

Mierzymy mimośród orbity ziemskiej

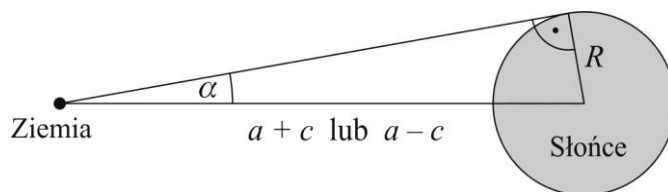
Roman Bochanysz
Głogów, woj. dolnośląskie

Próba pomiaru mimośrodu orbity ziemskiej

Od czasów Keplera wiemy już na pewno, że planety poruszają się po orbitach eliptycznych i potwierdzeń tego możemy szukać nie tylko w specjalistycznych pomiarach, ale i tych najprostszych. Każdy uczeń może sprostac długoterminowemu zadaniu, polegającemu na wykonaniu serii zdjęć Słońca w półrocznym okresie od około 4 stycznia do 4 lipca (lub odwrotnie) każdego roku. Do zdjęcia wystarczy aparat fotograficzny z nałożoną na obiektyw folią mylarową lub zasloną zrobioną z prześwietlonej kliszy fotograficznej. Chodzi o to, by nie uszkodzić matrycy aparatu. Zdjęcia trzeba wykonać ze statywu, maksymalnie ostro, przy tych samych nastawieniach aparatu. Ponieważ będzie nas interesować średnica w pikselach nie można zmieniać ustawień aparatu w czasie kolejnych zdjęć.

Wykonując pierwsze zdjęcie z początkiem stycznia, kiedy Ziemia jest w peryhelium, i kolejne – powiedzmy co miesiąc – zauważymy zmniejszanie się średnicy Słońca wywołane oddalaniem się Ziemi. Kluczowe będzie zdjęcie z początku lipca, kiedy Ziemia jest w aphelium, a średnica najmniejsza. Na podstawie różnic wyznaczymy mimośród orbity (przy standardowych oznaczeniach $e = c/a$, gdzie c – ogniskowa elipsy, a – półosć wielka).

Kąt, pod jakim widać promień Słońca R z Ziemi, obliczyć można z zależności $\sin \alpha = R/d$, gdzie d oznacza odległość od Słońca. W krańcowych położeniach Ziemi na orbicie, aphelium – „ $a + c$ ” i peryhelium – „ $a - c$ ” kąt ten jest oczywiście inny.



Rzeczywista średnica tarczy Słońca nie zmienia się, możemy zatem napisać

$$R = (a + c) \sin \alpha_a \quad \text{oraz} \quad R = (a - c) \sin \alpha_p,$$

a więc

$$(a + c) \sin \alpha_a = (a - c) \sin \alpha_p,$$

co daje nam

$$\frac{a-c}{a+c} = \frac{\sin \alpha_a}{\sin \alpha_p}$$

Kąt jest mały, więc jego sinus jest w przybliżeniu równy wartości tego kąta wyrażonego w radianach. Tym samym stosunek tych kątów można wyrazić stosunkiem liczb pikseli średnic Słońca odczytanych ze zdjęć. Ten stosunek wyznaczony obserwacyjnie niech wynosi „ s ”.

$$s = \frac{a-c}{a+c} = \frac{a(1-c/a)}{a(1+c/a)} = \frac{1-e}{1+e}$$

Po przekształceniach otrzymujemy

$$e = \frac{1-s}{1+s}$$

Z wielu zdjęć, które wykonałem 5 stycznia i 2 lipca w 2017 roku można było odczytać rozmiar średnicy Słońca w pikselach (166 w styczniu i 161 w lipcu) i obliczyć $s = 161/166$ (przyjęto średnie odczyty z wielu ujęć i różnymi metodami – nie różniły się one jednak o więcej niż jeden piksel dla dwóch różnych zdjęć).



Po podstawieniu otrzymałem wynik $e = 0,0152\dots$, który zgadza się z wielkością $e = 0,0167$ zmierzoną dokładniejszymi metodami.

Zdjęcia wykonano na teleskopie zwierciadlanym systemu Newtona o średnicy zwierciadła 130 mm i ogniskowej 650 mm. Obiektyw oczywiście zasłonięty folią mylarową. Zastosowano metodę projekcji okularowej z użyciem okularu 25 mm, użyto aparatu cyfrowego CANON w rozdzielczości 4608×3456 pikseli. Te zdjęcia stanowiły podstawę do porównania średnic za pomocą prostego programu IrfanView, dającego możliwość odczytywania rozdzielczości fragmentu zdjęcia z całości. Na aparacie i teleskopie należy w obu przypadkach zastosować te same ustawienia. Zdjęcia trzeba wykonać przy jednakowo ustawionej ostrości i w miarę możliwości podobnej przejrzystości atmosfery, co w przypadku różnic pogodowych stycznia i lipca może nastręczać pewne trudności. Zdjęcia powinno się też wykonać w miarę możliwości w najwyższym położeniu Słońca nad horyzontem, aby uniknąć ewentualnych deformacji związanych z refrakcją atmosferyczną.

Na tym etapie mogą być popełnione błędy, z których obserwatorzy muszą sobie zdawać sprawę, a ich minimalizowanie może być osiągnięte przez powtarzalność warunków obserwacji. Osoby nieposiadające teleskopu mogą spróbować wykonać zdjęcia samym aparatem na statywie, nie zapominając o folii lub specjalnym filtrze na obiektyw. Przy odczytach ważna jest analiza błędów samego odczytu liczby pikseli ze zdjęcia. Jeśli przyjmiemy dokładność odczytu do jednego piksela, to w powyższym przypadku niepewność względna jest duża i wynosi 40%. Gdyby w odczytach przyjąć maksymalne różnice określone niepewnością pomiarową otrzymalibyśmy wyniki w zakresie od 0,0097 do 0,021, co po uśrednieniu dałoby 0,0153. Uczniowie, którzy będą szczególnie zainteresowani analizą błędów mogą wykonywać serię zdjęć, dokonywać odczytu różnymi metodami, a następnie prowadzić standardową analizę. W eksperymencie nie chodzi jednak o ustalenie dokładnej wartości e , bo tą metodą nie jest to możliwe, a jedynie o ustalenie, czy efekt może zostać zaobserwowany.