

## Księżycowe niebo i figury Lissajous

Co wspólnego mogą mieć figury Lissajous z księżycowym niebem? Okazuje się, że nie mniej niż np. piernik z wiatrakiem.

W 1967 roku ukazał się w ZSRR, w serii *kosmiczeskaja fantastika*, znaczek pocztowy o nominale 6 kop. Na znaczku widzimy dwóch kosmonautów wędrujących po powierzchni Księżyca, a spod horyzontu, na tle rozgwieżdżonego nieba, wylania się Ziemia. Podpis pod rysunkiem brzmi: *Na Luniu*. Dalej mamy nadrukowany czarny prostokąt, dość szczęśliwie łączący się z czarnym cieniem w załomie skalnym w dolnym, prawym rogu rysunku (rys.1). Jeżeli znaczek oświetlimy silnie od spodu, z łatwością odczytamy dalszy ciąg tekstu: *Woschodit' Ziemia*. Podobno część znaczków trafiła do obiegu bez nadruku. Mamy więc rarytas filatelistyczny (filateliści bardzo cenią znaczki z różnego rodzaju usterkami, błędami, dodrukami itp).

Rys. 1

Ale czy rzeczywiście poprawka była konieczna? Czy naprawdę z powierzchni Srebrnego Globu nie można podziwiać wschodów i zachodów Ziemi? Na pierwszy rzut oka wydaje się, że rzeczywiście nie można. Jeśli bowiem patrząc z Ziemi widzimy stale tę samą stronę naszego satelity, to będąc na Księżycu powinniśmy widzieć Ziemię stale w tym samym punkcie księżycowego nieba.

Zajrzyjmy teraz do *Astronomii Współczesnej* L. Oстера na stronę 31. Zobaczymy tam piękne zdjęcie zatytułowane *Wschodząca Ziemia obserwowana z pokładu Apollo 8 krążącego po orbicie okołoksiężycowej*. Ziemia znajduje się około  $5^\circ$  nad horyzontem księżycowym. Apollo 8 okrążył Księżyc na niewielkiej w porównaniu z jego promieniem wysokości ( $h_p = 111$  km,  $h_a = 315$  km). Stąd też niebo oglądane z pokładu statku niewiele się różniło od nieba widzianego z powierzchni globu.

Rozpatrzmy problem nieco dokładniej – na początku z punktu widzenia obserwatora znajdującego się na powierzchni Ziemi. Jakkolwiek rzeczywiście okres obrotu Księżyca wokół własnej osi jest dokładnie równy okresowi obiegu wokół Ziemi, to należy jeszcze zwrócić uwagę, że wokółziemska orbita Księżyca jest elipsą. Stąd ruch Księżyca wokół Ziemi nie jest jednostajny, jest on najszybszy w perygeum, najwolniejszy w apogeum. Popatrzmy na rysunek 2 przedstawiający ten fakt w dużej przesadzie. Zaznaczono na nim cztery pozycje Księżyca na orbicie w odstępach jednotygodniowych. Strzałki wskazują orientację wybranego obiektu na środku tarczy Księżyca. Kolejne strzałki mają kierunki zmienione o  $90^\circ$ . Kąt ten odpowiada  $1/4$  okresu obrotu. Ze względu na niejednostajny ruch po orbicie eliptycznej kolejne pozycje Księżyca rozmieszczone są w nierównych odstępach. Kolor biały odpowiada widocznej z Ziemi w danej chwili części powierzchni Księżyca. Dla obserwatora patrzącego z Ziemi Księżyc nieco się „kołysze” i widzimy w ciągu miesiąca ponad 50% jego powierzchni. Jest to dobrze znane zjawisko libracji Księżyca w długości. Dla obserwatora znajdującego się na Księżycu (zmieniamy teraz układ odniesienia) wynikiem tej libracji będzie ruch Ziemi na księżycowym niebie ze wschodu na zachód i z powrotem. Ruch ten odbywa się z amplitudą  $15^\circ 48'$  i okresem równym miesiącowi anomalistycznemu ( $27^d 13^h 18^m 33^s$ ), tj. okresowi między kolejnymi przejściami Księżyca przez perygeum.

Zauważmy też, że oś obrotu Księżyca nie jest prostopadła do płaszczyzny jego orbity. Wynika stąd natychmiast zjawisko libracji w szerokości. Ilustruje to w wystarczający sposób rysunek 3. Dla obserwatora na Księżycu w wyniku tej libracji Ziemia odchyła się na przemian na północ i na południe od płaszczyzny równika (oczywiście księżycowego). Okres tego ruchu jest równy miesiącowi smoczemu ( $27^d 5^h 5^m 36^s$ ), tj. okresowi między kolejnymi przejściami Księżyca przez węzeł wstępujący, amplituda natomiast wynosi  $13^\circ 40'$ . Mamy więc i figurę Lissajous. Ponieważ okresy obu ruchów niewiele się różnią, będzie to krzywa „trudnodomknięta” (rys.4).

Jeśli nasi kosmonauci (ci ze znaczka) znajdowali się w długości selenograficznej bliskiej  $90^\circ$  (lub  $270^\circ$ ), mogli z powodzeniem obserwować wschód Ziemi. Szerokość pasa, z którego jest to możliwe, jest dość znaczna i wynosi około 480 km (na równiku) i około 410 km w pobliżu biegunów. Powierzchnia tego pasa stanowi około  $1/5$  powierzchni Srebrnego Globu.

Ruch Ziemi na księżycowym niebie można pięknie modelować, jeśli posiadamy oscyloskop katodowy i przestrajalny generator akustyczny. Na płytce odchyłania poziomego podajemy napięcie sieci (50 Hz), na płytce odchyłania pionowego napięcie z generatora nastrojonego na częstotliwość nieco niższą:

$$\frac{\text{miesiąc smoczy}}{\text{miesiąc anomalistyczny}} = \frac{49,38 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}}$$

Stosunek amplitud powinien wynosić

$$\frac{13^\circ 40'}{15^\circ 48'} = \frac{1}{1,2}$$

Modelowanie będzie bliższe rzeczywistości, jeżeli zaopatrzymy się w dwa generatory bardzo niskiej częstotliwości (0,5 – 1 Hz) lub jeszcze mniejszej i rozogniskujemy nieco plamkę na ekranie oscyloskopu.

Juliusz DOMAŃSKI