

Statyczna teoria pływów

ostatnia aktualizacja
18 maja 2021

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

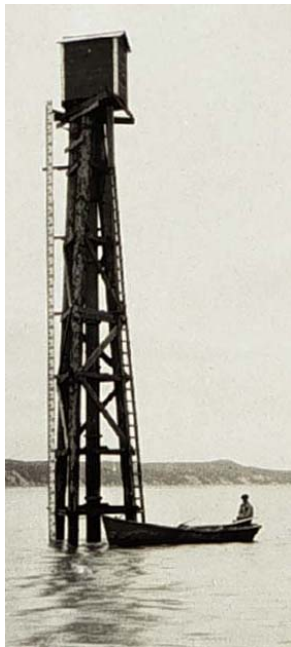
Lord Kelvin, 1882

„...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



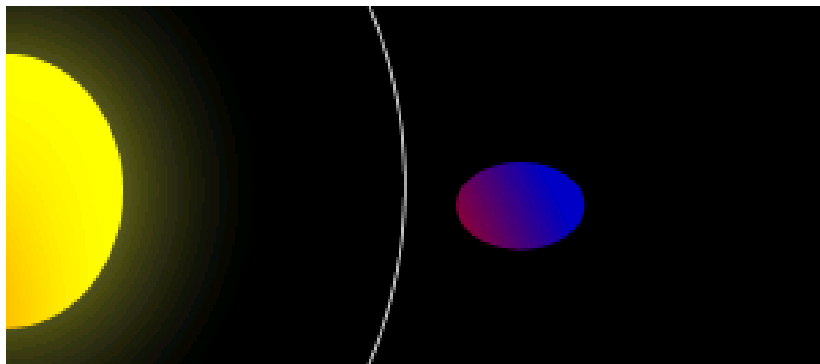
oceanservice.noaa.gov



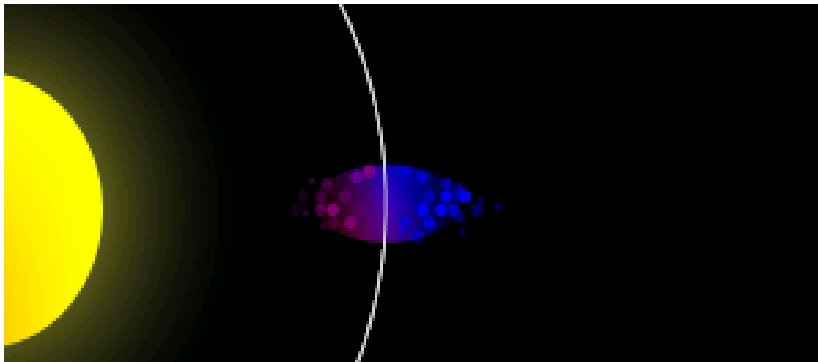
homepage.oma.be/mvc



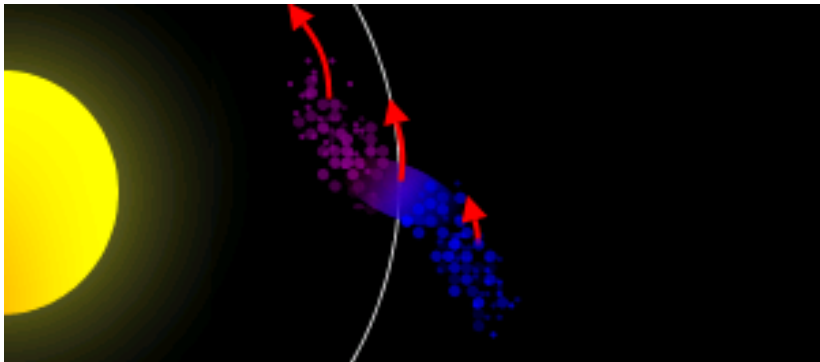
homepage.oma.be/mvc



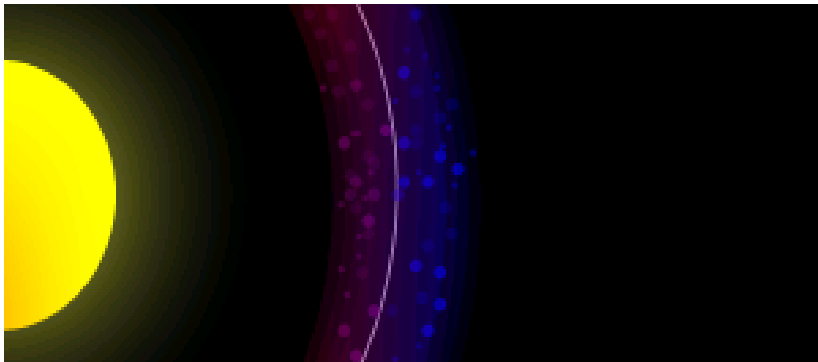
pl.wikipedia.org



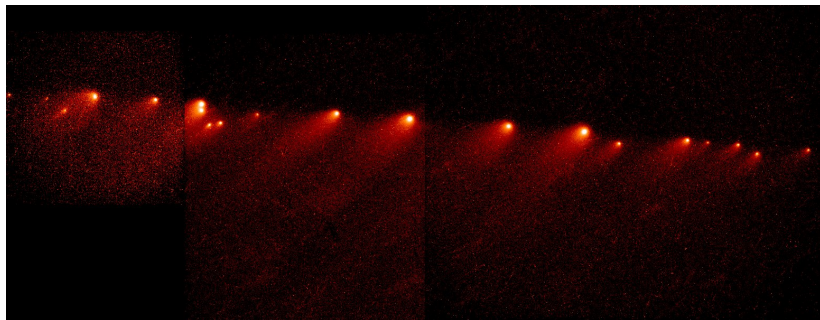
pl.wikipedia.org



pl.wikipedia.org



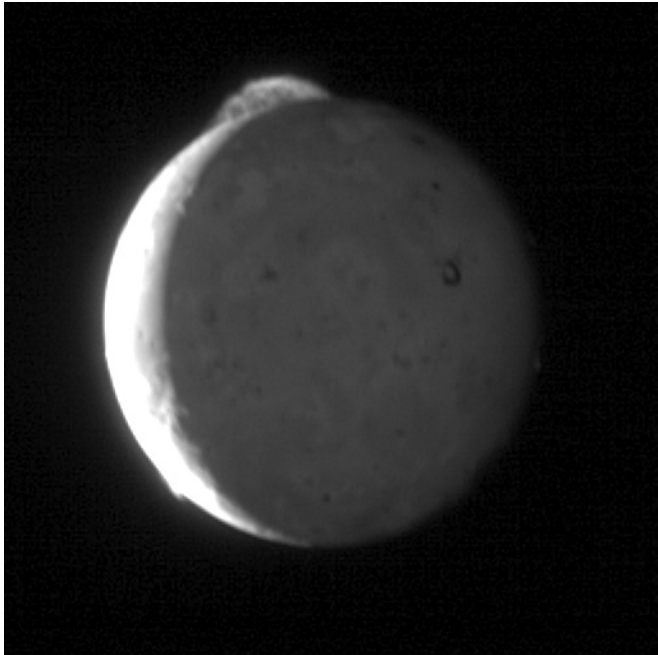
pl.wikipedia.org



pl.wikipedia.org



pl.wikipedia.org



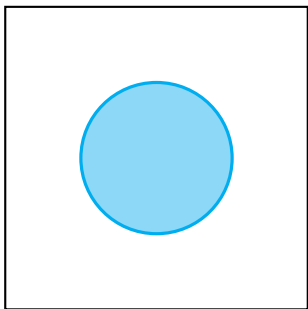
pl.wikipedia.org

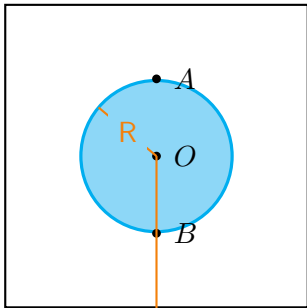


homepage.oma.be/mvc

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
- . . .

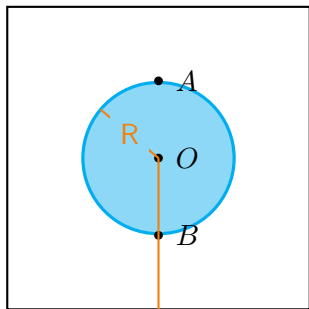




r

M

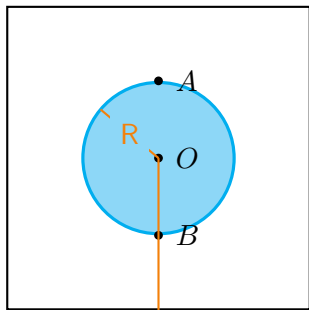




$$\gamma_O = \frac{GM}{r^2}$$

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

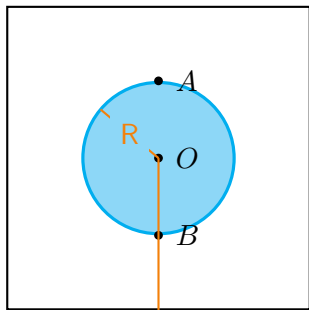
$$\gamma_B = \frac{GM}{(r - R)^2}$$



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

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

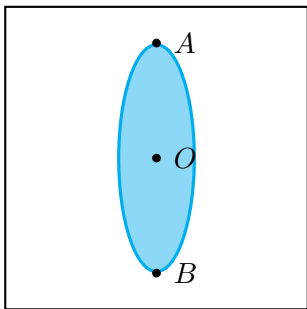
$$\gamma_B \simeq \gamma_O + \gamma_O \cdot \frac{2R}{r}$$



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

$$\gamma_A \simeq \gamma_O - \gamma_O \cdot \frac{2R}{r} \sim \frac{M \cdot R}{r^3}$$

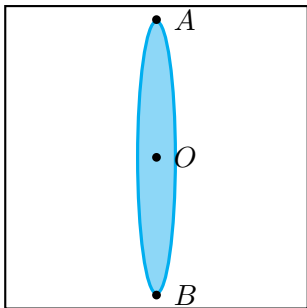
$$\gamma_B \simeq \gamma_O + \gamma_O \cdot \frac{2R}{r}$$



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

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

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



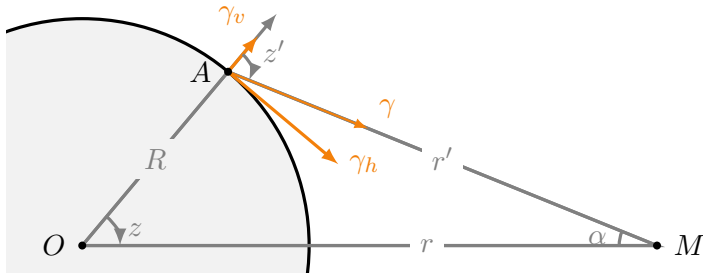
$$\gamma_O = \frac{GM}{r^2}$$

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

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

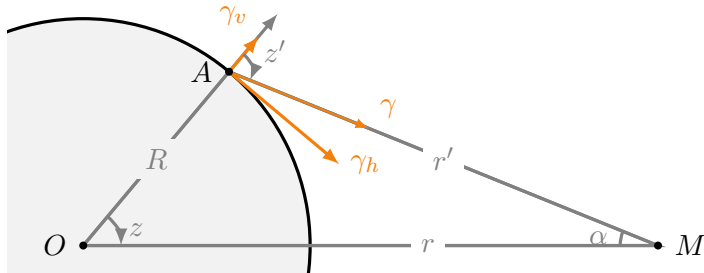
$$\gamma_v = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\cos z + \frac{R}{r} (3 \cos^2 z - 1) \right)$$

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

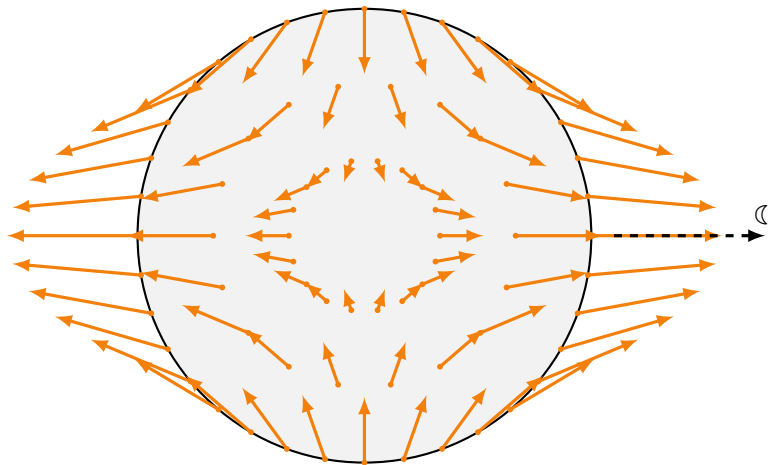


$$\gamma_v = \frac{GM}{r^2} \cdot \left(\cos z + \frac{R}{r} (3 \cos^2 z - 1) \right)$$

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



Siła wypadkowa — γ



$$Vp = V_{\mathcal{C}} + V_{\odot} + v_{\text{♀}} + v_{\text{♂}} + v_{\text{♀}} + v_{\text{♂}} + \dots$$

\mathcal{C} 1


\odot 0,46

♀ 0,00005

♂ 0,000006

♂ 0,000001

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



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

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

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

pływy długookresowe

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

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

$$\left. + \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t \right] \text{ wyraz tesseralny } \\ \text{pływy dobowe}$$

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

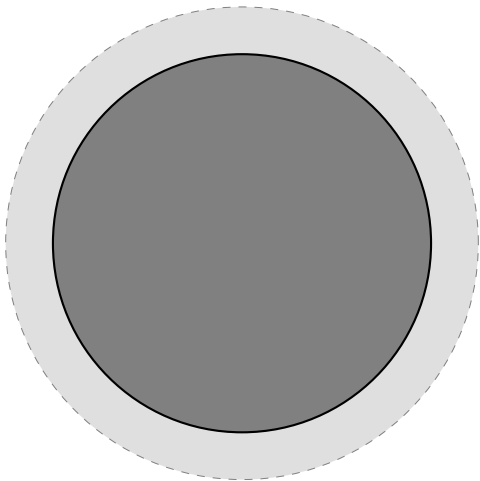
$$\left\{ \begin{array}{l} V_2 = \frac{GmR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right) \\ \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t) \end{array} \right.$$

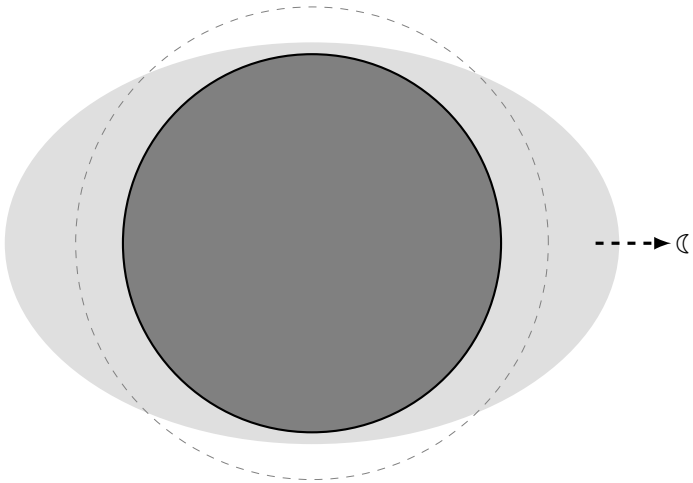
$$V_2 = \frac{3}{4} \frac{GmR^2}{r^3} \cdot \left[3 \left(\sin^2 \varphi - \frac{1}{3} \right) \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right.$$

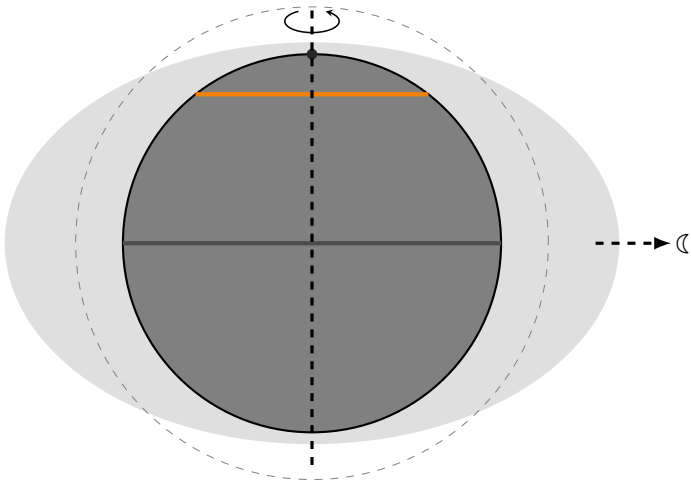
$$+ \sin 2\varphi \sin 2\delta \cos t$$

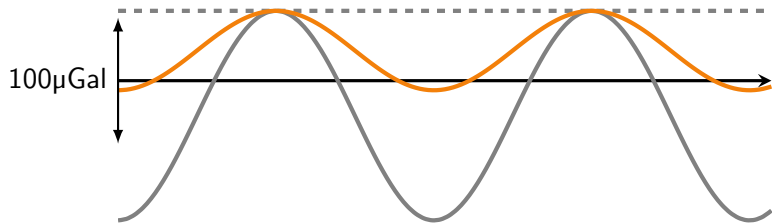
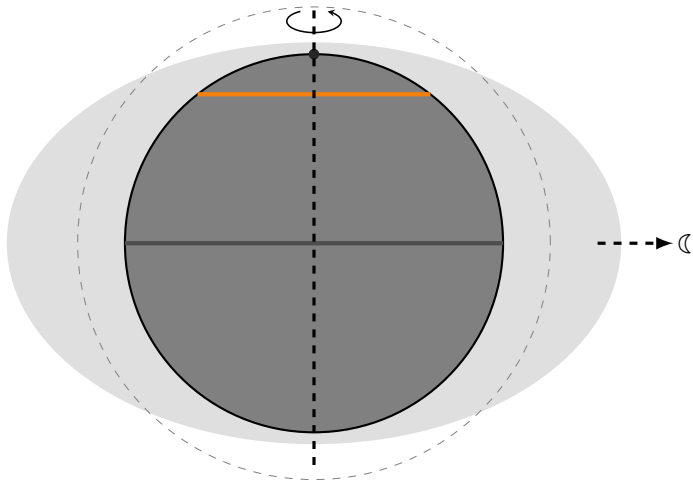
$$\left. + \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2t \right]$$

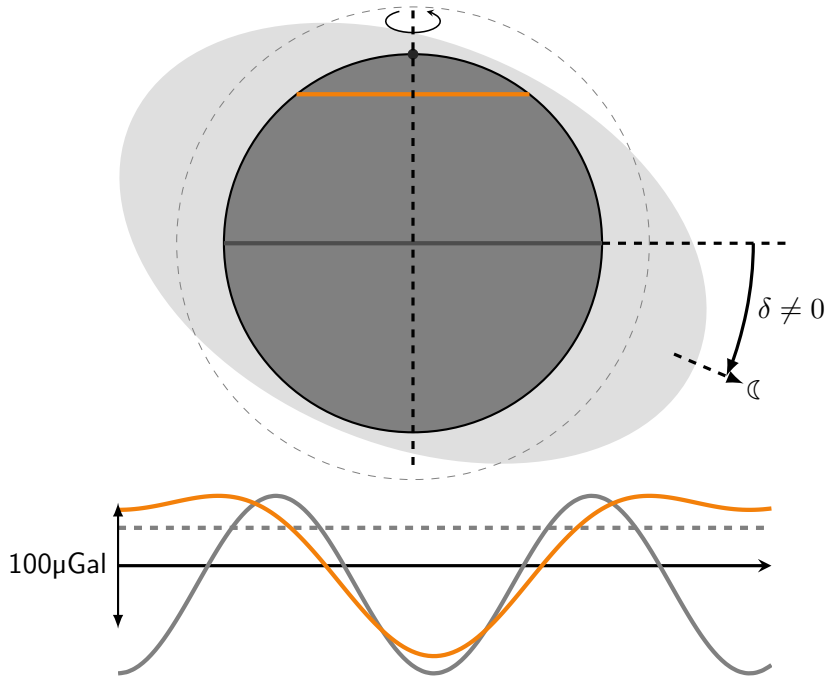
wyraz sektorowy
pływy pół-dobowe]

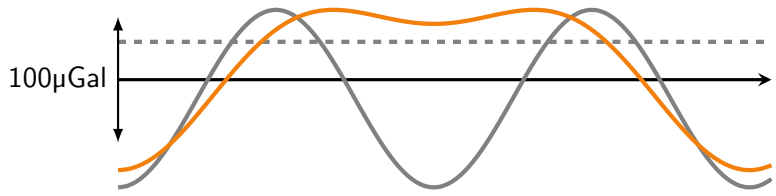
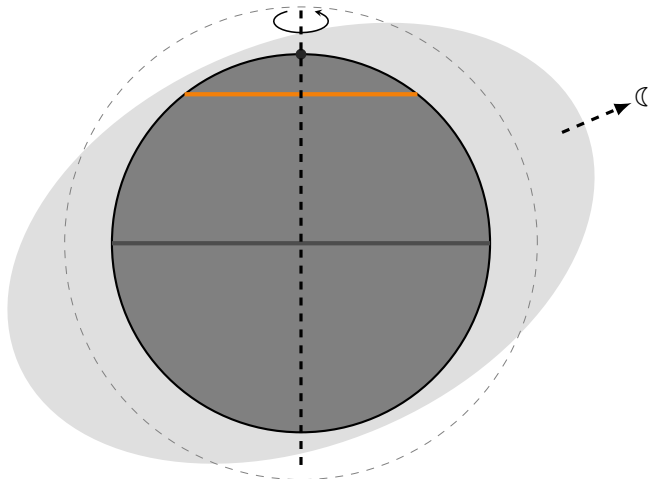


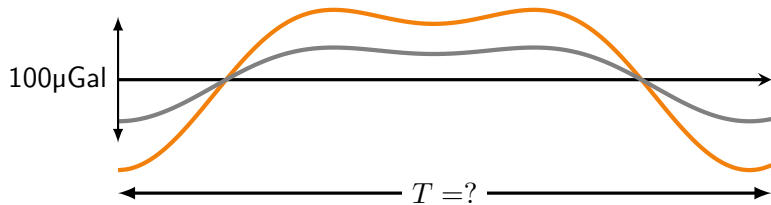
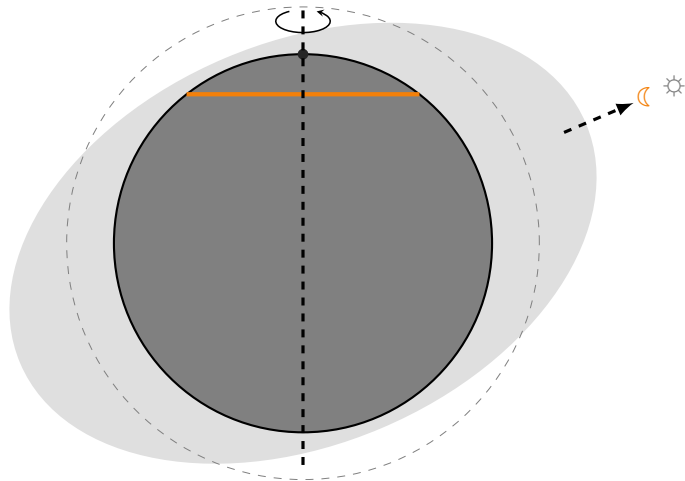


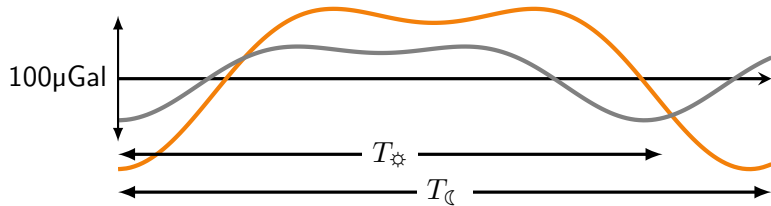
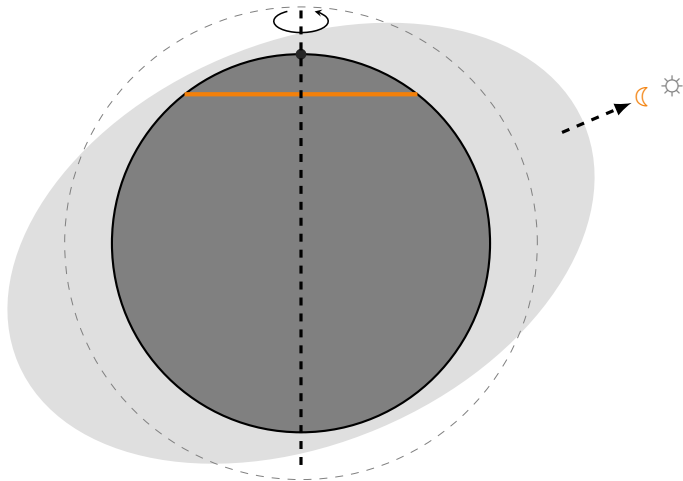


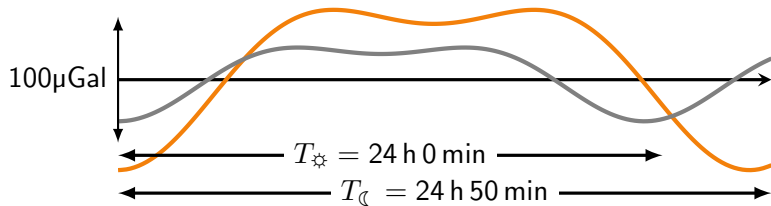
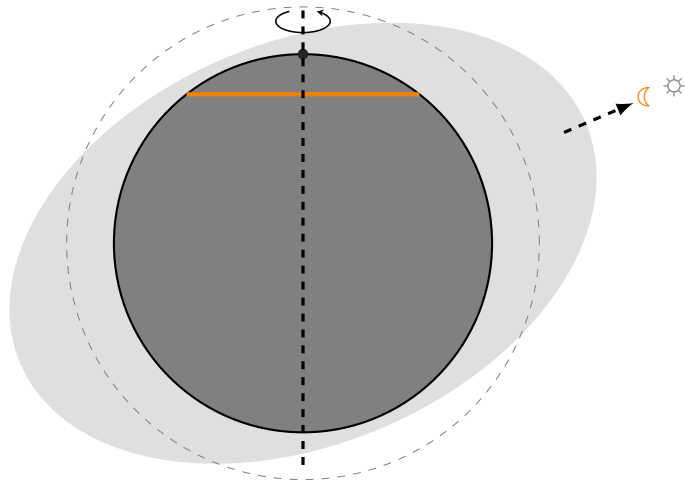












Laplace

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

Doodson

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

| | | | |
|--------------|--------|-----|--|
| $\dot{\tau}$ | 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 |

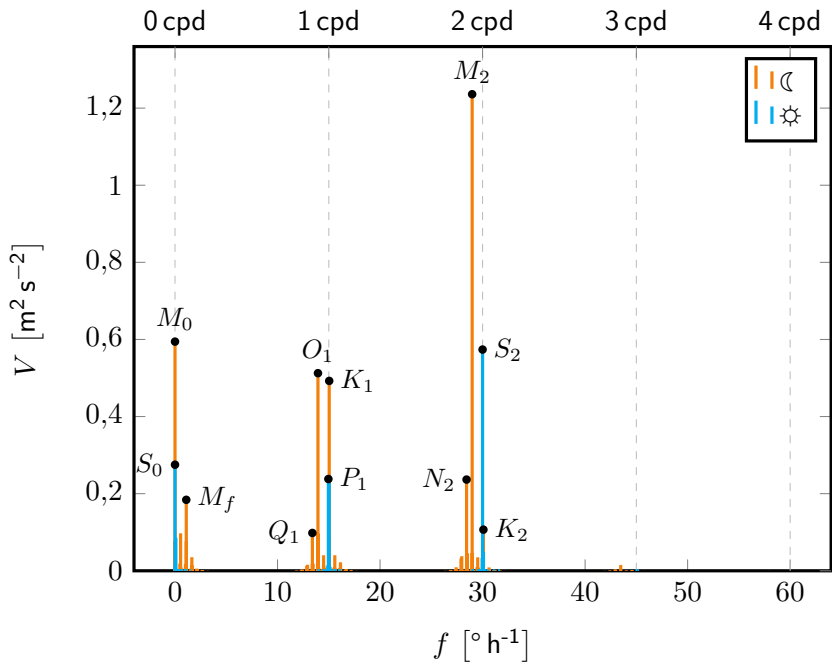
Wykaz 1: fragment katalog potencjału pływowego

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|----|----|----|-------------|--------------|-----------|------|
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00000000 | -8695028819. | 0. | MOSO |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00000000 | 395037. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.00220641 | 771912590. | 0. | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.00220641 | -307251. | 0. | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0.00243541 | 0. | 267094. | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0.00441281 | -7537749. | 0. | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00464181 | 0. | -5631229. | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0.00684822 | 0. | -868055. | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0.01149003 | 1177773. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0.03886027 | -1177773. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0.04106668 | -136150588. | 0. | SA |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.04107060 | 7066640. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0.04327309 | 1177773. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | -2 | -1 | 0 | 0.07064725 | 588887. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | -2 | 0 | 0 | 0.07285365 | -8597745. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | -2 | 1 | 0 | 0.07506006 | 706664. | 0. | |
| 3 | 0 | 0 | 2 | -1 | 0 | 0 | 0.07749547 | 0. | -1068375. | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | -2 | 0.08213336 | -3179988. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0.08213728 | -856594487. | 0. | SSA |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0.08434369 | 21435473. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0.08655009 | 47111093. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | -1 | 0.12320396 | -49937586. | 0. | STA |
| 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | -1 | 0.12541037 | 942219. | 0. | |
| 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | -2 | 0.16427064 | -2002215. | 0. | |
| 2 | 0 | 1 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0.54658111 | 63128646. | 0. | |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0.54681011 | 0. | 5364135. | |
| 2 | 0 | 3 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1.60134107 | -3651097. | 0. | |
| 3 | 2 | 4 | 0 | -1 | 0 | 0 | 31.17552851 | 0. | 1148504. | |

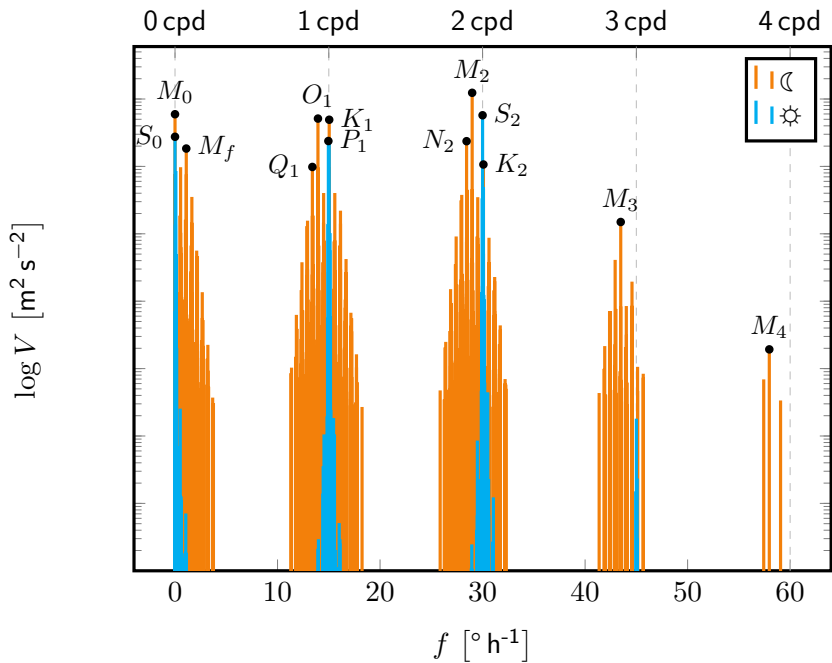
| Symbol | Okres | Pochodzenie |
|---------------------|------------|-------------------------|
| Pływy długookresowe | | |
| M_0 | | Stały pływ księżycowy |
| S_0 | | Stały pływ słoneczny |
| S_a | 365.25^d | Pływ eliptyczny S_0 |
| S_{sa} | 182.62^d | Pływ deklinacyjny S_0 |
| M_m | 27.55^d | Pływ 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...

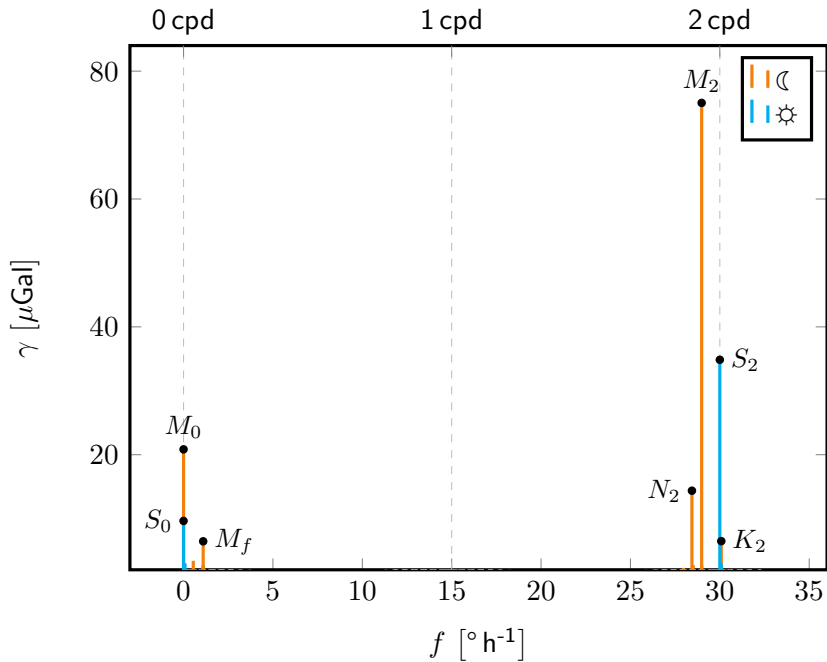
Fale pływowe



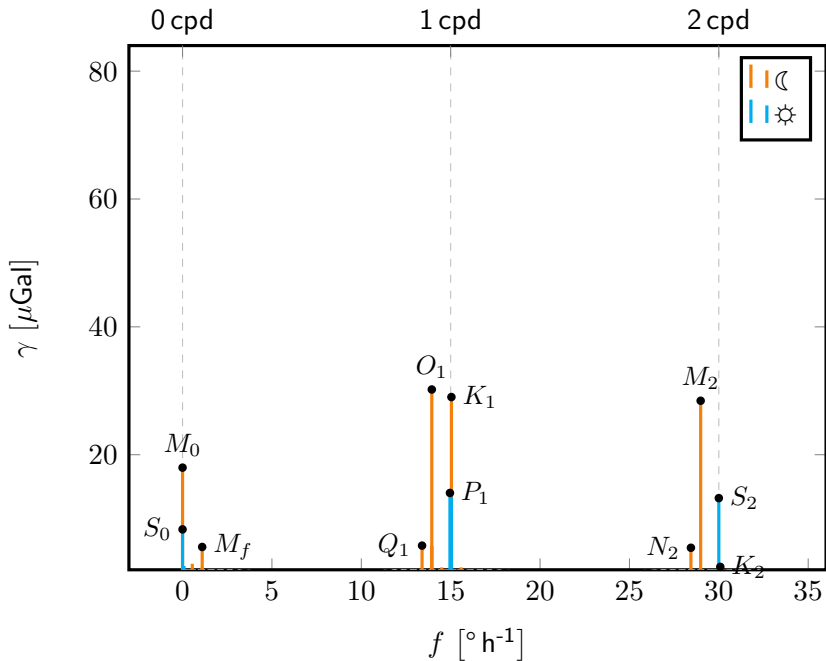
Fale pływowe



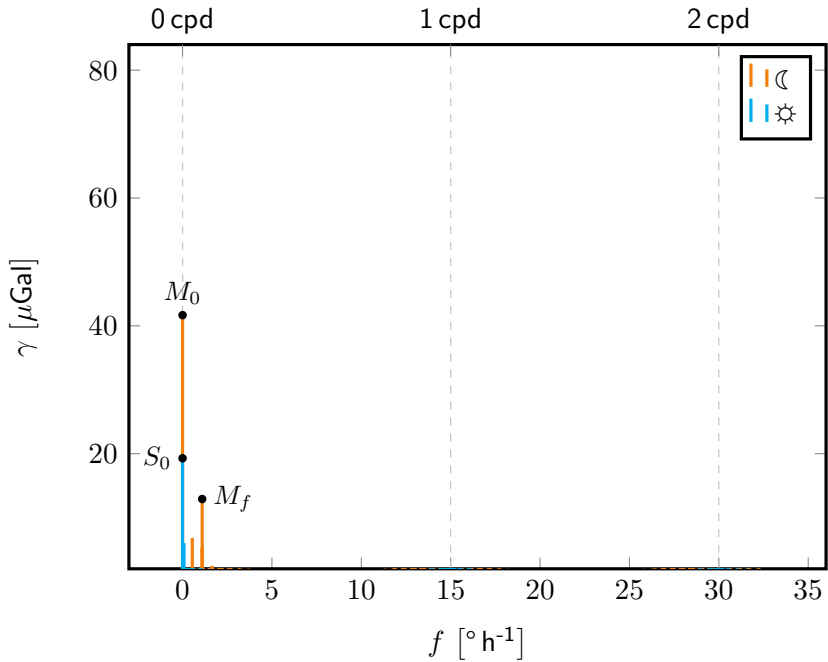
Fale pływowe - $\varphi = 0^\circ$



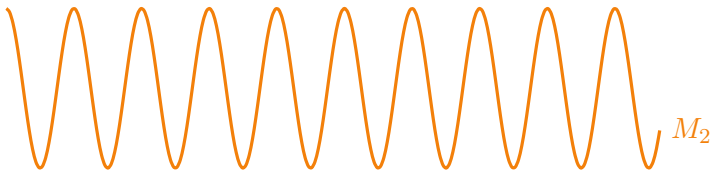
Fale pływowe – $\varphi = 52^\circ$



Fale pływowe – $\varphi = 90^\circ$



— M_2



← 5 d →

————— S_2

