

# delta mała delta

## Przplywy i odpływy

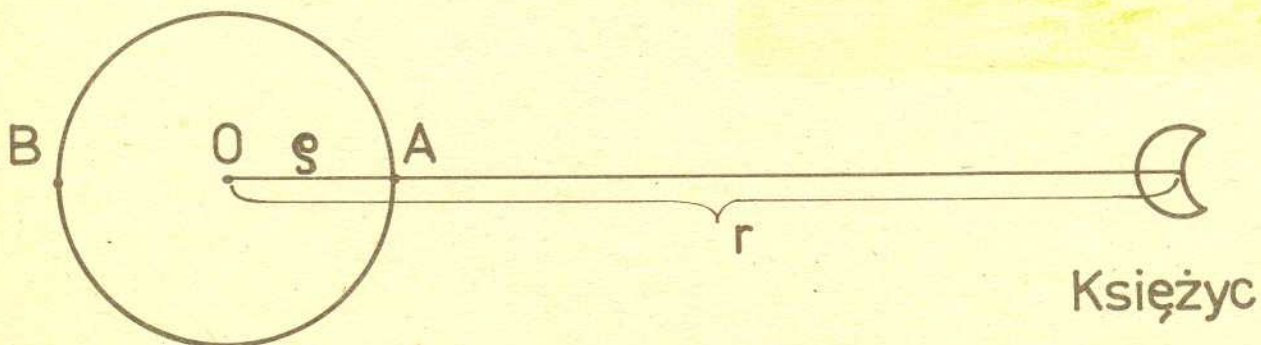
Według newtonowskiego prawa grawitacji przyspieszenie  $a$ , wywierane przez masę  $m$  w odległości  $r$ , wyraża się wzorem

$$a = \frac{Gm}{r^2},$$

gdzie  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$  jest stałą grawitacji. Odwrotna proporcjonalność do kwadratu odległości jest charakterystyczna dla grawitacji oraz oddziaływań elektro- i magnetostatycznych. Nikt dobrze nie wie, dlaczego tak różne oddziaływania podlegają dokładnie takiemu samemu prawu.

Oddziaływanie grawitacyjne Księżyca wywołuje na Ziemi przyplwy i odpływy mórz — zaraz się zresztą sami przekonamy, że rzeczywiście głównie Księżyc jest ich przyczyną. Zjawisko polega na tym, że w punkcie  $A$  (patrz rysunek) przyspieszenie grawitacyjne ze strony Księżyca jest silniejsze niż w punkcie  $O$  z prostego powodu, że  $A$  jest bliżej Księżyca. Analogicznie w punkcie  $B$  „przyspieszenie księżycowe” jest słabsze niż w  $O$ , gdyż  $B$  jest dalej. Jest to więc — jak to się mówi — efekt różnicowy, skutek nierówności przyspieszeń w różnych punktach globu ziemskiego. W rezultacie, jak widać z rysunku, Księżyc usiłuje rozciągnąć powierzchnię oceanów (samą skorupę ziemską zresztą też) wzdłuż linii łączącej go ze środkiem Ziemi. Ruch wirowy Ziemi powoduje, że wybrzuszenia przyplwowe nie leżą dokładnie na tej linii, a w każdym miejscu, gdzie plwy są odczuwalne, mamy dwa przyplwy i dwa odpływy w ciągu doby.

Ziemia





Przyspieszenie w punkcie  $O$  wynosi  $a_O = Gm_k/r_k^2$ , gdzie  $m_k$  jest masą Księżyca, a  $r_k$  — jego odległością od Ziemi.

Przyspieszenie w punkcie  $A$  wynosi  $a_A = \frac{Gm_k}{(r_k - \varrho)^2}$ , gdzie  $\varrho$  jest promieniem Ziemi. Różnica tych przyspieszeń wynosi

$$\Delta a_k = a_A - a_O = \frac{Gm_k}{r_k^2} \left[ \frac{1}{\left(1 - \frac{\varrho}{r_k}\right)^2} - 1 \right] = \frac{Gm_k}{r_k^2} \frac{2\frac{\varrho}{r_k} - \frac{\varrho^2}{r_k^2}}{1 - 2\frac{\varrho}{r_k} + \frac{\varrho^2}{r_k^2}}$$

Ale jeśli  $\frac{\varrho}{r_k} \ll 1$ , to cały drugi ułamek jest równy w przybliżeniu  $2\frac{\varrho}{r_k}$ , zatem  $\Delta a_k = \frac{2Gm_k\varrho}{r_k^3}$ .

Czytelnik łatwo sprawdzi, że wynik jest taki sam dla  $a_O - a_B$ . Tak więc różnica przyspieszeń odpowiedzialna za pływy na Ziemi jest odwrotnie proporcjonalna do trzeciej potęgi odległości ciała powodującego pływy, tu — Księżyca, a wybrzuszenie oceanów jest (w tym przybliżeniu) symetryczne po obu stronach Ziemi.

A jakie jest pływowe działanie Słońca? Jeżeli przez  $m_s$  i  $r_s$  oznaczyć odpowiednio jego masę i odległość, to oczywiście

$$\Delta a_s = \frac{2Gm_s\varrho}{r_s^3},$$

stosunek  $\Delta a_k/\Delta a_s$  jest więc równy

$$\frac{\Delta a_k}{\Delta a_s} = \frac{m_k}{m_s} \left( \frac{r_s}{r_k} \right)^3.$$

W licznych tablicach każdy może znaleźć niezbędne dane. Słońce jest  $2,7 \times 10^7$  razy masywniejsze od Księżyca i znajduje się 390 razy dalej. Zatem

$$\frac{\Delta a_k}{\Delta a_s} = 2,18.$$

Tak więc Słońce wywiera na Ziemi dwukrotnie słabsze działanie pływowe niż Księżyc!

Niepodobna zaobserwować osobno pływów księżycowych i osobno słonecznych — możemy obserwować jedynie ich nakładanie się. Znajac mechanizm zjawiska łatwo teraz przewidzieć, że gdy Słońce, Ziemia i Księżyc znajdą się na jednej prostej (obojętne w jakiej kolejności), to pływy będą silniejsze. Mianowicie podczas nowiu i pełni pływy powinny być

$$\frac{2,18+1}{2,18-1} = 2,7$$

razy silniejsze niż podczas kwadr. W rzeczywistości nie jest tak dokładnie, gdyż ogromne znaczenie ma tu chociażby ukształtowanie dna morskiego. Dlatego maksymalna amplituda pływów na Ziemi sięga 20 m, co jest znacznie więcej niż wartość wynikająca z teorii. W Polsce, tzn. na Bałtyku pływy są właściwie niewyczuwalne, gdyż Bałtyk jest morzem niemal odcięty od oceanu światowego.

A co będzie, jeżeli pływy księżycowo-słoneczne zostaną wzmacnione przez planetarne? Biorąc z tablic masy i odległości planet każdy bez trudu obliczy, że ich działanie jest całkiem znikome w porównaniu z działaniem Księżyca. Tak więc budzące niekiedy obawy „ustawienie się planet na jednej prostej” poza ładnym widokiem na niebie nie ma szans wywrzeć znaczącego wpływu na Ziemi.