

# astrofizyka układów planetarnych

## lista 5

---

1. Dzięki sondzie Voyager 1 odkryto na Io 9 aktywnych wulkanów. Zakładając, że średnio jeden wulkan wyrzuca  $50 \text{ km}^3$  lawy i materiału piroklastycznego na rok, oblicz:
  - a) średnie tempo odmładzania powierzchni Io (w cm na rok),
  - b) czas, jaki potrzebny jest od odmłodzenia warstwy skorupy grubej na 1 km.Porównaj przykładowe zdjęcia powierzchni Io i Księżyca. Jaka jest główna różnica w wyglądzie tych powierzchni wynikającą z wysokiej aktywności wulkanicznej Io?
2. Oblicz energię kinetyczną i ciśnienie powstające przy uderzeniu planetoidy o średnicy 10 km i gęstości  $3.4 \text{ g/cm}^3$ . Załóż, że przy zderzeniu planetoida ma prędkość  $v=20 \text{ km/s}$ . Dla porównania z trzęsieniami ziemi, wyraż otrzymaną energię w skali Richtera:  $\log_{10} E = 4.4 + 1.5M$ , gdzie E – energia w J, M – wielkość trzęsienia w skali Richtera. [przydatne pojęcie: ciśnienie dynamiczne]
3. Aby uderzenie meteoroidu spowodowało powstanie typowego krateru, prędkość przy uderzeniu musi być co najmniej hiperdźwiękowa. Meteoroid jest spowalniany przez atmosferę znacząco, jeśli przechodząc przez nią przecina kolumnę powietrza o masie porównywalnej z nim samym. Wyznacz minimalny rozmiar meteoroidu żelazowego (gęstość  $8 \text{ g/cm}^3$ ), który może uderzyć w Ziemię i Wenus z prędkością hiperdźwiękową, przy której następuje formowanie krateru. Jak duży krater powstanie przy uderzeniu takiego obiektu? Zależność między energią zderzenia E [J] a rozmiarem krateru D [km] jest następująca:  $D = 1.48 \cdot 10^{-5} E^{0.294}$ .
4. Wyznacz masę atmosfery Wenus i Ziemi w jednostkach bezwzględnych i względem masy danej planety. Wykonaj powtórnie obliczenia dla hipotetycznej atmosfery Ziemi wzbogaconej parą wodną pochodzącą z oceanów (cała masa oceanów przeniesiona jest do atmosfery; średnia głębokość oceanów wynosi ok. 3800 m). Porównaj wyniki.
5. Sprawdź poprawność stwierdzenia, że o obecności atmosfery lub jej braku w pierwszym rzędzie decyduje ucieczka Jeansa. W tym celu wyznacz parametr ucieczki  $\lambda_{\text{esc}}$  w funkcji odległości heliocentrycznej dla wszystkich 8 planet, Io, Ganimedesa, Tytana, Enceladusa, Ceres, Plutona i Eris. Przy obliczeniach załóż, że temperatura atmosfery równa jest temperaturze równowagowej przy albedo równym 0.0, a egzobaza jest na wysokości 0 km nad powierzchnią. Wyniki (wykresy) można przedstawić w formie krótkiej prezentacji.
6. Wyznacz masę traconą z atmosfery przy uderzeniu ciała o promieniu 15 km i prędkości zderzenia  $30 \text{ km s}^{-1}$ . Obliczenia wykonaj dla Ziemi, Wenus i Marsa. Wynik wyraż w jednostkach bezwzględnych i względem masy całej atmosfery danej planety. Wyniki skomentuj. Przyjmij, że parametr obciążenia odparowaniem  $\epsilon_v$  wynosi około 20.
7. Ganimedes posiada własne pole magnetyczne, którego natężenie na równiku magnetycznym wynosi około 7.2 mG. Jeśli księżyc ten byłby planetą o orbicie takiej jak Ziemia, to w jakiej odległości od niego (w kierunku do Słońca) znalazłaby się magnetopauza? Założenia: oś magnetyczna jest prostopadła do kierunku na Słońce, parametry fizyczne wiatru słonecznego odpowiadają typowym obserwowanym w okolicy Ziemi.
8. Wyznacz położenie jonopauzy dla Wenus i Marsa (odległość w kierunku dosłonecznym). Wiatr słoneczny w okolicy Wenus ma gęstość 10 protonów  $\text{cm}^{-3}$ , prędkość  $400 \text{ km s}^{-1}$ , natężenie pola magnetycznego  $10^{-4} \text{ G}$ . W okolicy Marsa: gęstość i pole magnetyczne 4.5x mniejsze, prędkość taka sama. Potrzebne parametry atmosfer obu planet wyszukaj samodzielnie.
9. Jakie zmiany (wyrażone w arcsec) w położeniu Słońca powoduje a) Ziemia, b) Jowisz, c) Neptun przy obserwacjach prowadzonych z odległości 10pc? Porównaj otrzymane wyniki z możliwościami obserwatorium GAIA, które dla jaśniejszych gwiazd może wykryć przesunięcia rzędu  $10 \mu\text{as}$  (mikroarcsec).
10. Jakie zmiany jasności Słońca powoduje tranzyt Ziemi i Jowisza obserwowany spoza Układu Słonecznego? Czy zmiany te możliwe są do zarejestrowania przy użyciu współczesnych instrumentów przeznaczonych do poszukiwania planet metodą tranzytu (satelity Corot i Kepler miały dokładność pomiaru strumienia wynoszącą odpowiednio  $7 \times 10^{-4}$  i  $2 \times 10^{-5}$  przy pomiarach trwających kilka godzin).
11. Jaka musi być minimalna masa planety, obiegającej gwiazdę o masie Słońca w odległości 1 AU i 5 AU, aby mogła być wykryta metodą spektroskopii dopplerowskiej? Obecnie możliwe jest wykrycie zmian prędkości radialnej niewiele mniejszych niż 1m/s.
12. Oblicz prawdopodobieństwo wystąpienia tranzytu Ziemi i Jowisza dla obserwatora znajdującego się w innym układzie planetarnym. Kąt między kierunkiem obserwator – Słońce a płaszczyzną orbity planety jest losowy.

**13.** Planeta podobna do Ziemi obiega po orbicie o promieniu 0.03 AU gwiazdę typu widmowego M o mocy promieniowania  $10^{-3} L_{\text{Słońca}}$ .

- Czy planeta ta znajduje się w strefie habitacyjnej (ekosferze)? Wskazówka: wyznacz temperaturę równowagową planety.
- Planeta ta krążąc tak blisko gwiazdy będzie wykazywała obrót synchroniczny (efekt działania sił pływowych). Temperatura obliczona w punkcie a) nie opisuje zatem dobrze warunków lokalnych na planecie. Zakładając, że atmosfera planety nie przenosi efektywnie ciepła pomiędzy obszarami o różnej temperaturze, opisz warunki termiczne w różnych obszarach planety. Zastanów się na możliwości wystąpienia życia na takiej planecie. Jaka będzie maksymalna możliwa temperatura na powierzchni planety? Wskazówka: skorzystaj z podobnego problemu opisanego w zadaniu 9 na liście 1.

**14.** Wyznacz:

- iloraz światła słonecznego odbijanego od Ziemi na długości fali  $0.5 \mu\text{m}$  do ilości światła emitowanego przez Słońce na tej samej długości fali,
- iloraz emisji termicznej Ziemi na długości fali  $20 \mu\text{m}$  do ilości światła emitowanego przez Słońce na tej samej długości fali.

Powtórz obliczenia a) i b) dla Jowisza. Wyciągnij wnioski dla wykrywania egzoplanet metodą obrazowania.

**15.** Oblicz energię kinetyczną meteoroidu o gęstości  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , promieniu  $1 \text{ cm}$ , poruszającego się z prędkością  $20 \text{ km/s}$ . Zakładając, że przy przejściu przez atmosferę  $0.01\%$  energii kinetycznej jest zamieniane w ciągu  $5 \text{ s}$  na światło widzialne, policz moc świecenia meteoru i jego jasność dla obserwatora odległego o  $100 \text{ km}$ .

**16.** Poniżej rysunek po prawej pokazuje położenie znanych planetoid w pewnym momencie czasu (dla obserwatora znajdującego się ponad płaszczyzną ekliptyki; na rysunku pokazane są też orbity i położenie Ziemi, Marsa i Jowisza). Wyjaśnij, dlaczego przerwy Kirkwooda nie są widoczne na tym rysunku, w przeciwieństwie do rysunku po lewej stronie. Rysunek po lewej pokazuje liczbę planetoid o danej wielkiej półosi. Czym są przerwy Kirkwooda?

