

Pracownia astronomiczna

analiza danych, zad. helio1

Wyznaczanie parametrów orbity Ziemi na podstawie obserwacji Słońca

Celem zadania jest wyznaczenie podstawowych parametrów orbity Ziemi na podstawie satelitarnych obserwacji Słońca.

W analizie wykorzystywane będą obrazy Słońca z instrumentu HMI (Helioseismic and Magnetic Imager) działającego na pokładzie satelity SDO (Solar Dynamics Observatory, <https://sdo.gsfc.nasa.gov/mission>). Do wizualizacji obrazów należy wykorzystać program JHelioviewer (<http://www.jhelioviewer.org>). Podana strona WWW zawiera instrukcję użytkowania programu.

Wraz z obiegiem Ziemi dookoła Słońca, wskutek niekołowej orbity, zmienia się rozmiar kątowy Słońca. Widoczne to jest na obrazach SDO/HMI continuum. Ta obserwacja stanowi punkt wyjścia w zadaniu.

Obserwacją uzupełniającą do danych SDO/HMI continuum jest tranzyt Wenus. Dzięki obserwacji tego tranzytu 6.06.2012 wyznaczono, że odległość Ziemia – Słońce w tym czasie wynosiła 151 800 000 km ($\pm 12\,000$ km). Wykorzystaj tę informację i pomiary promienia kąowego Słońca z obrazów SDO/HMI continuum do wyznaczenia parametrów orbity Ziemi.

Etapy pracy:

1. Wczytaj do programu JHelioviewer obrazy SDO/HMI continuum lub SDO/AIA4500 z odstępem czasowym 1 dnia. Wczytane dane powinny obejmować co najmniej 400 dni i zawierać moment wystąpienia tranzytu Wenus. **Uwaga:** przydziel zakresu dat i ważne uwagi związane z danymi znajdują się na końcu tego dokumentu.
2. Zmierz na obrazach promień kątowy Słońca θ [sek. łuku] z krokiem czasowym 10 dni. Oszacuj błąd tego pomiaru. Nie może on być mniejszy od rozdzielczości obrazów, która wynosi 1.0 sek. łuku. Pomiar czasu traktujemy jako bezbłędny. Wykonane pomiary zbierz w tabeli zawierającej trzy kolumny: data i czas pomiaru, zmierzony promień kątowy i niepewność pomiarowa tego promienia. **Uwaga:** czas można zaokrąglić do pełnych godzin, ponieważ mierzalna zmiana promienia kąowego zachodzi w dłuższej skali czasowej niż godziny.
3. Przygotuj wykres zależności promienia kąowego θ od czasu, $\theta = \theta(t)$. Na jego podstawie oceń czy dane pomiarowe są odpowiednio gęsto rozłożone. Jeśli nie, dodaj kolejne pomiary tam, gdzie potrzeba. Dodając kolejne pomiary nie rób tego z odstępem czasowym mniejszym niż 1 dzień. **Uwaga:** mogą zdarzyć się okresy czasu, trwające nawet wiele dni, dla których danych nie ma. Więcej na temat tego problemu – patrz ważne uwagi na końcu tego dokumentu.
4. Przygotuj końcowy wykres zależności promienia kąowego θ od czasu, $\theta = \theta(t)$ oraz odczytaj z niego (lub z tabeli z pomiarami) maksymalny i minimalny promień kąowy Słońca a z nich wyznacz wartość średnią θ_s .
5. Wykorzystując dane o tranzycie Wenus i wyznaczone wartości kąta θ , oblicz odległość Ziemia – Słońce (d) dla wszystkich momentów czasu, dla których masz zmierzony kąt θ . Sporządź wykres zmiany w czasie tej odległości $d = d(t)$. **Uwaga:** potrzebny tu do obliczeń promień Słońca należy wyznaczyć z danych, a nie uzyskać z literatury.
6. Do wykresu $d = d(t)$ dopasuj odpowiednią funkcję. Na jej podstawie wyznacz minimalną (peryhelium) i maksymalną (aphelium) odległość Ziemi od Słońca, moment czasu, w którym te odległości wystąpiły. Z dopasowanej funkcji wyznacz również długość trwania roku ziemskiego oraz wielką półoś i mimośród orbity Ziemi. **Uwaga:** przed wykonaniem dopasowania funkcji należy przeliczyć czas pomiarów do jednej jednostki, np. dni i ułamków dni liczonych od pierwszego pomiaru.
7. Wyznacz skrajne wartości prędkości orbitalnej Ziemi, które przypadają na peryhelium (v_p) i aphelium (v_a). Można je obliczyć z następujących wzorów:

$$v_p = \frac{2\pi a}{T} \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \qquad v_a = \frac{2\pi a}{T} \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

gdzie T – dł. roku, a – wielka półoś, e – mimośród.

8. Przygotuj sprawozdanie zgodnie z wytycznymi przedstawionymi na stronie WWW zajęć. Formatka do sprawozdania również dostępna jest na stronie zajęć. Dodatkowo:

- Wymaganyimi ilustracjami w sprawozdaniu są otrzymane wykresy z pkt 4 (bez dopasowanej funkcji) oraz pkt 5 (z dopasowaną funkcją). Wykresy powinny zawierać kreski błędów, opisy osi, itd.
- Wszystkie zmierzone lub wyliczone wartości muszą mieć wyznaczone niepewności pomiarowe. Przedstawiając wyniki należy pamiętać o zasadzie cyfr znaczących.
- Postać dopasowanej w pkt. 5 funkcji powinna być podana wraz z otrzymanymi parametrami tej funkcji i ich niepewnościami.
- W sprawozdaniu proszę przedstawić tabelę z wykonanymi pomiarami (trzy kolumny: data i czas, θ , $\delta\theta$). Tabela powinna zmieścić się na jednej stronie. Kolumnę $\delta\theta$ można pominąć, jeśli wszystkie wartości $\delta\theta$ są takie same. Fakt ten należy wspomnieć w opisie tabeli.
- W dyskusji wyników na końcu sprawozdania należy otrzymane przez siebie wartości charakteryzujące orbitę Ziemi porównać z wartościami literaturowymi. Porównanie należy przedstawić w formie tabeli (trzy kolumny: wielkość, wartość otrzymana w tej analizie, wartość literaturową). Porównanie z wartościami literaturowymi należy skomentować: czy dana wielkość jest czy nie jest zgodna z wartością literaturową. Jeśli nie, to jaka może być przyczyna? Poniższa tabela zbiera wielkości, które należy wyznaczyć i porównać z wartościami literaturowymi.

wielkość (wszystkie wielkości muszą mieć wyznaczoną niepewność pomiarową)	jednostki	porównanie z wartościami literaturowymi
maksymalny promień kątowny Słońca, θ_{maks}	sek. łuku	nie
minimalny promień kątowny Słońca, θ_{min}	sek. łuku	nie
średni promień kątowny Słońca, θ_{sr}	sek. łuku	tak
odległość w peryhelium, d_p	km	tak
odległość w aphelium, d_a	km	tak
data przejścia przez peryhelium, t_p (*)	rrrr-mm-dd	tak (**)
data przejścia przez aphelium, t_a (*)	rrrr-mm-dd	tak (**)
długość roku ziemskiego, T	dni	tak
wielka półoś orbity, a	km	tak
mimośród, e	wielkość bezwymiarowa	tak
prędkości orbitalna w peryhelium, v_p	km/s	tak
prędkości orbitalna w aphelium, v_a	km/s	tak

(*) – Jeśli w analizowanym okresie czasu przypadają dwa momenty peryhelium (lub aphelium), to wystarczy wybrać i podać w wynikach jedną z tych dwóch dat.

(**) – W przypadku tych dat najlepiej wyszukać w literaturze/internecie wartości dla tego samego roku, dla którego wyznaczone są one w tej analizie. Daty pery- i aphelium dla dowolnego roku można wziąć np. z programu NASA/JPL Horizons: <https://www.phpsciencelabs.com/nasa-jpl-horizons-earth-perihelion-and-aphelion-calculator> (podajemy interesujący nas rok i klikamy compute).