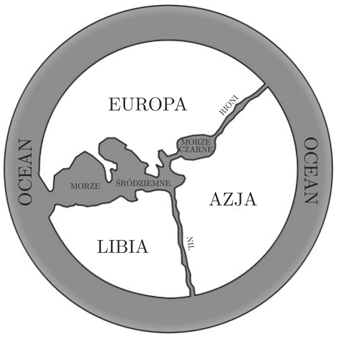
Jak wielka była Ziemia w starożytności?

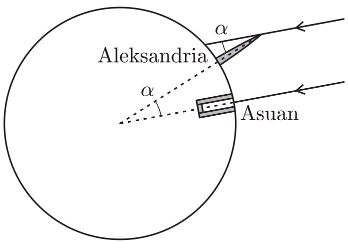
Michał BEJGER

Starożytnym myślicielom zawdzięczamy przede wszystkim solidne naukowe podstawy uprawiania nauki. Opracowali oni założenia matematyki, logiki i geometrii, a w szczególności studiowali fizykę i filozofię z dociekliwością nie mniejszą niż współcześni badacze (a może o wiele większą, gdyż nie mieli do dyspozycji wyników doświadczeń Wielkiego Zderzacza Hadronów czy obserwacji teleskopu Hubble'a). Leukippos, Demokryt i Epikur wiedzieli na przykład, że materii nie da dzielić się w nieskończoność – składa się ona z niepodzielnych elementów (atomów), pomiędzy którymi znajduje się próżnia.



Rys. 1. Świat według Anaksymandra z Miletu.

Świat według Anaksymandra z Miletu (610–546 p.n.e.) był niezwykle prosty (rys. 1) i składał się z trzech kontynentów otoczonych oceanem. Był to obraz tak wyraziście przemawiający do wyobraźni, że posługiwali się nim późniejsi uczeni, na przykład św. Izydor z Sewilli (VII w. n.e.), a jeszcze w XII w. n.e. przerysowywano go w uczonych księgach, takich jak *Codex Gigas*. Mimo że mapa Anaksymandra jest z braku danych mocno uproszczona, starożytni z pewnością przeczuwali, że „coś jest na rzeczy". Arystoteles (384–322 p.n.e.), wypowiadając się na temat kształtu Ziemi, argumentował, że musi być ona kulą, gdyż z warunku symetrii każda część Ziemi jest przyciągana do wspólnego środka; także cień Ziemi na tarczy Księżyca podczas jego zaćmienia jest częścią koła.

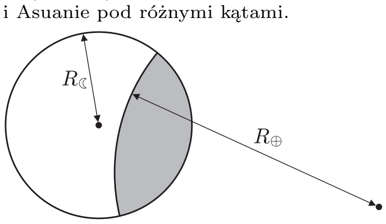


Rys. 2. Zakładając, że Słońce znajduje się dostatecznie daleko, jego promienie można uważać za równoległe. Padają one w tym samym momencie w Aleksandrii i Asuanie pod różnymi kątami.

Jak wykonać pomiar, mając takie przesłanki teoretyczne i obserwacyjne? Eratostenes (276–195 p.n.e.) dokonał tego w stylu prawdziwego teoretyka, nie ruszając się zza biurka w bibliotece aleksandryjskiej, w której pracował. Wiedział on, że w dniu przesilenia letniego, w oddalonym o około $d = 5000$ stadiów mieście Syene (dzisiejszy Asuan) promienie słoneczne padają podczas lokalnego południa pionowo, tak że da się zobaczyć jego odbicie w głębokiej studni. Asuan znajduje się bowiem prawie dokładnie na zwrotniku Raka i prawie dokładnie na tym samym południku co Aleksandria, w której promienie Słońca padają w dniu przesilenia letniego pod kątem $\alpha = 7^\circ 12'$ od pionu (rys. 2). Według Eratostenesa wystarczy więc wykonać proste obliczenia:

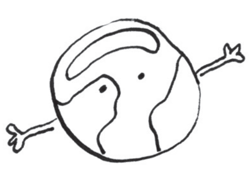
$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{d}{2\pi R_\oplus}.$$

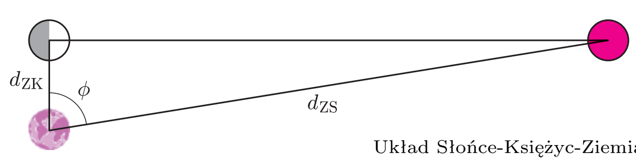
Tłumacząc stadia na kilometry, dostaniemy $d = 780$ km, z czego wynika, że długość równika to $2\pi R_\oplus = 39\,000$ km, a więc wartość bardzo bliska prawdziwej: 40 075 km.



Rys. 3. Cień Ziemi na tarczy Księżyca wyobrażany jako przecięcie Księżyca i Ziemi.

Używając podobnie prostych argumentów, Arystarch z Samos (310–230 p.n.e.) zaproponował metodę pomiaru odległości i rozmiaru Księżyca. Obserwacje zaćmienia przekonują, że względny rozmiar Księżyca i cienia Ziemi oświetlanej przez odległe Słońce (rys. 3) to mniej więcej $R_☾/R_\oplus \simeq 1/3$ (dokładna obecna wartość to $R_☾/R_\oplus = 0{,}2724$). Arystarch umiał także mierzyć średnice kątowe obiektów na niebie – rozmiar kątowy Księżyca wynosi $\theta = 0{,}5^\circ$ (0,0087 radianów), zatem odległość Ziemia-Księżyc można otrzymać, analizując równoramienny trójkąt o kącie rozwarcia θ i podstawie długości średnicy Księżyca. Dostaniemy wtedy $d_{\mathrm{ZK}} \simeq 2R_☾/\theta \simeq 4 \cdot 10^5$ km, podczas gdy obecnie rutynowo mierzona w eksperymentach radarowych i laserowych średnia odległość Ziemia-Księżyc to około $3{,}8 \cdot 10^5$ km. Gdy znamy odległość Ziemia-Księżyc, nic nie stoi na przeszkodzie, by obliczyć też odległość Ziemia-Słońce. Z pomocą przychodzi kolejna obserwacja Arystarcha z Samos: podczas kwadry (Księżyc oświetlony dokładnie w połowie), kąt ϕ Księżyc-Ziemia-Słońce jest mniejszy od 90°; w czasach starożytnych zmierzono $\phi = 87^\circ$, co przekłada się na $d_{\mathrm{ZS}} = d_{\mathrm{ZK}}/\cos\phi$, czyli $d_{\mathrm{ZS}} \simeq 20 d_{\mathrm{ZK}}$. Obecnie wiemy, że ϕ jest znacznie bliższe 90° i wynosi 89,853°, co daje $d_{\mathrm{ZS}} \simeq 390 d_{\mathrm{ZK}}$ (brak dokładności pomiarowej w niczym oczywiście nie umniejsza genialnej prostoty przedstawionych powyżej pomysłów).





Układ Słońce-Księżyc-Ziemia podczas kwadry.