



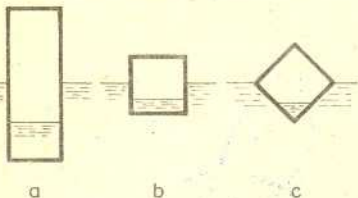
Jak długo trwa doba?

Dr Tomasz KWAST

Rozwiązanie zadania F 288.

W położeniu równowagi odcinek łączący środek masy ze środkiem wyporu musi być pionowy.

W przeciwnym wypadku nie znikalby moment siły wyporu i siły ciężkości. W grę wchodzi więc trzy możliwe sytuacje:



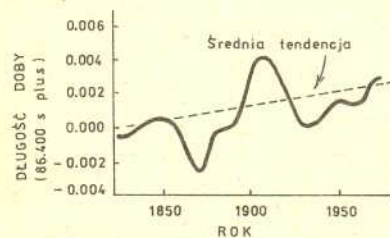
przy czym, ponieważ średnia gęstość rury jest równa połowie gęstości wody, rura jest zawsze zanurzona do połowy swojej objętości. Wynika stąd również, że masa pustej rury równa jest masie zawartej w niej wody. Zatem środek masy układu leży zawsze w połowie odcinka łączącego środek rury ze środkiem masy wody. Z drugiej strony, środek wyporu pokrywa się z geometrycznym środkiem zanurzonej części rury. Oznaczając przez H długość rury znajdujemy odległość między środkiem masy a środkiem wyporu dla przypadków a), b) i c):

$$z_a = \frac{1}{4}H - \frac{3}{16}H = 0,0625H,$$

$$z_b = \frac{1}{4}l - \frac{3}{16}l = 0,0625l,$$

$$z_c = \frac{1}{3} \frac{1}{\sqrt{2}}l - \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3} \right] l \approx 0,0488l.$$

We wszystkich trzech przypadkach środek masy leży powyżej środka wyporu. Czy oznacza to, że układ nie ma położenia równowagi trwałej? Nie. Energia potencjalna układu wynosi Mgz i jest najmniejsza w przypadku c), który realizuje tym samym położenie równowagi trwałej.



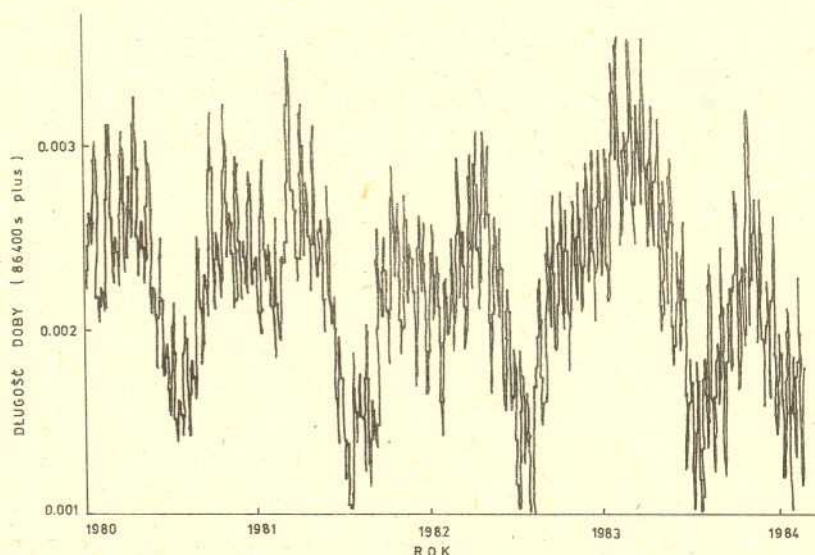
Rys. 1. Wielkoskalowe zmiany długości doby.

Nie od dziś wiadomo, że Ziemia jest dość marnym zegarem, inaczej mówiąc – obraca się niejednostajnie. Zostało to stwierdzone w wyniku porównania czasu mierzonego obrotem Ziemi i mierzonego za pomocą zegarów atomowych, zachowujących z natury rzeczy swój jednostajny chód z ogromną dokładnością. Po co więc zajmować się dalej tak niedoskonałym zegarem ziemskim? Otóż – po pierwsze – niejednostajność obrotu Ziemi może być interesująca po prostu jako zjawisko przyrodnicze. Po drugie – zegar atomowy, jako twór techniki, ma prawo być zawodny i by mieć doń pełne zaufanie, należy go od czasu do czasu porównać z innym zegarem – Ziemią, nie tak dokładnym, za to niezawodnym. Umożliwił to laser i technika kosmiczna.

Mianowicie: radzieckie automatyczne sondy i amerykańskie wyprawy załogowe zostawiły na Księżycu kilka tzw. odbłyśników, tj. układów przyzmatycznych, które z minimalnymi stratami odbijają każdy promień światła w kierunku, z którego ten promień przyszedł. Z Ziemi za pomocą lasera połączony z teleskopem wysyła się bardzo krótkie impulsy światła ku tym odbłyśnikom, a następnie mierzy się czas ich przelotu na drodze Ziemia – Księżyc – Ziemia. Tak wyznacza się odległość Księżycy od Ziemi. Ponieważ czas przelotu impulsu świetlnego można mierzyć z dokładnością rzędu 10^{-10} s, odległość wyznacza się z dokładnością do ułamka metra, a więc – prawdę mówiąc – mierzy się w ten sposób odległość konkretnego odbłyśnika od konkretnego lasera w ściśle określonej chwili.

Można też odbłyśnik wykorzystać inaczej. Gdyby zawiesić go gdzieś daleko „nieruchomo” w przestrzeni, to za pomocą nieruchomego względem Ziemi teleskopu z laserem można by było precyzyjnie określić czas trwania jednego obrotu Ziemi. Byłby nim czas między kolejnymi odbiciami promienia laserowego. Jest to, oczywiście, eksperyment fikcyjny, a najlepsze, co dało się dotychczas zrobić, to właśnie umieszczenie odbłyśników na Księżycu (lub bliżej, na sztucznych satelitach, np. na satelicie Lageos, od: Laser Geodynamics Satellite). Czas między dwoma kolejnymi odbiciami od tego samego odbłyśnika nie jest wtedy dobą, ale jej czas trwania można obliczyć. Tego rodzaju obserwacje, dzięki swojej fantastycznej dokładności, umożliwiają w rezultacie jednoczesne wyznaczenie długości doby, położenia biegunów ziemskich, dokładne poznanie orbity Księżycy itd.

W ten sposób długość doby wyznacza się obecnie z dokładnością do 0,1 ms. Przykładowe wyniki są przedstawione na rysunkach. Analiza takich danych pozwala na wyróżnienie rozmaitych „składowych” zmian długości doby. Jedne z nich, jak np. systematyczny wzrost długości doby czy wahania miesięczne, są naturalne i wynikają z rozpraszania energii ruchu obrotowego Ziemi przez pływy oraz z oddziaływania Księżycy. Inne jednak, np. słynny 14-miesięczny okres Chandlera, nie znalazły do dziś wytłumaczenia.



Rys. 2. Pomiary długości doby wykonane w Jet Propulsion Laboratory wykazują regularne zmiany z okresem rzędu dwóch tygodni.