



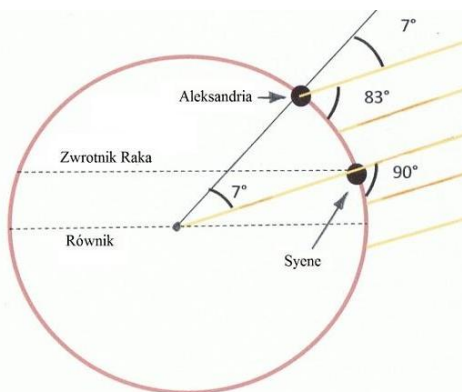
## Kiedy Ziemia przestała być płaska? Wizje Układu Słonecznego do czasów Keplera

Michał Bizoń  
Instytut Filozofii UJ

Wbrew temu, co może sugerować nieco prowokacyjny tytuł, ludzie zdali sobie sprawę z kulistości Ziemi nie tylko na długo przed Keplerem, ale już pierwsi filozofowie greccy uznawali tę hipotezę za naturalną. W V wieku p.n.e. Parmenides uważał, że tak Ziemia, jak i cały Wszechświat jest kulą. Podobną teorię wyznawali Pitagorejczycy, w interesujący sposób ją modyfikując i rozwijając. Kosmologia pitagorejska postulowała bowiem nie tylko kulistość Ziemi i planet, ale również porządek ciał niebieskich, który można uznać za antycypację układu heliocentrycznego. W środku świata – będącym również środkiem Układu Słonecznego – znajdował się Ogień, wokół którego krążyły Słońce i planety. Ogień ten nie był jednak widoczny, ponieważ zasłaniała go Antyziemia (*Antichthon*), znajdująca się stale między nim a Ziemią właściwą. Słońce krążyło wokół Ziemi, odbijając światło pochodzące od Ognia. Teoria ta jest charakterystycznym przykładem spekulatywnego rozumowania Pitagorejczyków, jednak biorąc pod uwagę brak astronomicznych przyrządów obserwacyjnych jej intuicja jest interesująca.

Pierwszy znany doświadczalny argument dotyczący kształtu Ziemi podał Arystoteles, jeden z najwybitniejszych myślicieli i uczonych, jakich wydała nasza cywilizacja. Choć starożytna filozofia grecka lubowała się w spekulatywnym racjonalizmie stroniącym od empirii, rozumowanie Stagiryty opierało się na obserwacji. Wiedział on, że zaćmienia Księżyca są spowodowane jego wejściem w obszar cienia Ziemi. Z okrągłego kształtu cienia Ziemi na Księżycu wnioskował, że Ziemia musi być kształtu kuli. Gdyby bowiem była płaskim dyskiem, kształt cienia rzucanego na Księżyc byłby eliptyczny.

Olbrzymi wkład w zrozumienie budowy Układu Słonecznego wniósł aleksandryjski uczone Eratostenes z Cyreny, żyjący w latach 276–194 p.n.e. Obliczył on obwód Ziemi szacując go na 252 000 stadionów. Niestety nie wiemy, z jakiego wzorca stadionu korzystał – attyckiego czy egipskiego. Zależnie od tego błąd jego obliczenia wynosi odpowiednio 16,3% lub 1%. Metoda Eratostenesa opierała się na prostej trygonometrii. Znajac kąt padania promieni słonecz-



nych w południe w Aleksandrii oraz odległość do miasta Syene, położonego na Zwrotniku Raka bezpośrednio na południe, gdzie w południe Słońce znajduje się dokładnie w zenicie, obliczył on promień Ziemi. Zakładał przy tym, że promienie słoneczne dochodzące do Ziemi są wszędzie równoległe, a więc że jej odległość od Słońca jest znacznie większa niż jej promień. Oczywiście jest też, że przyjmował już za daną kulistość Ziemi. Prócz kosmologii Eratostenes zajmował się kartografią, którą rozwinął za pomocą wcześniejszych obliczeń astronomicznych oraz bogatej wiedzy żeglarzy helleńskich, przywożących do Aleksandrii opowieści z odległych podróży. Stworzył on mapę świata będącą znacznym udoskonaleniem tej opracowanej przez wybitnego historyka i obieżyświata, Herodota z Halikarnasu.

Pierwszy heliocentryczny model Układu Słonecznego wywnioskowany z wyników obserwacyjnych, a nie ze spekulacji opierającej się na przesłankach teologicznych czy estetycznych – jak robili to Pitagorejczycy czy eleaci – podał Arystarch z Samos, astronom helleński o pokolenie starszy od Eratostenesa. Korzystając z dzieł Filolaosa z Krotonu, wzbogacił on teoretyczne rozważania pitagorejczyków argumentacją empiryczną.

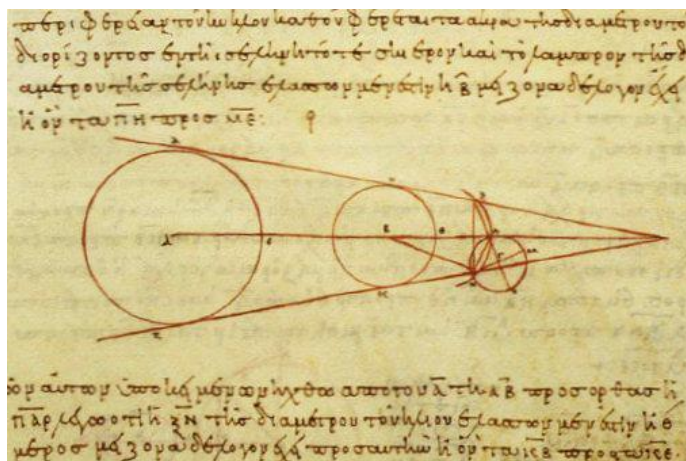
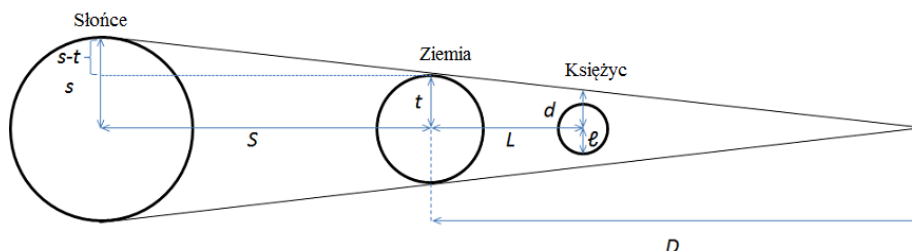


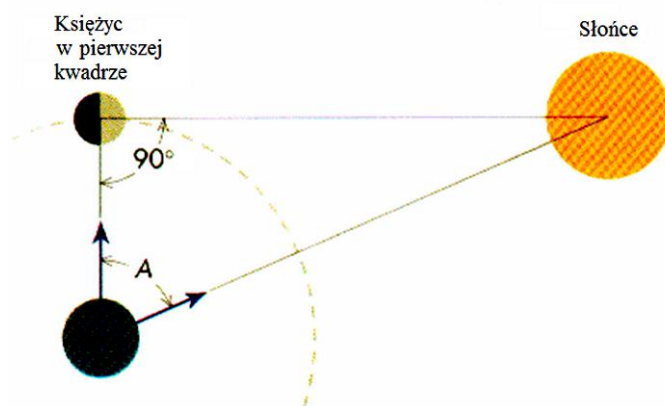
Diagram do obliczeń Arystarcha z manuskryptu z X w.

Znając rozmiar Ziemi, oraz wiedząc, że cień rzucany na Księżyc podczas zaćmienia ma szerokość jej średnicy obliczył promień orbity Księżyca, korzystając ze znajomości długości miesiąca i z tego, że pełne zaćmienie trwa trzy godziny. Następnie, za pomocą twierdzenia Talesa, obliczył rozmiar Księżyca. Korzystając z tego wyniku i wiedząc, że kątowny rozmiar Słońca i Księżyca widziany na niebie jest taki sam – co widać zwłaszcza podczas zaćmienia – obliczył stosunek promienia Słońca i jego odległości od Ziemi na 1/180. Właściwy wynik wynosi 1/215. Wreszcie, za pomocą ciekawej i subtelnej metody,

otrzymał rozmiar Słońca. Arystarch zauważył, że półksiężyc widoczny jest nieco wcześniej niż w połowie czasu między nowiem a pełnią.



Różnicę tę wyliczył na 12 godzin. Jego błąd wynosił pół godziny. Dzięki tej wiedzy, znając promień orbity Księżyca, otrzymał drugi kąt w trójkącie prostokątnym, jaki tworzą środki Ziemi, Słońca i Księżyca, gdy widoczny jest półksiężyc, skąd otrzymał odległość Ziemi do Słońca (kąt A na rysunku poniżej). Ze względu jednak na błąd w obliczeniu momentu pojawienia się półksiężyca odległość ta została znacznie niedoszacowana. Według Arystarcha równa się ona 20 odległości do Księżyca, a w rzeczywistości około 390. Mając ten wynik obliczył on rozmiar Słońca, niestety również znacznie niedoszacowany. Niemniej był on o wiele większy od rozmiaru Ziemi, co było najistotniejszą przesłanką do teoretycznego wywnioskowania, że to Słońce – jako największe – znajduje się w środku Układu Słonecznego.



Dzieła Eratostenesa i Arystarcha ustąpiły jednak pola bardziej przekonującemu w tamtym czasie układowi geocentrycznemu Arystotelesa, który został rozwinięty i uzupełniony dokładnymi obliczeniami Ptolemeusza. Należy jednak podkreślić, że powodem popularności geocentryzmu były nie względy teologiczne czy spekulatywne – choć takie argumenty również się pojawiały, by wtórnie poprzeć teorię przesłankami biblijnymi lub filozoficznymi – lecz jej

zgodność z danymi empirycznymi. Obliczenia Arystarcha obciążone były błędami, w dużej mierze spowodowanymi przyjęciem wartości  $\pi$  równej 3. Dokładniejsze jej oszacowanie podał Archimedes, żyjący dwa pokolenia po Arystarchu. Co istotniejsze, heliocentryzm przewiduje zjawisko paralaksy rocznej, która nie została jednak zaobserwowana. Wiedziano – jest to wyraźnie stwierdzone w *Elementach* Euklidesa – że tłumaczyć to mogłoby przyjęcie znacznie większych odległości od Słońca i gwiazd, jednak takie założenie wydawało się mniej wiarygodne niż zgadzający się z danymi tablicowymi układ geocentryczny. Podobnie rozumowali jeszcze astronomowie XVI wieczni jak Krzysztof Klavius czy Tycho de Brahe. Istnienie paralaksy zostało udowodnione dużo później przez trzech niezależnie pracujących badaczy. Na podstawie obserwacji przeprowadzonych w Kapsztadzie w latach 1832–1833 Tomasz Henderson wyznaczył współrzędne gwiazdy  $\alpha$  Cen, w oparciu o które stwierdzono potem istnienie przesunięcia paralaktycznego. W roku 1838 w Królewcu Fryderyk Bessel wyznaczył paralaksę gwiazdy 61 Cyg, a rok później astronom z Dorpatu Wilhelm Struve wyznaczył paralaksę Wegi.

Upadek kultury, nieuchronnie towarzyszący kryzysowi cywilizacji Rzymu, który imperium przechodziło w V wieku przyczynił się do zapomnienia osiągnięć astronomicznych. Zdarzali się nawet pisarze opowiadający się za płaskim modelem Ziemi, jak Kosmas Indicopleutes, co jest tym bardziej zaskakujące, że był on podróżnikiem, który przemierzył środkowy wschód i Indie. Również Tertulian i Laktancjusz, chrześcijańscy apologety późnego antyku podzielali ten pogląd. Kulistość Ziemi uznawał jednak św. Augustyn i encyklopedysta św. Izydor z Sewilli, w którego bezcennym dziele wiele wiedzy starożytnych przetrwało ciemne wieki rozpadu cesarstwa.

Wraz z powolnym odradzaniem się nauki w okresie Renesansu Karolińskiego odświeżeniu uległy zapomniane teorie kosmologiczne. Św. Beda Czcigodny określa Ziemię jako *orbs terrae* – kula ziemiska – wyraźnie wskazując jaki uznaje jej kształt. Neoplatonczyk Jan Szkot Eriugena omawia natomiast pojęcie równika oraz wspomina obliczenia i wyniki starożytnych greckich i rzymskich astronomów. Nadal dominuje jednak geocentryczny model Układu Słonecznego, autorytet zaś Ptolemeusza, poparty traktatem *De Coelo* Arystotelesa, pozostaje niezachwiany.

Przełom w astronomii przynosi wiek XIII, wiek światła. Jest to czas wielkich ludzi i wielkich dzieł, który zdoła imiona takich luminarzy nauki i kultury jak św. Tomasz z Akwinu, papież Innocenty III, czy św. Ludwik IX, król Francji. Wtedy to wynaleziono proch, rozkwitają również wielkie uniwersytety, opisano także teorię i użycie pierwszej lunety (Robert Grosseteste w pracy *De Iride* przedstawia optykę szkieł przybliżających, podobny opis podaje później jego uczeń Roger Bacon, choć dokładna konstrukcja tych proto-lunet nie jest dostatecznie poznana). Wieki średnie, we wszystkim praktyczne, osobiwie stroniące od rozważań teoretycznych, wpłynęły na rozwój kosmologii poprzez osiągnię-

cia optyczne i kartograficzne. Istotnymi czynnikami okazały się tu tzw. potępienie paryskie biskupa Stefana Tempiera oraz wyprawy krzyżowe, które znacznie wzbogaciły wiedzę geograficzną. Z powodu zakazania niektórych dzieł Arystotelesa przez biskupa Paryża w roku 1271 uczeni i teologowie uwolnili się spod wszechwładnego dotąd autorytetu Stagiryty. Jednocześnie za pomocą nowo wynalezionego lunety stwierdzono, że – wbrew temu, co głosił Arystoteles w *De Coelo* – Księżyc nie jest idealnie jednolitym ciałem, lecz posiada krater, góry i doliny. W ten sposób położono podwaliny pod rewizję ptolemejskiego systemu geocentrycznego. Rozpędu badaniom nadało stworzenie i opisanie przez Roberta Grosseteste metody naukowej, którą cztery wieki później usystematyzują Franciszek Bacon i Galileusz.

Jak już zostało zaznaczone, pierwsze, spekulatywne teorie heliocentryczne były ściśle powiązane z platonizmem, oraz z ruchem pitagorejskim. Nie jest więc niczym zaskakującym, że pojawiają się one znowu w chwili, gdy Renesans przywraca do łask oba te nurty, odsuwając na bok Arystotelesa. Pierwszym myślicielem, który zakwestionował spoczynek Ziemi był neoplatonczyk Mikołaj z Kuzy. Należy jednak podkreślić, że był to wniosek czysto filozoficzny – jeśli nie teologiczny – nie poparty rozważaniami empirycznymi. Jednocześnie odrzucał Kuzańczyk teorię, że orbity mają kształt idealnego okręgu, Wszechświat uznawał zaś – wbrew Arystotelesowi – za nieskończony. Mikołaj Oresme, biskup Lisieux i doradca króla Francji Karola V antycypował zasadę Galileusza zauważając, że ruch w poruszającym się statku nie różni się od ruchu na powierzchni ziemi – statek stanowi nowy stacjonarny układ odniesienia. Następnie skorzystał z tego wniosku, by zakwestionować argumenty Arystotelesa za nieruchomością Ziemi. Oresme również dopuszczał możliwość istnienia wszechświatów innych niż nasz, utożsamiał naturę światła i koloru oraz proponował egzegezę Pisma Świętego zgodną z osiągnięciami nowoczesnej astronomii, która przyjmowana jest do dziś.

Również Mikołaj Kopernik, kanonik warmiński i wszechstronny humanista – prawdziwy człowiek Renesansu – nie był wolny od prądów umysłowych swoich czasów i często sięgał do ksiąg Platona i pitagorejczyków. W jego monumentalnym dziele *De revolutionibus orbium coelestium*, dedykowanym papieżowi Pawłowi III, powołuje się na Filolaosa i Hiketasę, pitagorejczyków z V wieku. Wspomina również Arystarchę, jako twórcę teorii heliocentrycznej. Swoje *Opus Magnum* dopracowywał Kopernik przez blisko trzydzieści lat, a ukazało się ono w całości dopiero w roku 1543, krótko przed śmiercią autora. Jednak sama teoria powszechnie była znana społeczności akademickiej ówczesnej Europy co najmniej od roku 1536, zaś przyjaciele Kopernika namawiali go, by wcześniej ogłosił wyniki swojej pracy. Ten jednak wahał się, w obawie przed krytyką i ośmieszeniem. Wciąż bowiem dane tablicowe zgadzały się o wiele lepiej z systemem geocentrycznym, też więc na skrupulatnym poprawianiu i uaktualnianiu tablic zesłał Kopernikowi większą część pracy nad *De*

*revolutionibus*, którą kontynuował aż do śmierci. Jednocześnie prowadził zażyłą korespondencję z humanistami i uczonymi całej Europy badając, jaką reakcję wywoła ogłoszenie niepopularnej teorii.

Bezpośrednio po publikacji dzieła Kopernika odbiło się bez echa wśród uniwersytetów europejskich. Po raz pierwszy zainteresowano się heliocentryzmem nie ze względu na samą teorię, lecz z powodów praktycznych. W roku 1582 papież Grzegorz XIII zlecił słynnemu astronomowi Krzysztofowi Klawiusowi opracowanie reformy kalendarza. Dotychczas używany kalendarz juliański, opracowany dla Cezara przez Sozygenesa z Aleksandrii, coraz gorzej spełniał swoje zadanie. Ze względu na niewielki błąd w obliczaniu długości roku wiosenne zrównanie dnia z nocą wypadło coraz wcześniej. W 1582 różnica wynosiła już 10 dni, co starano się korygować wprowadzając lata, miesiące i tygodnie przestępne. W swojej pracy opierał się Klawius na tzw. tablicach pruskich, opracowanych przez Erazma Reinholda. Chociaż i Klawius i Reinhold byli geocentrystami, jednak w obliczaniu dokładnych danych tablicowych opierali się na heliocentrycznym systemie Kopernika. Powstały w ten sposób kalendarz gregoriański ogłoszony został uroczyście w bulli *Inter gravissimas*. Aby zsynchronizować nową datę ze starą, dekretem papieskim po czwartku, 4 października miał następować od razu piątek 15, omijając dziesięć dni, o których można tym samym powiedzieć, że nigdy nie istniały. Mimo gwałtownych sprzeciwów ze strony kupiectwa i rolników – wężących w decyzji papieskiej próbę pozbawienia ich dochodu jednej trzeciej miesiąca – nowy kalendarz utrzymał się i obowiązuje do dzisiaj we wszystkich krajach pozostających pod wpływem łacińskiej cywilizacji Zachodu.

Ostateczne zwycięstwo systemu heliocentrycznego przyniósł Jan Kepler i Tychon de Brahe, którzy dzięki dokładnym pomiarom astronomicznym obalili geocentryczny system epicykli na korzyść elegantszego odeń modelu kopernikańskiego, ulepszono go przez Keplera o znane modyfikacje. Droga obu uczonych do heliocentryzmu nie była jednak prosta. Kepler, w młodości astrolog, argumentował za teorią Kopernika z czysto spekulatywnego punktu widzenia, silnie zależnego od *Timajosa* Platona i neopitagoreizmu. Chcąc matematycznie opisać Układ Słoneczny starał się poprzeć nowymi wynikami obserwacyjnymi platoński model wpisujący orbity kolejnych ciał niebieskich w regularne bryły platońskie. Powodowany rozumowaniem z braku obserwacji paralaksy rocznej, Tychon de Brahe pozostał wierny obozowi geocentrystów, choć na podstawie nowych danych obserwacyjnych był zmuszony zmodyfikować swoją wersję modelu.