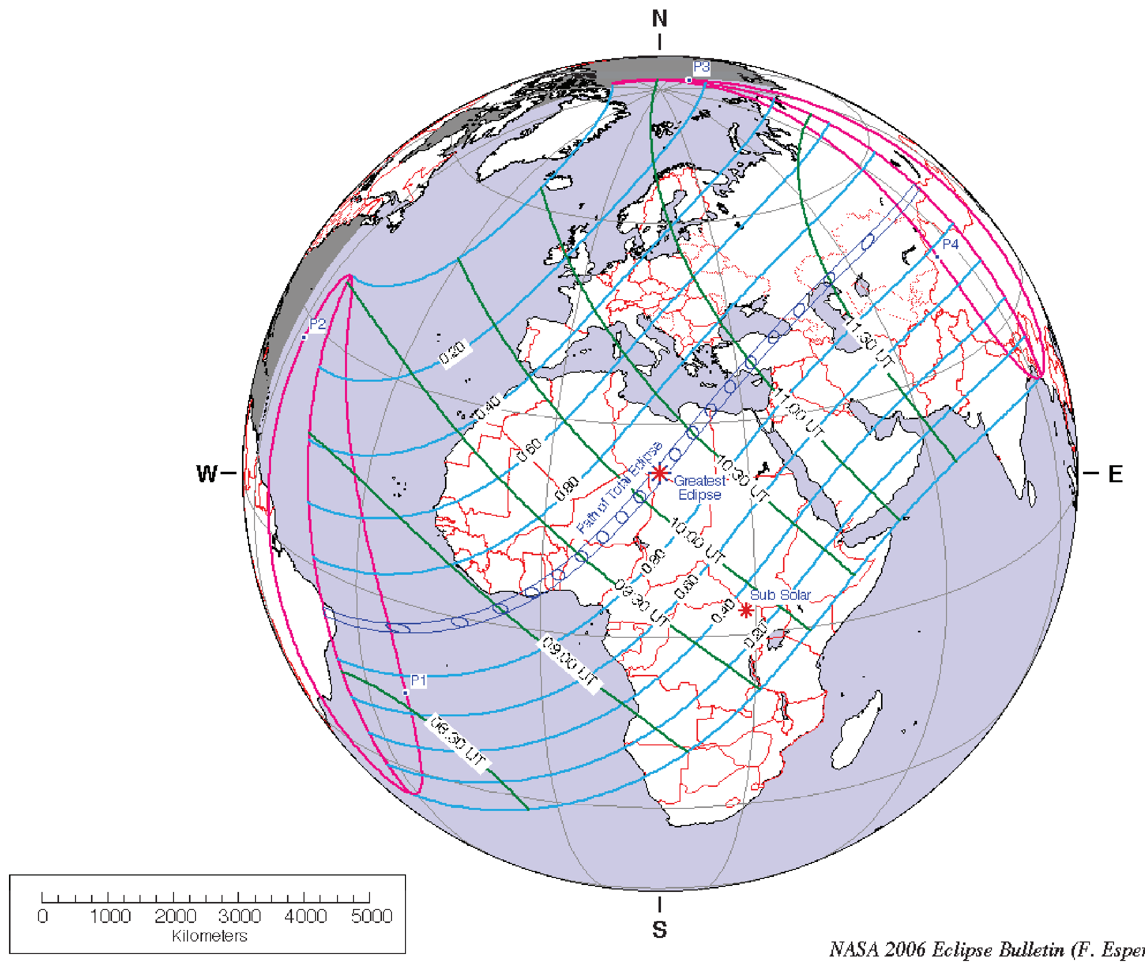


Zaćmienia Słońca w latach 2002-2010

Calendar Date	TD of Greatest Eclipse	Eclipse Type	Saros Series	Central Duration	Geographic Region of Eclipse Visibility
2002 Jun 10	23:45:22	Annular	137	00^m23^s	e Asia, Australia, w N. America
2002 Dec 04	07:32:16	Total	142	02^m04^s	s Africa, Antarctica, Indonesia, Australia
2003 May 31	04:09:22	Annular	147	03^m37^s	Europe, Asia, nw N. America
2003 Nov 23	22:50:22	Total	152	01^m57^s	Australia, N. Z., Antarctica, s S. America
2004 Apr 19	13:35:05	Partial	119	-	Antarctica, s Africa
2004 Oct 14	03:00:23	Partial	124	-	ne Asia, Hawaii, Alaska
2005 Apr 08	20:36:51	Hybrid	129	00^m42^s	N. Zealand, N. & S. America
2005 Oct 03	10:32:47	Annular	134	04^m32^s	Europe, Africa, s Asia
2006 Mar 29	10:12:23	Total	139	04^m07^s	Africa, Europe, w Asia
2006 Sep 22	11:41:16	Annular	144	07^m09^s	S. America, w Africa, Antarctica
2007 Mar 19	02:32:57	Partial	149	-	Asia, Alaska
2007 Sep 11	12:32:24	Partial	154	-	S. America, Antarctica
2008 Feb 07	03:56:10	Annular	121	02^m12^s	Antarctica, e Australia, N. Zealand
2008 Aug 01	10:22:12	Total	126	02^m27^s	ne N. America, Europe, Asia
2009 Jan 26	07:59:45	Annular	131	07^m54^s	s Africa, Antarctica, se Asia, Australia
2009 Jul 22	02:36:25	Total	136	06^m39^s	e Asia, Pacific Ocean, Hawaii
2010 Jan 15	07:07:39	Annular	141	11^m08^s	Africa, Asia
2010 Jul 11	19:34:38	Total	146	05^m20^s	s S. America

View: http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

Zaćmienie Słońca 29-03-2006



NASA 2006 Eclipse Bulletin (F. Espenak & J. Anderson)

To zaćmienie obserwowała wyprawa koła naukowego IF AP "Pozyton" do Turcji

Całkowite zaćmienie Księżyca 21-02-2008

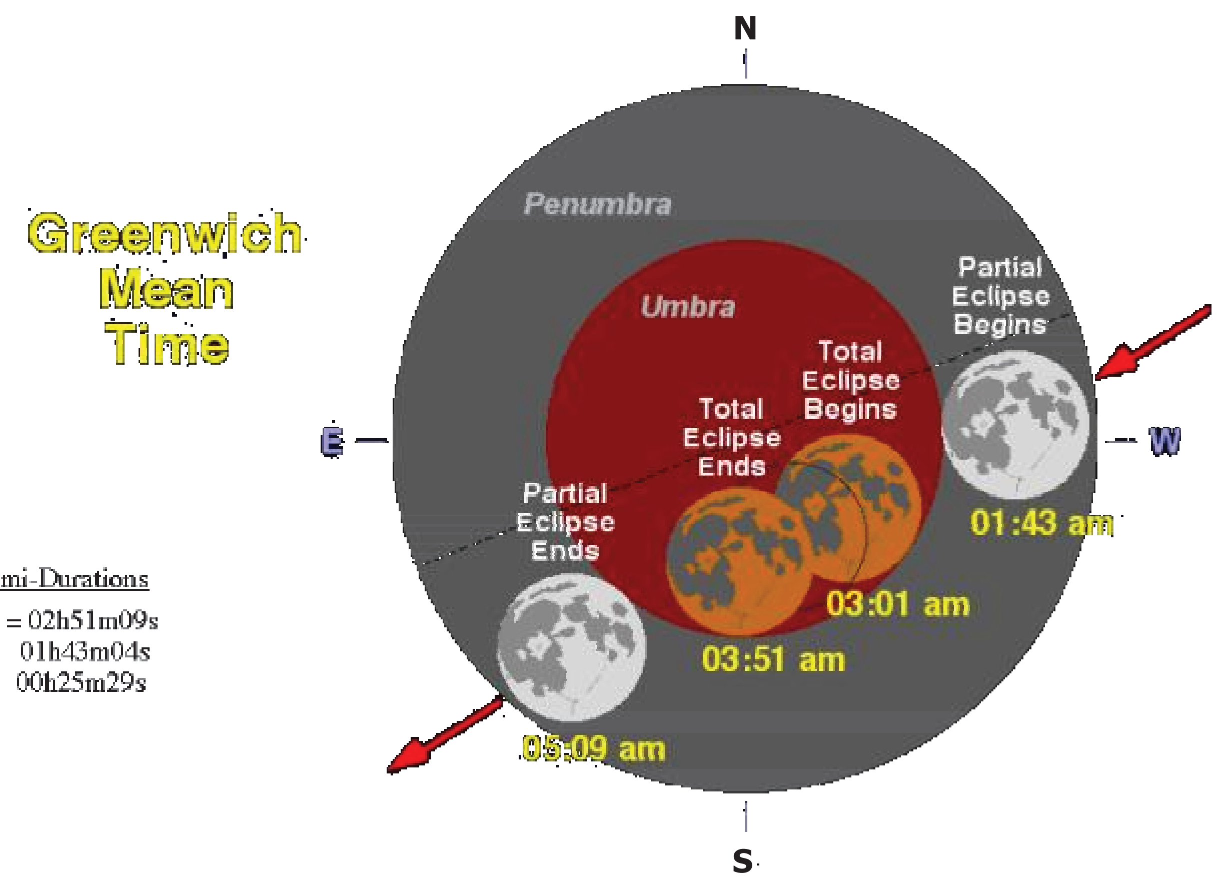
Sun at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 22h15m30.0s
Dec. = -10°48'31.5"

Saros Series = 133 Member = 26 of 71

Moon at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 10h14m48.4s
Dec. = +10°28'07.7"



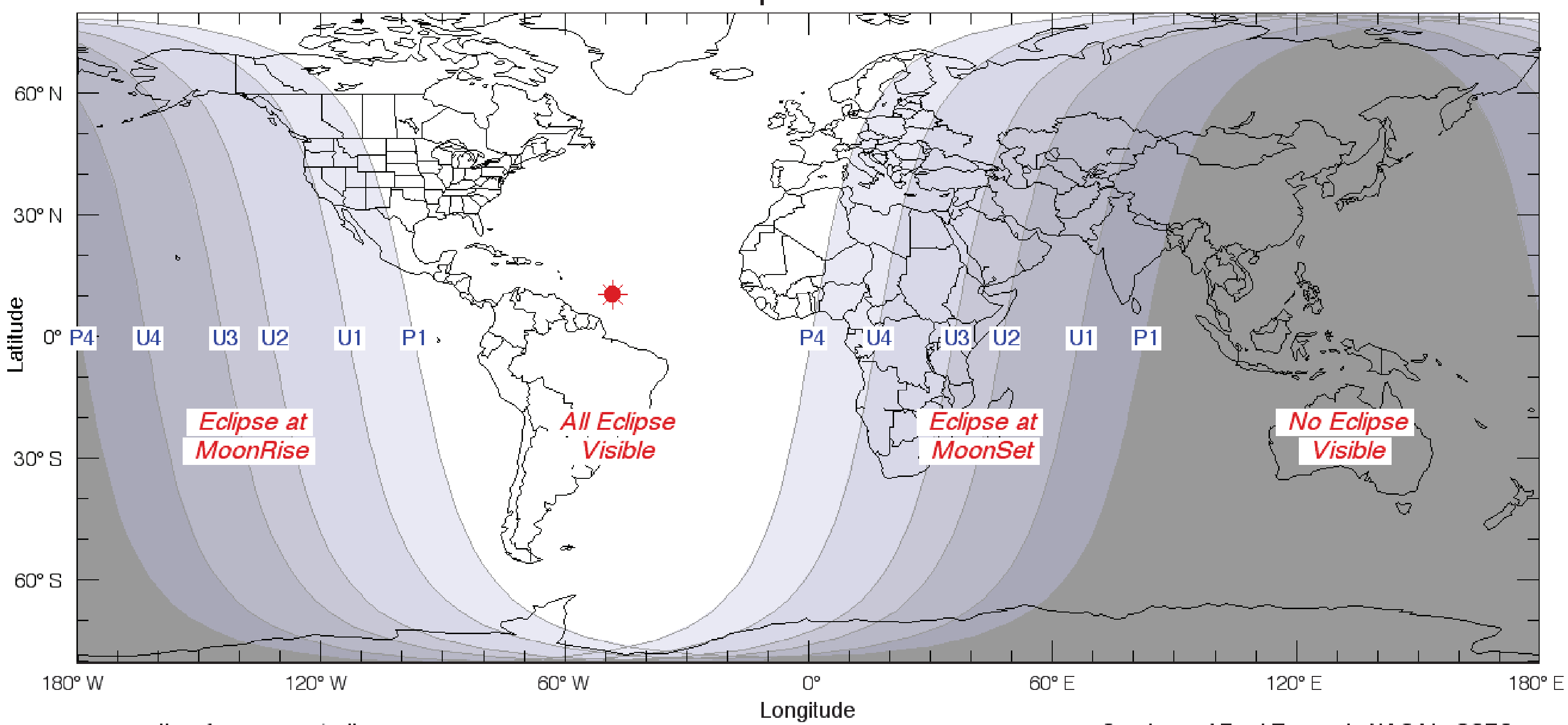
Eclipse Semi-Durations

Penumbral = 02h51m09s
Umbral = 01h43m04s
Total = 00h25m29s

Autor F.Espank NASA GSFC http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

Całkowite zaćmienie Księżyca 21-02-2008

Total Lunar Eclipse: 2008 Feb 21



sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse

Courtesy of Fred Espenak, NASA's GSFC

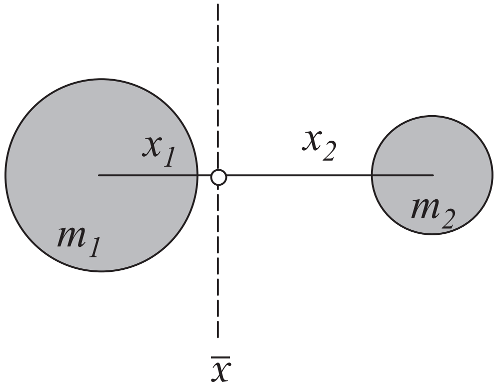
P1	Zaczyna się zaćmienie półcieniowe
U1	Zaczyna się zaćmienie częściowe
U2	Zaczyna się zaćmienie całkowite
U3	Kończy się zaćmienie całkowite
U4	Kończy się zaćmienie częściowe
P4	Kończy się zaćmienie półcieniowe

Lunar Eclipses: 2007 - 2012

Date	Eclipse Type	Saros	Umbral Magnitude	Eclipse Duration	Geographic Region of Eclipse Visibility
2007 Mar 03	Total	123	1.238	03h42m **01h14m**	Americas, Europe, Africa, Asia
2007 Aug 28	Total	128	1.481	03h33m **01h31m**	e Asia, Aus., Pacific, Americas
2008 Feb 21	Total	133	1.111	03h26m **00h51m**	c Pacific, Americas, Europe, Africa
2008 Aug 16	Partial	138	0.813	03h09m	S. America, Europe, Africa, Asia, Aus.
2009 Feb 09	Penumbral	143	-0.083	-	e Europe, Asia, Aus., Pacific, w N.A.
2009 Jul 07	Penumbral	110	-0.909	-	Aus., Pacific, Americas
2009 Aug 06	Penumbral	148	-0.661	-	Americas, Europe, Africa, w Asia
2009 Dec 31	Partial	115	0.082	01h02m	Europe, Africa, Asia, Aus.
2010 Jun 26	Partial	120	0.542	02h44m	e Asia, Aus., Pacific, w Americas
2010 Dec 21	Total	125	1.262	03h29m **01h13m**	e Asia, Aus., Pacific, Americas, Europe
2011 Jun 15	Total	130	1.705	03h40m **01h41m**	S.America, Europe, Africa, Asia, Aus.
2011 Dec 10	Total	135	1.110	03h33m **00h52m**	Europe, e Africa, Asia, Aus., Pacific, N.A.
2012 Jun 04	Partial	140	0.376	02h08m	Asia, Aus., Pacific, Americas
2012 Nov 28	Penumbral	145	-0.184	-	Europe, e Africa, Asia, Aus., Pacific, N.A.

PŁYWY

Ruch Ziemi wokół barycentrum

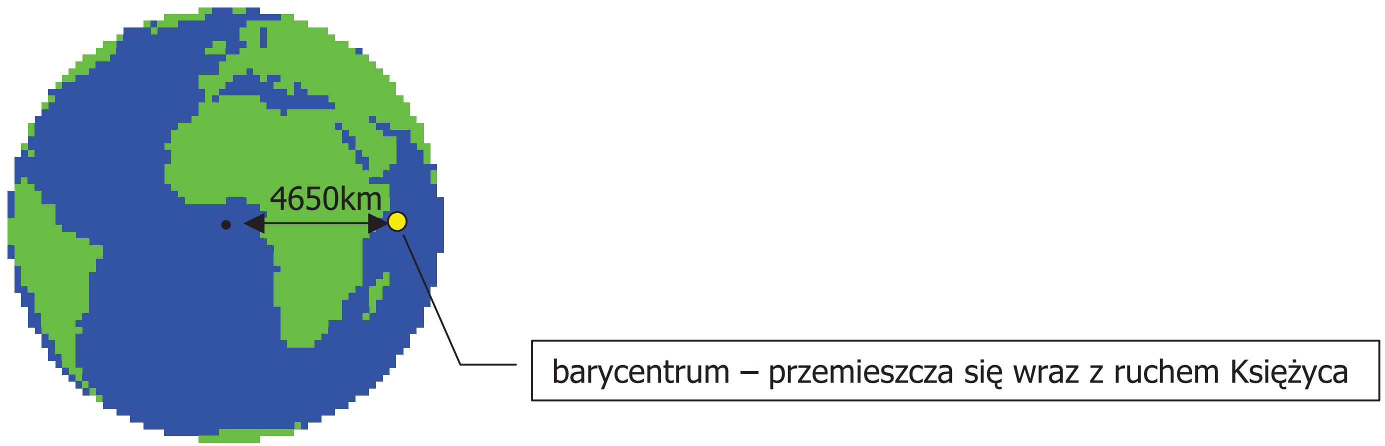


$$\bar{x} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

Barycentrum - geometryczny środek masy dwóch lub więcej mas związanych siłą grawitacji.

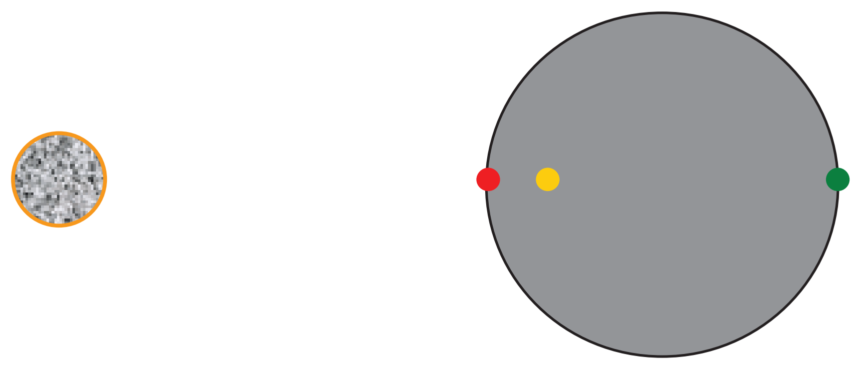
$R_☽ = 0.27\ R_⊕$ $M_☽ = 1/81\ M_⊕$ $\boldsymbol{a} = 384.4 \times 10^3$ km $\approx 64\ R_⊕$ P=27.3^d

a nie jest w skali !!!

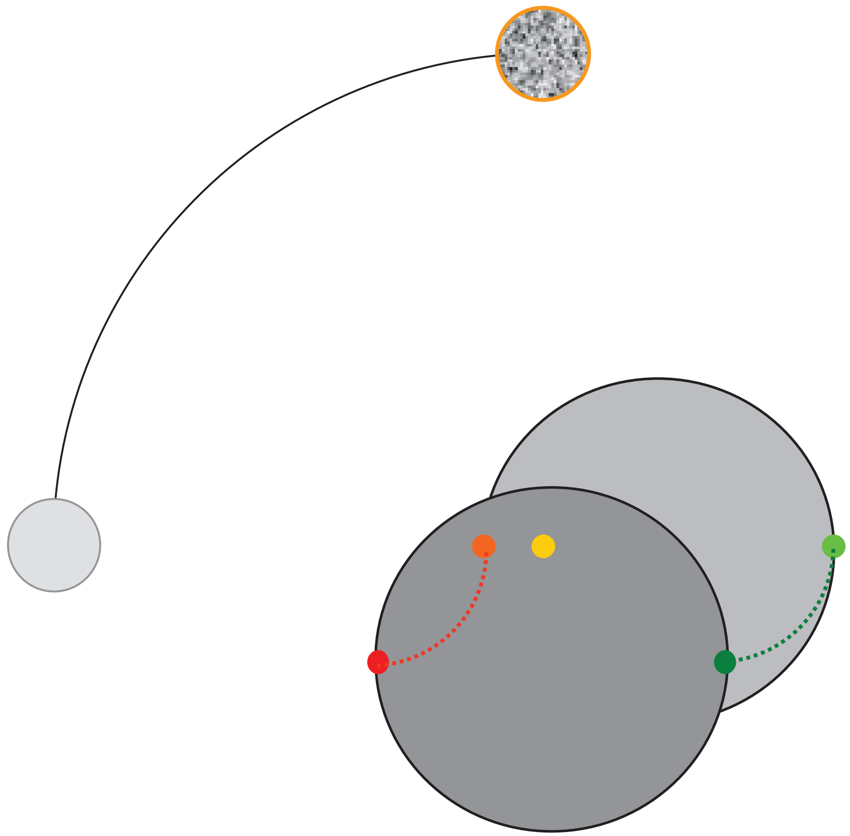


Uwaga: Ruch Ziemi jest podobny do ruchu monety trzymanej palcem. To widać na animacji, której tu nie ma.

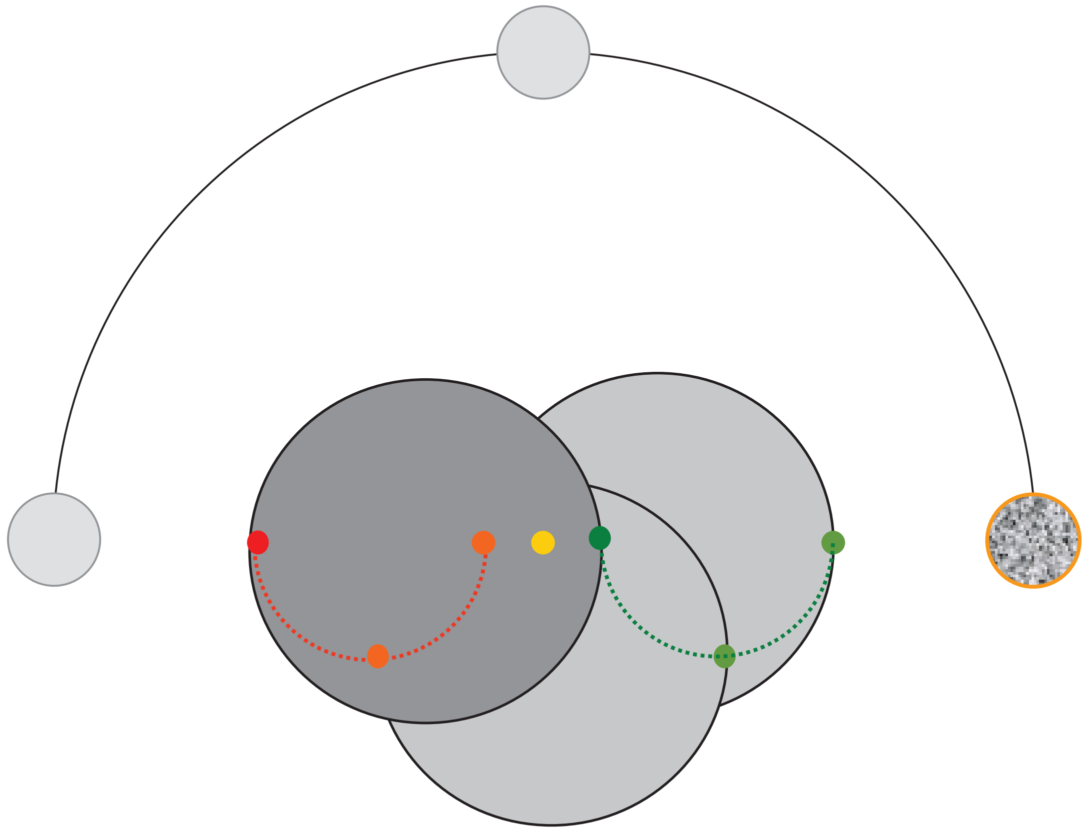
Ruch Ziemi wokół barycentrum



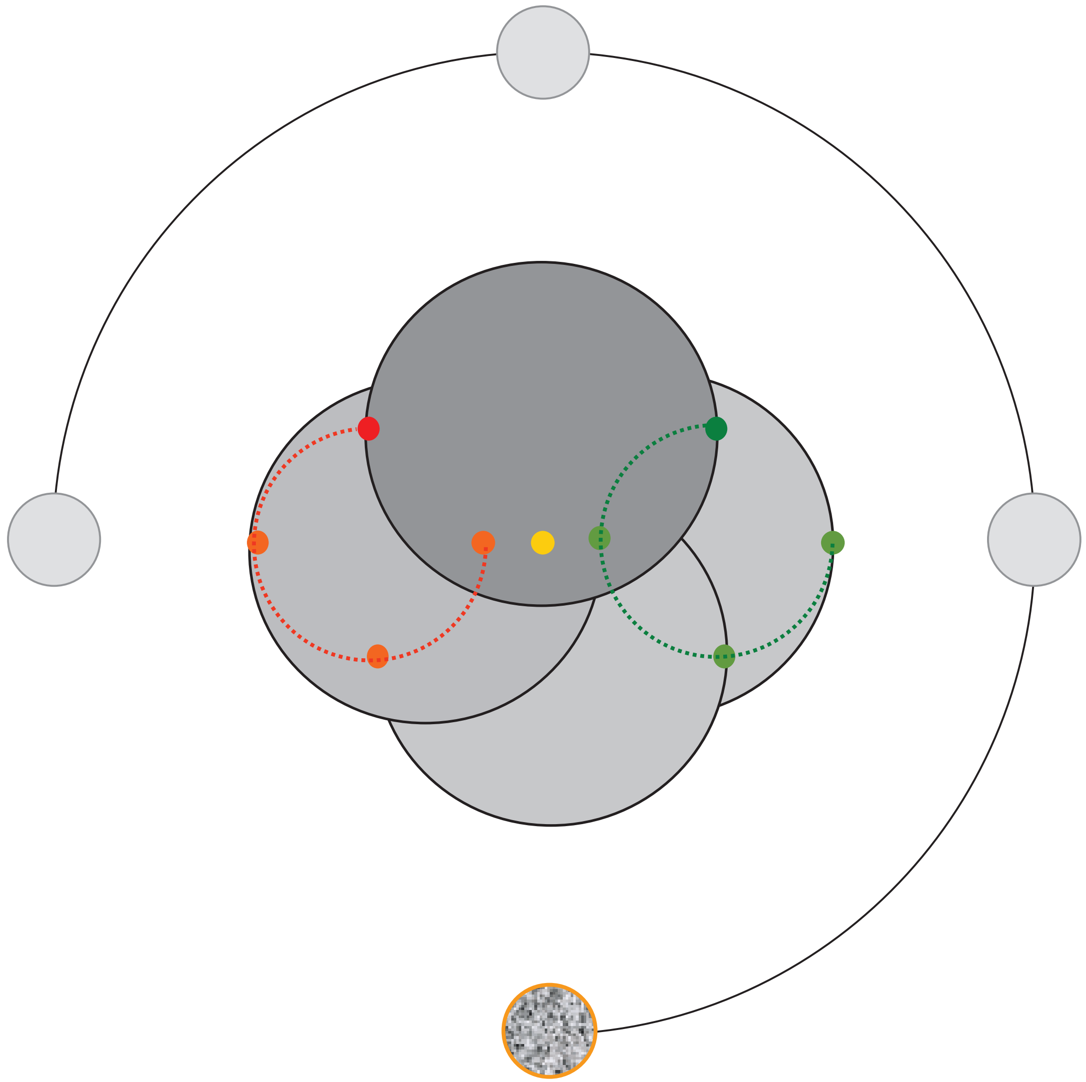
Ruch Ziemi wokół barycentrum



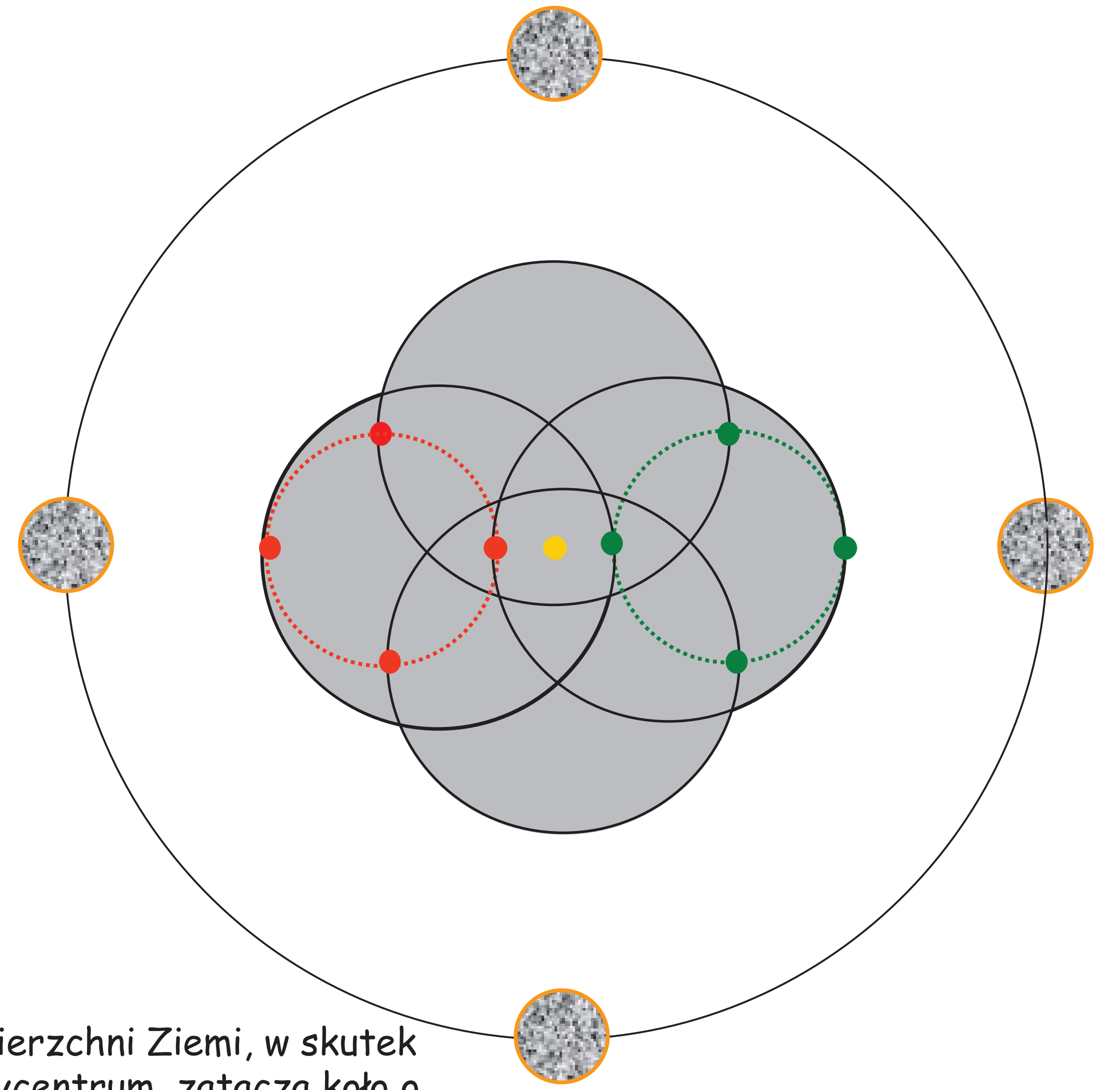
Ruch Ziemi wokół barycentrum



Ruch Ziemi wokół barycentrum

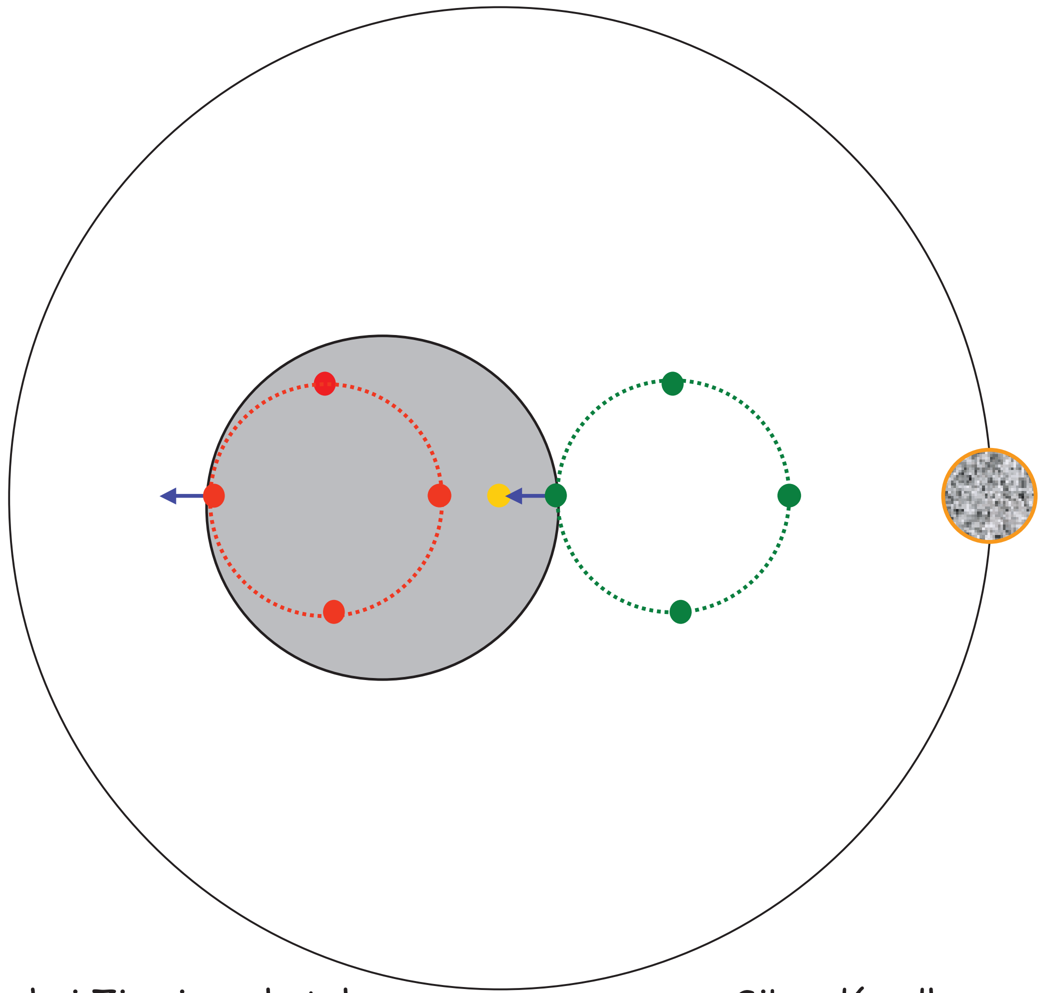


Ruch Ziemi wokół barycentrum



Każdy punkt na powierzchni Ziemi, w skutek jej ruchu wokół barycentrum, zatacza koło o promieniu **r** równym odległości barycentrum od środka Ziemi

Ruch Ziemi wokół barycentrum



Każdy punkt na powierzchni Ziemi, w skutek jej ruchu wokół barycentrum, zatacza koło o promieniu **r** równym odległości barycentrum od środka Ziemi

Siła odśrodkowa związana z tym ruchem jest skierowana w stronę przeciwną niż siła grawitacji Księżyca. Dla wszystkich punktów na powierzchni Ziemi siła odśrodkowa jest w kierunku od Księżyca

Zjawisko pływów

- Wielkość siły grawitacji F_g pomiędzy danym punktem na Ziemi a Księżycem zależy od jego odległości od Księżyca Ziemia i Księżyc.
- Wielkość siły odśrodkowej F_o związanej z ruchem punktu wokół barycentrum jest jednakowa dla całej Ziemi
- Powoduje to wybrzuszanie się skorupy Ziemi i podnoszenie poziomu wody w morzach i oceanach

$$F_g = G \cdot M_☽ \cdot m / d^2$$

odległość punktu na Ziemi do środka Księżyca

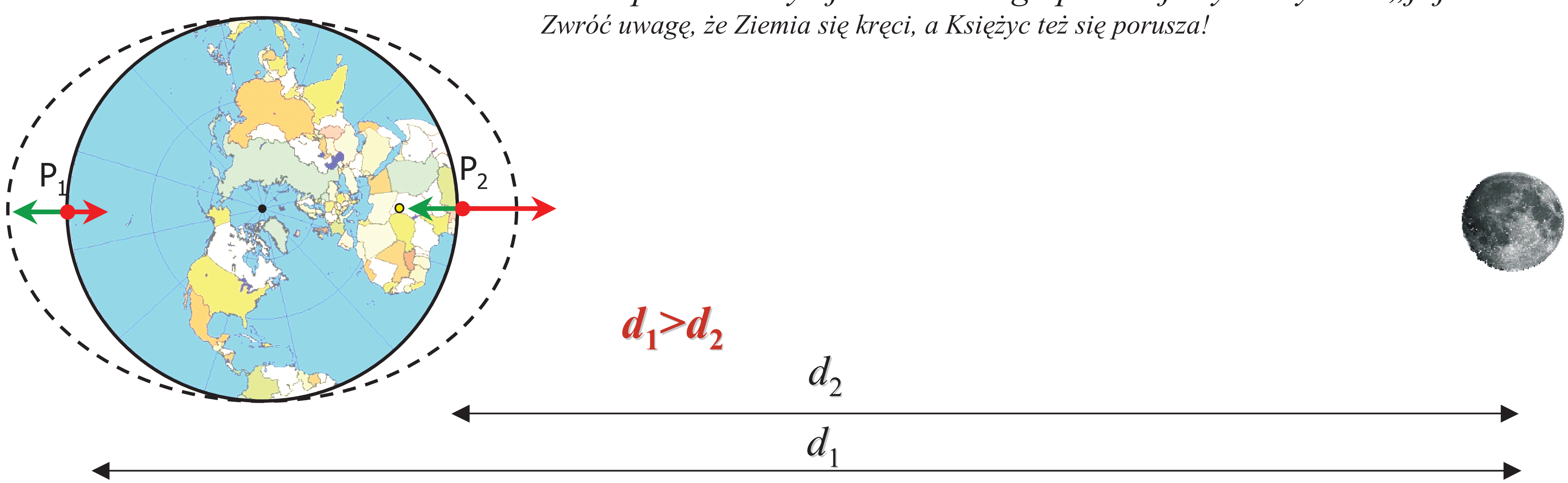
$$F_o = m \cdot \omega^2 \cdot r_B$$

odległość brycentum od środka Ziemi

Obie siły równoważą się w środku Ziemi
Na powierzchni w punktach P_1 i P_2 siła grawitacji różni się o 3% względem wartości w środku Ziemi. Siły więc nie równoważą się

Teraz powinno być jasne dlaczego powstaje symetryczne „jajo”

Zwróć uwagę, że Ziemia się kręci, a Księżyc też się porusza!

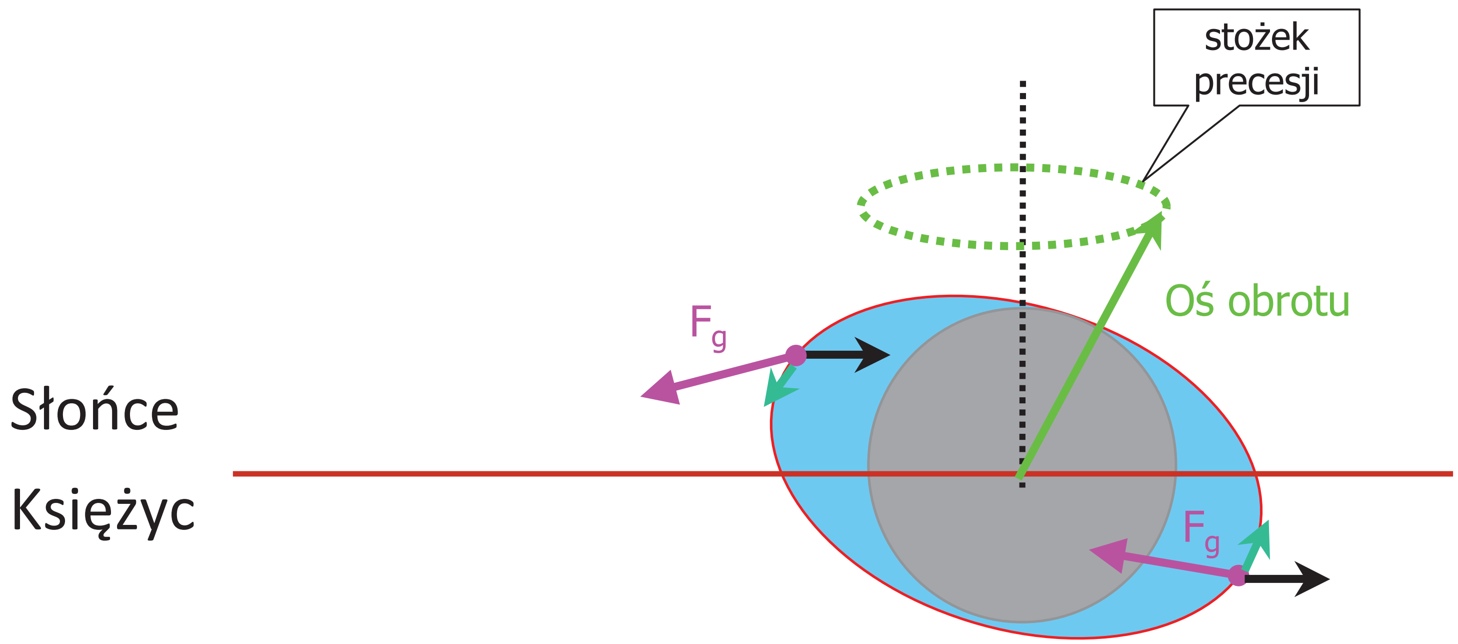


Zjawisko pływów

- Gdyby Ziemia była pokryta w całości wodą wielkość przypływu wynosiłaby 36 cm, a odpływu 18cm. Obecność lądów i ukształtowanie dna morskiego powoduje, że obserwowane amplitudy pływów wahają się od kilku milimetrów do kilkunastu metrów w różnych miejscach (np.: Zatoka Fundy)
- Cykl pływów powtarza się 2 razy na $24^{h}50.5^{m}$. Moment maksimum jest opóźniony w stosunku do ekstremalnej wysokości Księżyca ze względu na tempo przemieszczania się mas wody (tzw. czas portowy)
- Istnieją także pływy wywołane przez Słońce lecz o 2.2 razy mniejszej amplitudzie. Najsilniejsze pływy obserwujemy podczas nowiu i pełni kiedy wpływ Słońca i Księżyca się sumuje
- Skorupa skalna unosi się także na wysokość około 20 cm

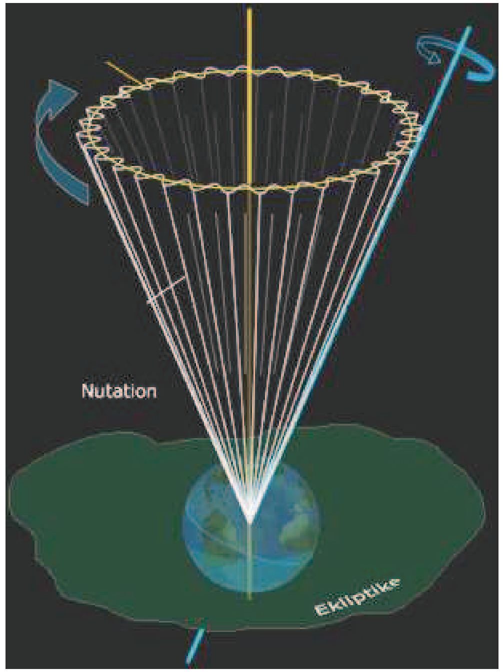
Precesja i nutacja

- Grawitacyjne oddziaływania Słońca i Księżyca ze spłaszczoną (na skutek rotacji) Ziemią powodują, że oś obrotu Ziemi zmienia swoje położenie w przestrzeni
- Jest to konsekwencją nachylenia płaszczyzny ekliptyki do równika ziemskiego (23.5^0) i nachylenia orbity Księżyca do ekliptyki (5^0)
- Różne kierunki działania sił grawitacji F_g i odśrodkowych F_o powodują powstanie składowych prostujących **F** wywołujących precesję i nutację osi

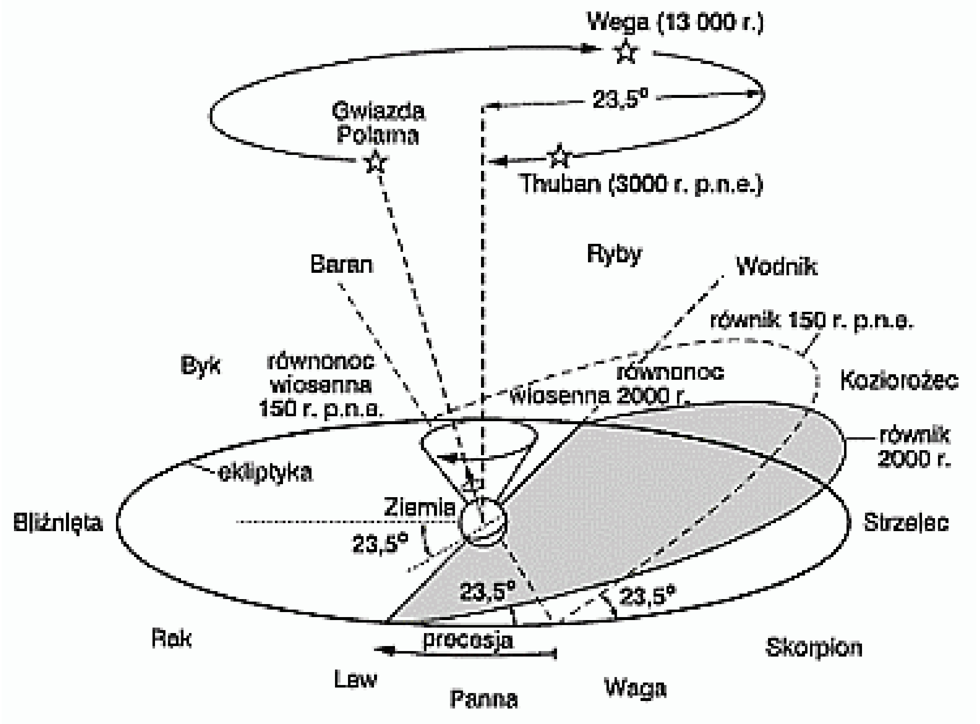


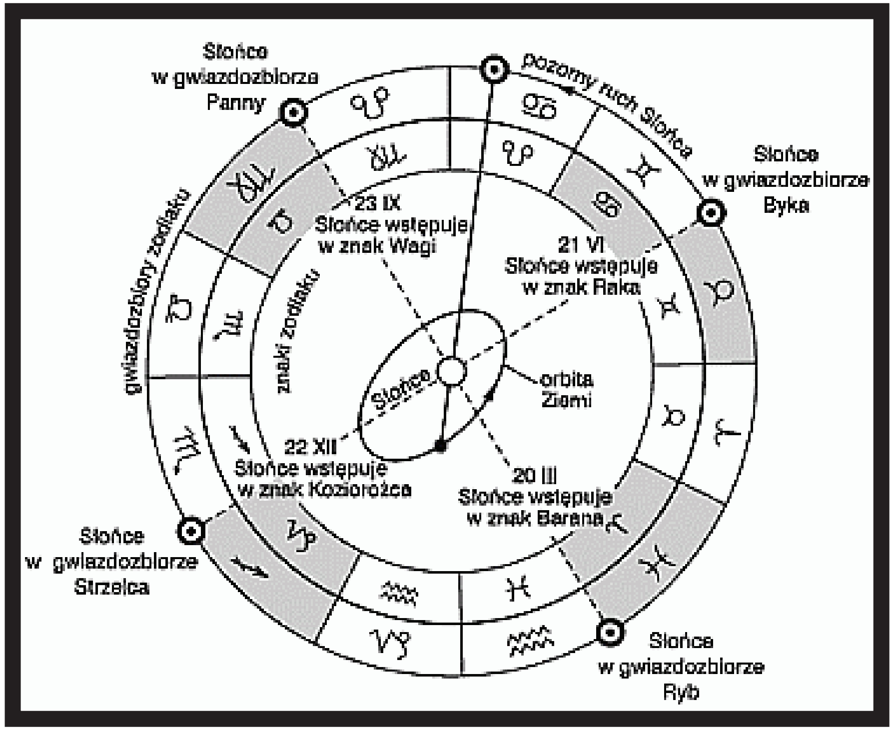
Precesja i nutacja

- Oś obrotu Ziemi w okresie ~26000 lat (rok Platona) zakreśla pobocznicę o kącie wierzchołkowym $2 \cdot 23.5^0$
- Powoduje to dryfowanie biegunów niebieskich oraz punktów Barana i Wagi, a co za tym idzie zmianę współrzędnych astronomicznych
- Dlatego podając wartość rektascensji i deklinacji podaje się też datę ich obowiązywania tzw. epokę
- Biegun N zbliża się do Gwiazdy Polarnej (min. kąt w 2102 roku 27') W czasach budowy piramid gwiazdą biegunową był Tuban
- Okres nutacji (wpływ nachylenia orbity Księżyca do ekliptyki) wynosi 18.6 roku.
  Amplituda nutacji wynosi 9" . Z tym samym okresem wędrują węzły orbity Księżyca. Jest to rok zaćmieniowy



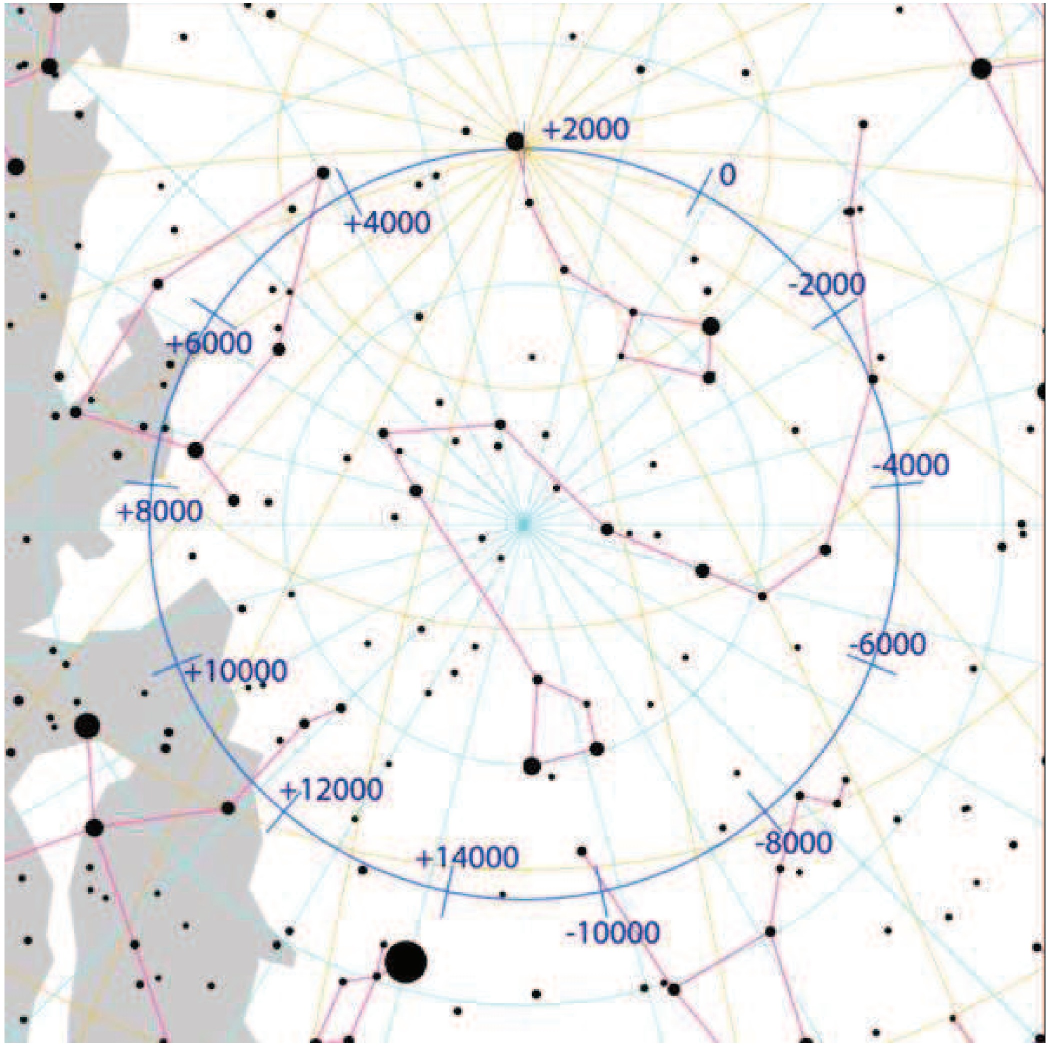
Precesja a znaki zodiaku



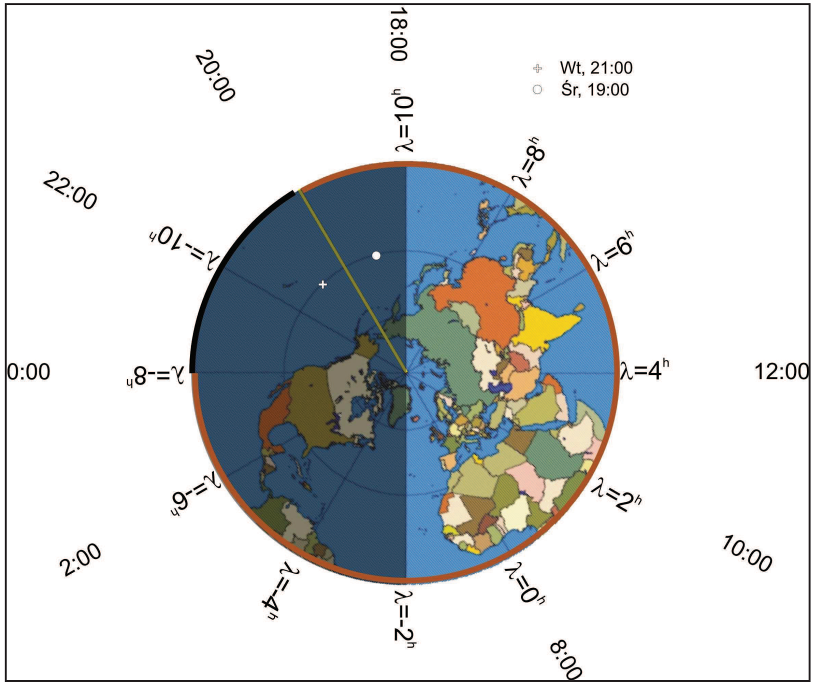


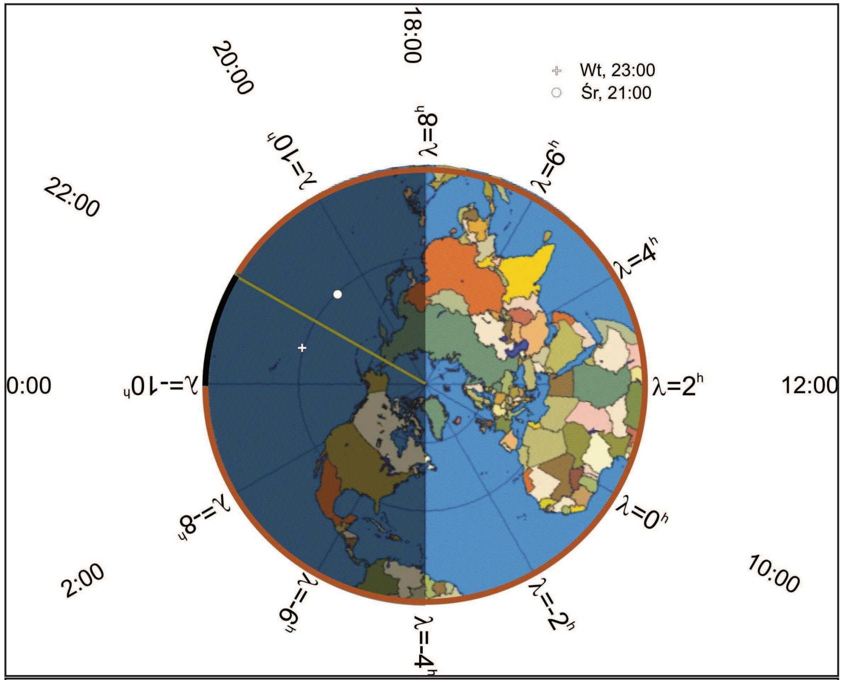
Okres precesji ~26000 lat (rok Platona). Po tym okresie punkt Barana ponownie będzie znajdował się w gwiazdozbiorze Barana

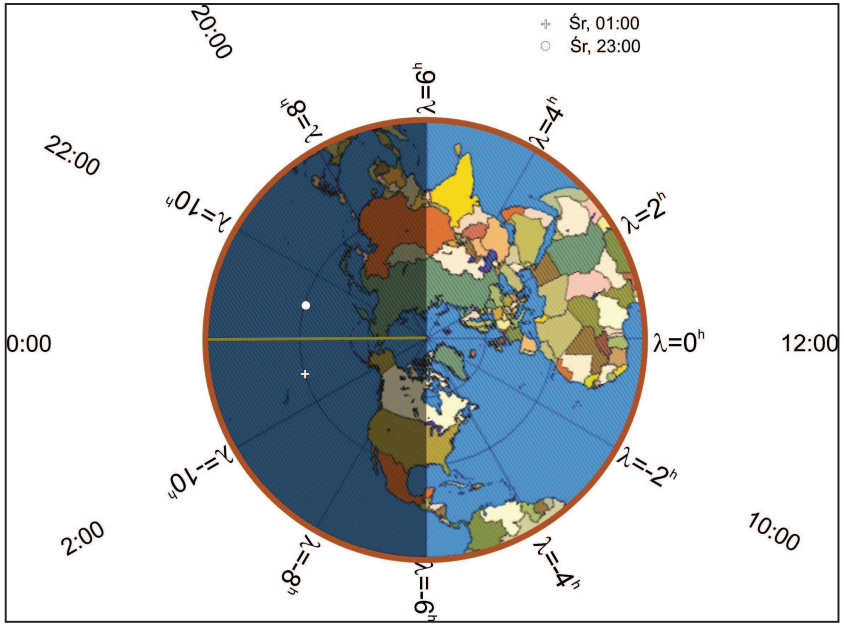
Położenie bieguna na sferze niebieskiej

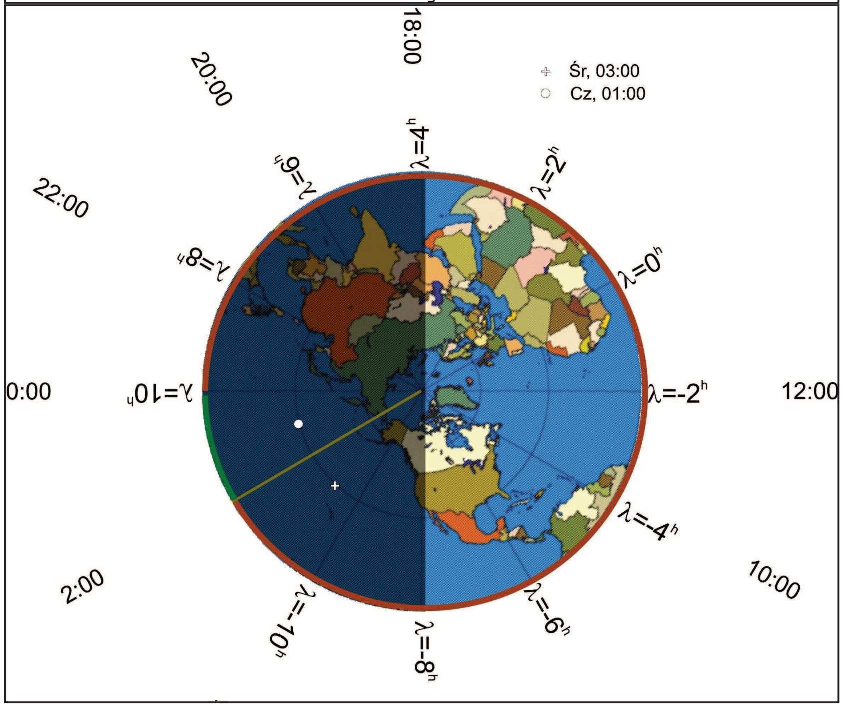


Folie dodatkowe


Wt, 21:00
Śr, 19:00
18:00
20:00
22:00
0:00
2:00
8:00
10:00
12:00
λ=10ʰ
λ=8ʰ
λ=6ʰ
λ=4ʰ
λ=2ʰ
λ=0ʰ
λ=-2ʰ
λ=-4ʰ
λ=-6ʰ
λ=-8ʰ
λ=-10ʰ


Wt, 23:00
Śr, 21:00
18:00
20:00
22:00
0:00
2:00
10:00
12:00
λ=8ʰ
λ=6ʰ
λ=4ʰ
λ=2ʰ
λ=0ʰ
λ=-2ʰ
λ=-4ʰ
λ=-6ʰ
λ=-8ʰ
λ=-10ʰ
λ=10ʰ


Śr, 01:00
Śr, 23:00
20:00
22:00
0:00
2:00
10:00
12:00
λ=6ʰ
λ=4ʰ
λ=2ʰ
λ=0ʰ
λ=-2ʰ
λ=-4ʰ
λ=-6ʰ
λ=-8ʰ
λ=-10ʰ
λ=10ʰ
λ=8ʰ


Śr, 03:00
Cz, 01:00
18:00
20:00
22:00
0:00
2:00
10:00
12:00
λ=4ʰ
λ=2ʰ
λ=0ʰ
λ=-2ʰ
λ=-4ʰ
λ=-6ʰ
λ=-8ʰ
λ=-10ʰ
λ=10ʰ
λ=8ʰ
λ=6ʰ

Ruch satelitów po orbicie

Aby poruszać się po orbicie kołowej ciało musi mieć prędkość v taką, aby siła grawitacji $\mathbf{F_g}$ była równa sile odśrodkowej $\mathbf{F_o}$

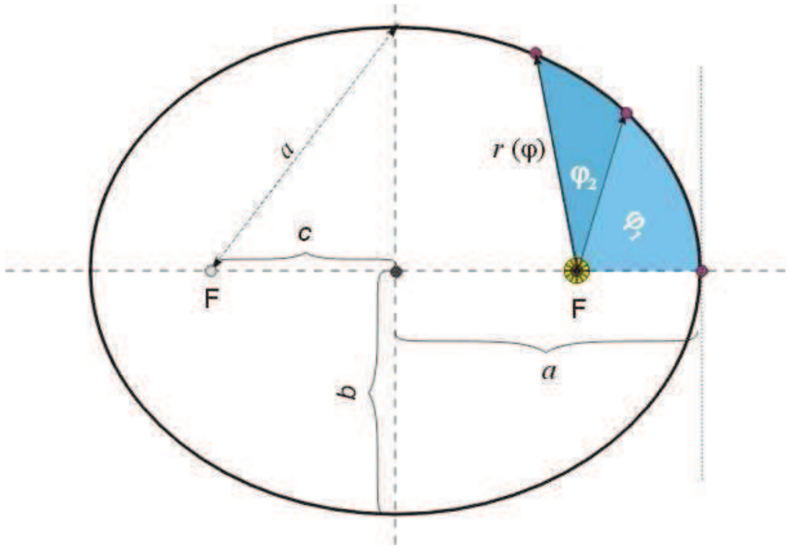
$$F_g = F_o \Rightarrow G\frac{Mm}{R^2} = \frac{mV^2}{R} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

G – stała grawitacji

Jeśli za R podstawić promień planety to prędkość **V** jest to tak zwana pierwsza prędkość kosmiczna.

Ciało na orbicie o promieniu R w ciągu jednego obiegu T pokonuje drogę $S=2\pi R$. Ponieważ jednocześnie $S=V \cdot T$ to zmieniając promień orbity można ustalić pożądany okres obiegu.

Tak zwane satelity geostacjonarne obiegają Ziemię w czasie jednej doby w płaszczyźnie równika więc zachowują stałą pozycję względem powierzchni Ziemi.

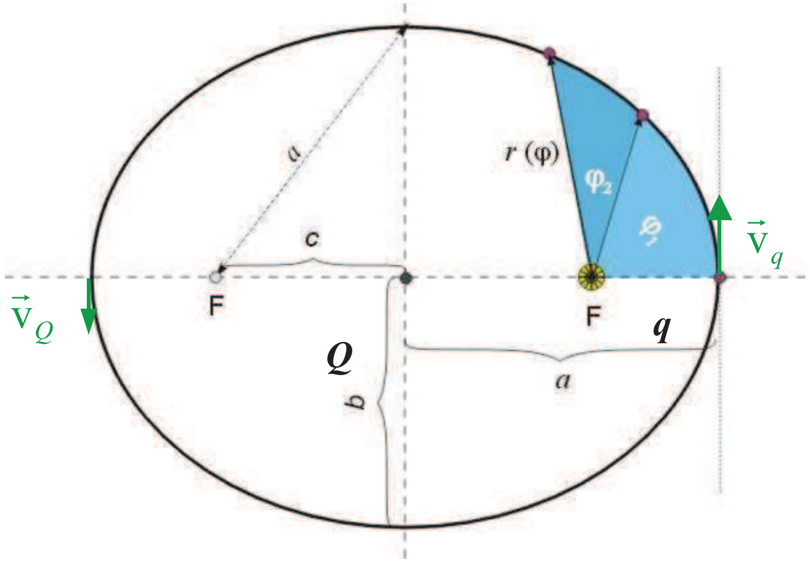


Zwróć uwagę, że w perycentrum (q) i apocentrum (Q) prędkość jest prostopadła do promienia wodzącego. Można więc w tych punktach obliczyć bez wyższej matematyki moment pędu i energię satelity. Obie wielkości są zachowywane w trakcie ruchu.

$$\frac{m v^2}{2} - G\frac{Mm}{r} = const \qquad m v_q q = m v_Q Q$$

Pozwala to wyliczyć Q jeśli dane jest q i v_q

Ruch satelitów



e - mimosród

$$r(\varphi)=\frac{p}{1+e\cos\varphi}$$

e=0 – okrąg
0<e<1 – elipsa
e=1 – parabola
e>1 – hiperbola

$$q+Q=2a$$

$$q=\frac{p}{1+e}\qquad Q=\frac{p}{1-e}\qquad \frac{q}{Q}=\frac{1-e}{1+e}$$

$$\frac{v_q^2}{2}-G\frac{M}{q}=\frac{v_Q^2}{2}-G\frac{M}{Q}$$

zasada zachowania energii

$$v_q\, q = v_Q\, Q$$

zasada zachowania momentu pędu

$$\frac{v_q^2}{2}-G\frac{M}{q}=\frac{v_q^2 q^2}{2Q^2}-G\frac{M}{Q}$$

$$\frac{v_q^2}{2}\left(1-\frac{q^2}{Q^2}\right)=G\frac{M}{q}\left(1-\frac{q}{Q}\right)$$

$$\frac{v_q^2}{2}\left(1+\frac{1-e}{1+e}\right)=G\frac{M}{q}$$

$$\boxed{v_q^2=G\frac{M}{q}(1+e)}$$

jeśli $q=R_\oplus$ ⇨

$$\boxed{v_q^2=G\frac{M_\oplus}{R_\oplus}(1+e)}$$

$e=0 \Rightarrow v_q=(GM_\oplus/R_\oplus)^{1/2}=v_I$

$e=1 \Rightarrow v=(2GM_\oplus/R_\oplus)^{1/2}=\sqrt{2}\ v_I=v_{II}$

$$e=\left(v_q/v_I\right)^2-1$$

jeśli $v_q<v_I$ to Q i q zamieniają się rolami.

bo –1<e≤0 oznacza zmianę fazy o 180° *mamy*

$1+|e|\cos(180+\varphi)$

Ciało spada na Ziemię!

$$q=R_\oplus+h \Rightarrow \quad e=\frac{v_q^2}{v_I^2}\left(1+h/R_\oplus\right)-1$$

zauważ, że dla h=300km h/R=0.047 czyli ok. 5%

Ruch satelitów

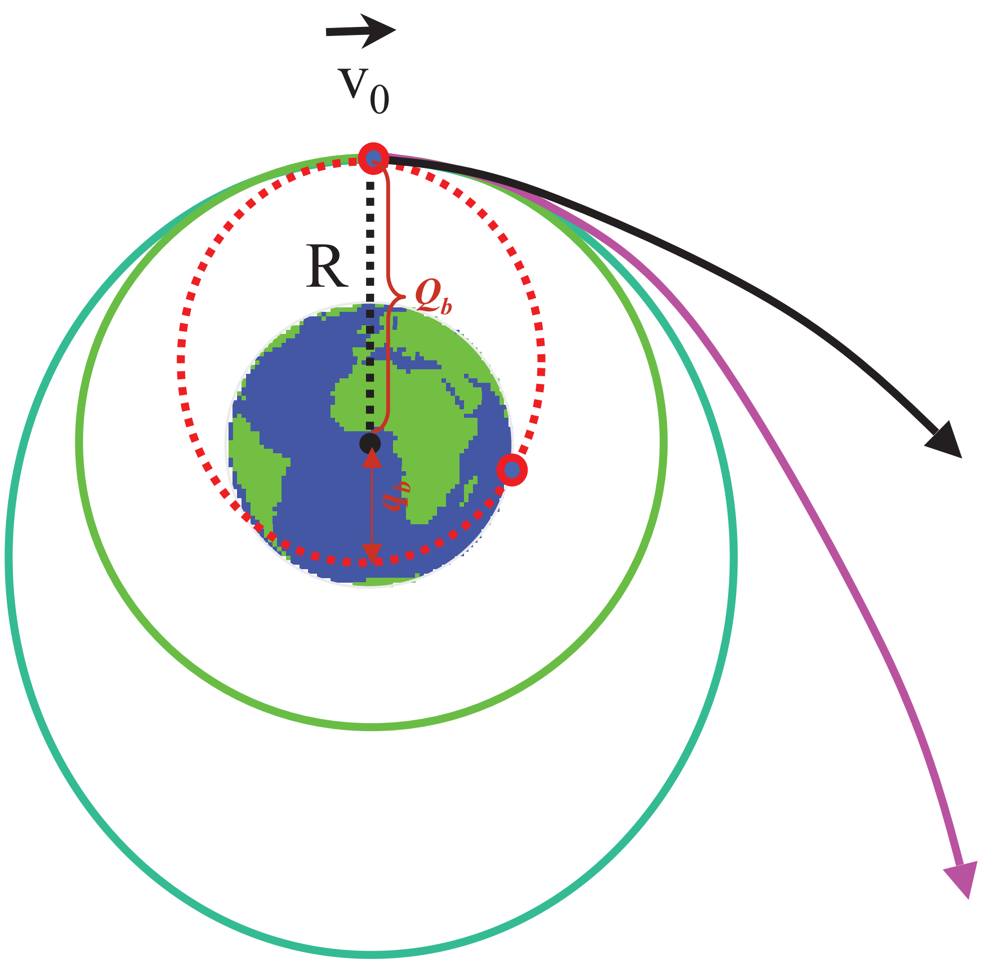
$V_I=(GM_\oplus/R_\oplus)^{1/2}$ I prędkość kosmiczna

$V_{II}=(2GM_\oplus/R_\oplus)^{1/2}$ II prędkość kosmiczna

$$v_{II} = \sqrt{2}\, v_I$$

$$e = \left(\frac{v_q}{v_I}\right)^2 - 1 \quad dla\ v_0 \geq v_I$$

$$e = \left(\frac{v_Q}{v_I}\right)^2 - 1 \quad dla\ 0 < v_q \leq v_I$$



a) $V_0 = 0$ pionowy spadek

b) $0 < V_0 < V_I$ rzut ukośny

c) $V_0 = V_I$ orbita kołowa (e=0)

d) $V_I < V_0 < V_I$ orbita eliptyczna (0<e<1)

e) $V_0 = V_{II}$ parabola (e=1)

f) $V_0 > V_{II}$ hiperbola (e>1)

System satelitarny GPS

- Sieć GPS składa się z 24 satelitów umieszczonych na orbitach o wysokości nad Ziemią 20200 km.
- Czas jednego obiegu wynosi dokładnie 12 godzin gwiazdowych przez co orbity nie zmieniają swojego przestrzennego położenia.
- Satelity rozmieszczone są w sześciu równo odległych (co 60°), płaszczyznach. Nachylenie każdej orbity do równika wynosi 55°. Na każdej orbicie znajdują się co najmniej 4 obiekty satelitarne (gdy jeden zachodzi, inny wschodzi ponad lokalny horyzont). Orbity są tego typu, że konstelacja satelitarna zabezpiecza użytkownikowi systemu widoczność od pięciu do ośmiu satelitów z każdego miejsca na Ziemi.
- Każdy z satelitów wyposażony jest w zegar atomowy, generujący częstotliwość i lokalną skalę czasu.

- System kontrolowany jest przez sieć stacji naziemnych rozmieszczonych na całym świecie. Macierzysta stacja kontrolna znajduje się w bazie wojskowej Schriever Air Force koło Colorado Springs.
- Stacje kontrolne odbierają sygnały od satelitów, wyznaczają ich pozycję orbitalną i poprawki do zegarów znajdujących się na każdym z satelitów.
- Główną rolą macierzystej stacji jest nadawanie do satelity depeszy zawierającej informacje o jego pozycji w danym momencie czasu, poprawki zegarowe oraz inne dane jak np. stan atmosfery, poprawki relatywistyczne itp. Depesza jest przez satelitę retransmitowana do uzytkowników systemu.

System satelitarny GPS

Zasada pomiaru

- Struktura sygnału GPS umożliwia odbiornikowi wyznaczenie czasu, jaki upłynął od momentu wysłania sygnału przez satelitę do momentu odbioru i określenie w ten sposób położenia s satelity w momencie nadawania sygnału: $\mathbf{s} = \mathbf{c} \times \mathbf{t}$, (gdzie **s** - droga sygnału, **c** - prędkość światła, **t** - czas po jakim sygnał z satelity dociera do odbiornika).
- Dane nawigacyjne służą odbiornikowi do określenia położenia satelity w momencie nadawania sygnału. Odległości do satelitów i ich współrzędne są wystarczającymi danymi do wyznaczenia położenia odbiornika.
- Do wyznaczenia trójwymiarowej pozycji użytkownika konieczne jest namierzenie czterech satelitów, do wyznaczenia pozycji kątowej (długość, szerokość geograficzna) wystarczy jednoczesne namierzenie trzech satelitów. Trójwymiarowa pozycja zawiera, oprócz danych kątowych, wysokość na jakiej znajduje się odbiornik w stosunku do określonej elipsoidy odniesienia. Istnieje możliwość wyboru elipsoidy odniesienia.

Pomiar czasu przebiegu sygnału kodowanego

Oby określić czas propagacji sygnału użytkownik musi dysponować kopią kodu jaki nadaje satelita. Kod odbierany jest porównywany z kodem jaki ma użytkownik. Sygnałem jest fala elektromagnetyczna z nałożoną na nią kodem zero-jedynkowym. Podobny kod odtwarzany jest przez odbiornik. Pomiar polega na zsynchronizowaniu fali wytworzonej przez odbiornik z falą odebraną od satelity. Długość przesunięcia kodów daje informację o czasie propagacji sygnału. Pomiar odległości metodą przesunięcia kodów daje błąd pozycji około 3m w przypadku kodu C/A i około 0.3m dla kodu P.

Przykłady obliczeń

03-06-2008 12:00 UT: $\eta = +1^m50^s$.

O której godzinie czasu urzędowego 03-06-2008 górowało Słońce w Hadze ($\lambda=+0^h19^m30^s$)?

Słońce góruje czyli $t_\odot=0^h$ a więc $T_\odot=12^h$ $\quad \eta = T_\odot - T_{\bar{\odot}} \quad T_{\bar{\odot}} = T_\odot - \eta \quad T_{\bar{\odot}} = 12^h - 1^m50^s = 11^h58^m10^s$

$UT = T_{\bar{\odot}} - \lambda$ czas urzędowy w Hadze jest taki jak w Polsce tj. w lecie CWE=UT+2^h

$UT = 11^h58^m10^s - 0^h19^m30^s = 11^h57^m70^s - 0^h19^m30^s = 11^h38^m40^s$;

CWE=UT+2^h → **CWE=$13^h38^m40^s$** czyli południe prawdziwe jest o 13:38:40

Jaki był kąt godzinny Słońca w Hadze 03-06-2008 o 12:00 czasu urzędowego?

CWE=12^h→UT=10^h $\quad T_{\bar{\odot}} = UT + \lambda = 10^h19^m30^s \quad T_\odot = T_{\bar{\odot}} + \eta = 10^h19^m30^s + 1^m50^s = 10^h21^m20^s$

$T_\odot<12^h$ a $0^h \le t < 24^h$. Jeśli $t<0$ to należy dodać 24^h. Tak więc $T_\odot - 12^h + 24^h = T_\odot + 12^h$
stąd $t_\odot = T_\odot + 12^h = 22^h21^m25^s$.

21 XI 2007 o 10:44 CSE zaobserwowano Słońce w momencie górowania na wysokości $h_{gS}=19°33'$.
Obliczyć współrzędne geograficzne miejscowości. ($\delta_\odot = -20°0'$ $\eta = +14^m0^s$)

$T_\odot=12^h$; UT=9:44 $\quad T_{\bar{\odot}} = T_\odot - \eta \quad T_{\bar{\odot}} = 12^h - 14^m0^s = 11^h46^m0^s$

$T_{\bar{\odot}} = UT + \lambda \quad \lambda = T_{\bar{\odot}} - UT = 11^h46^m - 9^h44^m = 2^h2^m$

$\boxed{\lambda=+2^h2^m=30°30'\ E}$

$h_{gS} = 90° - \varphi + \delta\ ;\ \varphi = 90° + \delta - h_{gS} = 90°-20°-19°33' = +50°27'$

$\boxed{\varphi=50°27'N}$

Przykłady obliczeń

Dwie gwiazdy mają rektascensję równą odpowiednio $\alpha_1=3^h 47^m 22^s$ i $\alpha_2=15^h 35^m 15^s$ dla gwiazdy 1 zmierzono ką godzinny $t_1=2^h15^m$. Ile wynosi kąt godzinny drugiej gwiazdy?

$t+\alpha=T_*$ stąd $t_1+\alpha_1-\alpha_2= t_2=14^h27^m7^s$

Jaki będzie czas gwiazdowy o północy czasu urzędowego 07-05-2008 w Krakowie ($\lambda=1^h 20^m$)?

CWE=24:00; UT=22:00 $T_{\bar{\odot}} = \mathrm{UT}+\lambda = 23^h 20^m$ $\quad T_\odot = T_{\bar{\odot}} + \eta \quad t_\odot = T_\odot \pm 12^h \quad t+\alpha = T_*$

Jakie są $\alpha_\odot$ i η o 22:00 UT 06-05-2008? Potrzebny jest kalendarz astronomiczny

00:00 UT	$\alpha_\odot$	$\delta_\odot$	η
06-05-2008	$2^h53^m31^s$	$+16°35.0'$	$+3^m23^s$
07-05-2008	$2^h57^m23^s$	$+16°51.6'$	$+3^m27^s$

$\Rightarrow$

06-05-2008 22:00 UT
$\alpha_\odot = 2^h57^m16.56^s$
$\eta = +\,3^m\ 26.89^s$

$$T_\odot = T_{\bar{\odot}} + \eta = 23^h20^m00^s + 3^m26.89^s = 23^h20^m26.9^s \qquad t_\odot = T_\odot - 12^h = 11^h20^m26.9^s$$

$$T_* = t_\odot + \alpha_\odot = 11^h20^m26.9^s + 2^h57^m16.6^s = 14^h17^m43.5^s$$

Zwróć uwagę na to, że $T_*(\lambda)=T_*(\lambda=0)+\lambda$, czyli wystarczy znać czas gwiazdowy na jednym południku by znać go dla dowolnego miejsca na Ziemi!!

Jeśli Państwo uważnie czytali "drobne druczki" to pewnie by wymyślili, że

$\alpha_\odot = 18^h41^m50^s.54841 + 8640184^s.812866\mathcal{T} + 0^s.093104\mathcal{T}^2 - 6^s.210\cdot10\text{-}6\mathcal{T}^3$ gdzie $\mathcal{T}=(JD-JD_{2000})/36525$

$\eta = 7.7^m \sin(l_\odot + 78°) + 9.5^m \sin(2l_\odot)$ gdzie $l_\odot$ długość ekliptyczna Słońca

Wystarczy obliczyć czas gwiazdowy na południku Greenwich o 00:UT (*JD* będzie połówkowe!)
Następnie wyrazić 22^h czasu słonecznego w godzinach "gwiazdowych"