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 (±12 000 km). Wykorzystaj tę informację i pomiary promienia kątowego Słońca z obrazów SDO/HMI continuum do wyznaczenia parametrów orbity Ziemi.

Etapy pracy:

1. Wczytaj do programu JHelioviewer obrazy SDO/HMI continuum z odstępem czasowym 1 dnia. Wczytane dane powinny obejmować co najmniej 400 dni i zawierać moment wystąpienia tranzytu Wenus. **Uwaga:** przydział 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 taktujemy 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 kątowego zachodzi w dłuższej skali czasowej niż godziny.
3. Przygotuj wykres zależności promienia kątowego 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 kątowego θ od czasu, $\theta = \theta(t)$ oraz odczytaj z niego (lub z tabeli z pomiarami) maksymalny i minimalny promień kątowy Słońca a z nich wyznacz wartość średnią $\theta_{śr}$.
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 wyznać 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:
   - Wymaganymi 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, δ_θ). Tabela powinna zmieścić się na jednej stronie. Kolumnę δ_θ można pominąć, jeśli wszystkie wartości δ_θ 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 literaturowa). 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 kątowy Słońca, θ_{maks}	sek. łuku	nie
minimalny promień kątowy Słońca, θ_{min}	sek. łuku	nie
średni promień kątowy Słońca, $\theta_{śr}$	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`).

Przydział zakresu dat i ważne uwagi

- p. Kamil: od 1.06.2011
- p. Dominika (D): 1.08.2011
- p. Dominika (K): od 1.10.2011
- p. Marcin: od 1.12.2011
- p. Julita: 1.02.2012
- p. Sebastian: od 1.04.2012
- p. Wiktoria: od 1.05.2012
- p. Oliwia: od 1.06.2012

W każdym przypadku podana jest data początkowa. Data końcowa powinna być odległa od początkowej o co najmniej 400 dni. Może być więcej, np. 500. Dłuższy przedział czasu pozwoli otrzymać lepsze dopasowanie funkcji do danych pomiarowych.

Wczytując dane **należy użyć bazy danych GSFC lub IAS** (wyboru dokonujemy w oknie New Image Layer).

Poniższa tabela zawiera listę dat, dla których występują braki danych SDO/HMI continuum trwające 2 lub więcej dni. Tabela obejmuje okres od 1.06.2011 do 1.09.2013. Zakresy obejmujące 10 i więcej dni oznaczone są w tabeli na czerwono. Idąc z pomiarami odstępem 10 dni możemy w pewnych przypadkach natrafić na okres bez danych. Wtedy:

- jeśli okres ten jest krótszy niż 10 dni zalecane jest wykonanie pomiaru tuż przed początkiem luki w danych i tuż po jej końcu, a następnie kontynuujemy z krokiem 10 dniowym,
- jeśli okres ten jest dłuższy niż 10 dni, to wykonujemy pomiar jak powyżej, ale dodatkowo konieczne będzie uzupełnienie tej dużej luki danymi z instrumentu SDO/AIA4500 (*szczegóły na następnych zajęciach*).

zakres dat	liczba dni w zakresie
9-10.10.2011	2
10-11.11.2011	2
21.11-4.12.2011	14
6-7.12.2011	2
3-7.01.2012	5
12-20.01.2012	9
26.01-15.03.2012	50
31.03-2.04.2012	3
27-29.04.2012	3
5-6.05.2012	2
27.7-1.08.2012	6
8-10.09.2012	3
13-14.09.2012	2
22-25.09.2012	4
11-13.10.2012	3
4-10.03.2013	7
16-17.03.2013	2
11-12.04.2013	2
18-21.05.2013	4
4-5.07.2013	2
11-12.07.2013	2
7-9.08.2013	3
23-28.08.2013	6

W razie problemów z dopasowaniem funkcji sin() do zmian odległości Ziemi od Słońca, polecam wypróbować poniższe rozwiązanie, które sprawdziło się w zeszłym roku.

Pomaga podanie z grubsza przybliżonych początkowych wartości parametrów, zanim uruchomimy polecenie fit. Czasem, jeśli właściwe wartości poszukiwanych parametrów są bardzo odległe od początkowych domyślnych (=1), to fit zbiega się do błędnego rozwiązania. Trzeba mu wtedy trochę pomóc, zadając z grubsza przybliżone wartości startowe.

Proponuję zmienić też postać funkcji na bardziej fizyczną, czyli taką w której parametry mają łatwą interpretację fizyczną, a jednocześnie argument w sin() będzie w rad (tak domyślnie przyjmuje gnuplot):
f(x) = a*sin(2*pi*(x+b)/c)+d
Proszę sobie przypomnieć jak wygląda równanie położenia w ruchu harmonicznym. Wtedy jasne będzie jaką interpretację fizyczną mają a, b, c, d. Np. c jest okresem. W takim zapisie x (u nas czas) może być w dniach, czyli tak, jak mamy. Wartość pi jest w gnuplocie zdefiniowana.

Wracając do zadawania z grubsza przybliżonych początkowych wartości parametrów. Po zrobieniu wykresu d=d(t) możemy bardzo zgrubnie odczytać z niego a, c i d. Następnie podajemy je w gnuplocie, np:
gnuplot> c=400
Podanie tych trzech wystarczy, b możemy zostawić. I teraz można wykonać fit. Powinno zadziałać i dać dobry wynik.
Być może wystarczy podanie wartości startowej do jednego lub dwóch parametrów, np. a i c. Trzeba popróbować.

Posumowanie wczorajsego omawiania dopasowania funkcji do wykresu d=d(t).

1. Odległość d najlepiej wyrazić w mln km. Tak może być zapisana w pliku z danymi. Na wykresie tylko trzeba wskazać ten fakt w opisie osi Y.

2. W pliku z danymi musimy mieć kolumnę z czasem wyrażonym w jednej jednostce czasowej, np. dni i ułamki dni liczone od pierwszego pomiaru. Można to automatycznie policzyć w arkuszu kalkulacyjnym. Wykonując plot d=d(t) z takim czasem nie używamy set xdata time itd.

3. Fitowaną funkcję wybieramy taką, aby dopasowane parametry miały łatwą interpretację fizyczną:
f(x) = M*sin(2*pi*(x-N)/K)+L
x – czas (np. w dniach od pierwszego pomiaru). Funkcja jest analogiczna do tej opisującej położenie w ruchu harmonicznym. M – amplituda, K – okres, N – przesunięcie w fazie, moment zerowy dla którego f(x)=L, L – przesunięcie w osi Y

4. Sama dopasowana funkcja (jej parametry) pozwoli na obliczenie parametrów orbity Ziemi:
wielka półoś, a = L
odl. peryhelium, d_pery = L – M
odl. aphelium, d_aph = L + M
okres obiegu, T = K
mimośród, e = c/a = M/L
Moment przejścia przez pery- i aphelium dostaniemy znajdując miejsca zerowe pochodnej f’(x).

5. W przypadku problemu z uzyskaniem dobrego dopasowania, pomaga podanie z grubsza przybliżonych początkowych wartości parametrów, zanim uruchomimy polecenie fit. Czasem, jeśli właściwe wartości poszukiwanych parametrów są bardzo odległe od początkowych domyślnych (=1), to fit zbiega się do błędnego rozwiązania. Trzeba

mu wtedy trochę pomóc, zadając z grubsza przybliżone wartości startowe. Po zrobieniu wykresu d=d(t) możemy odczytać z niego przybliżone wartości M, K, L. Można zadać np. K=400 lub/i L=150 (mln km).