Kosmiczne pomiary z ekranu komputera

Roman **Bochanysz**

Rozmiary ciał niebieskich a także wielkość samego Wszechświata i odległości w nim zawsze były kluczowymi problemami w astronomii obserwacyjnej. Wraz z rozwojem techniki optycznej i metod obserwacji dowiadywaliśmy się w tym zakresie coraz więcej. Dzisiaj technologia ta jest dostępna nie tylko specjalistom, ale na dość już zaawansowanym poziomie amatorom astronomicznych obserwacji. Wykonując proste zdjęcia nieba czy obiektów kosmicznych mogą oni samodzielnie zmierzyć różne wielkości i wyciągnąć z pomiarów ciekawe wnioski.

Celem naszym jest pokazanie, co ciekawego kryje się w zdjęciach Słońca, które na dodatek możemy samodzielnie wykonać.

Wielkość plam słonecznych

Najprostszy pomiar, który można wykonać wprost z ekranu komputera to określenie (przybliżonej oczywiście) wielkości plam słonecznych. Edytując zdjęcie Słońca możliwie dobrej jakości jesteśmy w stanie określić za pomocą programów do przeglądania i edycji zdjęć (jak np. IrfanView) rozmiary Słońca i plam na ekranie w milimetrach czy pikselach.

Obecnie plamy trudno sfotografować ze względu na niską aktywność Słońca, ale zawsze można sobie wyświetlić jakieś zdjęcie z czasów, kiedy było lepiej.

Aby dowiedzieć się jakie są rozmiary danej plamy czy grupy plam wystarczy wykorzystać proporcję wielkości odczytanych z ekranu. Przykład – z pokazanego zdjęcia można odczytać, że kiedy rozmiar średnicy Słońca na ekranie wynosi np. 556 pikseli, to szerokość grupy plam 54 piksele. Stosunek obu szerokości wynosi więc

$$54/556 \approx 0{,}0971$$

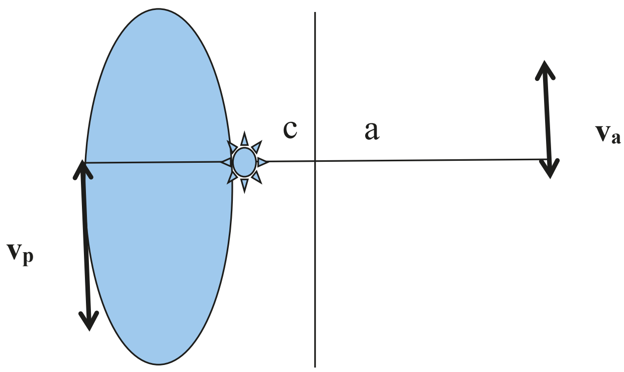
Mnożąc to przez przybliżoną średnicę Słońca odczytaną z tablic astronomicznych otrzymamy szerokość grupy plam wyrażoną w kilometrach

$$0{,}0971 \times 1392682\ \text{km} \approx 135\,260\ \text{km}$$

Warto sobie przy tym uświadomić, że jest to około 10 razy więcej niż średnica Ziemi!

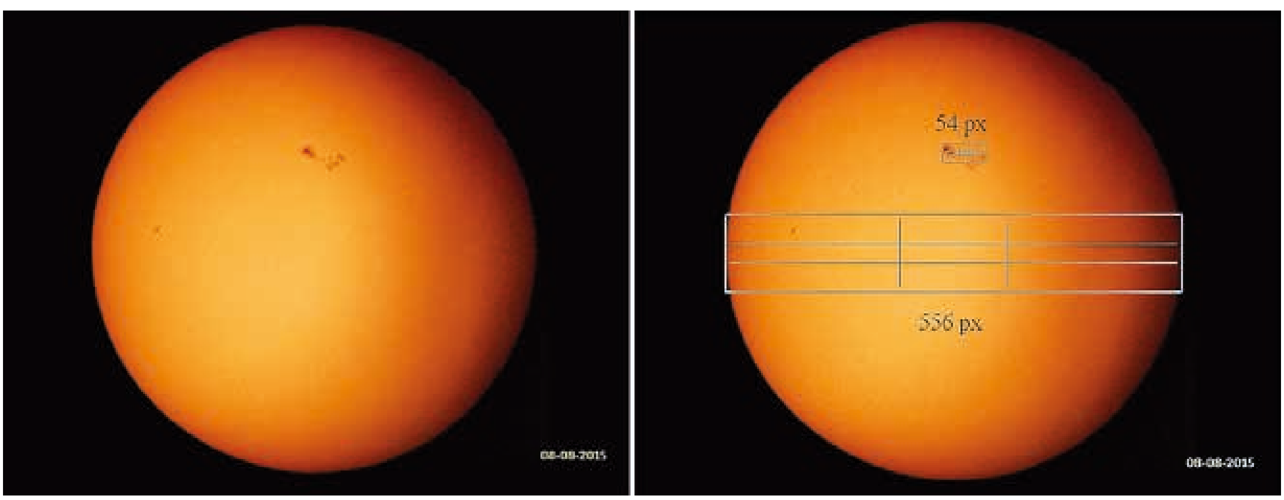
Parametry orbity ziemskiej

W układzie heliocentrycznym orbity planet są w dobrym przybliżeniu eliptyczne (I prawo Keplera) a to oznacza, że w ciągu roku odległość Ziemi od Słońca a także jej prędkość orbitalna zmienia się. Zmienia się więc wielkość obserwowana tarczy słonecznej, którą możemy właśnie uchwycić za pomocą zdjęć.



Ponieważ Słońce znajduje się w ognisku elipsy to odległość Ziemi w lipcu (aphelium) wynosi „a + c”, a w styczniu (perihelium) wynosi „a – c”, gdzie a jest półosią wielką, zaś c odległością ogniska od środka elipsy. Charakterystyczny dla każdej elipsy jest jej mimośród, czyli stosunek e = c/a

Każdy w zasadzie może sprostać długoterminowemu zadaniu polegającemu na wykonaniu serii zdjęć Słońca w półrocznym okresie od około 4 stycznia do 4 lipca (lub odwrotnie) każdego roku. Do zdjęć wystarczy aparat fotograficzny z nałożoną na obiektyw folią mylarową lub zasłoną zrobioną z prześwietlonej kliszy fotograficznej. Droższe aparaty mają już specjalne filtry. Chodzi o to, by nie uszkodzić matrycy aparatu. Zdjęcia trzeba wykonać ze statywu, maksymalnie ostro, przy tych samych

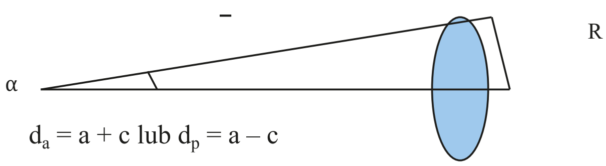


(fotografia własna)

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 perihelium i kolejne – powiedzmy co miesiąc – zauważymy zmniejszanie się obserwowanej średnicy Słońca wywołane oddalaniem się Ziemi. Kluczowe będzie zdjęcie z początku lipca, kiedy Ziemia jest w aphelium a widoczna średnica najmniejsza. Na podstawie tej różnicy wyznaczymy mimośród orbity!

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



$d_a = a + c$ lub $d_p = a – c$

Ponieważ rzeczywista średnica tarczy nie zmienia się, możemy napisać

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

a więc

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

co daje nam

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

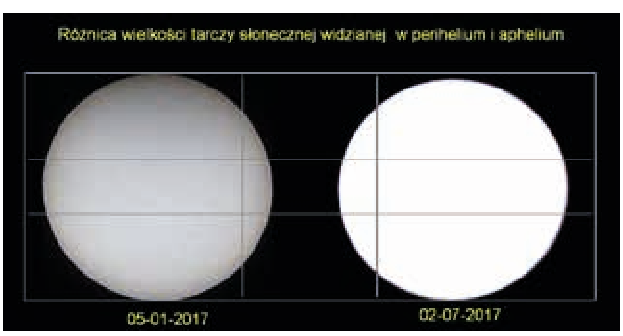
Ponieważ kąt jest mały, więc jego sinus jest w przybliżeniu równy wartości tego kąta wyrażonego w radianach. Tym samym stosunek tych kątów można wyrazić stosunkiem pikseli odczytanych ze zdjęć średnic Słońca. Ten stosunek wyznaczony obserwacyjnie niech wynosi „s".

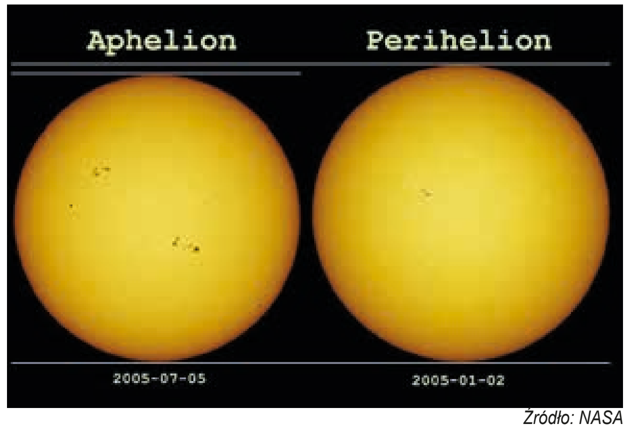
$$s = \frac{a-c}{a+c} = \frac{a(1-c/a)}{a(1+c/a)} = \frac{1-e}{1+e}$$

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 rozmiary średnic 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.





Źródło: NASA

Po podstawieniu otrzymałem wynik $e \approx 0.0152...$ który dość dobrze zgadza się z wielkością $e = 0.0167$ zmierzoną przez specjalistów dokładniejszymi metodami. Gdyby ktoś nie miał jednak możliwości wykonania takich zdjęć, może posłużyć się podobnymi wykonanymi przez profesjonalistów, np. z NASA. Można znaleźć w Internecie.

Inne parametry orbity

1. Różnica odległości

Samo wykonanie pomiarów mimośrodu może skłaniać do pytania, jaki z tego pożytek? Co nam to daje? Wiemy tyle, że Słońce znajduje się w odległości c = e*a od środka elipsy. No właśnie to też możemy sobie teraz obliczyć wynajdując „a" w tablicach astronomicznych. Ponieważ podają $a = 1{,}49598261\times10^{11}$ m, po podstawieniu otrzymamy

$$c = 0{,}0152 * 1{,}49598261\times10^{11}\text{ m} \approx$$
$$\approx 2273893567\text{ m} \approx 2\,274\,000\text{ km}$$

W takiej odległości od centrum elipsy znajduje się Słońce! Możemy się też dowiedzieć jaka jest różnica odległości Ziemi od Słońca w tych dwóch skrajnych położeniach, czyli wtedy, gdy wykonywano zdjęciach

$$\Delta d = (a+c) – (a-c) = 2c = 2*2274000\text{km} = 4\,548\,000\text{ km}$$

2. Stosunek prędkości orbitalnych

Stosując zasadę zachowania momentu pędu w ruchu orbitalnym Ziemi możemy stwierdzić, że w momentach przejścia przez perihelium i aphelium obowiązuje równanie w dość prostej

$$mV_p(a – c) = mV_a(a + c) \quad (m – \text{masa Ziemi})$$

co po przekształceniach daje

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

po podstawieniu otrzymanego w pomiarach wartości mimośrodu $e = 0.0152$ otrzymamy $V_p/V_a \approx 1{,}03$ co oznacza, że prędkość Ziemi w perihelium jest ok. 3% większa niż w aphelium. Ten ostatni wynik jest szczególnie ciekawy, gdyż pokazuje, że z pomiarów pewnej wielkości, powiedzmy statycznej, niedaleka droga do ustalenia niektórych wielkości kinematycznych. Wzór ten można zastosować do pozostałych planet, jeżeli znamy mimośrody ich orbit.

Roman Bochanysz
Głogów, woj. dolnośląskie