

Statyczna teoria pływów

geodynamika 2014/2015

wykład 02.03.2015 i 27.04.2015 i 04.05.2015

ostatnia aktualizacja

4 maja 2015

*„...If I were asked to tell what I mean
by the Tides I should feel it exceedingly
difficult to answer the question...”
Lord Kelvin, 1882*

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

*„...If I were asked to tell what I mean
by the Tides I should feel it exceedingly
difficult to answer the question...”
Lord Kelvin, 1882*

- ~~Wszelkie efekty powodowane przez ciała zewnętrzne~~
- ~~Zjawiska powodowane przez masy ciał zewnętrznych~~
- ~~Deformacje powodowane przez ciała zewnętrzne~~
- Efekty powodowane przez **różnicowe** grawitacyjne oddziaływanie ciał zewnętrznych

ODDYCHANIE ZIEMI

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

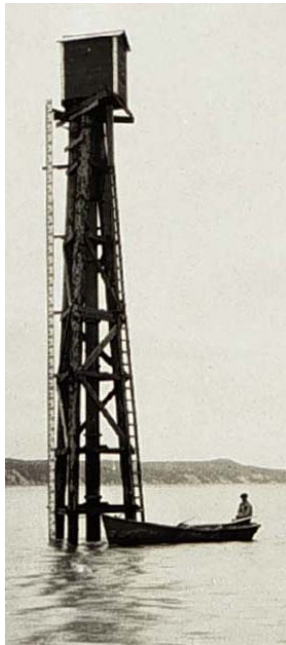
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

oceanservice.noaa.gov



homepage.oma.be/mvc

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



homepage.oma.be/mvc

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

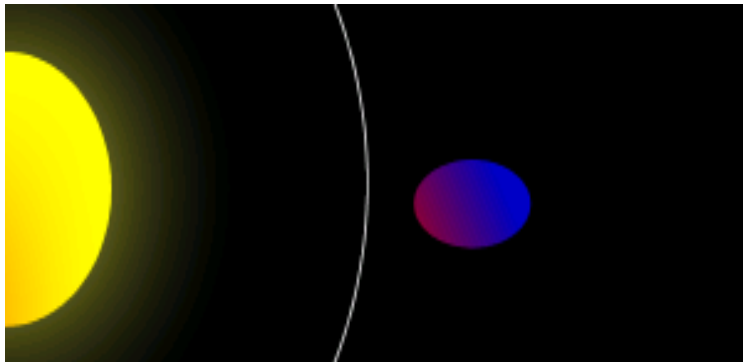
Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



pl.wikipedia.org

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

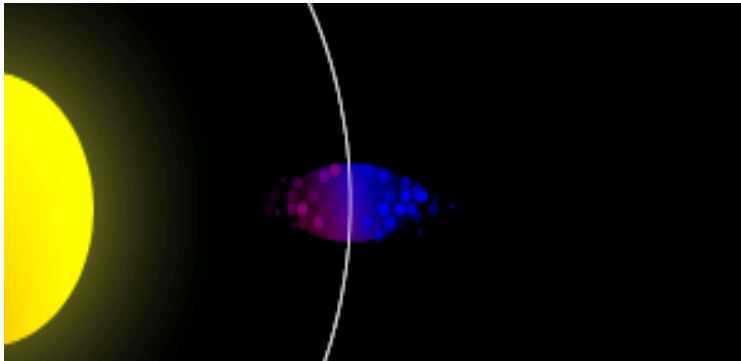
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



pl.wikipedia.org

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

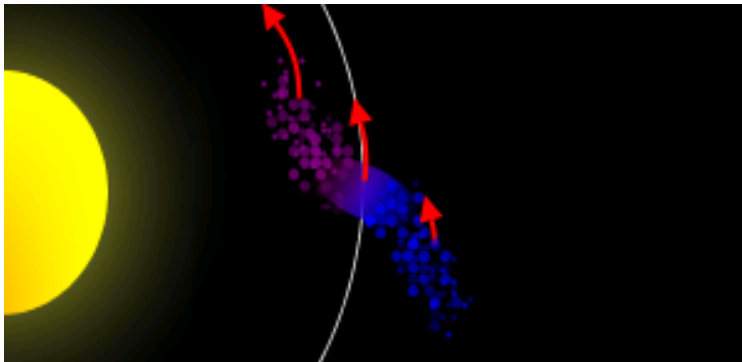
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



pl.wikipedia.org

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

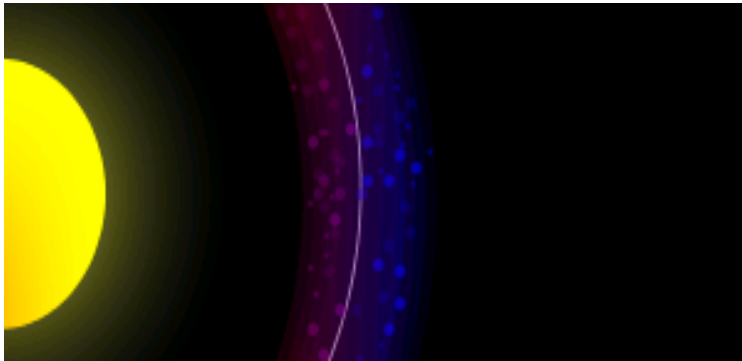
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



pl.wikipedia.org

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

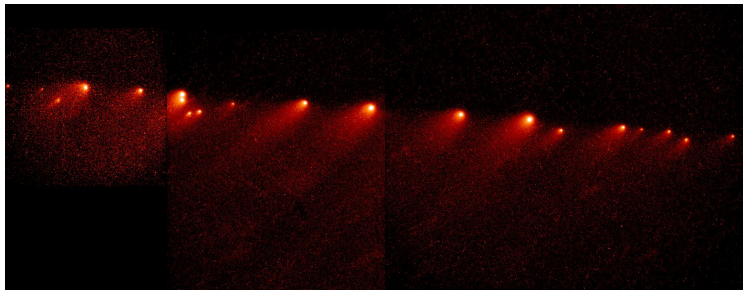
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



pl.wikipedia.org

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



pl.wikipedia.org

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

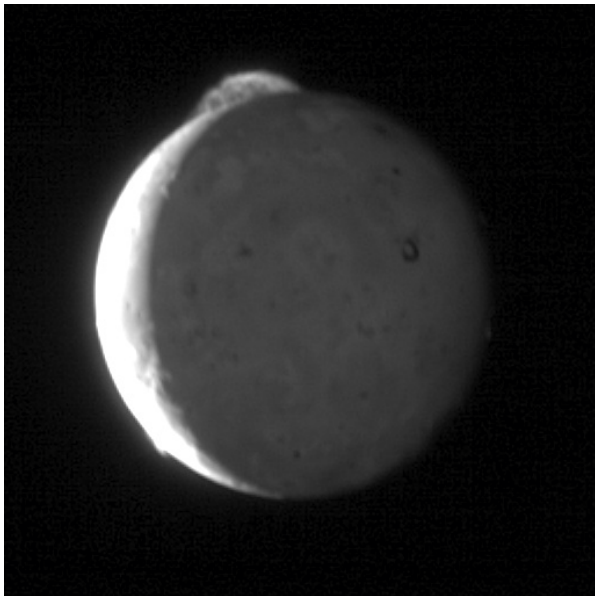
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



pl.wikipedia.org

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



homepage.oma.be/mvc

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Mniej spektakularne, również ciekawe i ważne:

- pływy skorupy ziemskiej
 - zmiany wysokości
 - zmiany siły ciężkości
 - zmiany kierunku linii pionu
 - zmiany długości, powierzchni, objętości
- pływy atmosfery
- pływowe zmiany prędkości obrotowej Ziemi
- pływowe zmiany orientacji Ziemi
- perturbacje SSZ
- „ciemna strona księżycy” i jego ucieczka
- efekty pośrednie pływów oceanicznych i atmosferycznych
- trzęsienia Ziemi
- . . .

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

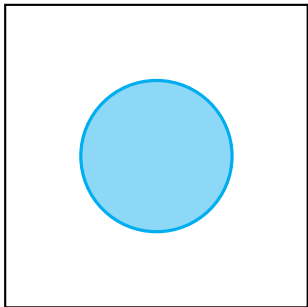
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

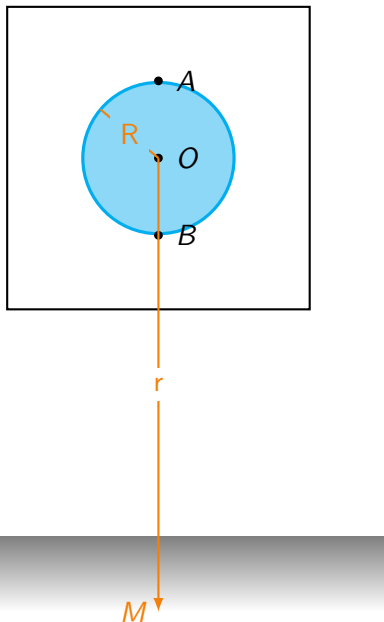
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

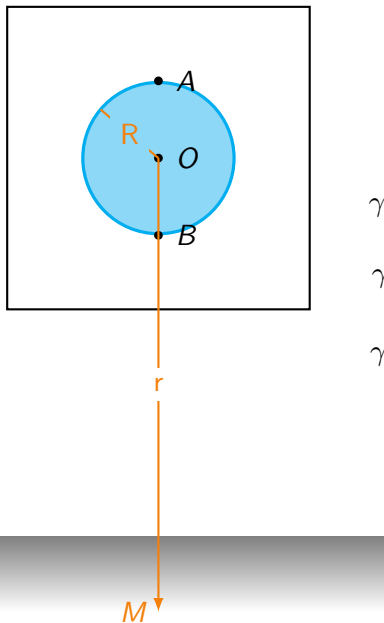
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



$$\gamma_O = \frac{GM}{r^2}$$

$$\gamma_A = \frac{GM}{(r+R)^2}$$

$$\gamma_B = \frac{GM}{(r-R)^2}$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

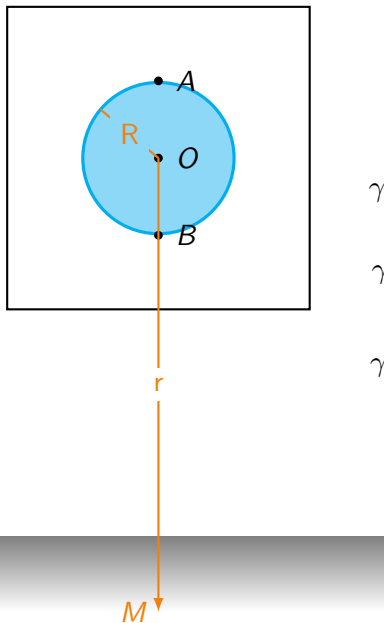
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



$$\gamma_0 = \frac{GM}{r^2}$$

$$\gamma_A \approx \gamma_0 - \gamma_0 \cdot \frac{2R}{r}$$

$$\gamma_B \approx \gamma_0 + \gamma_0 \cdot \frac{2R}{r}$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

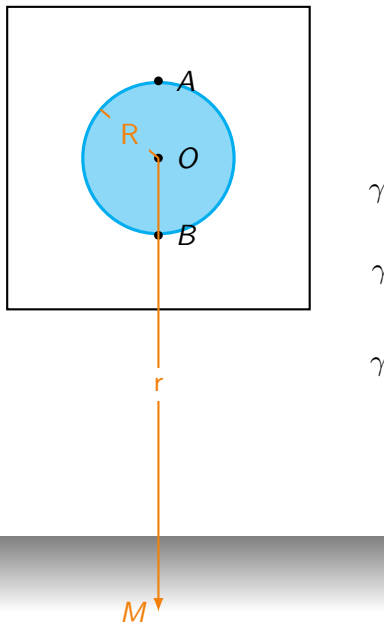
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

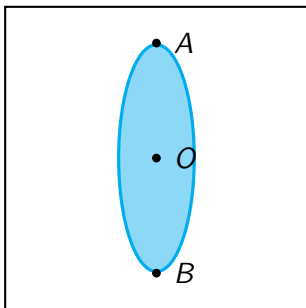
Analiza harmoniczna



$$\gamma_0 = \frac{GM}{r^2}$$

$$\gamma_A \approx \gamma_0 - \gamma_0 \cdot \frac{2R}{r} \sim \frac{M \cdot R}{r^3}$$

$$\gamma_B \approx \gamma_0 + \gamma_0 \cdot \frac{2R}{r}$$



$$\gamma_O = \frac{GM}{r^2}$$

$$\gamma_A \approx \gamma_O - \gamma_O \cdot \frac{2R}{r}$$

$$\gamma_B \approx \gamma_O + \gamma_O \cdot \frac{2R}{r}$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

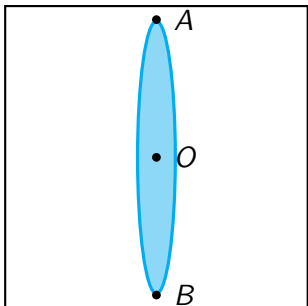
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



$$\gamma_0 = \frac{GM}{r^2}$$

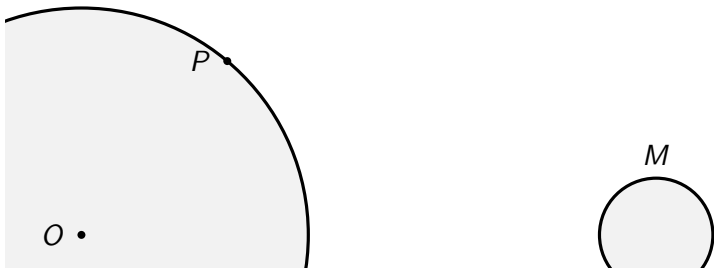
$$\gamma_A \approx \gamma_0 - \gamma_0 \cdot \frac{2R}{r}$$

$$\gamma_B \approx \gamma_0 + \gamma_0 \cdot \frac{2R}{r}$$

Zadanie

Wyprowadzić wzór na przyspieszenie siły ciężkości (składowa pionowa i horyzontalna) na powierzchni kuli w zależności od geocentrycznej i topocentrycznej odległości zenitalnej.

Ziemia jest kulą o promieniu R , a ciało zewnętrzne w odległości r ma masę M oraz promień R'



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

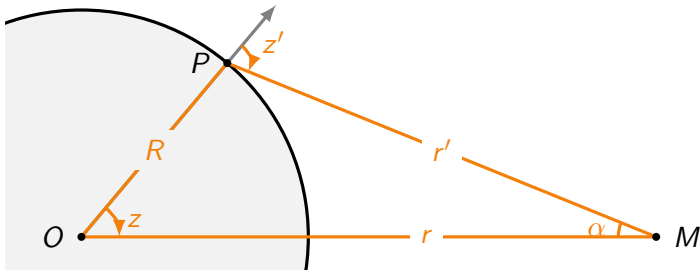
Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Zadanie

Wyprowadzić wzór na przyspieszenie siły ciężkości (składowa pionowa i horyzontalna) na powierzchni kuli w zależności od geocentrycznej i topocentrycznej odległości zenitalnej.

Ziemia jest kulą o promieniu R , a ciało zewnętrzne w odległości r ma masę M oraz promień R'



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\gamma = \frac{GM}{r'^2}$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

**Podstawy
matematyczne**

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

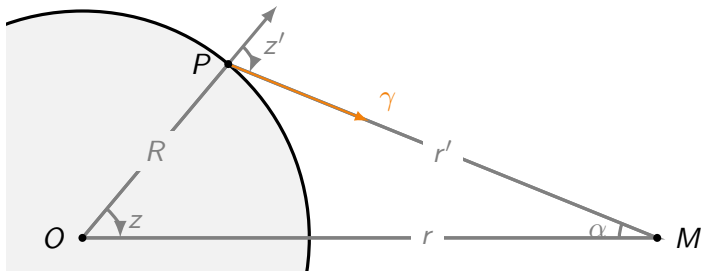
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



$$\gamma = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(1 + 2\frac{R}{r} \cos z \right)$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

**Podstawy
matematyczne**

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

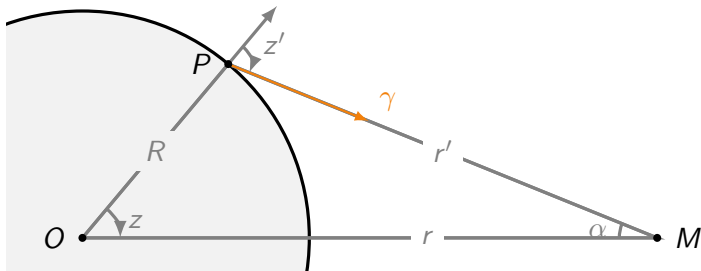
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



$$\gamma_v = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(1 + 2\frac{R}{r} \cos z\right) \cdot \cos(\alpha + z)$$

$$\gamma_h = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(1 + 2\frac{R}{r} \cos z\right) \cdot \sin(\alpha + z)$$

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

**Podstawy
matematyczne**

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

**Potencjał
grawitacyjny/
pływy**

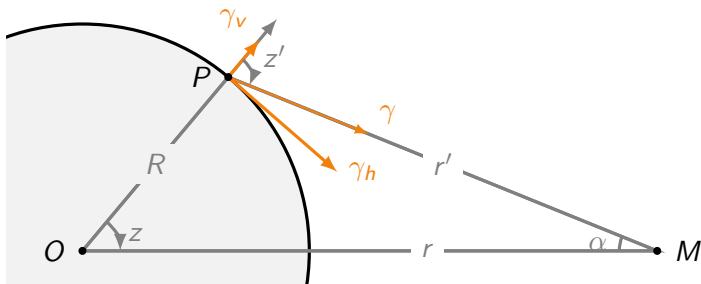
**Typy pływów wg
Laplace'a**

**Pływy dobowe
i półdobowe**

**Rozwinięcie
Doodsona**

Przykłady fal pływowych

**Analiza
harmoniczna**



$$\sin \alpha \simeq \frac{R \sin z}{r}$$

$$\cos \alpha \simeq 1$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

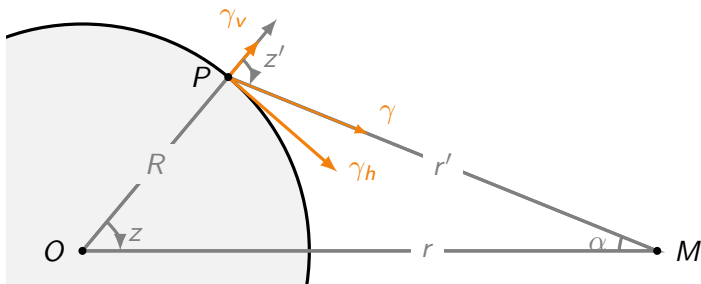
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



$$\gamma_v = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\cos z + \frac{R}{r}(3 \cos^2 z - 1) \right)$$

$$\gamma_h = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\sin z + \frac{R}{r} \left(\frac{3}{2} \sin 2z \right) \right)$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

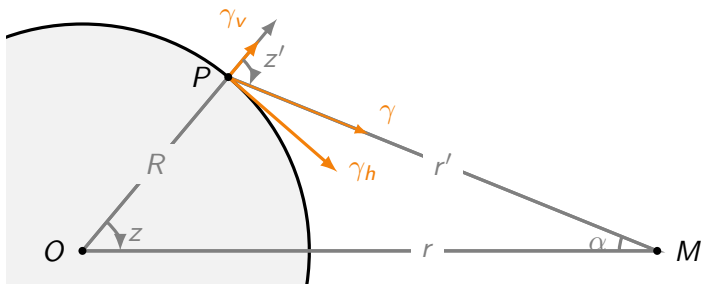
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

$$\gamma_v = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\cos z + \frac{R}{r} (3 \cos^2 z - 1) \right)$$

$$\gamma_h = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\sin z + \frac{R}{r} \left(\frac{3}{2} \sin 2z \right) \right)$$

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

**Podstawy
matematyczne**

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

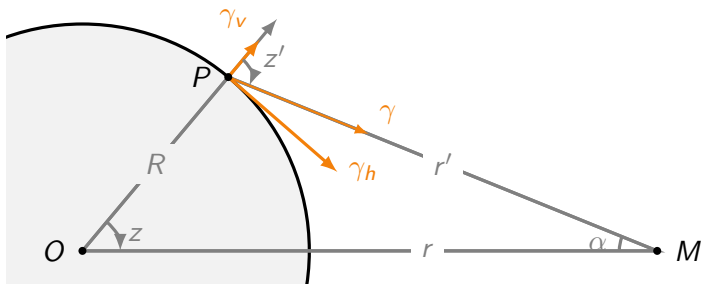
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



$$\gamma_v = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\cos z + \frac{R}{r} (3 \cos^2 z - 1) \right)$$

$$\gamma_h = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\sin z + \frac{R}{r} \left(\frac{3}{2} \sin 2z \right) \right)$$

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

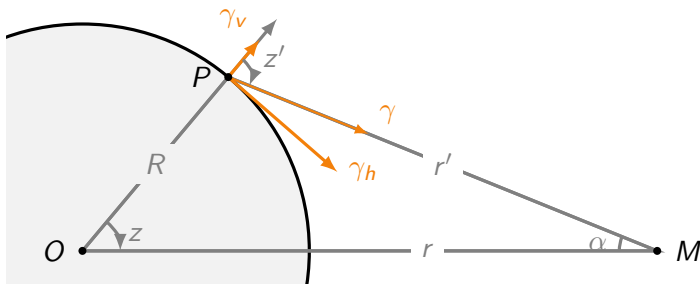
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

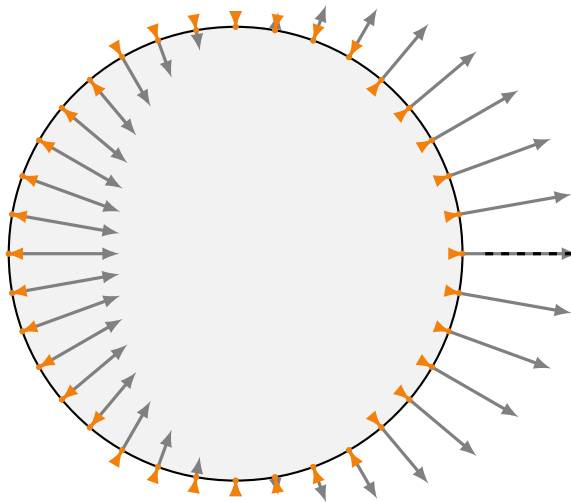
Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



Składowa pionowa — γ_v

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
awitacyjny /
pływy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

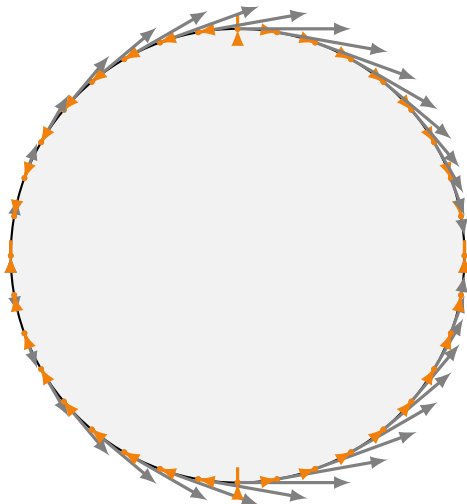
Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Składowa pozioma — γ_h

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

☞ **tencjał
awitacyjny/
pływowy**

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

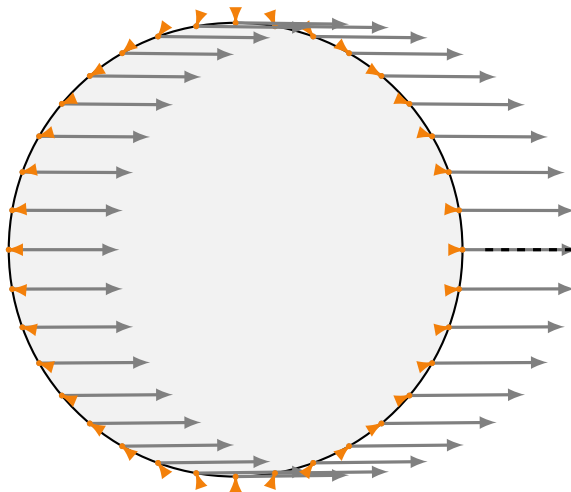
Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Siła wypadkowa — γ

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

tencjał awitacyjny / pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

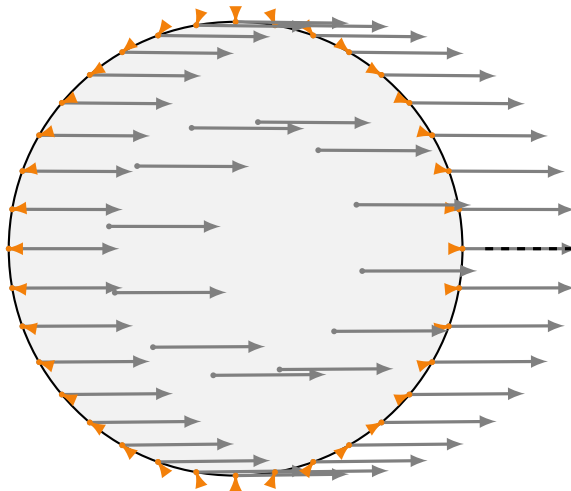
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Siła wypadkowa — γ

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Intencją nawigacyjną / pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

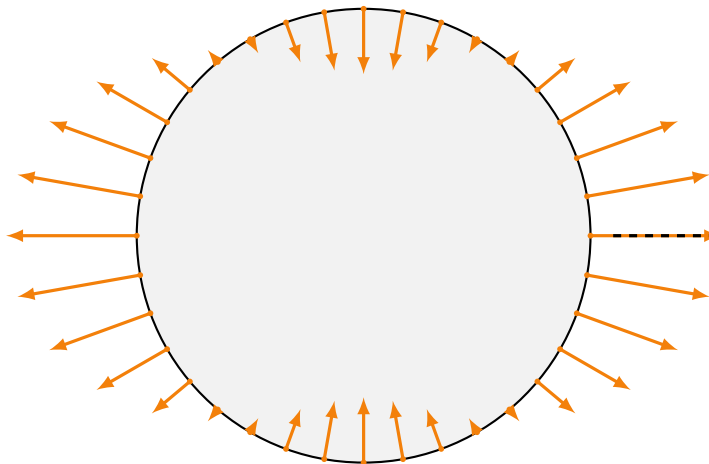
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Składowa pionowa — γ_v

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Intencja lawitacyjny/ pływowy

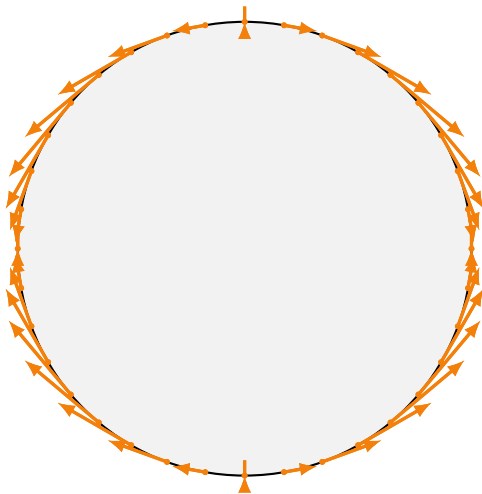
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

☾ tencjał
maremotoryczny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

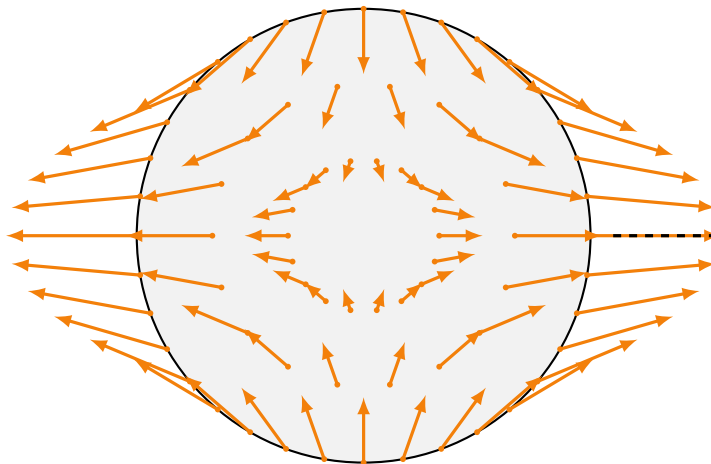
Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Siła wypadkowa — γ

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

tętno awitacyjny/
pływy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

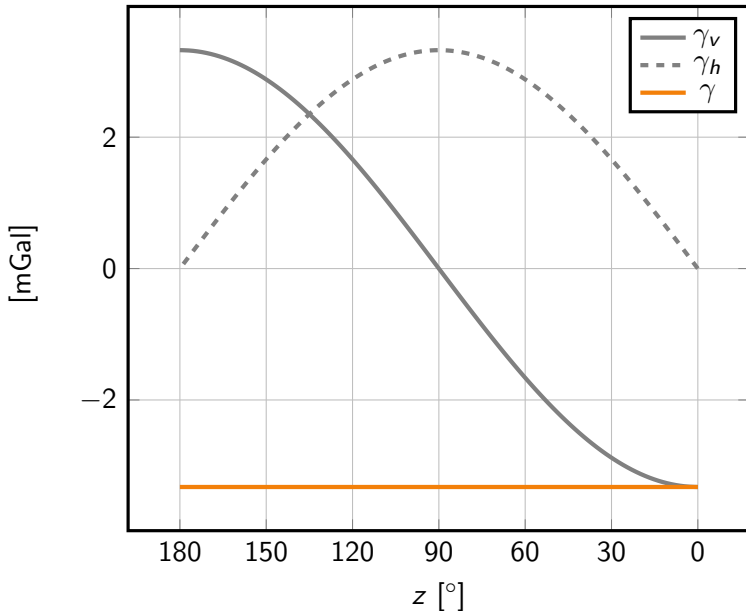
Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$$\propto (Rr^{-1})^0$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

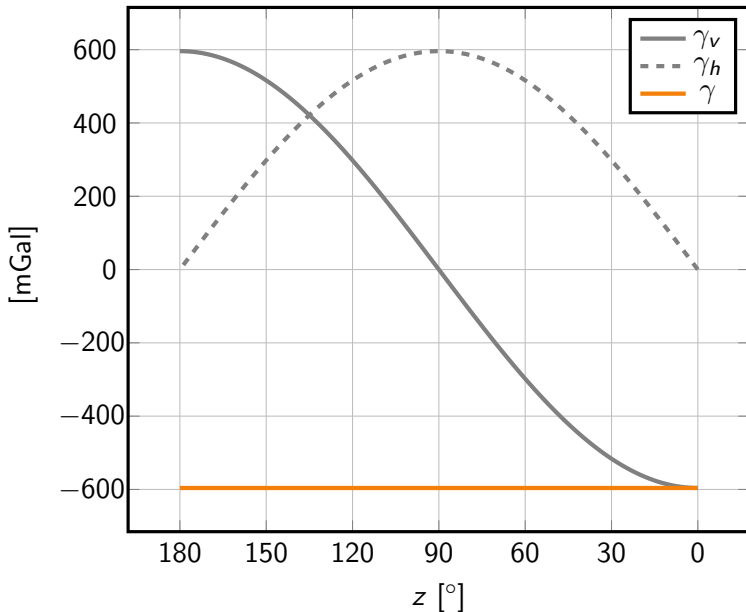
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

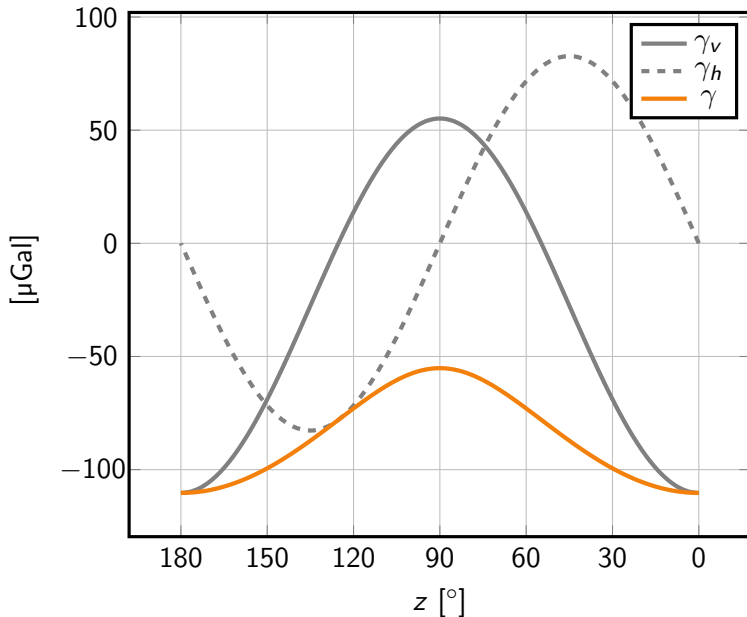
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\propto (Rr^{-1})^1$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

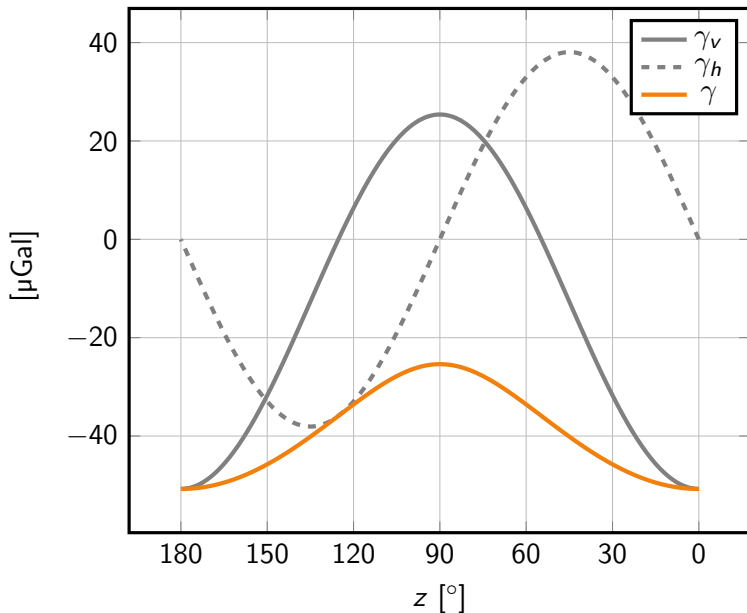
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$V_A = \frac{G \cdot M}{r'}$$

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r} \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{R}{r} \cos z + \left(\frac{R}{r}\right)^2}$$

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r} \cdot \left[1 + \frac{R}{r} \cos z - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{r}\right)^2 + \frac{3}{2} \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cos^2 z \dots \right]$$

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z)$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

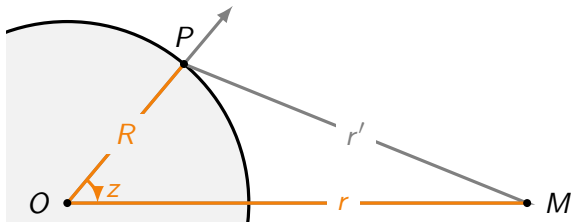
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



$$V_A = \frac{G \cdot M}{r'}$$

$$\frac{1}{r'} = \frac{1}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z)$$

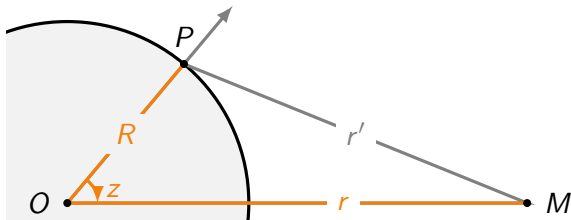
Wielomiany Legendre'a

$$\blacksquare P_{n+1}(x) = \frac{2n+1}{n+1} x \cdot P_n(x) - \frac{n}{n+1} P_{n-1}(x)$$

wzór rekurencyjny

$$\blacksquare P_n(x) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{dx^n} (x^2 - 1)^n$$

wzór Rodriguesa



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

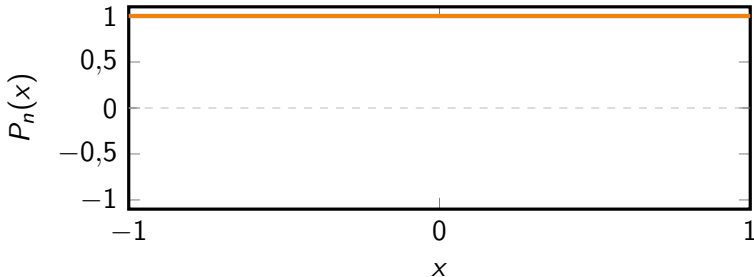
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

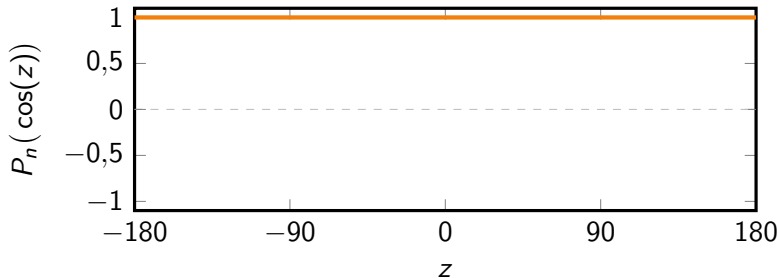
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

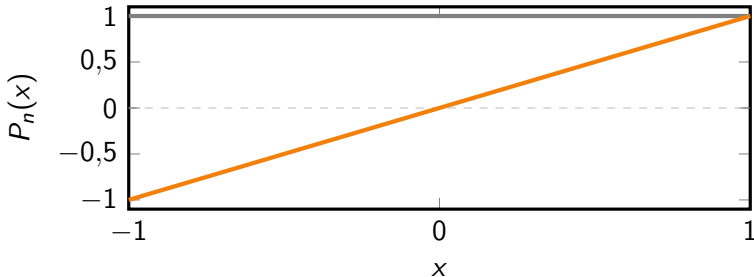
Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



$$P_0(x) = 1$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

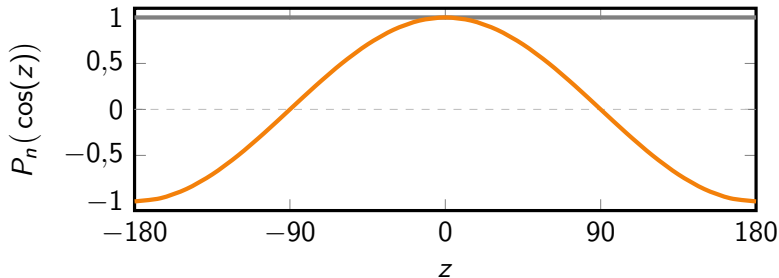
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

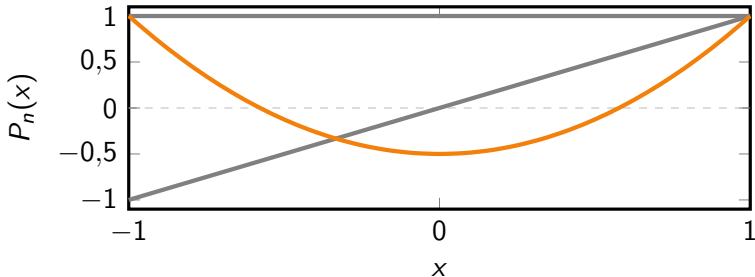
Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



$$P_1(x) = x$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

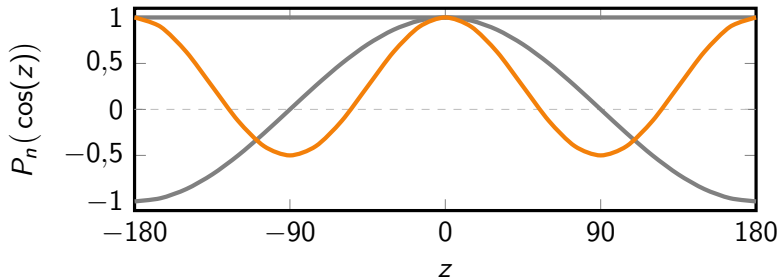
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

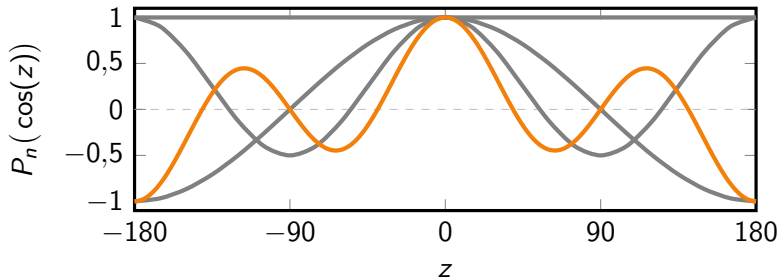
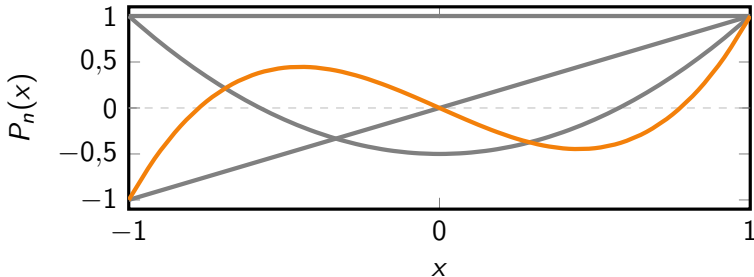
Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna



$$P_2(x) = \frac{3}{2} \cdot x^2 - \frac{1}{2}$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

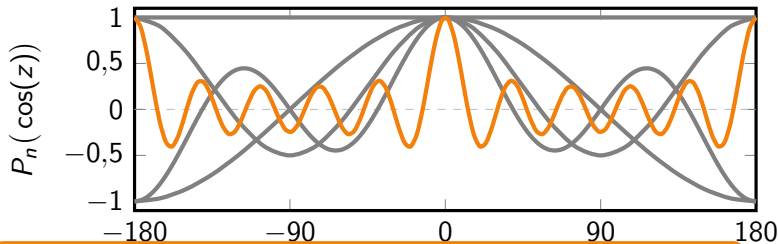
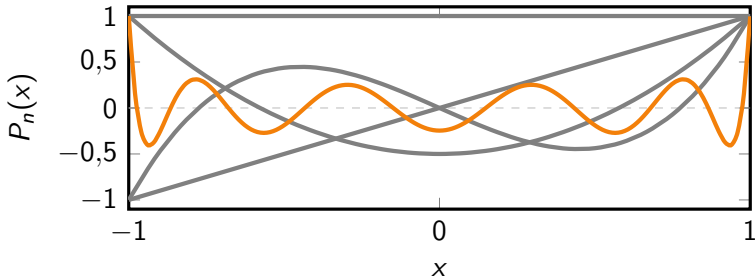
Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$$P_3(x) = \frac{5}{2} \cdot x^3 - \frac{3}{2} \cdot x$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



$$P_{10}(x) = 1/256 \cdot (46189 \cdot x^{10} - 109395 \cdot x^8 + 90090 \cdot x^6 - 30030 \cdot x^4 + 3465 \cdot x^2 - 63)$$

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Potencjał grawitacyjny

$$V_A = \frac{Gm}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z)$$

$$V_{A0} = \frac{Gm}{r}$$

$$V_{A1} = \frac{Gm R}{r} \cdot \cos z$$

$$V_{A2} = \frac{Gm R^2}{r r^2} \cdot \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2}\right)$$

$$V_{A3} = \frac{Gm R^3}{r r^3} \cdot \left(\frac{5}{2} \cos^3 z - \frac{3}{2} \cos z\right)$$

Potencjał pływowy

$$V_{pA} = \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z)$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

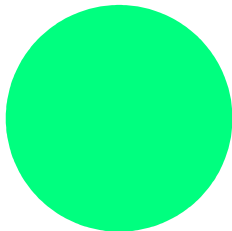
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

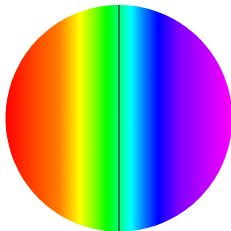
$n = 0$



$$\llcorner 4 \cdot 10^3$$

$$\odot 3 \cdot 10^8$$

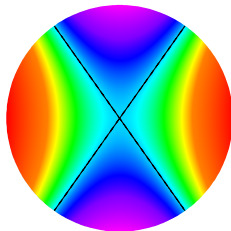
$n = 1$



$$\llcorner 6 \cdot 10^1$$

$$\odot 1 \cdot 10^4$$

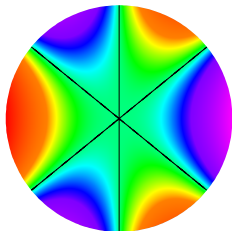
$n = 2$



$$\llcorner 1$$

$$\odot 5 \cdot 10^{-1}$$

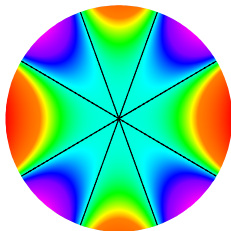
$n = 3$



$$\llcorner 2 \cdot 10^{-2}$$

$$\odot 2 \cdot 10^{-5}$$

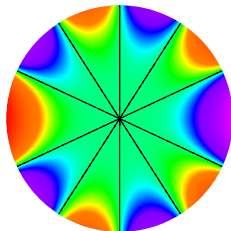
$n = 4$



$$\llcorner 3 \cdot 10^{-4}$$

$$\odot 8 \cdot 10^{-10}$$

$n = 5$



$$\llcorner 5 \cdot 10^{-6}$$

$$\odot 4 \cdot 10^{-14}$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$$V_p = V_{\zeta} + V_{\odot} + v_{\ominus} + v_{\updownarrow} + v_{\sigma} + \dots$$

ζ	1
\odot	0,46
\ominus	0,00005
\updownarrow	0,000006
σ	0,000001

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

- Zmiana przyspieszenia
- Składowa pozioma
- Pływowe odchylenie pionu
- Zmiana wysokości (pow. ekwipotencjalnej)

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

■ Zmiana przyspieszenia

$$\delta g = -\frac{\partial V_p}{\partial R} = -\frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{nR^{n-1}}{r^n} P_n(\cos z)$$

■ Składowa pozioma

■ Pływowe odchylenie pionu

■ Zmiana wysokości (pow. ekwipotencjalnej)

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

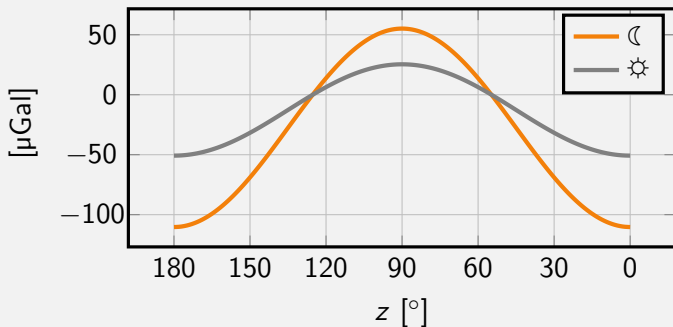
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

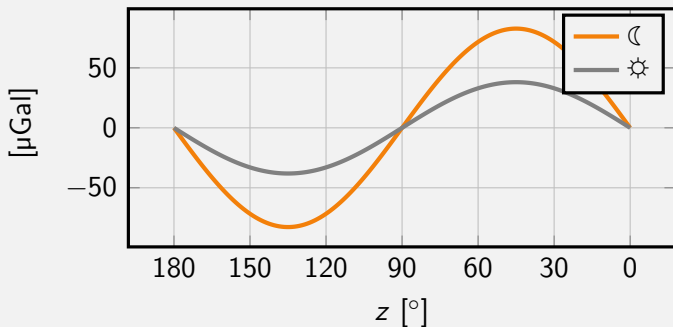
Analiza harmoniczna



- Zmiana przyspieszenia
- Składowa pozioma

$$\delta h = \frac{\partial V_p}{R \partial z} = \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{R^{n-1}}{r^n} \frac{\partial P_n(\cos z)}{\partial z}$$

- Pływowe odchylenie pionu
- Zmiana wysokości (pow. ekwipotencjalnej)



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

- Zmiana przyspieszenia
- Składowa pozioma
- Pływowe odchylenie pionu

$$\delta\vartheta = \frac{\delta h}{g}$$

- Zmiana wysokości (pow. ekwipotencjalnej)

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

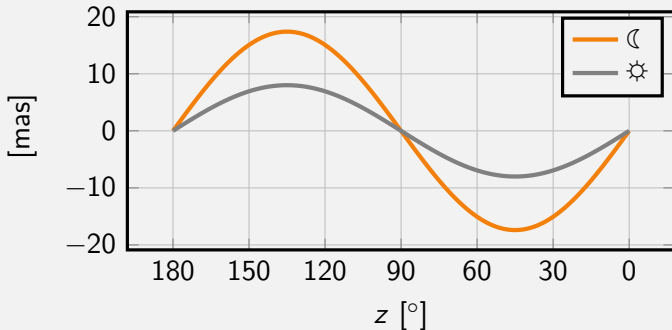
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

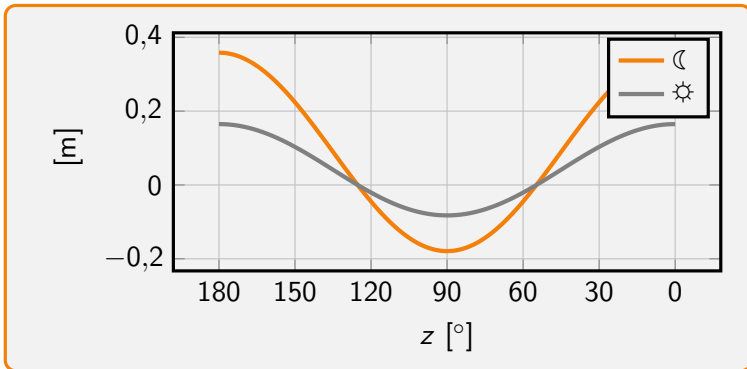
Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



- Zmiana przyspieszenia
- Składowa pozioma
- Pływowe odchylenie pionu
- Zmiana wysokości (pow. ekwipotencjalnej)

$$\delta\zeta = \frac{V_2}{g}$$



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a


Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\left\{ \begin{array}{l} V_2 = \frac{GmR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right) \\ \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t) \end{array} \right.$$


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

$$+ \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t$$

$$\left. + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2t \right]$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\begin{cases} V_2 = \frac{GmR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right) \\ \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t) \end{cases}$$

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

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a


Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\begin{cases} V_2 = \frac{GmR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right) \\ \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t) \end{cases}$$


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

$+ \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t$ wyraz tesseralny
pływy dobowe

$+ \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2t$

]

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/pływy

Typy pływów wg Laplace'a


Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\begin{cases} V_2 = \frac{GmR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right) \\ \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t) \end{cases}$$


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

$$+ \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t$$

$$\left. + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2t \right] \text{ wyraz sektorowy } \left[\text{pływy pół-dobowe} \right]$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

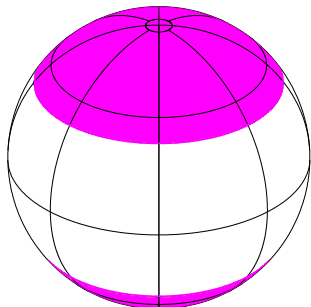
Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

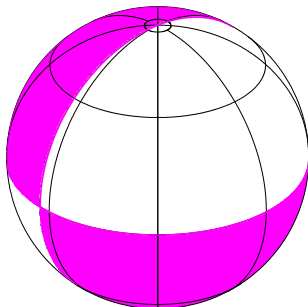
Znaki poszczególnych wyrazów

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

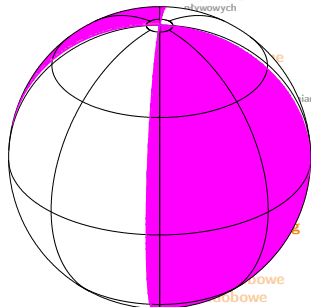
strefowe



tesseralne



sektorowe

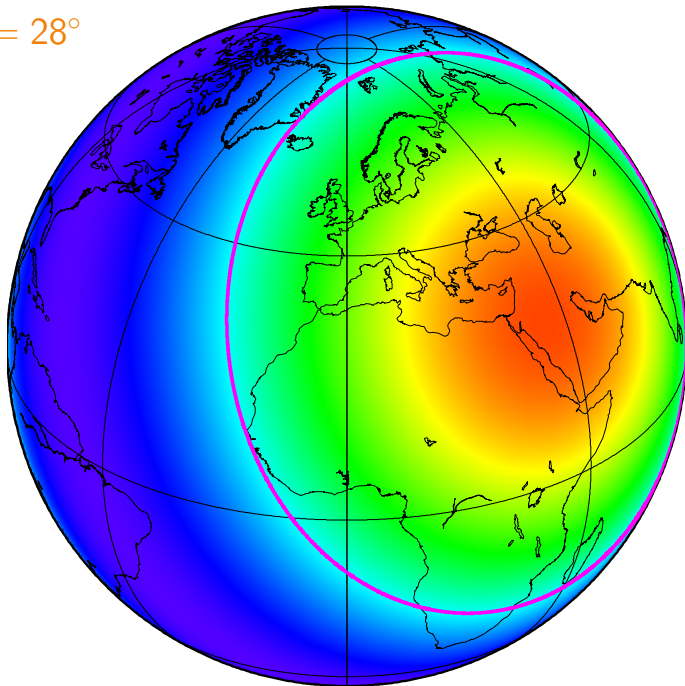


Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$$\delta = 28^\circ$$



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\delta = 28^\circ$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

strefowe

tesseralne

sektorowe

Całkowicie zjawiska
te?

zjawisk
sektorowych

e
ian

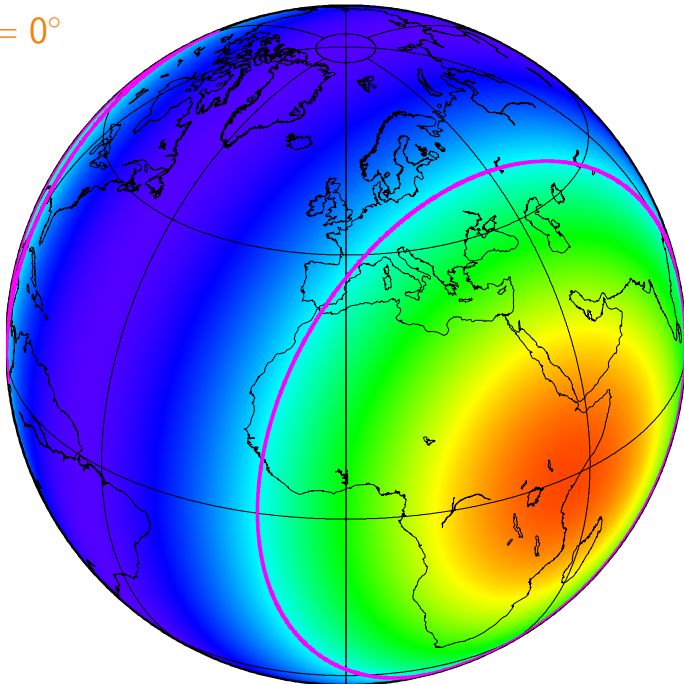
owe
strefowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$$\delta = 0^\circ$$



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

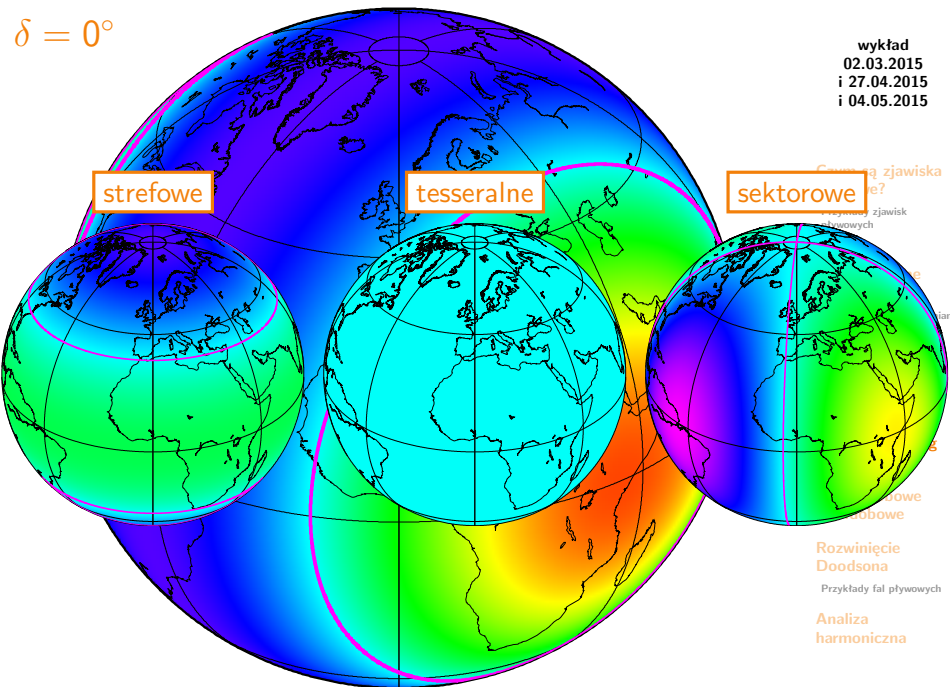
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

$$\delta = 0^\circ$$

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



strefowe

tesselalne

sektorowe

Całkowicie zjawiska
e?
zjawisk
złotowych

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$$\begin{bmatrix} \delta g \\ \delta h_\varphi \\ \delta h_\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial V_2}{\partial R} \\ \frac{1}{R} \frac{\partial V_2}{\partial \varphi} \\ \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial V_2}{\partial \lambda} \end{bmatrix} = \frac{3}{4} \frac{GmR}{r^3}.$$

$$\begin{bmatrix} -6\left(\frac{1}{3} - \sin^2 \varphi\right)\left(\frac{1}{3} - \sin^2 \delta\right) & -2 \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t & -2 \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2t \\ -3 \sin 2\varphi \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \delta\right) & +2 \cos 2\varphi \sin 2\delta \cos t & -\sin 2\varphi \cos^2 \delta \cos 2t \\ & -2 \sin \varphi \sin 2\delta \sin t & -2 \cos \varphi \cos^2 \delta \sin 2t \end{bmatrix}$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

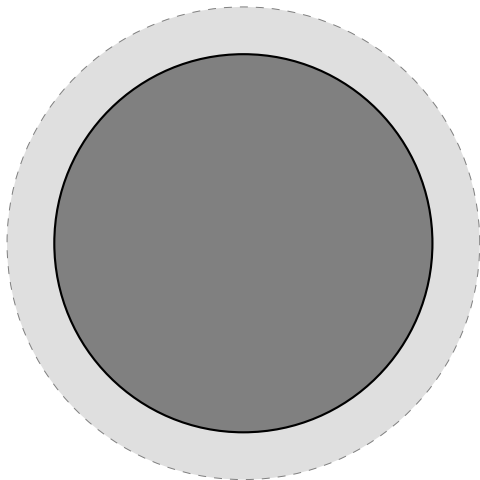
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

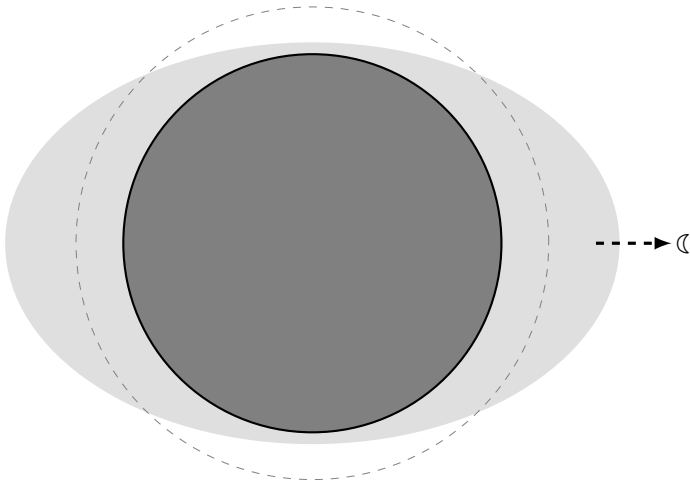
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

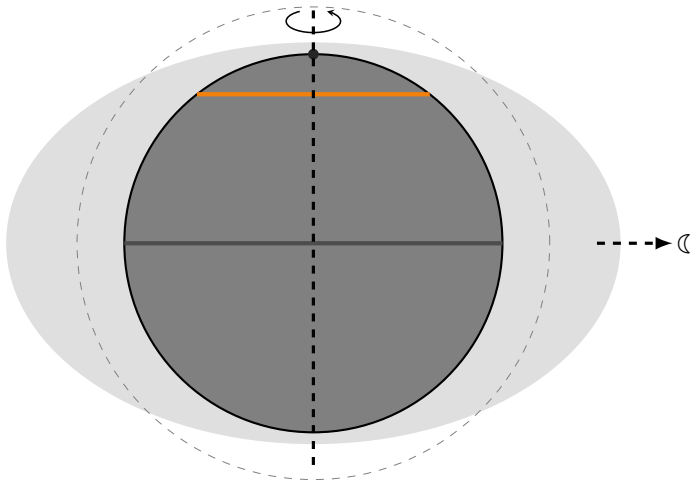
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

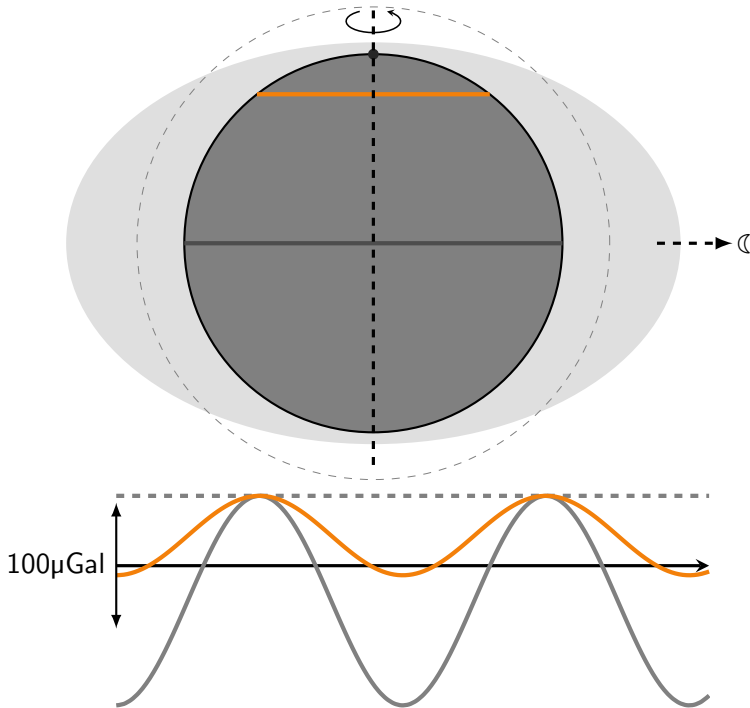
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

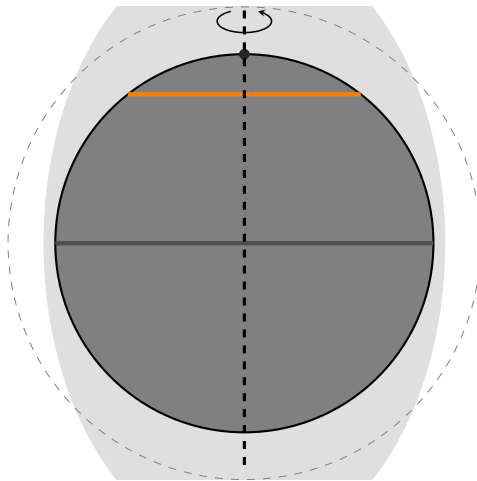
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

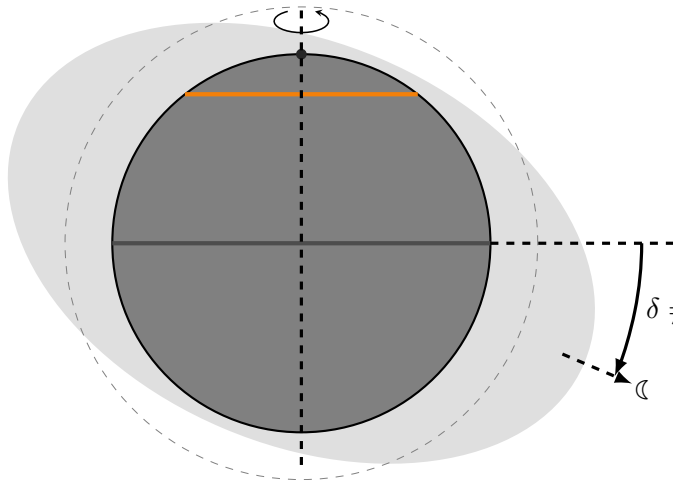
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

100 μ Gal





Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

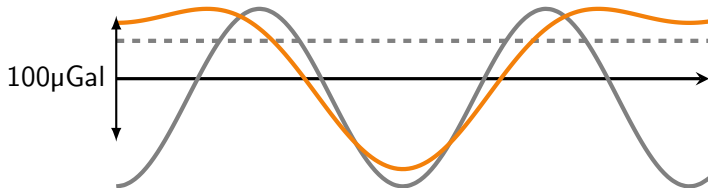
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

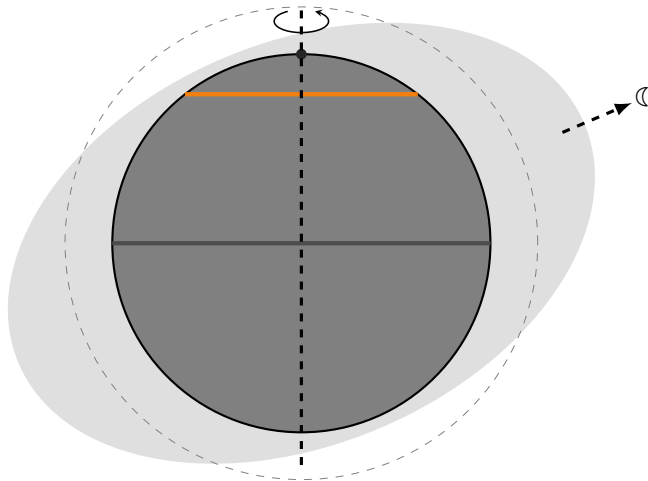
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

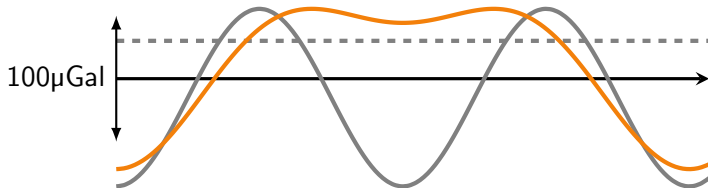
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

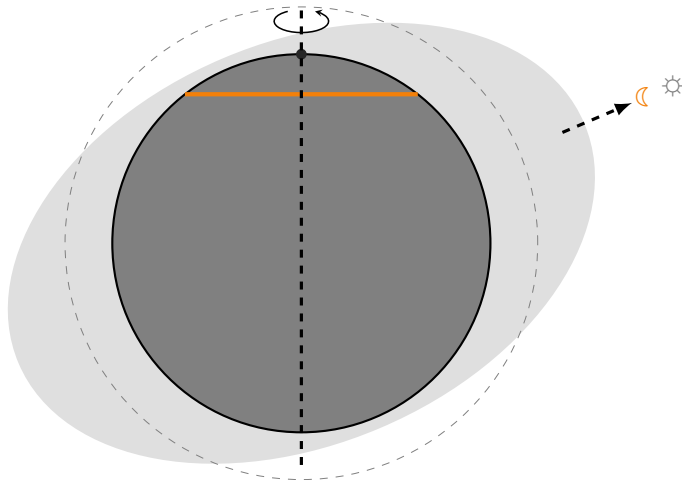
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

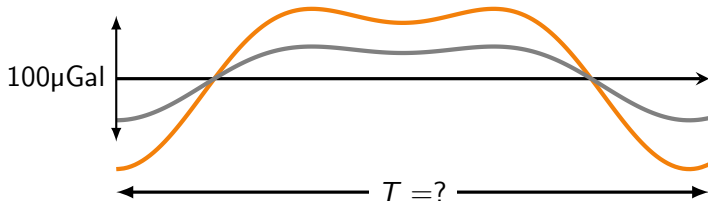
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

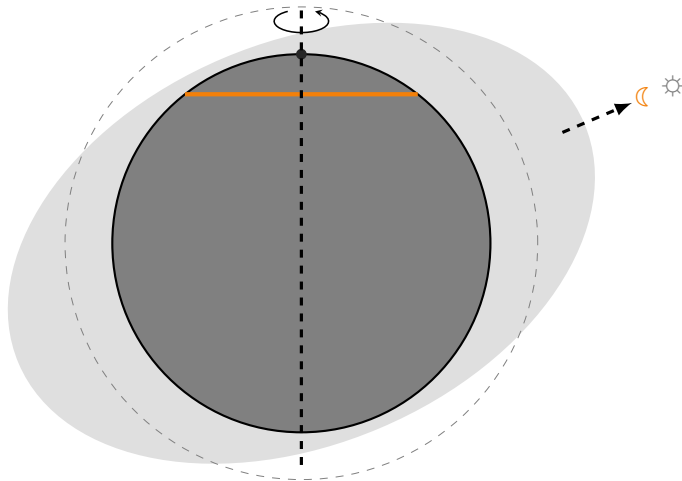
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

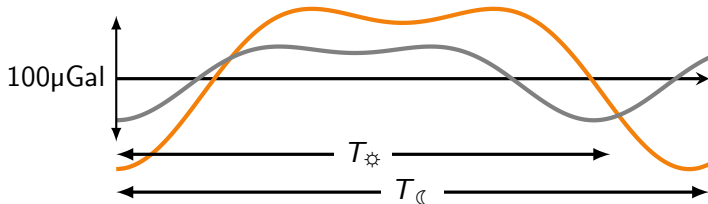
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

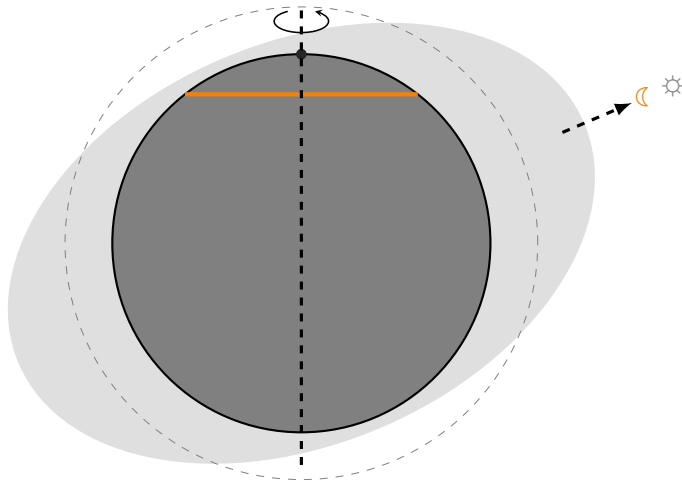
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

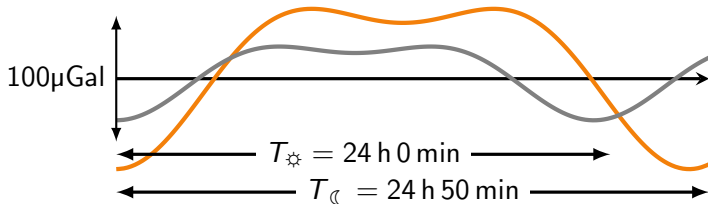
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



$$V = \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n f(\varphi, \delta, t)$$

$$= \sum A(K_{1-6}, R, \varphi) \sin \left\{ (a_1 \dot{t} + a_2 \dot{s} + a_3 \dot{h} + a_4 \dot{p} + a_5 \dot{N}' + a_6 \dot{p}_s) t \right\}$$

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia i tły

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Laplace

$$V = \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n f(\varphi, \delta, t)$$

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
prędkości i siły

Doodson

$$= \sum A(K_{1-6}, R, \varphi) \sin \left\{ (a_1 \dot{\tau} + a_2 \dot{s} + a_3 \dot{h} + a_4 \dot{p} + a_5 \dot{N}' + a_6 \dot{p}_s) t \right\}$$

Potencjał
gravitacyjny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

$\dot{\tau}$	24,833	h	średni czas księżycowy
\dot{s}	27,3	d	średnia długość Księżyca
\dot{h}	365,25	d	średnia długość Słońca
\dot{p}	8,8	lat	średnia długość perigeum orbity Księżyca
$-\dot{N}$	18,6	lat	średnia długość węzła wstępującego orbity Księżyca
\dot{p}_s	20 942	lat	średnia długość perigeum orbity Słońca

Listing 1: fragment katalog potencjału pływowego

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000	-8695028819.	0.	MO\$0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000	395037.	0.	
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00220641	771912590.	0.	
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00220641	-307251.	0.	
3	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00243541	0.	267094.	
2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.00441281	-7537749.	0.	
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00464181	0.	-5631229.	
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00684822	0.	-868055.	
2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0.01149003	1177773.	0.	
2	0	0	1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0.03886027	-1177773.	0.	
2	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.04106668	-136150588.	0.	SA
2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.04107060	7066640.	0.	
2	0	0	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0.04327309	1177773.	0.	
2	0	0	2	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.07064725	588887.	0.	
2	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07285365	-8597745.	0.	
2	0	0	2	-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0.07506006	706664.	0.	
3	0	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07749547	0.	-1068375.	
2	0	0	2	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0.08213336	-3179988.	0.	
2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08213728	-856594487.	0.	SSA
2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.08434369	21435473.	0.	
2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.08655009	4711093.	0.	
2	0	0	3	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0.12320396	-49937586.	0.	STA
2	0	0	3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0.12541037	942219.	0.	
2	0	0	4	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0.16427064	-2002215.	0.	
2	0	1	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.54658111	63128646.	0.	
3	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.54681011	0.	5364135.	
2	0	3	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	1.60134107	-3651097.	0.	
3	2	4	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	31.17552851	0.	1148504.	

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Symbol	Okres	Pochodzenie
Pływy długookresowe		
M_0		Stały pływ księżycowy
S_0		Stały pływ słoneczny
S_a	365.25^d	Pływ eliptyczny S_0
S_{sa}	182.62^d	Pływ deklinacyjny S_0
M_m	27.55^d	Pływ eliptyczny M_0
M_f	13.66^d	Pływ deklinacyjny M_0
Pływy dobowe		
O_1	25^h49^m	Główna fala księżycowa
P_1	24^h04^m	Główna fala słoneczna
K_1	23^h56^m	Fala deklinacyjna k-s
Pływy pół-dobowe		
N_2	12^h39^m	Pływ eliptyczny M_2
M_2	12^h25^m	Główna fala księżycowa
S_2	12^h00^m	Główna fala słoneczna
Pływy ter-dobowe		
M_3	8^h17^m	Główna fala księżycowa

... i wiele, wiele innych...

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska
pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy
matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał
grawitacyjny/
pływowy

Typy pływów wg
Laplace'a

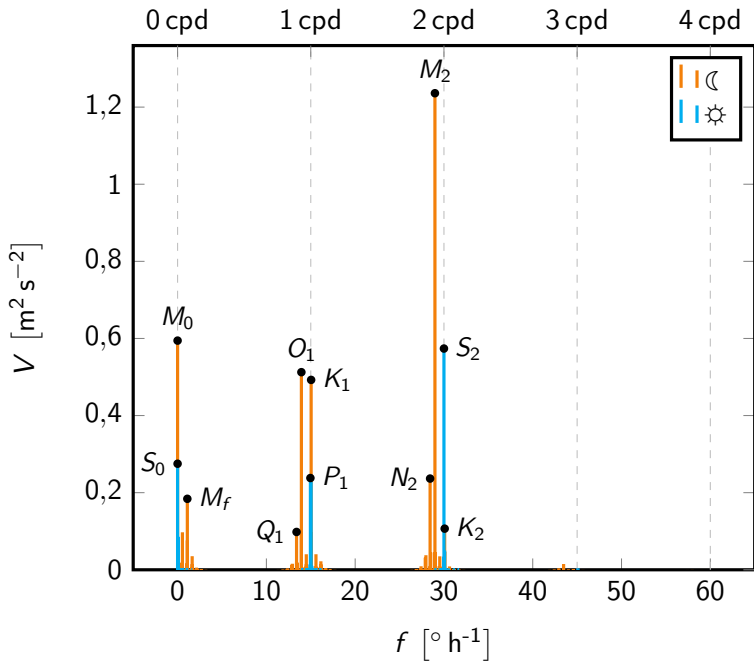
Pływy dobowe
i półdobowe

Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza
harmoniczna

Fale pływowe



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

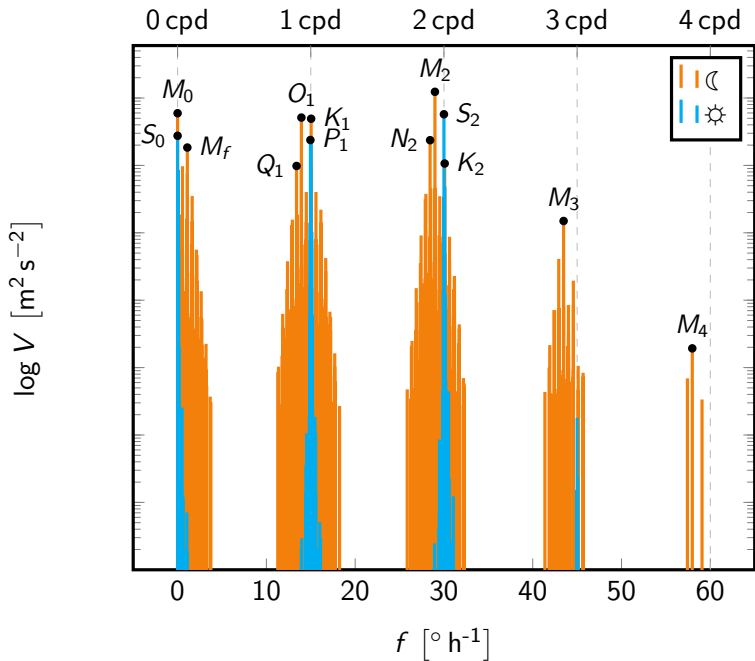
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

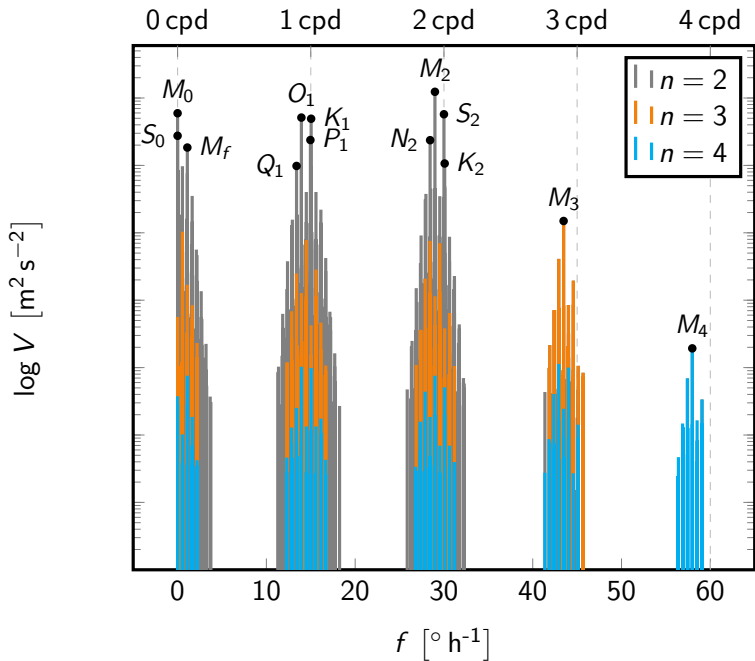
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

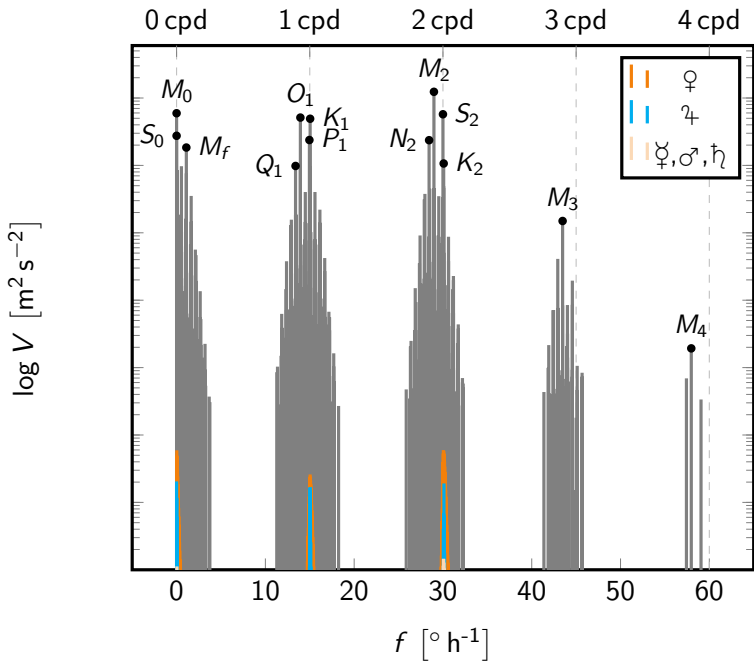
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

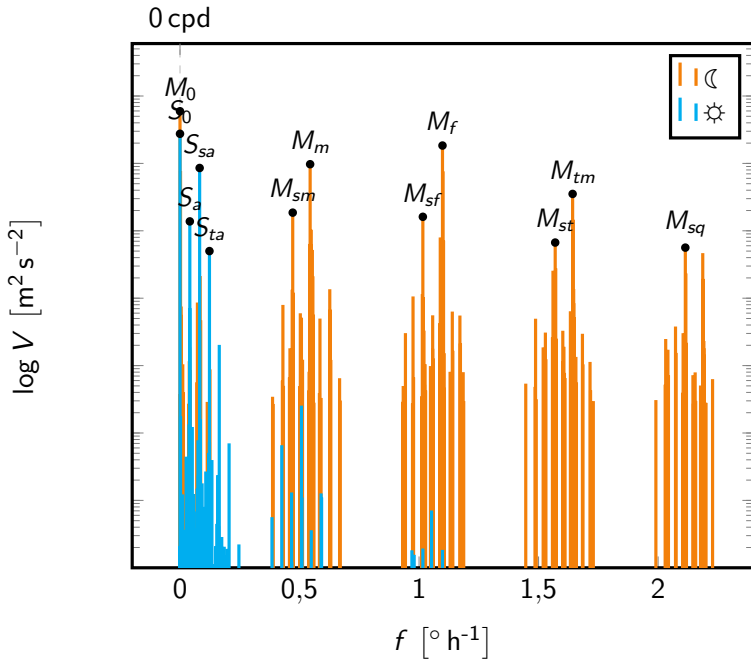
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

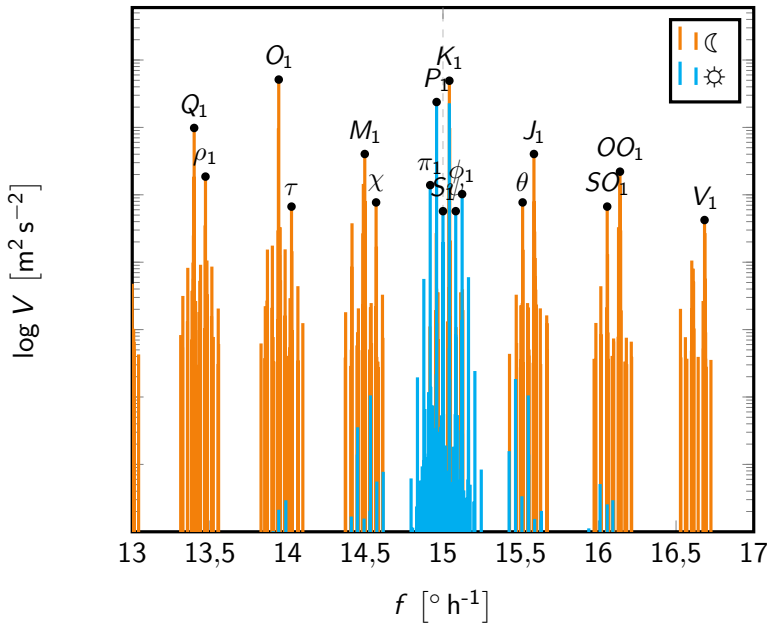
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe

1 cpd



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/pływow

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

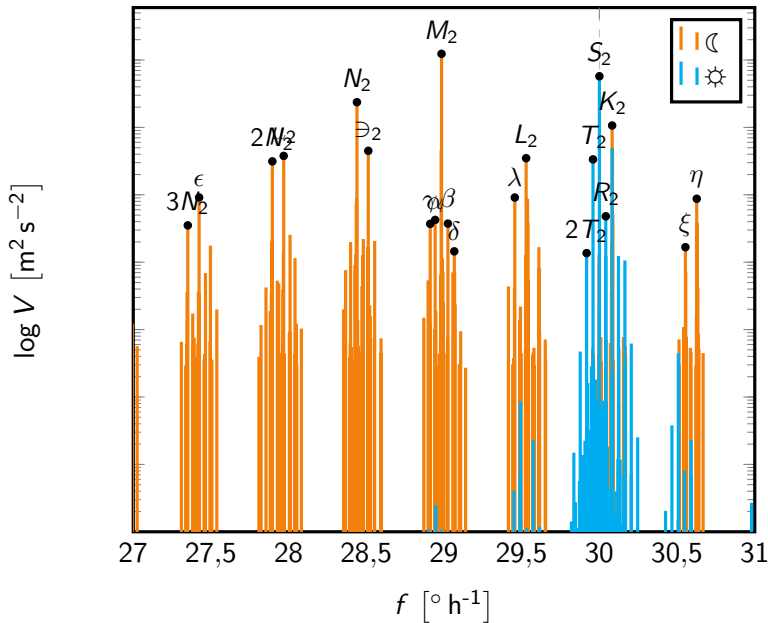
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe

2 cpd



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

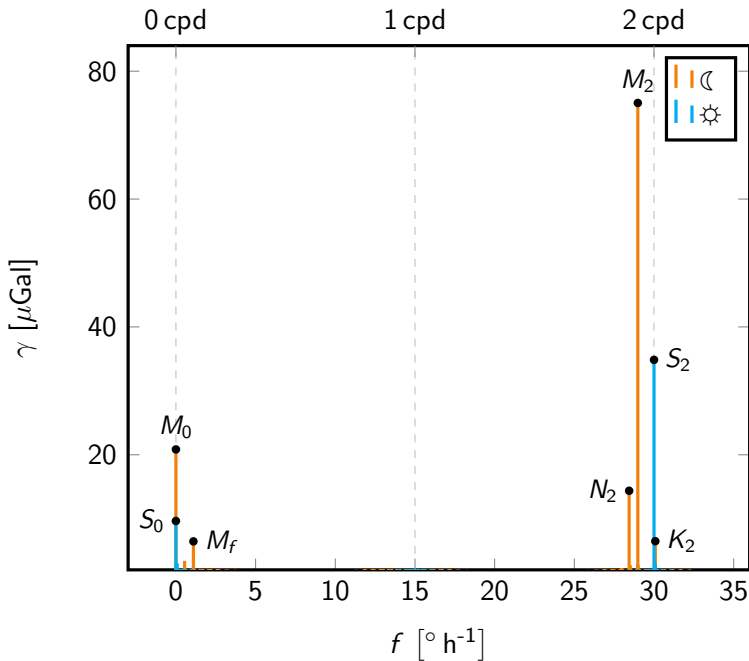
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe – $\varphi = 0^\circ$



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

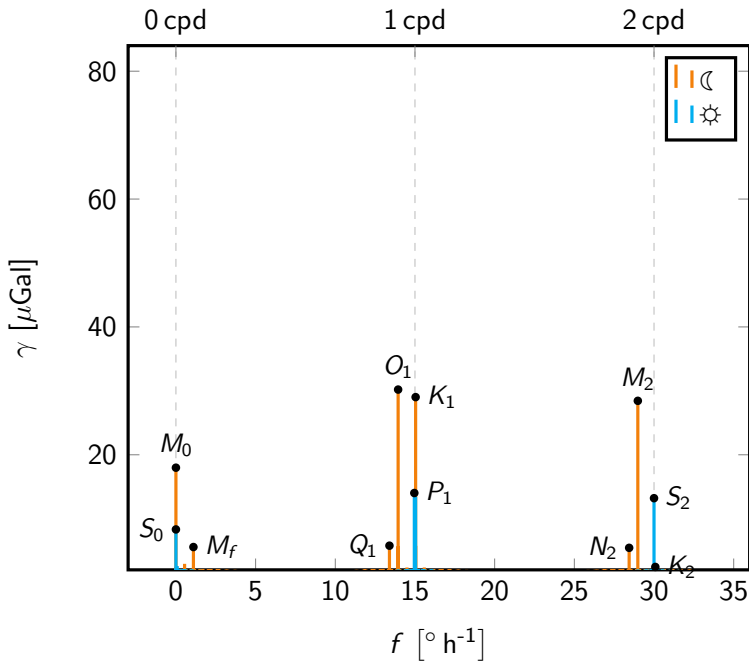
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe – $\varphi = 52^\circ$



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

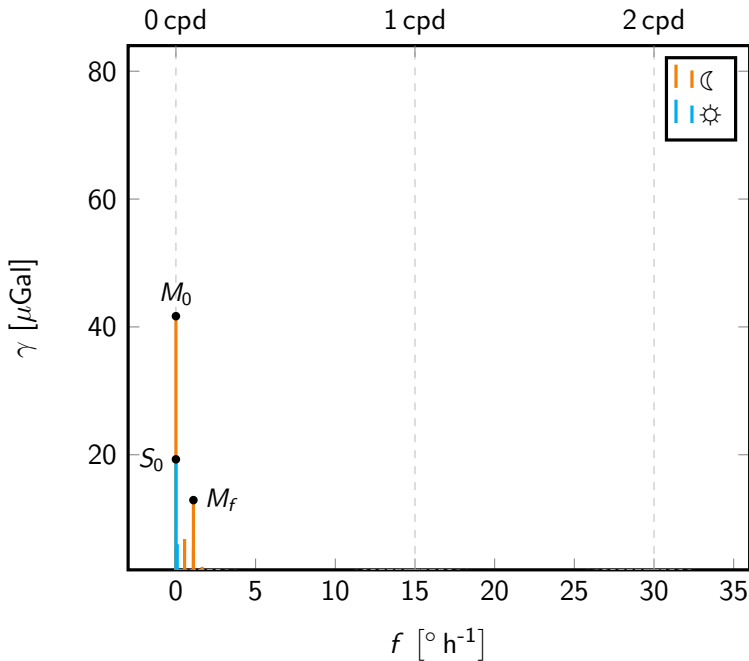
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

Fale pływowe – $\varphi = 90^\circ$



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych

Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

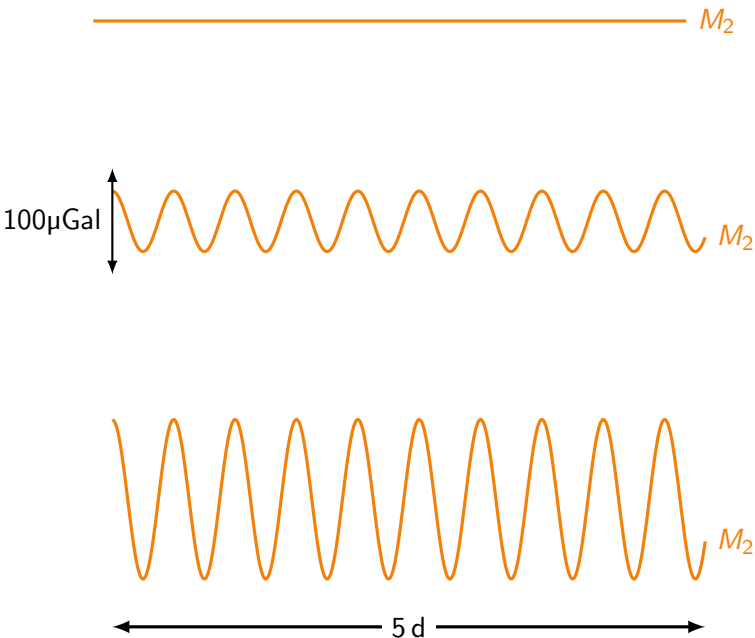
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

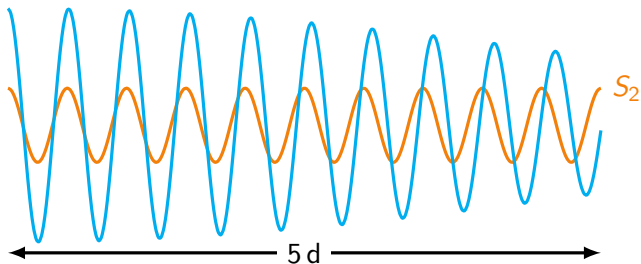
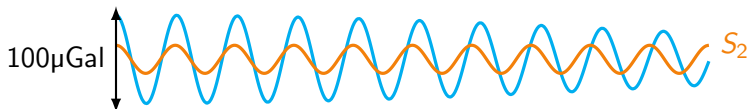
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



————— S_2



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

————— O_1

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

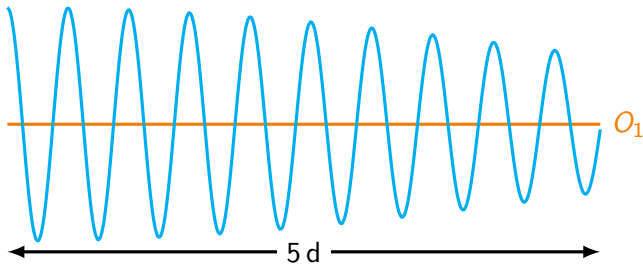
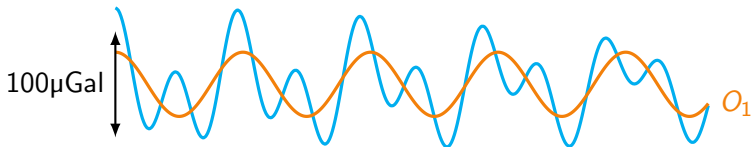
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

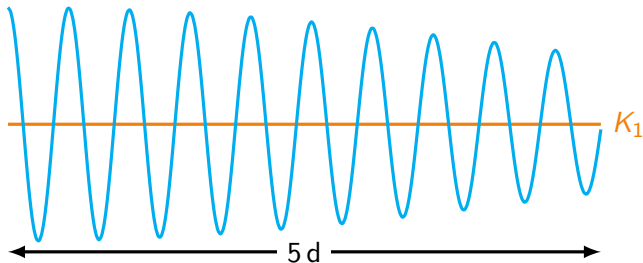
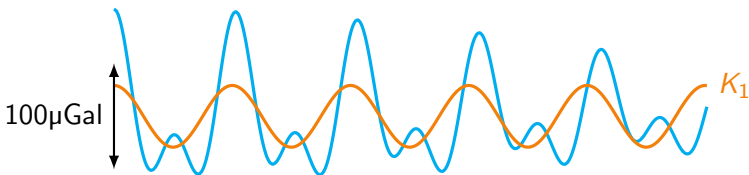
Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



————— K_1



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

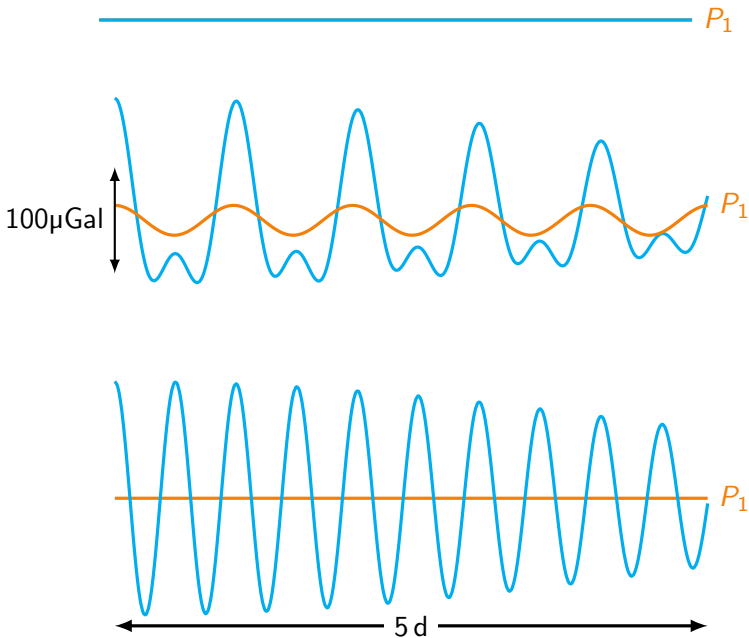
Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

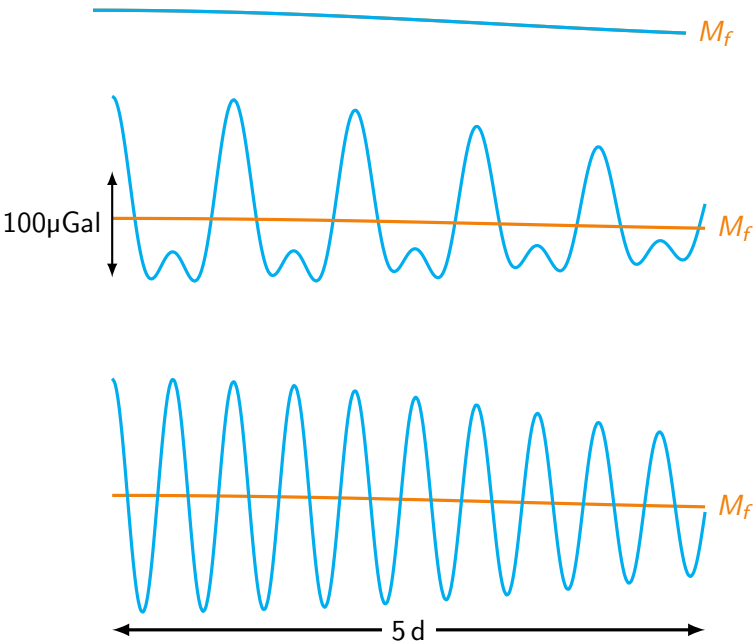
Typy pływów wg
Laplace'a

Pływy dobowe
i półdobowe

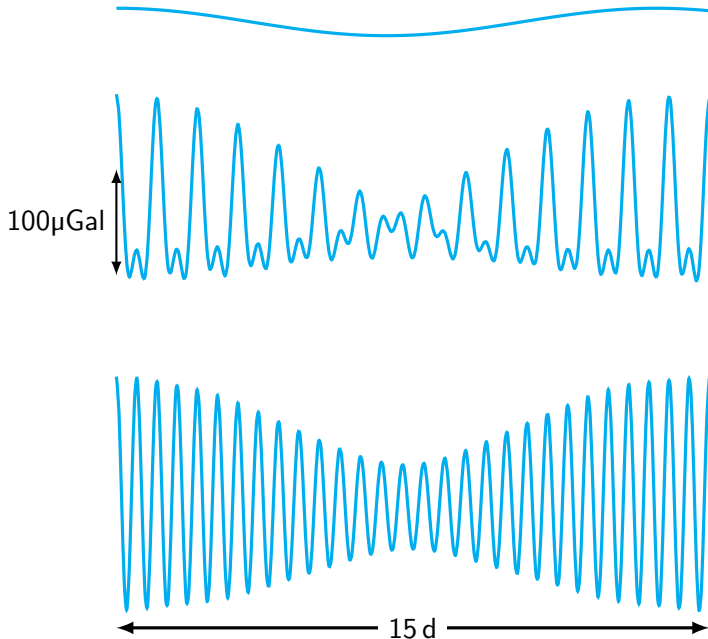
Rozwinięcie
Doodsona

Przykłady fal pływowych

**Analiza
harmoniczna**



wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015



Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian przyspieszenia siły ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna

wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływowy

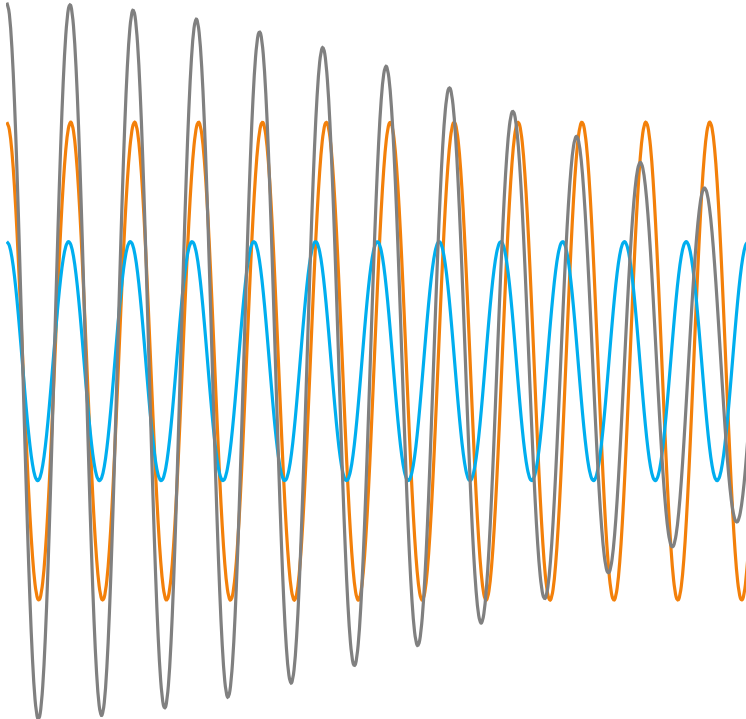
Typy pływów wg Laplace'a

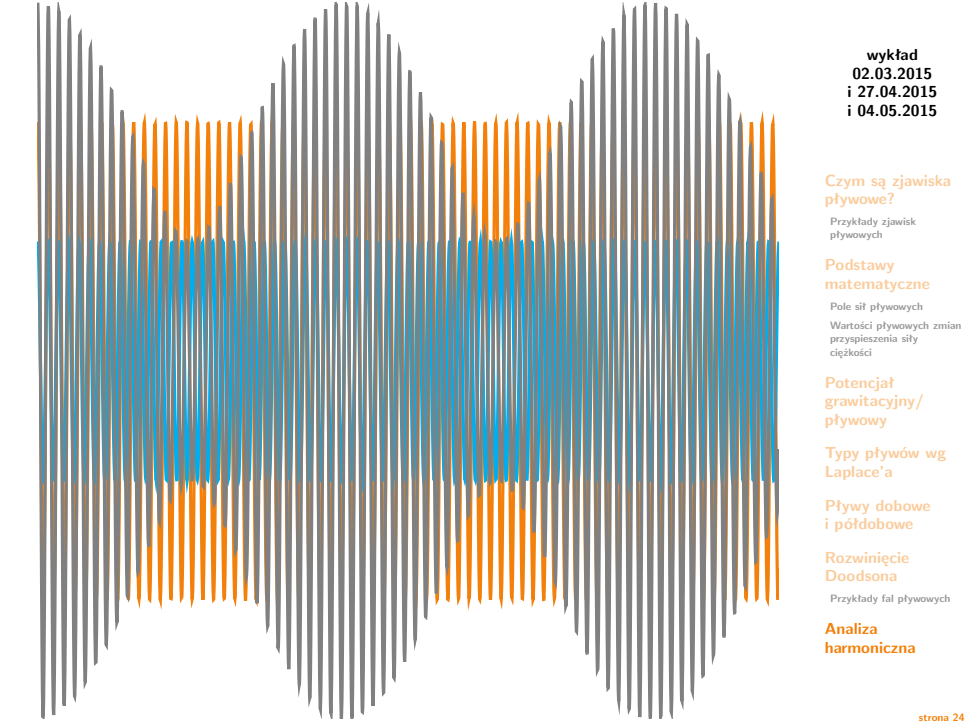
Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna





wykład
02.03.2015
i 27.04.2015
i 04.05.2015

Czym są zjawiska pływowe?

Przykłady zjawisk
pływowych

Podstawy matematyczne

Pole sił pływowych
Wartości pływowych zmian
przyspieszenia siły
ciężkości

Potencjał grawitacyjny/ pływow

Typy pływów wg Laplace'a

Pływy dobowe i półdobowe

Rozwinięcie Doodsona

Przykłady fal pływowych

Analiza harmoniczna