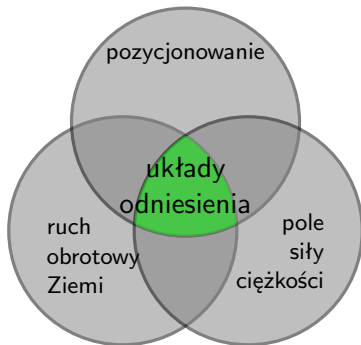


Ruch obrotowy Ziemi

ostatnia aktualizacja
9 czerwca 2015

Znaczenie ruchu obrotowego Ziemi

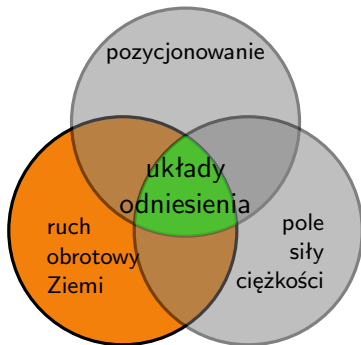
Ruch obrotowy
Ziemi



Rysunek: Trzy filary GGOS — Global Geodetic Observing System

Znaczenie ruchu obrotowego Ziemi

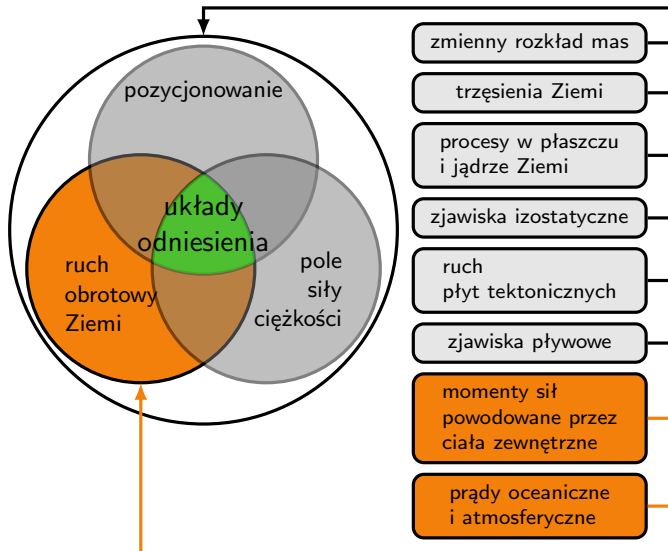
Ruch obrotowy
Ziemi



Rysunek: Trzy filary GGOS — Global Geodetic Observing System

Co wpływa na elementy orientacji Ziemi

Ruch obrotowy
Ziemi



Dowód na ruch obrotowy Ziemi

- spłaszczenie Ziemi
- siła Coriolisa
- Wahadło Foucault (1855)
zmiana płaszczyzny wahania o kąt $2\pi \sin \varphi / \text{sd}$
- aberracja dobowa
- laser pierścieniowy

Znajomość **elementów orientacji Ziemi**

(ang. EOP – *Earth Orientations Parameters*)

jest niezbędna do wzajemnej transformacji pomiędzy

ziemskimi (ang. TRF — *Terrestrial Reference Frames*)

i **niebieskimi** (ang. CRF — *Celestial Reference Frames*) układami odniesienia

$$[CRF] = (P)(N)(S)(PM)[TRF]$$

5 parametrów — nadwymiarowość

- położenie bieguna niebieskiego
model precesyjno-nutacyjny – X, Y
- czas UT1
(lub ERA – *Earth Rotation Angle* lub LOD *Length of Day*)
- położenie bieguna ziemskiego
współrzędne chwilowego bieguna – x, y

Podstawy fizyczne

Równanie Eulera

Zasada zachowania momentu pędu
powiązanie zmian momentu pędu (L) z zewnętrznymi
momentami sił (τ) działającymi na Ziemię

$$\frac{\partial \vec{L}(t)}{\partial t} = \vec{\tau}(t)$$

Podstawy fizyczne

Równanie Eulera

Zasada zachowania momentu pędu
powiązanie zmian momentu pędu (L) z zewnętrznymi momentami sił (τ) działającymi na Ziemię w układzie związanym z Ziemią (nieinercjalnym)

$$\frac{\partial \vec{L}(t)}{\partial t} + \vec{\omega}(t) \times \vec{L}(t) = \vec{\tau}(t)$$

Podstawy fizyczne

Równanie Eulera

Zasada zachowania momentu pędu
powiązanie zmian momentu pędu (L) z zewnętrznymi momentami sił (τ) działającymi na Ziemię w układzie związanym z Ziemią (nieinercjalnym)

$$\frac{\partial \vec{L}(t)}{\partial t} + \vec{\omega}(t) \times \vec{L}(t) = \vec{\tau}(t)$$

$$\vec{L}(t) = \vec{h}(t) + \mathbf{I}(t) \cdot \vec{\omega}(t)$$

Podstawy fizyczne

Równanie Eulera

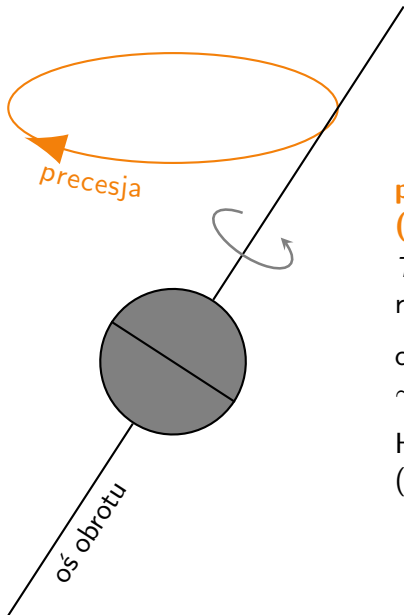
Zasada zachowania momentu pędu
powiązanie zmian momentu pędu (L) z zewnętrznymi momentami sił (τ) działającymi na Ziemię w układzie związanym z Ziemią (nieinercjalnym)

$$\frac{\partial \vec{L}(t)}{\partial t} + \vec{\omega}(t) \times \vec{L}(t) = \vec{\tau}(t)$$

$$\vec{L}(t) = \vec{h}(t) + \mathbf{I}(t) \cdot \vec{\omega}(t)$$

Równanie Liouville'a

$$\frac{\partial}{\partial t} [\vec{h}(t) + \mathbf{I}(t) \cdot \vec{\omega}(t)] + \vec{\omega}(t) \times [\vec{h}(t) + \mathbf{I}(t) \cdot \vec{\omega}(t)] = \vec{\tau}(t)$$

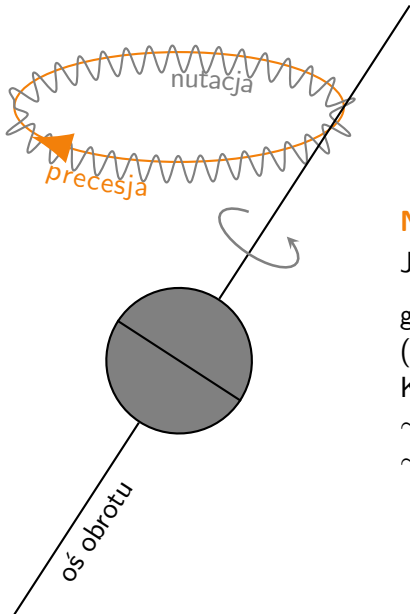


precesja
(łac: *wyprzedzanie*)

$T = 25\,800$ lat
rok Platona

cofanie punktu Barana
 $\sim 50''$ /rok

Hipparchos
(190 p.n.e. — 120 p.n.e.)



Nutacja

James Bradley 1728

główny okres 18,6 lat
(tak jak precesja węzłów
Księżyca)

~ 17" w długości

~ 9" w nachyleniu

W przypadku braku sił zewnętrznych swobodny ruch bieguny (prosty) — okres Eulera

$$\sigma = \left(\frac{C - A}{A} \right) \Omega$$

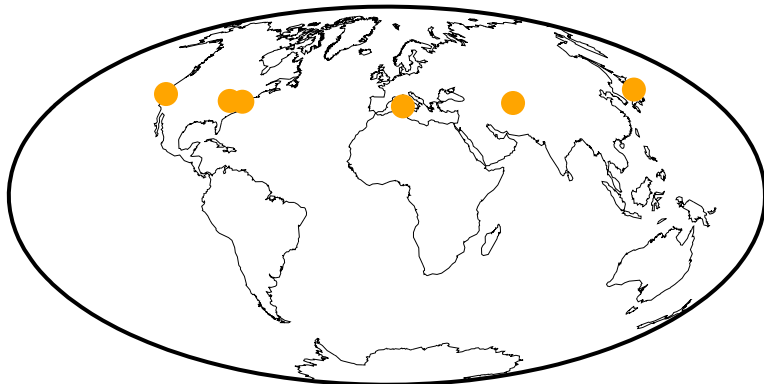
$T = 305$ dni

Wartość zaobserwowana — Seth Carlo Chandler (1891) –
14 miesięcy

ILS

International Latitude Service – 1899

Ruch obrotowy
Ziemi

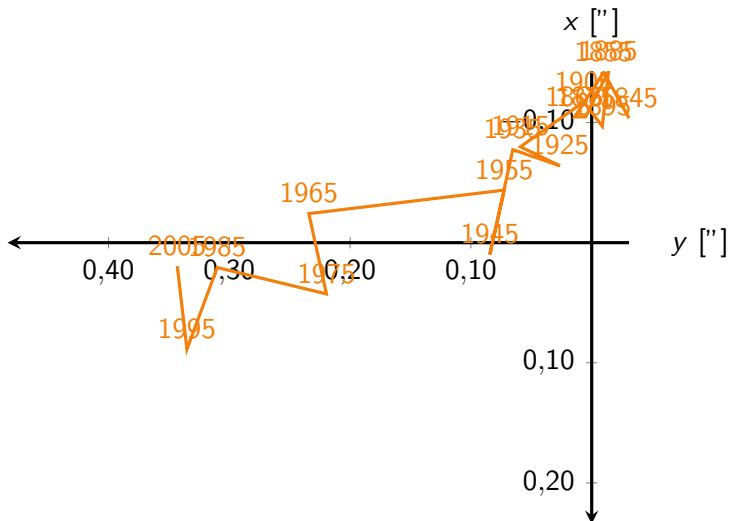


	φ	λ
Gaithersburg	39,14	-77,20
Cincinnati	39,14	-84,42
Ukiah	39,14	-123,21
Mizusawa	39,14	141,13
Kitab	39,13	66,88
Carloforte	39,14	8,31

Ruch bieguna

ILS \rightarrow IERS (*International Earth Reference Frames and Rotation Service*)

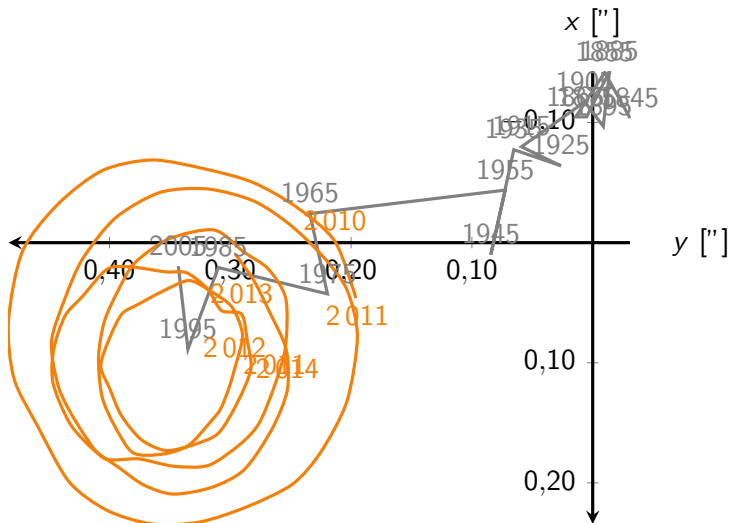
Ruch obrotowy
Ziemi



Ruch bieguna

ILS → IERS (*International Earth Reference Frames and Rotation Service*)

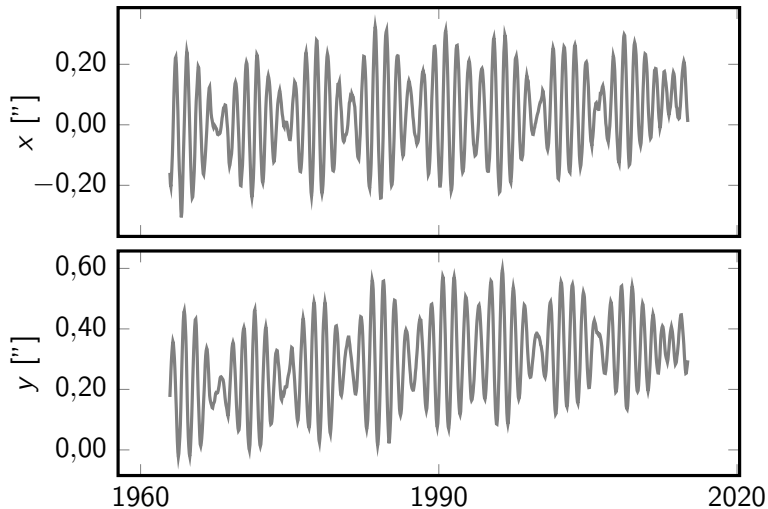
Ruch obrotowy
Ziemi



Ruch bieguny

składowe

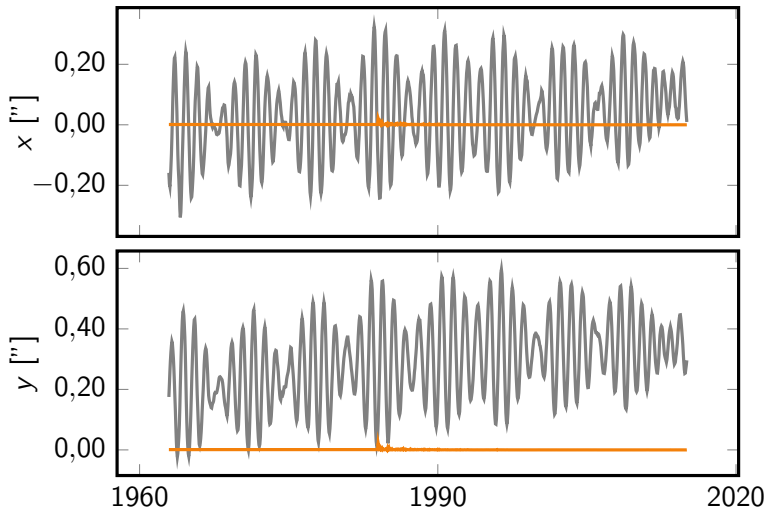
Ruch obrotowy
Ziemi



Ruch bieguny

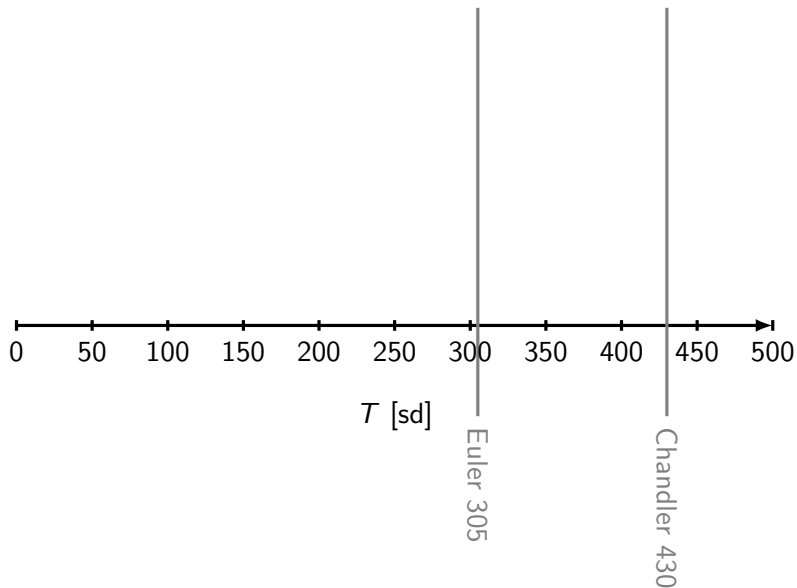
składowe

Ruch obrotowy
Ziemi



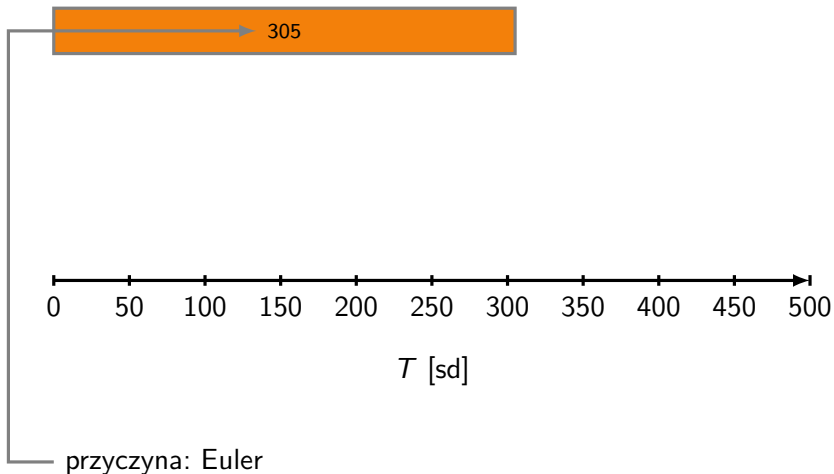
Dlaczego obliczenia Eulera różnią się od wyznaczenia Chandlera?

Ruch obrotowy
Ziemi

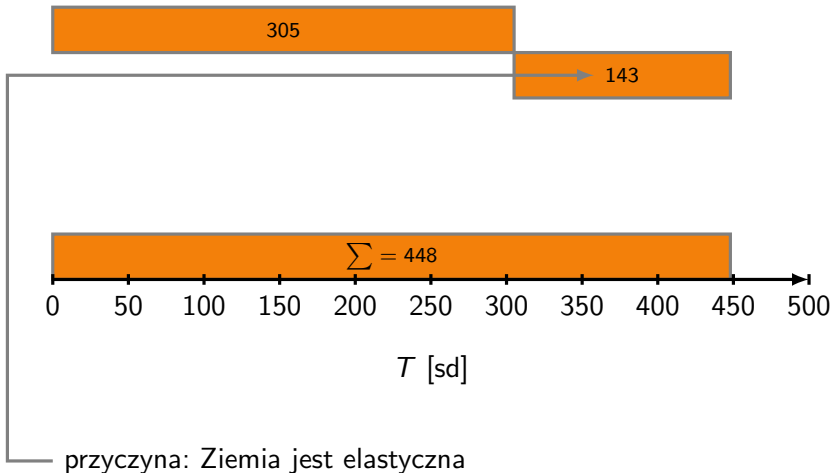


Dlaczego obliczenia Eulera różnią się od wyznaczenie Chandlera?

Ruch obrotowy
Ziemi

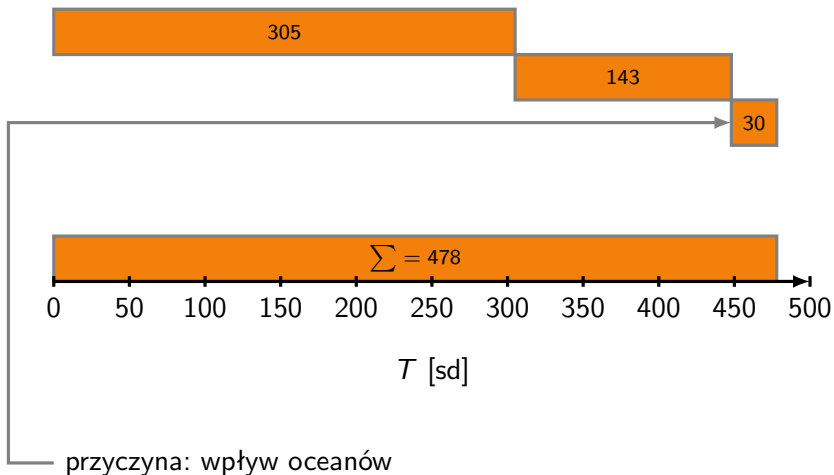


Dlaczego obliczenia Eulera różnią się od wyznaczenie Chandlera?



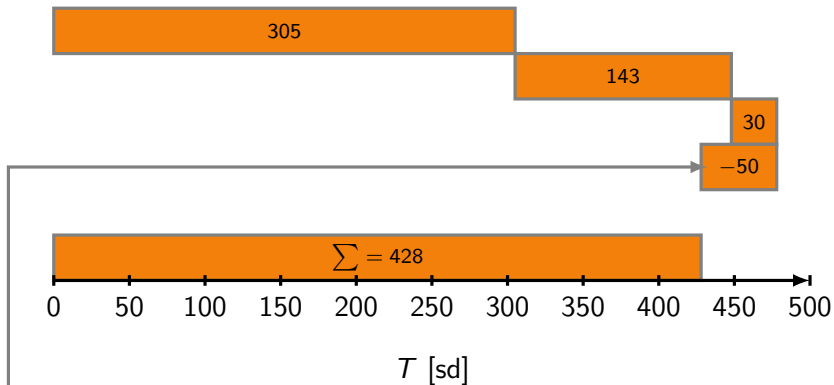
Dlaczego obliczenia Eulera różnią się od wyznaczenia Chandlera?

Ruch obrotowy
Ziemi



Dlaczego obliczenia Eulera różnią się od wyznaczenia Chandlera?

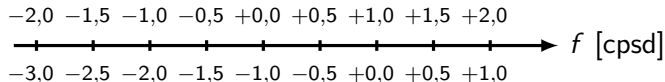
Ruch obrotowy
Ziemi



przyczyna: płynne jądro Ziemi

Rozróżnienie ruchu bieguna od nutacji

← CRF →



← TRF →

$$\sigma_c = \sigma_t + \Omega$$

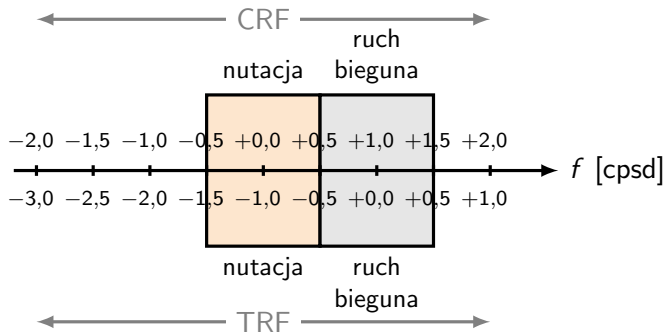
$\sigma > 0$ ruch prosty (*prograde*)

$\sigma < 0$ ruch wsteczny (*retrograde*)

Rozróżnienie ruchu bieguna od nutacji

1980

Ruch obrotowy
Ziemi



$$\sigma_c = \sigma_t + \Omega$$

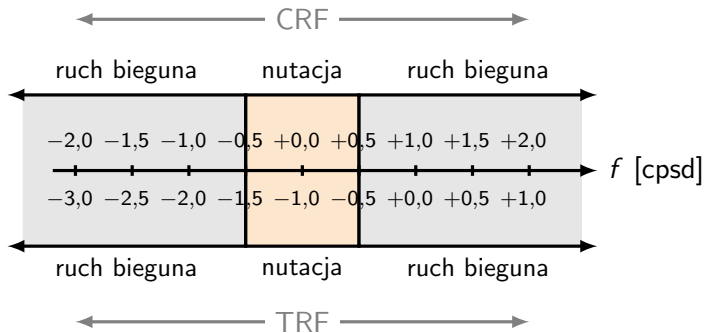
$\sigma > 0$ ruch prosty (*prograde*)

$\sigma < 0$ ruch wsteczny (*retrograde*)

Rozróżnienie ruchu bieguna od nutacji

2000

Ruch obrotowy
Ziemi



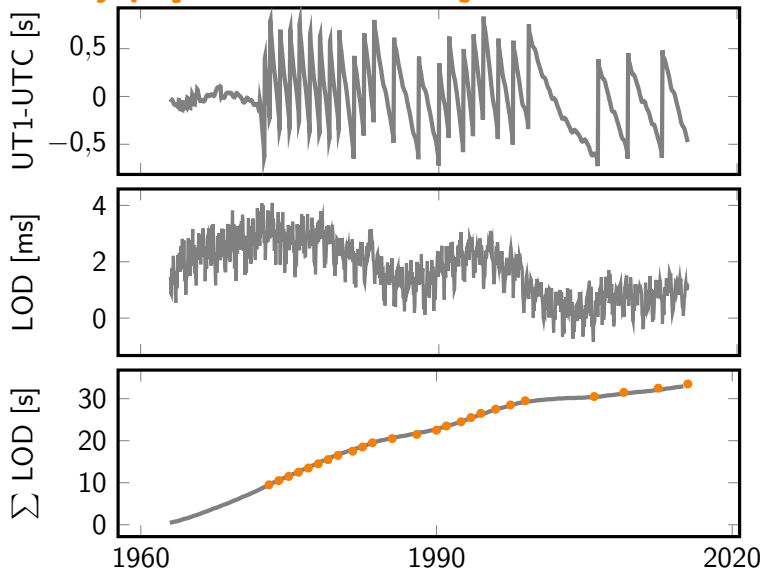
$$\sigma_c = \sigma_t + \Omega$$

$\sigma > 0$ ruch prosty (*prograde*)

$\sigma < 0$ ruch wsteczny (*retrograde*)

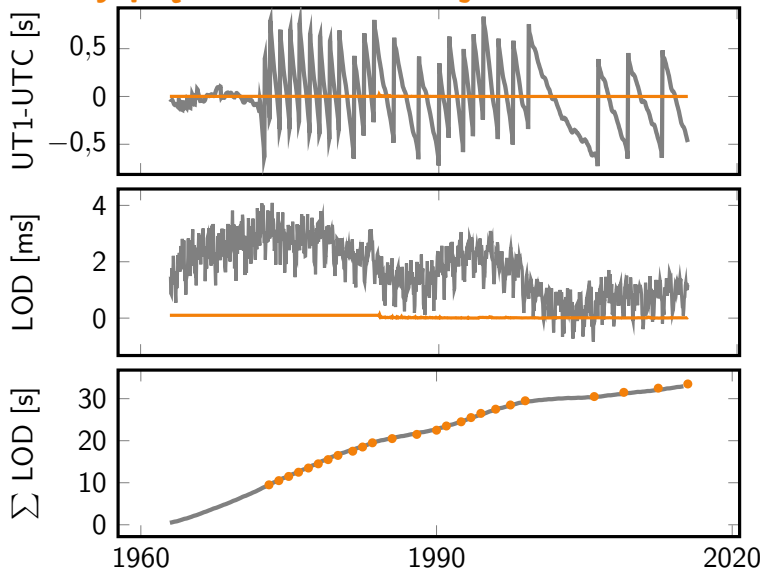
Zmiany prędkości obrotowej Ziemi

Ruch obrotowy
Ziemi



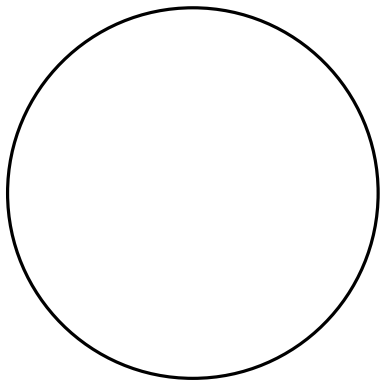
Zmiany prędkości obrotowej Ziemi

Ruch obrotowy
Ziemi



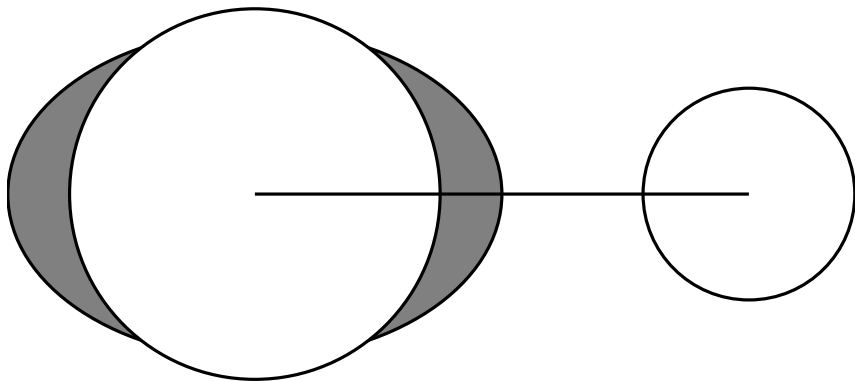
Wiekowe zwalnianie

Ruch obrotowy
Ziemi



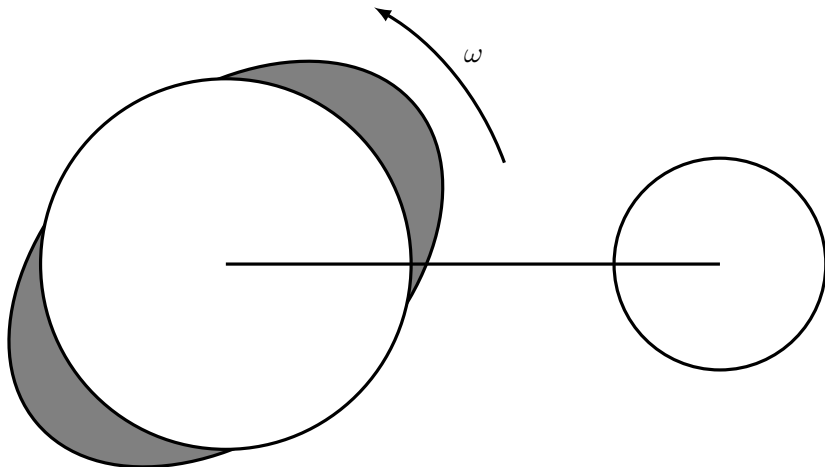
Wiekowe zwalnianie

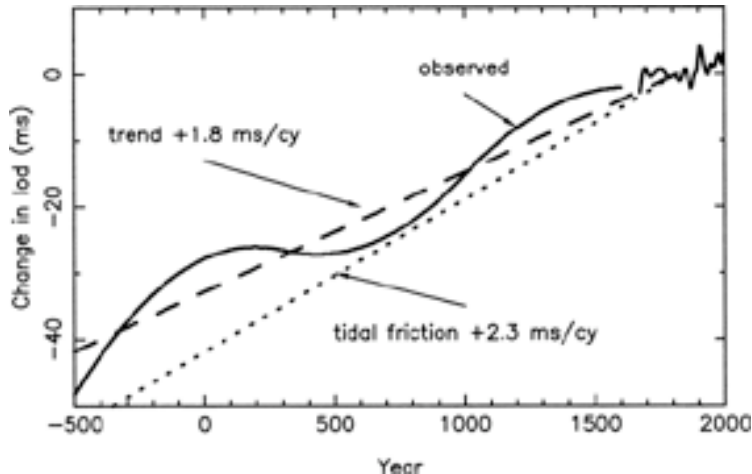
Ruch obrotowy
Ziemi



Wiekowe zwalnianie

Ruch obrotowy
Ziemi





R. Gross (2009). „Earth Rotation Variations – Long Period”.
W: T. Herring i G. Schubert. *Geodesy. Treatise on
geophysics*. Elsevier. ISBN: 9780444534606. URL:
<https://books.google.pl/books?id=Mc55PwAACAAJ>

Wyznaczanie EOP


Ruch obrotowy
Ziemi

- VLBI
- laser pierścieniowy (*ring laser*)
- SLR, GNSS, DORIS



Rysunek:

<http://www.wettzell.ifag.de/LKREISEL/G/G-ring.jpg>

 Gross, R. (2009). „Earth Rotation Variations – Long Period”. W: Herring, T. i G. Schubert. *Geodesy. Treatise on geophysics*. Elsevier.

 Plag, H.-P. i M. Pearlman (2009). *Global Geodetic Observing System*.

Bonus: Na zaliczenie wykładów

Uwaga: proszę o krótkie i spójne odpowiedzi.

- 1** Dokonaj podziału czterech znanych Ci zjawisk geodynamicznych powodujących zmiany współrzędnych punktów fizycznej powierzchni Ziemi ze względu na skalę, czas trwania i amplitudę¹.
- 2** Podaj trzy zjawiska na Ziemi powodowane przez potencjał pływowy ciał zewnętrznych.
- 3** Przyspieszenie siły grawitacji pochodzące od Słońca jest znaczenie większe od tej wywoływanej przez Księżyc. Jak to jest w przypadku zjawisk pływowych?
- 4** Co to jest geocentryczna i topocentryczna odległość zenitalna ciała niebieskiego?

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- 5 Naszkicuj wektory sił pływowych działających na Ziemię zakładając tylko obecność jednego ciała zewnętrznego (również zaznacz kierunek do tego ciała). W jakich miejscach te wartości będą największe, a gdzie najmniejsze, a gdzie zerowe? Czy to pole sił ma jakieś osie symetrii?
- 6 Pierwszy wyraz rozwinięcia potencjału pływowego można przedstawić

$$V_2 = \frac{GmR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right).$$

Wyjaśnij oznaczenia. Na podstawie powyższego wyrażenia przedstaw wzory na

- pływową zmianę przyspieszenia siły ciężkości,
- pływowe odchylenie linii pionu,
- pływową zmianę wysokości powierzchni ekwipotencjalnej.

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- 7 Na czym polega podział Laplace'a w zjawiskach pływowych?
- 8 Ile czasu trwają pływy dobowe?
- 9 Wzór Laplace'a wygląda następująco

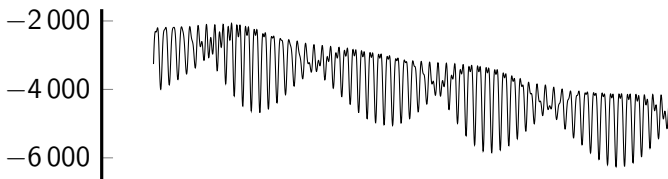
$$V_2 = \frac{3}{4} \frac{GmR^2}{r^3} \cdot \left[3(\sin^2 \varphi - \frac{1}{3})(\sin^2 \delta - \frac{1}{3}) + \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2t \right].$$

Jaki typ pływów (dobowe, półdobowe, długookresowe) występuje na

- równiku,
- biegunie,
- pozostałych szerokościach geograficznych?

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- 10 Na rysunku poniżej przedstawione jest około dwa miesiące rejestracji pływowych grawimetrem sprężynowym



Wyjaśnij

- skąd pochodzą wyraźne liniowe zmiany wartości przyspieszenia siły ciężkości,
- czy charakterystyczny i dominujący okres dwutygodniowy zmian przyspieszenia siły ciężkości to fala pływowa.
- w jakich jednostkach (oś y) przedstawiony jest ten wykres?

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- 11 Do czego służą współczynnik grawimetryczny i klinometryczny?
- 12 Co mierzą wahadła poziome?
- 13 W jaki sposób możemy mierzyć pływowe odchylenia linii pionu?
- 14 Co to są ekstensometry i gdzie znajdują zastosowanie w geodynamice?
- 15 Dlaczego w precyzyjnych badaniach pływowych zastosowanie znajduje Metoda Najmniejszych Kwadratów, a nie metoda Fouriera?
- 16 Na czym polega zjawisko efektu pośredniego pływów oceanicznych?
- 17 Na czym polega hipoteza odwróconego barometru w przypadku atmosferycznych deformacji obciążeniowych

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- czy ta hipoteza spełnia prawo zachowania masy (wyjaśnij)?
- 18 Co to są zjawiska obciążeniowe (atmosferyczne, hydrosferyczne) – na czym polega ich mechanizm?
- 19 Jaka jest dominująca okresowość w przypadku hydrosferycznych efektów obciążeniowych — dlaczego?
- 20 Od jakiego jednego parametru zależą wartości funkcji Greena obliczone na podstawie obciążeniowych liczb Love'a?
- 21 Jakie informacje na temat rozmieszczenia mas są potrzebne w przypadku obliczania składowych horyzontalnych, a jakie w przypadku składowej wysokościowej deformacji obciążeniowych (uzasadnij)?
- 22 Na podstawie jakich informacji konstruowane są globalne modele ruchu płyt tektonicznych – wymień?

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- 23 Co oznacza akronim NNR w przypadku modeli ruchu płyt tektonicznych?
- 24 Co to jest biegun Eulera?
- 25 Ile parametrów jest potrzebnych, aby opisać ruch płyty tektonicznej? Jakie to są parametry?
- 26 Położenie bieguna obrotu płyty kontynentalnej pokrywa się z biegunem ziemskim. Jakie składowe prędkości w układzie horyzontalnym będzie miała stacja o współrzędnych φ i λ gdy prędkość ruchu płyty wynosi Ω ?

Podpowiedź:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \Omega \cdot \cos \Phi \cdot \sin(\lambda - \Lambda) \quad (1)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = \Omega \cdot [\sin \Phi - \cos(\lambda - \Lambda) \cdot \operatorname{tg} \varphi \cos \Phi] \quad (2)$$

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

- 27 Na jakiej zasadzie opiera się równanie Eulera opisujące zależność ruchu obrotowego Ziemi od wpływu ciał zewnętrznych?
- 28 Wyjaśnij oznaczenia we wzorze Eulera

$$\frac{\partial \vec{L}(t)}{\partial t} + \vec{\omega}(t) \times \vec{L}(t) = \vec{\tau}(t)$$

- 29 Dlaczego okres swobodnego ruchu bieguna Ziemi (okres Chandlera) różni się od okresu obliczonego przez Eulera (305 dni)?
- 30 Skąd pochodzą informacje dotyczące zmian długości doby
- 31 Czym się różni ruch prosty od ruchu wstecznego w zagadnieniach związanych z ruchem obrotowym Ziemi?

Bonus: Na zaliczenie wykładów (kont.)

32 Czym powodowany jest dryft bieguna ziemskiego (długookresowe zmiany położenia osi obrotu Ziemi)?

33 Równanie

$$\sigma_c = \sigma_t + \Omega \quad (3)$$

wiąże częstotliwości procesów w układzie niebieskim (c) i ziemskim (t).

- co oznacza Ω ?
- jeżeli w układzie ziemskim obserwujemy zjawisko o okresie dokładnie 1 dzień gwiazdowy i ruchu wstecznym, jaki okres zaobserwuje obserwator w układzie niebieskim?

¹nie chodzi o uczenie się na pamięć tylko sensowne przedstawienie tych efektów