Zachód Słońca na Merkurym

Dr Leszek CZECHOWSKI

Merkury to najbliższa Słońcu planeta Układu Słonecznego; w peryhelium zbliża się do Słońca na odległość 0,31 j.a. (1 jednostka astronomiczna = 149,6 mln km), a w aphelium oddala się na 0,47 j. a. Orbita Merkurego jest więc wydłużoną elipsą; jej mimośród wynosi 0,2056. Wśród planet jedynie Pluton ma orbitę o większym mimośrodzie. Okres obiegu Merkurego dookoła Słońca jest równy 88 dobom ziemskim, a wyznaczony na podstawie obserwacji odbitych od planety fal radarowych okres obrotu wokół osi 2/3 tego czasu (dokładniej 58, 646 doby).

Większość informacji o Merkurym zawdzięczamy amerykańskiej sondzie Mariner 10 wystrzelonej w listopadzie 1973 roku, która trzykrotnie przelatywała obok Merkurego. Dzięki tej misji wiemy, jak wygląda Merkury z bliska.

Planeta robi wrażenie „księżycowe". Czegoś jednak brakuje do zupełnego podobieństwa do Księżyca. Na powierzchni Merkurego nie ma ciemnych obszarów — „mórz", jakie na Księżycu można zaobserwować nawet gołym okiem. Najmniejsze, widoczne na zdjęciach kratery mają rozmiary kilku kilometrów. Większe kratery mają w centrum górkę, a jeszcze większe tworzą struktury złożone z kilku pierścieni. Widoczne są także olbrzymie pierścieniowe struktury o rozmiarach rzędu tysięcy kilometrów. Najpiękniejszy przykład takiej struktury to basen Caloris. Jest to kolista równina o średnicy 1300 km pokryta wielką ilością szczelin, spękań i grzbietów. Otoczenie stanowi szerokie na 100-160 km pasmo górskie o wysokości około 2 km. Pod wieloma względami Caloris podobna jest do księżycowych Mare Imbrium czy Mare Orientale, a także do równiny Hellas na Marsie. Jest to jeden z dwóch najlepiej nasłonecznionych obszarów w Układzie Słonecznym — gdy Merkury jest najbliżej Słońca, to świeci ono na przemian: albo dokładnie nad Caloris albo nad jej antypodami. Mimo to nie jest to najcieplejsze miejsce w Układzie — cieplej o kilkadziesiąt stopni bywa na Wenus, gdzie tarcza słoneczna wcale nie jest widoczna.

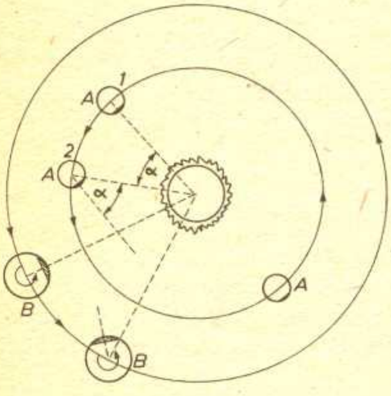
Wyobraźmy sobie, że wylądowaliśmy na powierzchni Merkurego. Znowu stwierdzamy łudzące podobieństwo do Księżyca. Grunt stanowi bardzo rozdrobniony materiał (regolit) powstały wskutek uderzeń mikrometeoroidów. Podobieństwa dopełnia (praktycznie) brak atmosfery — przez co niebo jest czarne nawet w dzień.

O tym, że jesteśmy jednak na Merkurym, świadczy wielkość tarczy słonecznej — około trzykrotnie większa niż na Księżycu. Jeżeli Słońce jest w zenicie, to na każdy metr kwadratowy powierzchni pada około 9 kW energii (na Ziemi około 1,4kW). Z uwagi na małe albedo (współczynnik odbicia) planety 90% tej energii idzie na rozgrzanie gruntu. Nic więc dziwnego, że temperatura gruntu w Caloris osiąga 420°C.

Podczas zachodu Słońca można zaobserwować zaskakujące zjawisko. Oto Słońce powoli (o wiele wolniej niż na Ziemi) chowa się za horyzontem. Schowało się już prawie całe, ale w pewnym momencie zatrzymuje się i zaczyna się podnosić. Mamy więc bezpośrednio po zachodzie Słońca jego wschód i to po zachodniej stronie nieba.

Wytłumaczmy to zjawisko dokładniej. Pozorny ruch Słońca na nieboskłonie jest wynikiem złożenia ruchu wirowego planety wokół osi i ruchu orbitalnego planety wokół Słońca.

Rozważmy najpierw przypadek, gdy planeta nie obraca się wokół swojej osi (planeta A na rys. 1). Zachowuje ona stałą orientację względem gwiazd. Łatwo zauważyć, że prędkość kątowa Słońca na takiej planecie jest równa prędkości kątowej ruchu orbitalnego planety względem Słońca. Zgodnie z drugim prawem Keplera (rys. 2) prędkość ta jest duża w pobliżu peryhelium, a mała w pobliżu aphelium.

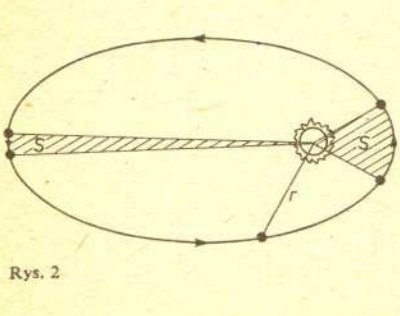


Rys. 1

Załóżmy teraz, że planeta obiega Słońce i jednocześnie obraca się wokół swojej osi (planeta B na rys. 1). Jeżeli obrót wokół osi odbywa się w tym samym kierunku co obieg dookoła Słońca, to prędkość Słońca na nieboskłonie planety B jest równa różnicy prędkości kątowych

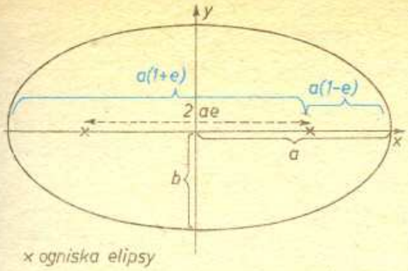
$$\omega_s = \omega_{obiegu} - \omega_{obrotu}.$$

Jeżeli planeta wiruje w przeciwnym kierunku niż obiega Słońce, to prędkości kątowe trzeba dodać. W Układzie Słonecznym tak wirują tylko dwie planety — Wenus i Uran.



Rys. 2

Prędkość ruchu obrotowego wokół osi jest prawie stała; zmienia się o ułamki procenta w ciągu milionów lat. Natomiast prędkość kątowa ruchu po orbicie jest, jak zauważyliśmy wyżej, zmienna. I tutaj widzimy szansę wyjaśnienia niezwykłego zachodu na Merkurym. Otóż, jeśli ω_{obrotu} w pobliżu peryhelium jest mniejsza od ω_{obiegu}, zaś w pobliżu aphelium większa, to ω_s będzie czasem dodatnia, a czasem ujemna. Oznacza to, że Słońce na nieboskłonie Merkurego może



Rys. 3

przesuwać się bądź z zachodu na wschód (gdy planeta jest blisko Słońca), bądź też ze wschodu na zachód (gdy planeta jest daleko).

Sprawdźmy teraz, że rzeczywiście ma to miejsce. Prędkość polowa (P) planety jest związana z prędkością liniową (v) zależnością (por. rys. 2):

$$P = \frac{1}{2} vr.$$

Ponieważ

$$v = \omega_{obiegu} \cdot r,$$

mamy

$$\omega_{obiegu} = \frac{2P}{r^2}.$$

Pozostaje teraz obliczyć prędkość polową Merkurego. W czasie 88 dni obiega on Słońce, czyli promień wodzący planety zakreśla pole powierzchni całej orbity. Pole powierzchni elipsy (por. rys. 3)

$$S = \pi a^2 \sqrt{1-e^2},$$

czyli prędkość polowa

$$P = \frac{\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{T_{obiegu}}.$$

Ostatecznie więc

$$\omega_{obiegu} = \frac{2\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{T_{obiegu} r^2}.$$

Z drugiej strony, ponieważ $T_{obrotu} = \frac{2}{3} T_{obiegu}$,

$$\omega_{obrotu} = \frac{3\pi}{T_{obiegu}}.$$

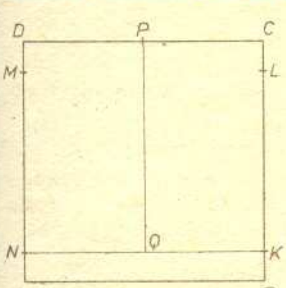
Korzystając z danych przytoczonych na początku artykułu otrzymujemy $\omega_s = 1/276$ rad/doba w peryhelium ($r = a(1-e)$) i $\omega_s \simeq -1/53$ rad/doba w aphelium ($r = a(1+e)$). Czyli, jak przypuszczaliśmy, ω_s zmienia znak w czasie ruchu na orbicie.

Opisany wyżej zachód Słońca odpowiada sytuacji, w której zmiana znaku następuje w chwili, gdy Słońce jest na horyzoncie. Łatwo teraz przewidzieć, co się stanie dalej. Przez pewien czas Słońce będzie coraz szybciej cofać się z zachodu na wschód, następnie prędkość ta będzie malała, wreszcie Słońce znowu zatrzyma się na nieboskłonie, by zajść na dobre po zachodniej stronie widnokręgu.

Proponujemy Czytelnikowi wykazanie, że Słońce na pełen obrót na niebie Merkurego potrzebuje 176 dni. Tak więc doba na Merkurym trwa dwa razy dłużej niż rok.

Kiedy więc na Merkurym powstanie solarium dla całego Układu Słonecznego i będziemy korespondować z jego mieszkańcami, to pamiętajmy, że 80-letnia Merkurianka pożyczająca książkę do jutra, to panna na wydaniu mająca zamiar oddać książkę za pół roku.

Rozwiązanie zadania M 369. Niech naszym kwadratem będzie $ABCD$. Wybierzmy punkty K, L, M, N jak na rysunku, przy czym odległość każdego z tych punktów od najbliższego wierzchołka jest równa $\frac{\sqrt{2}}{16}$.



Przypuśćmy, że udało się nam podzielić kwadrat na trzy zbiory Z_1, Z_2, Z_3, każdy o średnicy mniejszej niż $\frac{\sqrt{130}}{16}$. Oczywiście do któregoś zbioru (np. Z_1) należą dwa wierzchołki. Nie mogą to być wierzchołki przeciwległe, gdyż wtedy diam $Z_1 = 1$.
Niech $A, B \in Z_1$, $C \in Z_2$. Mamy wtedy
1) $\overline{KC} \cap Z_1 = \emptyset$, $\overline{ND} \cap Z_1 = \emptyset$; jeśli bowiem $X \in \overline{KC} \cap Z_1$, to diam $Z_1 \geqslant \overline{AX} \geqslant$

$$\geqslant \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{2}{256}} = \frac{\sqrt{130}}{16}.$$

2) $D \in Z_3$; jeśli $D \in Z_2$, to tak jak w 1) $\overline{MA} \cap Z_2 = \emptyset$, $\overline{LB} \cap Z_2 = \emptyset$, a więc $M, K \in Z_3$, czyli diam $Z_3 \geqslant$

$$\geqslant MK \sqrt{\frac{1}{2} + \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - 2\frac{\sqrt{2}}{16}\right)^2} \geqslant \frac{\sqrt{130}}{16}.$$

3) $N \in Z_3$, $K \in Z_2$; jeśli $K \in Z_3$, to diam $Z_3 \geqslant \overline{DK} \geqslant \frac{\sqrt{130}}{16}$.
4) $\overline{CD} \cap Z_1 = \emptyset$; niech $X \in Z_1 \cap \overline{CD}$ i $\overline{XC} \geqslant$ $\geqslant \frac{\sqrt{2}}{4}$, wtedy diam $Z_1 \geqslant \overline{XB} \geqslant$

$$\geqslant \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{8}} \geqslant \frac{\sqrt{130}}{16}.$$

Niech P będzie środkiem odcinka CD.
Z 4) $P \in Z_2 \cup Z_3$, z 3) mamy więc

$$max(\text{diam } Z_2, \text{diam } Z_3) \geqslant max(PN, PK) =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{8} + \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{16}\right)^2} = \frac{\sqrt{130}}{16},$$

a więc jeden ze zbiorów Z_i ma średnicę co najmniej $\frac{\sqrt{130}}{16}$.
Z drugiej strony każdy z prostokątów $ABKN$, $CPQK$, $DNQP$ ma średnicę $\frac{\sqrt{130}}{16}$.