

# Pomiary astronomiczne

## Astrometria

- ▶ pomiary pozycji obiektów - jedne z pierwszych obserwacji astronomicznych
- ▶ pomiary położenia Księżyca i planet
- ▶ zjawisko aberracji światła
- ▶ odkrycie ruchów własnych gwiazd
- ▶ zjawisko paralaksy heliocentrycznej - trygonometryczny pomiar odległości do gwiazd.
- ▶ zmiany położenia obiektów na skutek soczewkowania grawitacyjnego Słońca

## Fotometria - pomiary jasności

- ▶ Katalog gwiazd Hiparchusa podawał pozycje i przybliżone jasności gwiazd (gwiazdy pierwszej wielkości - najjaśniejsze, gwiazdy szóstej wielkości - najśłabsze), co zostało zachowane we współczesnej astronomii
- ▶ Wzór Pogsona wiąże wielkości gwiazdowe z rejestrowanym strumieniem energii
$$m_1 - m_2 = -2.5 \log\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$$
Najjaśniejsza gwiazda (Syriusz  $m_s \approx -1.5$ ) jest tysiąc razy jaśniejsza od najśłabszych gwiazd widocznych gołym okiem ( $m=6$ )
- ▶ Filtry fotometryczne szerokopasmowe.
- ▶ Filtry fotometryczne wąskopasmowe.
- ▶ Katalogi fotometryczne gwiazd
- ▶ Pomiary zmian jasności - bardzo ważne źródło informacji o własnościach obiektów na niebie.

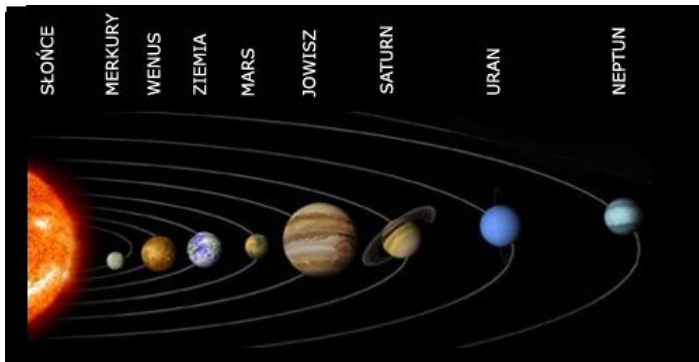
## Spektroskopia

- ▶ Analiza składu chemicznego - jakie pierwiastki i związki chemiczne emitują promieniowanie znajdują się w miejscu emisji, lub pomiędzy obserwatorem a źródłem promieniowania (poprzez obecność linii widmowych).
- ▶ Analiza warunków w których powstaje promieniowanie: temperatury (jakie linie są wzbudzone), ciśnienia (poszerzenie zderzeniowe linii), rotacji obiektu.
- ▶ Klasyfikacja widmowa gwiazd ( O B A F G K M ) i klasy jasności
- ▶ Pomiary prędkości radialnych źródła promieniowania otrzymane z porównania długości fali występowania linii widmowych i długości fali obserwowanej w laboratorium.

## Podstawowe informacje o Układzie Słonecznym

- ▶ Słońce zawiera obecnie ponad 99.98% masy Układu Słonecznego, najmasywniejsza z planet Jowisz, która jest około 2.5 razy masywniejsza niż wszystkie pozostałe planety, ma masę około 1000 razy mniejszą od Słońca.
- ▶ Powstaniu Słońca towarzyszył dysk gazowo-pyłowy w którym stopniowo następowało zlepianie się ziaren pyłu, powstawały planetoidy i komety a następnie planety (zajęło to kilka-kilkudziesiąt milionów lat).
- ▶ Pierwsze 100 milionów lat było niezwykle burzliwe, dochodziło do częstych zderzeń pomiędzy planetoidami a nawet protoplanetami.
- ▶ Ostatnie istotne zmiany w położeniu głównych ciał Układu Słonecznego miały miejsce najprawdopodobniej około 4 mld lat temu. Przyczyną “wielkiego bombardowania” mogła być migracja wielkich planet, która spowodowała zaburzenia orbit małych ciał Układu Słonecznego.

# Planety Układu Słonecznego



**Rysunek:** Według obecnej nomenklatury w Układzie Słonecznym mamy 8 planet. Licząc od Słońca są to: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran (odkryty w 1781 roku), Neptun (odkryty w 1846 roku).

## Planety Układu Słonecznego

- ▶ Planety poruszają się one po orbitach o stosunkowo niewielkim mimośrodzie i niewielkim nachyleniu do płaszczyzny ekliptyki (Merkury  $e = 0.2$ ,  $i = 7^\circ$ ).
- ▶ Dla obserwatora na Ziemi mamy podział na planety wewnętrzne i planety zewnętrzne.
- ▶ Planety wewnętrzne to Merkury i Wenus (koniunkcja górna, elongacja wschodnia, koniunkcja dolna, elongacja zachodnia). Maksymalne odległości kątowe od Słońca dla Merkurego  $28^\circ$ , a dla Wenus  $48^\circ$ .
- ▶ Przejścia Merkurego na tle tarczy Słońca mogą nastąpić w maju (co 13 lub co 33 lata) lub listopadzie (co 7, 13 lub 33 lata). Dwa ostatnie miały miejsce 7.05.2003 i 8.11.2006, a dwa najbliższe będą 9.05.2016 i 11.11.2019.
- ▶ Przejścia Wenus na tle tarczy Słońca są znacznie rzadsze niż Merkurego i zachodzą w przybliżeniu w cyklu 243 lat. Odstępy czasu między kolejnymi przejściami wynoszą w przybliżeniu: 121.5, 8, 105.5 i 8 lat (trzy ostatnie: 6.12.1882, 8.06.2004, 6.06.2012 a najbliższe 10.12.2117).

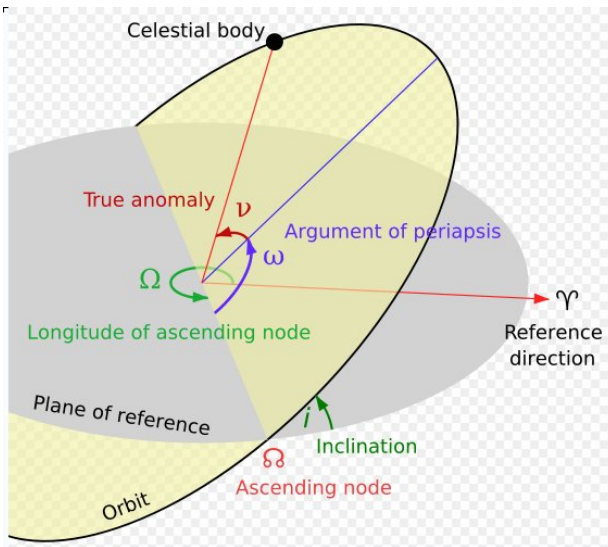
- ▶ Planety zewnętrzne: Mars, Jowisz, Saturn, .. (koniunkcja górna, kwadratura, opozycja)
- ▶ Szczególnie korzystne warunki do obserwacji planet zewnętrznych występują gdy znajdują się w opozycji ze Słońcem (ich różnica długości ekliptycznych wynosi 180 stopni).
- ▶ Planety podobne do Ziemi (skalno-żelazne): Merkury, Wenus, Ziemia, Mars
- ▶ Olbrzymy gazowe (Jowisz, Saturn) i lodowo-gazowe (Uran, Neptun).

## Drobne ciała Układu Słonecznego

Znamy również ogromną liczbę mniejszych obiektów z których największe określane są jako planety karłowate.

- ▶ Główny Pas Planetoid (GPP) - pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza. (pierwszy odkryty obiekt - Ceres w 1801 roku.). W jego obszarze znamy obecnie ponad 500 tys. obiektów.
- ▶ Pas Kuipera - poza orbitą Neptuna, do odległości ok. 50-60AU od Słońca (pierwszym odkrytym obiektem Pasa Kuipera był Pluton, następny obiekt został odkryty w 1992 roku, obecnie znamy ponad 1000 obiektów Pasa Kuipera)
- ▶ Część obiektów wyrzucona jest poza obszar GPP (planetoidy zbliżające się do Ziemi) i PK (obiekty typu Chirona, komety krótkookresowe).
- ▶ Trojanie i Grecy w punktach Lagrange'a układu Słońce - Jowisz.
- ▶ Komety długookresowe - pochodzą najprawdopodobniej z kometarnego Obłoku Oorta.



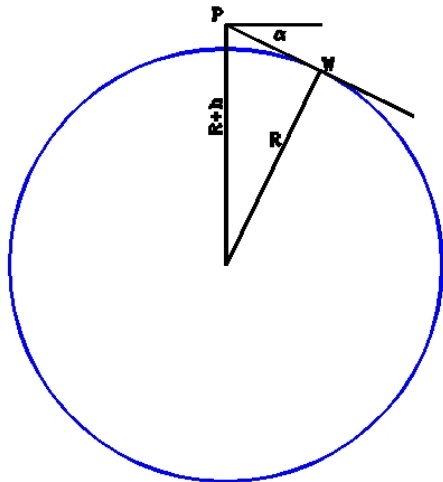


**Rysunek:** Elementy orbity: rozmiar wielkiej półosi, mimośród, nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki, długość węzła wstępującego, odległość perycentrum od węzła wstępującego, moment przejścia przez perycentrum



Rysunek: Ziemia z widziana z misji Apollo

Podróż dookoła Ziemi 1518-1521 - Ziemia jest kulą  
Obniżenie widnokrzęgu



Rysunek: Obniżenie widnokrzęgu dla obserwatora znajdującego się nad

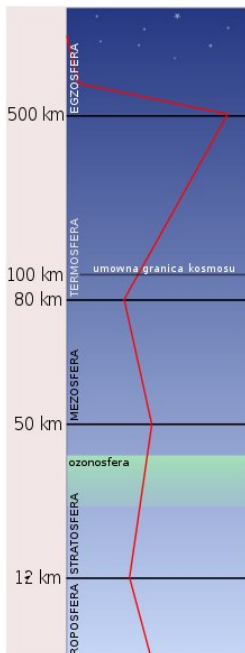
## Największa z planet skalnych w Układzie Słonecznym

- ▶ Masa :  $5.97 \cdot 10^{24}$  kg
- ▶ Promień równ.: 6378 km; spłaszczenie:  $1/298.257$
- ▶ Okres rotacji:  $23^h 56^m 4^s$
- ▶ nachylenie równika do płaszczyzny orbity:  $23^\circ 26'$
- ▶ okres orbitalny 365.2623 d.
- ▶ średnia odległość od Słońca 149.6 mln km.

## Cechy szczególne

- ▶ Obecność atmosfery - 78.09%  $N_2$ , 20.95%  $O_2$ , 0.93% Ar, 0.03%  $CO_2$  (powietrze suche), zmienna ilość pary wodnej.  $P \approx 100$  kPa, masa atmosfery ok.  $5 \cdot 10^{18}$  kg (ok.  $10^{-6}$  masy planety)
- ▶ Na powierzchni znajduje się woda w postaci płynnej, stałej i gazowej. (masa oceanu ok. 300 razy większa niż masa atmosfery)
- ▶ aktywność geologiczna - płyty tektoniczne, aktywność wulkaniczna,
- ▶ obecność pola magnetycznego którego źródłem są przepływy w metalicznym płynnym jądrze
- ▶ zmiany ukształtowania powierzchni - ruch płyt, aktywność wulkaniczna, erozja przez wodę i wiatr (zatarte ślady po większości kraterów uderzeniowych)

# Atmosfera Ziemi



## Budowa wewnętrzna Ziemi

0- 40	skorupa	0.4% masy
40- 400	płaszcz górny	10.3% masy
400- 650	obszar przejściowy	7.5% masy
650-2700	płaszcz dolny	49.2% masy
2700-2890	warstwa D''	3.0 % masy
2890-5150	zewnętrzne jądro	30.8% masy
5150-6378	wewnętrzne jądro	1.7% masy

## Obiekty mające największy wpływ na Ziemię

- ▶ Słońce - główne źródło energii ( $1380\text{W}/\text{m}^2$ ), precesja, pływy
- ▶ Księżyc - precesja, nutacja, pływy,
- ▶ planetoidy, komety - możliwość zderzenia i utworzenie krateru uderzeniowego
- ▶ planety - niewielkie perturbacje orbity Ziemi



## Pole grawitacyjne Ziemi w przybliżeniu sferycznej symetrii:

$$g = \frac{GM}{R_Z^2} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Potencjał - funkcja której gradient daje natężenie pola, wyskalowana została tak aby potencjał w nieskończoności był równy 0

$$\Phi = -\frac{GM}{r}$$

- ▶ pierwsza prędkość kosmiczna

$$V_I = (GM/R)^{1/2} = 7.9 \text{ km/s}$$

- ▶ druga prędkość kosmiczna

$$V_{II} = (2GM/R)^{1/2} = 11.2 \text{ km/s}$$

## Rotacja Ziemi

- ▶ Ziemia obraca się wokół osi raz na 23h 56m 4s, co daje wartość prędkości kątowej

$$\omega = 2\pi/P = 7.29 \cdot 10^{-5} 1/s$$

- ▶ Zgodnie z zasadami dynamiki w układzie współrotującym z Ziemią występuje siła odśrodkowa

$$a_o = \omega^2 r \cos(\varphi_g)$$

(na równiku wartość przyspieszenia odśrodkowego wynosi  $0.034 \text{ m/s}^2$ )

- ▶ Rotacja Ziemi jest główną przyczyną odkształcenia jej od kształtu kulistego
- ▶ Na ciała poruszające się po powierzchni Ziemi działa siła Coriolisa

$$\vec{a}_C = 2\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Siła Coriolisa na północnej półkuli działa w prawo, a na południowej w lewo. Wpływa na ruchy powietrza (powstawanie cyklonów) i prądów morskich.

Wahadło Foucaulta - wahadło o dużej długości na którego ruch w widoczy sposób wpływa siła Coriolisa

- ▶ prędkość kątowna zmiany płaszczyzny ruchu wahadła

$$\omega_F = \omega * \sin(\varphi)$$

- ▶ odpowiada temu okres obrotu płaszczyzny ruchu wahadła

$$P_F = P_{rot} / \sin(\varphi) = 23.93 / \sin(\varphi) \text{ godz}$$

- ▶ Dwa przykłady: dla Warszawy  $P_F = 30\text{h } 22\text{m}$ ,  
dla Kairu ( $\varphi = 30^\circ$ )  $P_F = 47\text{h } 52\text{m}$

Bezpośredni dowód obrotu Ziemi dookoła osi.

Obrót Ziemi powoduje odkształcenie od kształtu kulistego.

Kolejne przybliżenie kształtu Ziemi to elipsoida obrotowa

a - promień równikowy, b - promień biegunowy

$a = 6378.137\text{km}$   $b = 6356.752\text{km}$

$s = (a-b)/a = 0.00335$ ,  $1/s = 298.253$

W rezultacie odległości liczone w przybliżeniu kulistego kształtu Ziemi nie są dokładne.

- ▶ całkowita długość południka: 20004 km
- ▶ obwód równika: 40075 km
- ▶ Przykład 1: długość południka pomiędzy  $\varphi 90^\circ$  a  $89^\circ$  wynosi 111.694 km, a pomiędzy  $1^\circ$  a  $0^\circ$  wynosi 110.574 km.
- ▶ Przykład 2: odległości pomiędzy Warszawą ( $\varphi = 52^\circ$   $\lambda = 21^\circ$ )  
a  
Nowym Jorkiem ( $\varphi = 40^\circ 30'$   $\lambda = -73^\circ 57'$ )  
6899.1 km (elipsoida) 6886.8 km (kula)
- ▶ Przykład 3: Odległość pomiędzy Warszawą a Sydney  
( $\varphi = -33^\circ 52'$   $\lambda = 151^\circ 12'$ )  
15590.6km (elipsoida), 15617.1km (kula)

- ▶ spłaszczenie związane jest ze stosunkiem przyspieszenia odśrodkowego do przyspieszenia grawitacyjnego

$$s = (a - b)/a \approx (\omega^2 R^3)/(GM)$$

- ▶ Przyspieszenie grawitacyjne odczuwane na powierzchni Ziemi można opisać w sposób przybliżony wzorem:

$$g = 9.7805 + 0.0517 \sin^2(\varphi)$$

- ▶ Spłaszczenie Ziemi ma również wpływ na wartość przyspieszenia grawitacyjnego na jej powierzchni.  
Okres wahadła

$$P = 2\pi(l/g)^{1/2}$$

Zegary wahadłowe o tej samej efektywnej długości wahadła wolniej chodzą na małych szerokościach geograficznych.

- ▶ Im jesteśmy wyżej tym mniejsza jest wartość siły grawitacji

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

- ▶ Różnica pomiędzy geodezyjną ( $\varphi_G$ ), a geocentryczną ( $\varphi_C$ ) szerokością geograficzną wynosi w przybliżeniu

$$\varphi_C - \varphi_G = -11.5' \sin(2\varphi_G)$$

- ▶ Geoida - bryła, której powierzchnia w każdym miejscu jest prostopadła do pionu wyznaczonego przez siłę ciężkości.
- ▶ Undulacja: odległość pomiędzy powierzchnią geoidy, a powierzchnią elipsoidy

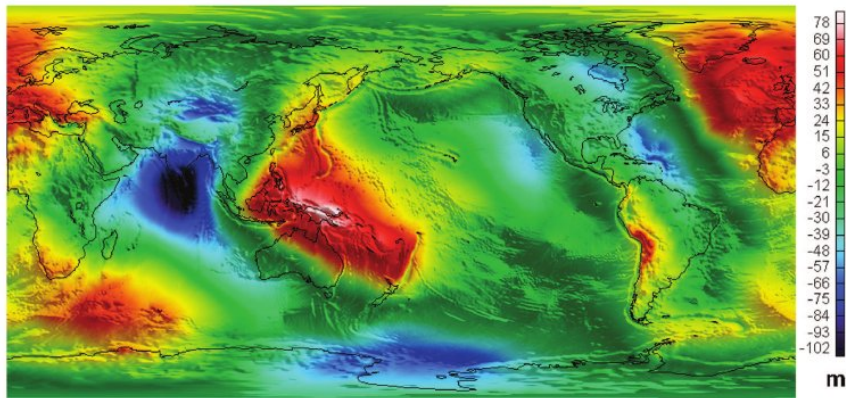


FIG. 3. The 15' x 15' global geoid undulations produced by EGM96 (Lemoine et al., 1998). The undulations range from -107 m to 85 m. Black lines indicate coast lines.

## Pole magnetyczne Ziemi

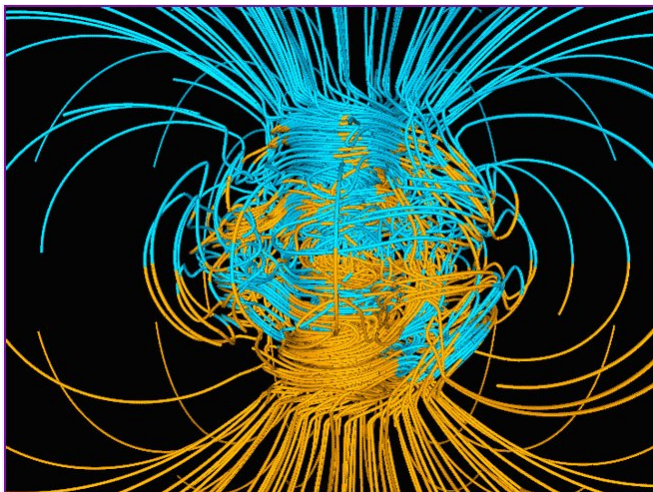
- ▶ Rotacja Ziemi i obecność płynnego zewnętrznego metalicznego jądra powoduje powstawanie pola magnetycznego.
- ▶ Pole magnetyczne powstaje na skutek ruchu ładunków elektrycznych, lub zmian pola elektrycznego.
- ▶ Pole magnetyczne wpływa na ruch ładunków elektrycznych  
Siła Lorentza:

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- ▶ Pole magnetyczne Ziemi można uważać w pierwszym przybliżeniu za dipolowe, ale ..
- ▶ .. obecnie obserwujemy szybką zmianę położenia biegunów magnetycznych na powierzchni Ziemi:  
1965:  $\varphi = 73.5^\circ$ ,  $\lambda = -100.6^\circ$  i  $\varphi = -66.5^\circ$ ,  $\lambda = 140.3^\circ$   
2001:  $\varphi = 81.3^\circ$ ,  $\lambda = -110.8^\circ$  i  $\varphi = -63.5^\circ$ ,  $\lambda = 138.0^\circ$

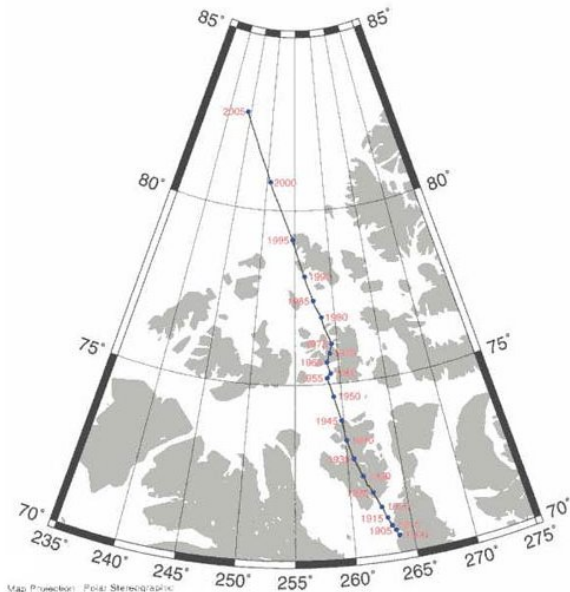
Prędkość przemieszczania się pozycji biegunów magnetycznych po powierzchni Ziemi wynosi obecnie kilkadziesiąt km/rok.



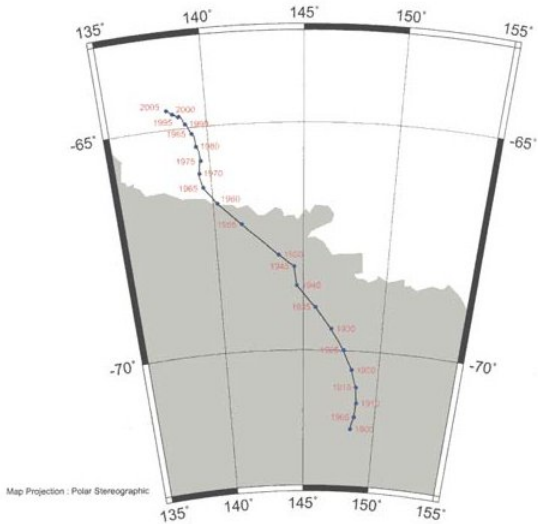


**Rysunek:** Źródłem pola magnetycznego jest turbulencja w płynnym jądrze Ziemi.

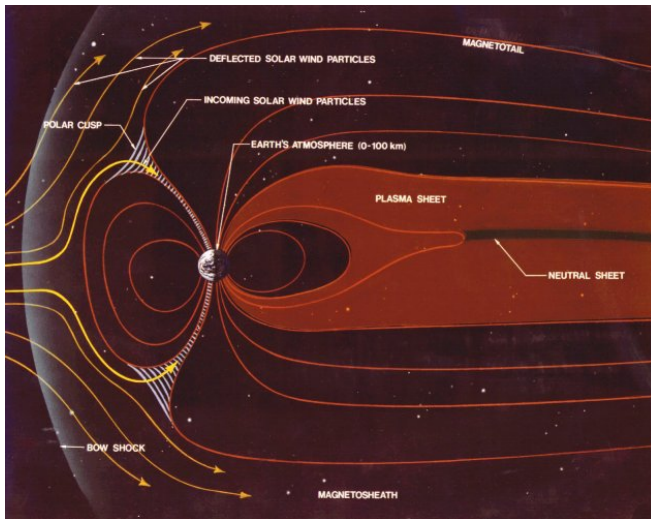
# NORTH MAGNETIC POLE MOVEMENT



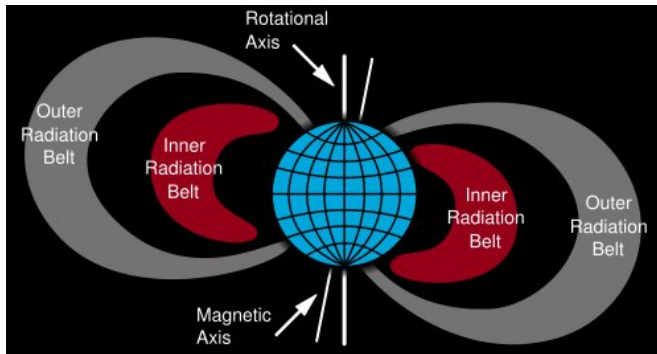
# SOUTH MAGNETIC POLE MOVEMENT



Rysunek: Zmiany położenia południowego bieguna magnetycznego.



Rysunek: Magnetosfera Ziemi zdeformowana przez wiatr słoneczny.



Rysunek: Schematyczny rysunek pasów radiacyjnych van Allena.



**Rysunek:** Zorza polarna. Swiecenie wywołane jest rekombinacją atomów i cząsteczek na wysokości ok. 100 km.

## Ruch orbitalny Ziemi względem Słońca

- ▶ Płaszczyzna orbitalna ruchu Ziemi wyznacza ekliptykę.
- ▶ Torem ruchu orbitalnego Ziemi jest w przybliżeniu elipsa
- ▶ Wielka półoś orbity Ziemi - jednostka astronomiczna

$$j.a. = 1.496 \cdot 10^8 km$$

- ▶ obecna wartość mimośrodów orbity wynosi  $e = 0.0167$

$$r_{max} = (1 + e)a$$

$$r_{min} = (1 - e)a$$

- ▶ Średnia wartość prędkości orbitalnej Ziemi względem Słońca wynosi 29.8 km/s.
- ▶ Prędkość ciała na orbicie eliptycznej (a-długość wielkiej półosi orbity, r - odległość od Słońca)

$$v = \left( GM \left( \frac{2}{a} - \frac{1}{r} \right) \right)^{1/2}$$

$$\frac{v_{max}}{v_{min}} = \frac{1 + e}{1 - e}$$

## Obserwacyjne dowody na ruch orbitalny Ziemi względem Słońca.

Dowodem na ruch orbitalny Ziemi miała być obserwacja paralaksy heliocentrycznej.

Efekt ten ze względu na wielkie odległości do gwiazd długo nie był zmierzony

- ▶ 1729 - pomiar aberracji rocznej - zmiany położenia gwiazd związanej ze zmianą wektora prędkości Ziemi względem Słońca.

$$\sin(\delta\theta) \approx \sin(\theta) \frac{v}{c}$$

stała aberracji rocznej wynosi 20.4" a więc  $v_{orb}/c \approx 10^{-4}$

- ▶ 1830 - pierwsze pomiary paralaksy heliocentrycznej bliskich gwiazd. związane z okresowymi zmianami położenia Ziemi względem Słońca.



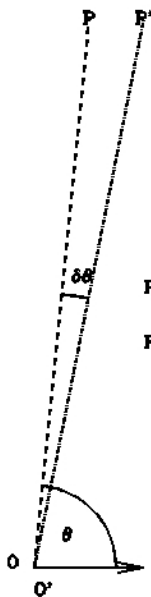
- ▶ Paralaksa heliocentryczna

$$\pi_h = \frac{j.a.}{d}$$

odległość na jakiej paralaksa heliocentryczna wynosi 1" nazywamy parsekiem

$$1pc = 206265j.a.$$

- ▶ Dla najbliższych gwiazd wartość paralaksy heliocentrycznej jest mniejsza niż 1" (dla *Proximy* 0.73")
- ▶ Obecne prowadzone pomiary paralaksy heliocentrycznej mają zazwyczaj dokładność 0.001", a więc pozwalają na obliczenie odległości z dokładnością lepszą niż 10% dla gwiazd znajdujących się bliżej niż 100 pc.
- ▶ Odległość do Centrum Galaktyki wynosi około 8000 pc, tak więc obecnie dla większości gwiazd pomiary odległości prowadzone są metodami pośrednimi



**P** – położenie obserwowane przez  
 obserwatora spoczywającego  
**P'** – położenie obserwowane przez  
 obserwatora w ruchu

Rysunek: Aberracja światła

## Zmiany nachylenia osi obrotu Ziemi i mimośrodory orbity

Oddziaływanie grawitacyjne planet Układu Słonecznego powoduje nieznaczne zmiany elementów orbity Ziemi, a także zmiany nachylenia osi obrotu Ziemi do jej płaszczyzny orbitalnej.

- ▶ Nachylenie płaszczyzny równikowej do płaszczyzny ekliptyki  $\epsilon$  zmienia się pomiędzy  $22.1^\circ$  a  $24.5^\circ$  z okresem 41000 lat. Obecnie wartość  $\epsilon$  jest równa  $23.44^\circ$  i zmniejsza się. Najmniejszą wartość osiągnie za około 8000 lat.
- ▶ Zmiany mimośrodu orbity Ziemi zawierają się w granicach 0.005 - 0.05 i zmieniają się z okresem około 100 tys lat. Obecnie wartość mimośrodu wynosi 0.0167 i powoli się zmniejsza.
- ▶ Zmiany nachylenia płaszczyzny równikowej do płaszczyzny orbitalnej, zmiany mimośrodu orbity a także precesja osi obrotu Ziemi są najprawdopodobniej powiązane ze zmianami klimatycznymi nazywanymi cyklami Milankowicia
- ▶ Wielka półoś orbity i nachylenie płaszczyzny orbitalnej zmieniają się w bardzo małym stopniu.

# Księżyc



## Podstawowe fakty obserwacyjne

- ▶ Fazy Księżyca: nów, I kwadra, pełnia, III kwadra zmiana z okresem 29.53 doby - miesiąc synodyczny
- ▶ Średni ruch na niebie rzędu  $13^\circ$  na dobę.
- ▶ Średnica kątowna rzędu  $30'$  (zmienia się w zakresie 10% ze względu na eliptyczność orbity Księżyca)
- ▶ Jasność w pełni ok. -12.5 mag (najjaśniejszy po Słońcu obiekt naszego nieba)
- ▶ Zwrócony do nas wciąż tą samą stroną (okres rotacji równy okresowi orbitalnemu, ale mamy libracje)
- ▶ ciemne i jasne obszary ("morza" i wyżyny księżycowe).
- ▶ Węzły orbity Księżyca cofają się po ekliptyce z okresem 18.6 lat (zaobserwowali to już starożytni ważne dla przewidywania zaćmień).

## Podstawowe informacje o Księżycu

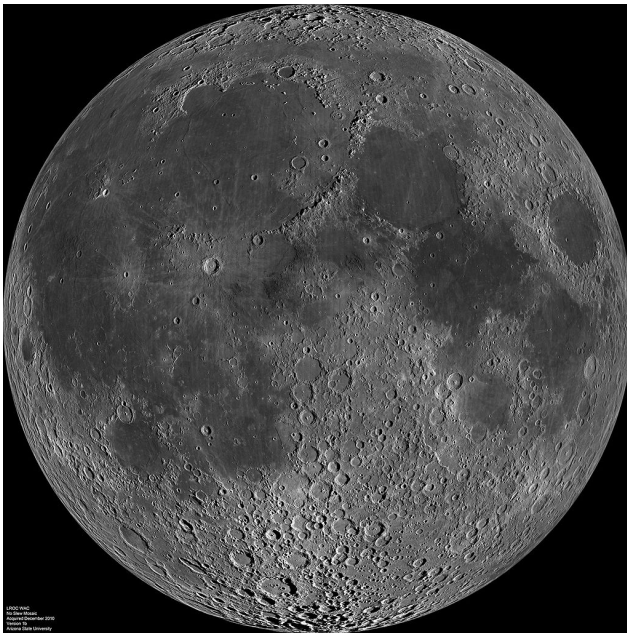
- ▶ promień  $1738\text{ km}$  (0.27 promienia Ziemi)
- ▶ masa  $7.35 \cdot 10^{22}\text{ kg}$  (1/81 masy Ziemi)
- ▶ średnie przyspieszenie grawitacyjne  $1.62\text{ m/s}^2$ , prędkość ucieczki  $2.38\text{ km/s}$
- ▶ orbity wokółksiężycowe zaburzone przez maskony (obszary o zwiększonej gęstości znajdujące się pod powierzchnią Księżyca), obecność Ziemi i Słońca
- ▶ brak atmosfery i pola magnetycznego (a właściwie śladowe ilości gazów i nieregularne obszary w których występuje słabe pole magnetyczne).
- ▶ Księżyc złożony jest głównie ze skał podobnych do tych tworzących płaszcz Ziemi, jądro metaliczne, jeżeli istnieje, jest małe.
- ▶ Powstanie: najprawdopodobniej w wyniku zderzenia pomiędzy Ziemią a inną protoplanetą o masie około 1/10 masy Ziemi w kilkadziesiąt milionów lat po jej powstaniu. W przestrzeń została wyrzucona część płaszcza ziemskiego z którego fragmentów powstał Księżyc.

## Ukształtowanie powierzchni Księżyca

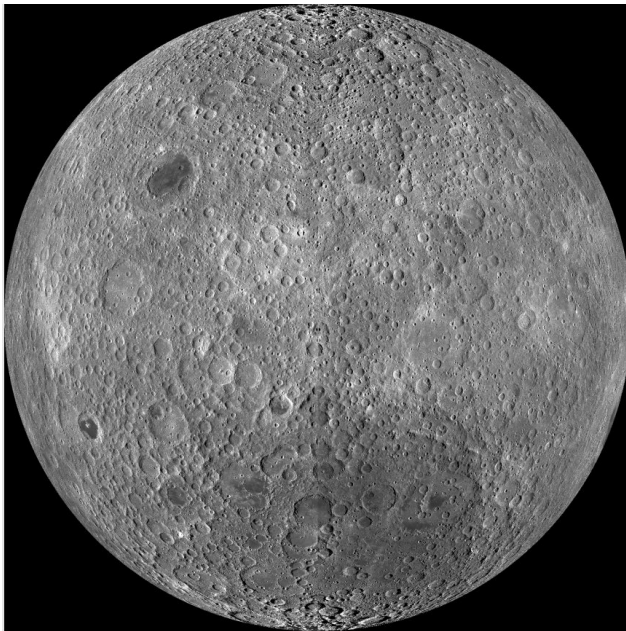
- ▶ “Wyżyny” - starsza powierzchnia pokryta licznymi kraterami uderzeniowymi
- ▶ Morza księżycowe - wylewy bazaltowe (pozostałość dawnej aktywności wulkanicznej), które wypełniły wielkie kotliny uderzeniowe. Młodsze niż wyżyny (mniejsza liczba kraterów uderzeniowych).
- ▶ krateru uderzeniowe - pozostałości po upadkach planetoid. Do najmłodszych dużych kraterów należą Tycho (średnica 90 km, wiek 100 My) i Copernicus (śr. 90 km, wiek 800 My).
- ▶ kanały najprawdopodobniej powstałe po przepływach lawy
- ▶ uskoki powstałe na skutek deformacji skorupy Księżyca.
- ▶ powierzchnia Księżyca - pokryta regolitem - pyłem powstałym w wyniku uderzeń mikrometeoroidów (może być obdarzony ładunkiem elektrycznym. ze względu na obecność wiatru słonecznego)

- ▶ wielka różnica pomiędzy widoczną a niewidoczną stroną Księżyca.
- ▶ depresja Aitken - biegun południowy - największa ze struktur uderzeniowych na powierzchni Księżyca





Rysunek: Widoczna z Ziemi strona Księżyca.



Rysunek: Niewidoczna z Ziemi strona Księżyca.

# Orbita Księżyca wokół Ziemi

Matematyczna teoria ruchu Księżyca wokół Ziemi jest bardzo trudnym problemem. Najbardziej istotne zaburzenia są związane z obecnością Słońca i spłaszczeniem rotacyjnym Ziemi.

Wartości średnie:

- ▶ rozmiar wielkiej półosi orbity 384400 km
- ▶ mimośród orbity 0.0549
- ▶ nachylenie do płaszczyzny ekliptyki  $5^{\circ}9'$
- ▶ węzły orbity Księżyca: cofają się po ekliptyce z okresem 18.6 lat
- ▶ linia absyd orbity Księżyca: postępuje z okresem 8.85 lat

## Różne rodzaje miesięcy:

- ▶ miesiąc synodyczny - 29.5306 d. - okres zmian faz Księżyca.
- ▶ miesiąc gwiazdowy - 27.3217 d. - okres obiegu Księżyca wokół Ziemi
- ▶ miesiąc anomalistyczny 27.5546 d. - okres pomiędzy dwoma kolejnymi przejściami przez perygeum
- ▶ miesiąc zwrotnikowy - 27.3216 d. - okres pomiędzy dwoma kolejnymi przejściami w pobliżu punktu Barana.
- ▶ miesiąc smoczy - 27.2122 d. - okres pomiędzy dwoma kolejnymi przejściami przez ten sam węzeł orbity.

## Libracje Księżyca

Księżyc zwrócony do nas tą samą stroną, ale:

- ▶ Libracja w długości: prędkość rotacji jest stała a prędkość ruchu orbitalnego po orbicie eliptycznej ulega zmianie.
- ▶ Libracja w szerokości: płaszczyzna równikowa Księżyca jest nachylona do płaszczyzny orbitalnej pod kątem  $6.7^\circ$  i w trakcie ruchu orbitalnego Księżyc zwraca się do nas raz jednym, a raz drugim biegunem
- ▶ libracja geocentryczna: ze względu na obrót Ziemi, w czasie nocy obserwator zmienia swoje położenie względem Księżyca

Ze względu na libracje z Ziemi możemy zaobserwować w sumie blisko 60% powierzchni Księżyca

# Zaćmienia Słońca i Księżycy

## Warunki zachodzenia zaćmień:

- ▶ Zaćmienie Słońca: Księżyc musi być blisko węzła orbity i w nowiu
- ▶ Zaćmienie Księżycy: Księżyc musi być blisko węzła i w pełni.

Całkowite zaćmienie Słońca możemy obserwować tylko w wąskim pasie na powierzchni Ziemi

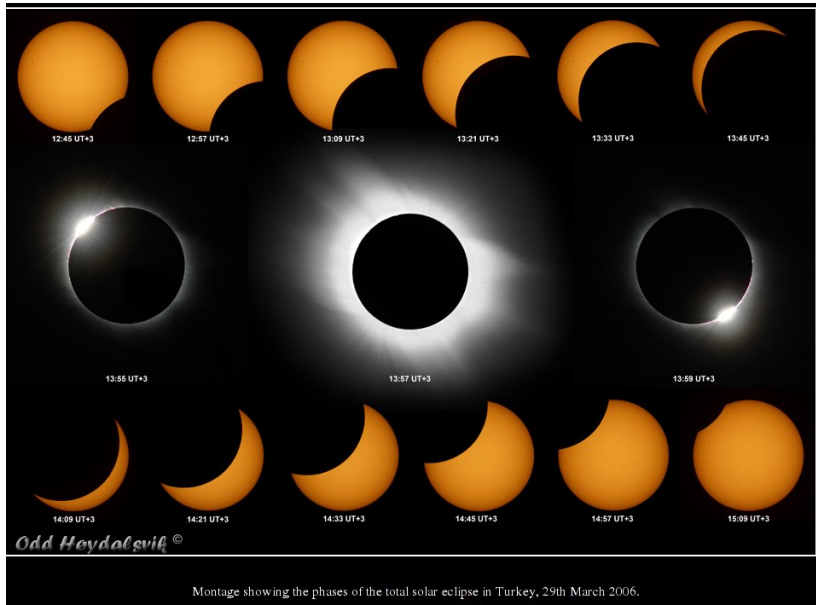
Całkowite zaćmienie Księżycy może zaobserwować każdy dla kogo Księżyc w czasie zaćmienia widoczny jest ponad horyzontem.

## Rodzaje zaćmień Słońca.

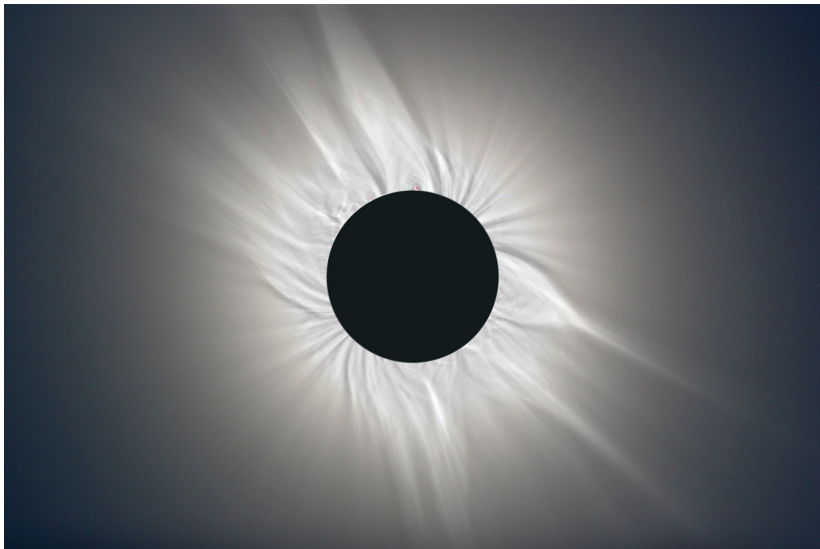
- ▶ Całkowite - cała tarcza Słońca jest zasłonięta przez Księżyc (średnica kątowna Księżyca w miejscu obserwacji jest większa niż średnica kątowna Słońca); faza całkowita może trwać najwyżej 7 min.
- ▶ Obrączkowe - w maksimum zaćmienia wokół tarczy Księżyca widoczny jest jasny pierścien tarczy Słońca (średnica kątowna Księżyca w miejscu obserwacji jest mniejsza niż średnica kątowna Słońca)
- ▶ Hybrydowe - w głównym pasie zaćmienia na pewnym obszarze obserwowane jest zaćmienie całkowite, a na pewnym obrączkowe.
- ▶ Częściowe - zasłonięta jest część tarczy Słońca ale brzegi tarcz Słońca i Księżyca przecinają się.

- ▶ Całkowite zaćmienie Słońca daje możliwość obserwacji chromosfery i korony słonecznej, a także gwiazd i planet znajdujących się w sąsiedztwie Słońca. Można wtedy zobaczyć, że Merkury jest jednym z jaśniejszych obiektów naszego nieba.
- ▶ W czasie całkowitego zaćmienia Słońca w 1919 roku wykonano słynne pomiary zmiany pozycji gwiazd blisko krawędzi tarczy Słońca w wyniku oddziaływania grawitacji Słońca na fotony przechodzące blisko jego powierzchni. Wyniki pomiarów potwierdziły Ogólną Teorię Względności Alberta Einsteina.



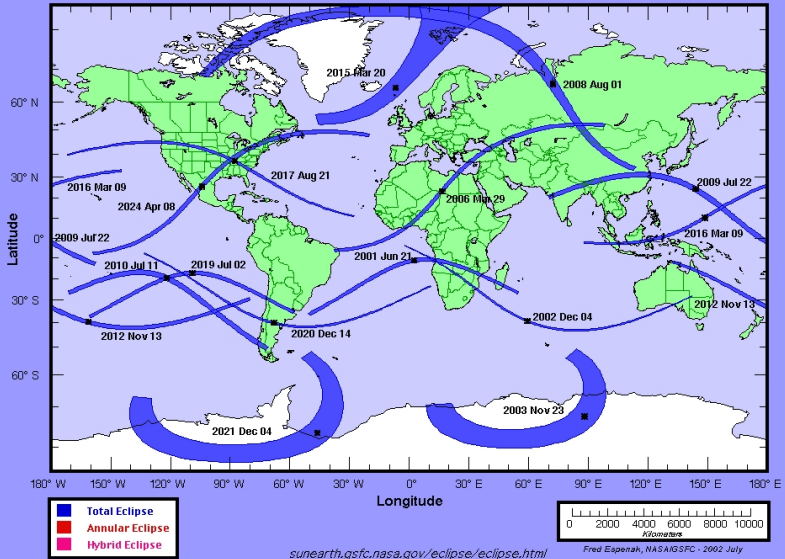


Rysunek: Kolejne fazy całkowitego zaćmienia Słońca



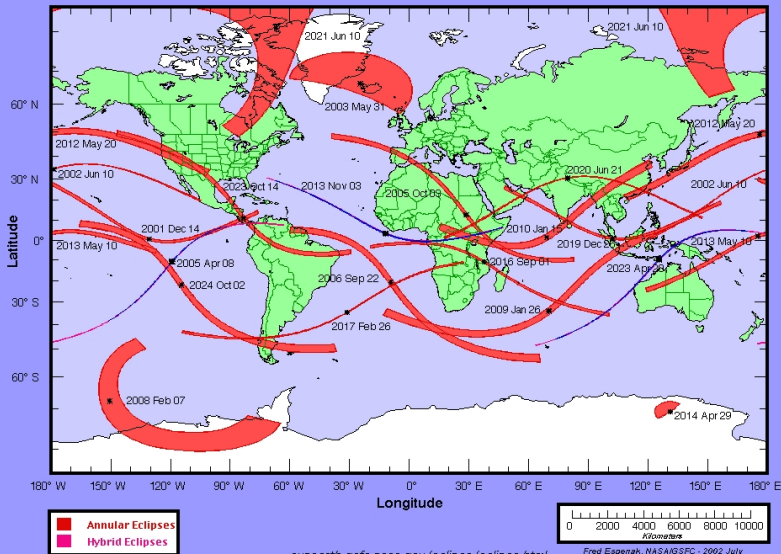
**Rysunek:** Korona słoneczna widziana podczas całkowitego zaćmienia Słońca

## Total Solar Eclipse Paths: 2001–2025



Rysunek: Całkowite zaćmienia Słońca w latach 2001-2025

## Annular & Hybrid Solar Eclipse Paths: 2001–2025



Rysunek: Obraczkowe i hybrydowe zaćmienia Słońca w latach 2001-2025

## Rodzaje zaćmień Księżyca:

- ▶ całkowite - cały Księżyc znajduje się w cieniu Ziemi,
- ▶ częściowe - część Księżyca znajduje się w cieniu Ziemi,
- ▶ półcieniowe - Księżyc znajduje się w półcieniu Ziemi (na tej części Księżyca, która znajduje się w półcieniu mamy częściowe zaćmienie Słońca). Zaćmienia półcieniowe są raczej trudne do obserwacji.

# Total Lunar Eclipse of 2011 Dec 10

Ecliptic Conjunction = 14:37:29.1 TD (= 14:36:21.6 UT)

Greatest Eclipse = 14:32:56.5 TD (= 14:31:49.0 UT)

Penumbral Magnitude = 2.1860

P. Radius = 1.2023°

Gamma = -0.3882

Umbral Magnitude = 1.1061

U. Radius = 0.6609°

Axis = 0.3571°

Saros Series = 135

Member = 23 of 71

Sun at Greatest Eclipse  
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 17h08m35.0s

Dec. = -22°54'38.7"

S.D. = 00°16'14.5"

H.P. = 00°00'08.9"

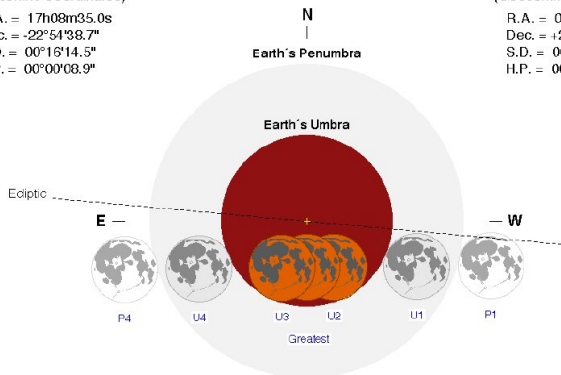
Moon at Greatest Eclipse  
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 05h08m33.9s

Dec. = +22°33'13.3"

S.D. = 00°15'02.4"

H.P. = 00°55'11.7"



Eclipse Durations

Penumbra = 05h56m21s

Umbral = 03h32m15s

Total = 00h51m08s

ΔT = 68 s

Eclipse Contacts

P1 = 11:33:36 UT

U1 = 12:45:43 UT

U2 = 14:06:16 UT

U3 = 14:57:24 UT

U4 = 16:17:58 UT



**Rysunek:** Montaż zdjęć wykonanych w trakcie całkowitego zaćmienia Księżycy (podczas fazy częściowej i całkowitej).

<a href="#">2012 Jun 04</a>	11:04:20	Partial	<a href="#">140</a>	0.370	02h07m	Asia, Aus., Pacific, Americas
<a href="#">2012 Nov 28</a>	14:34:07	Penumbra	<a href="#">145</a>	-0.187	-	Europe, e Africa, Asia, Aus., Pacific, N.
<a href="#">2013 Apr 25</a>	20:08:38	Partial	<a href="#">112</a>	0.015	00h27m	Europe, Africa, Asia, Aus.
<a href="#">2013 May 25</a>	04:11:06	Penumbra	<a href="#">150</a>	-0.934	-	Americas, Africa
<a href="#">2013 Oct 18</a>	23:51:25	Penumbra	<a href="#">117</a>	-0.272	-	Americas, Europe, Africa, Asia
<a href="#">2014 Apr 15</a>	07:46:48	Total	<a href="#">122</a>	1.291	03h35m <b>01h18m</b>	Aus., Pacific, Americas
<a href="#">2014 Oct 08</a>	10:55:44	Total	<a href="#">127</a>	1.166	03h20m <b>00h59m</b>	Asia, Aus., Pacific, Americas
<a href="#">2015 Apr 04</a>	12:01:24	Total	<a href="#">132</a>	1.001	03h29m <b>00h05m</b>	Asia, Aus., Pacific, Americas
<a href="#">2015 Sep 28</a>	02:48:17	Total	<a href="#">137</a>	1.276	03h20m <b>01h12m</b>	e Pacific, Americas, Europe, Africa, w Asia
<a href="#">2016 Mar 23</a>	11:48:21	Penumbra	<a href="#">142</a>	-0.312	-	Asia, Aus., Pacific, w Americas
<a href="#">2016 Sep 16</a>	18:55:27	Penumbra	<a href="#">147</a>	-0.064	-	Europe, Africa, Asia, Aus., w Pacific
<a href="#">2017 Feb 11</a>	00:45:03	Penumbra	<a href="#">114</a>	-0.035	-	Americas, Europe, Africa, Asia
<a href="#">2017 Aug 07</a>	18:21:38	Partial	<a href="#">119</a>	0.246	01h55m	Europe, Africa, Asia, Aus.
<a href="#">2018 Jan 31</a>	13:31:00	Total	<a href="#">124</a>	1.315	03h23m <b>01h16m</b>	Asia, Aus., Pacific, w N.America
<a href="#">2018 Jul 27</a>	20:22:54	Total	<a href="#">129</a>	1.609	03h55m <b>01h43m</b>	S.America, Europe, Africa, Asia, Aus.

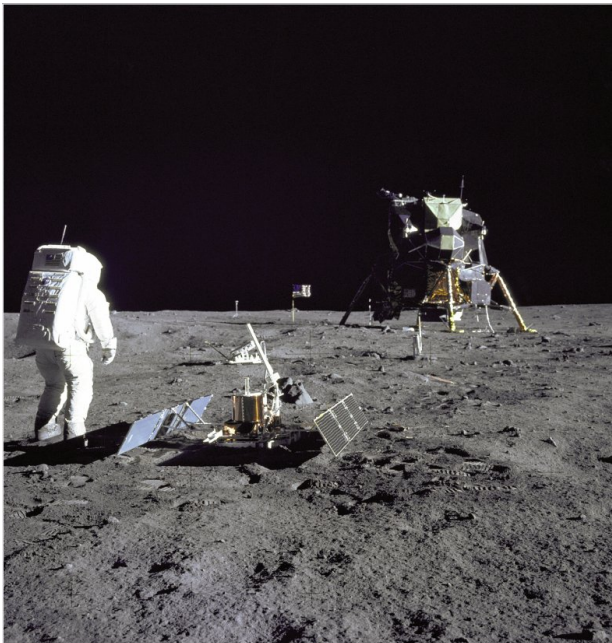


## Misje księżycowe:

- ▶ Na Księżycu wylądowało w sumie 12 osób w ramach misji Apollo 11 (21.07.1969), 12, 14, 15, 16, 17 (11-14.12.1972). Misje Apollo 8, 10 i 13 przelatywały w pobliżu Księżyca (Apollo 13 nie wylądował z powodu awarii).
- ▶ Lądowniki radzieckie, które pobrały próbki gruntu księżycowego i dostarczyły je na Ziemię: Luna 16 (24.09.1970), 20, 24 (22.08.1976).
- ▶ lata 1990-1999: Hiten (Japonia), Clementine, Lunar Prospector (USA)
- ▶ lata 2000- Smart-1, Selene, Change 1, Chandrayaan-1 (zakończone)
- ▶ Współczesne sondy badające Księżyc: LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter), GRAIL, Change-2.



Rysunek: Miejsca lądowania misji Apollo i Luna



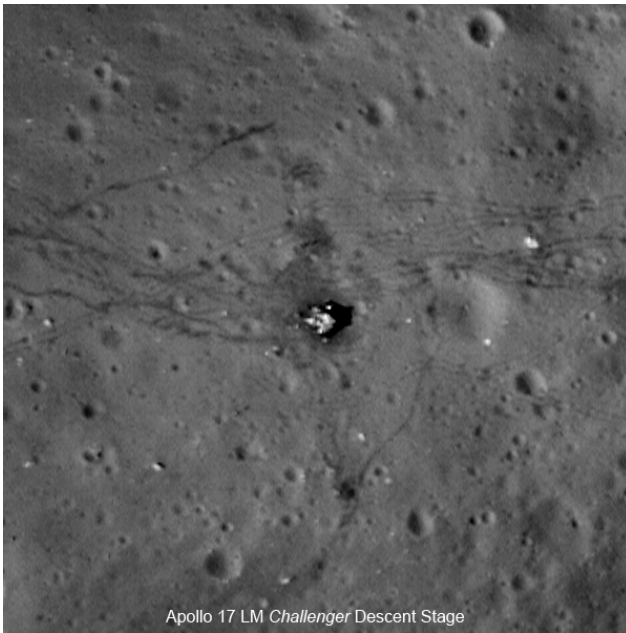
Rysunek: Moduł księżycowy Apollo 11.



Rysunek: Astronauta i łązik księżycowy podczas misji Apollo 17.

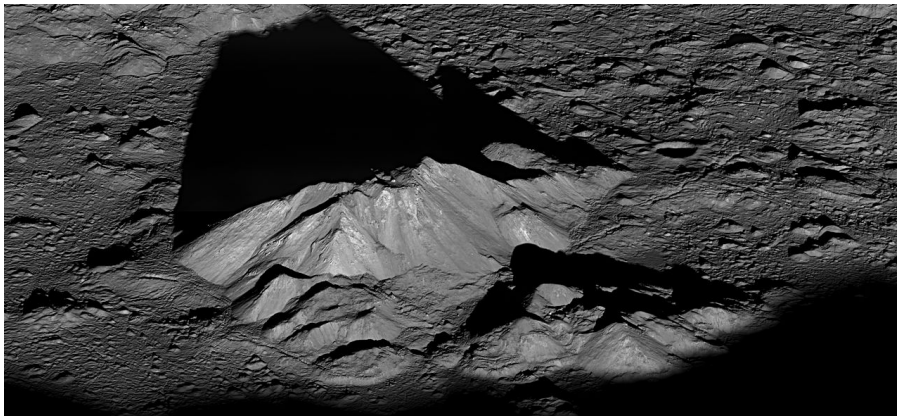


Rysunek: Powierzchnia Księżyca blisko terminatora



Apollo 17 LM *Challenger* Descent Stage

Rysunek: Miejsca lądowania misji Apollo 17 z LRO.

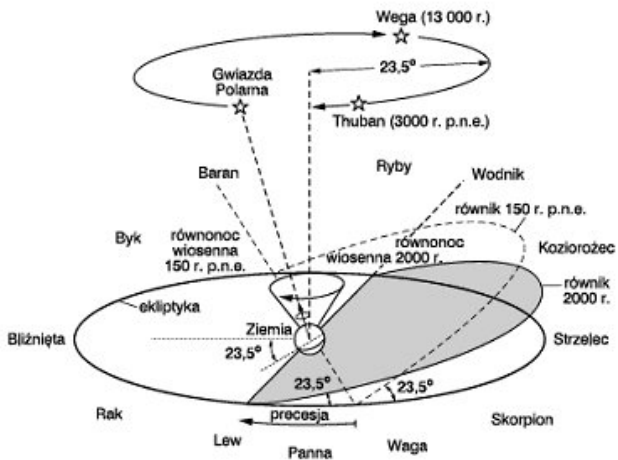


Rysunek: Centralne wzniesienie krateru Tycho

## Precesja i nutacja

- ▶ Precesja lunisolarna jest spowodowana przez moment sił, który działa na spłaszczoną w wyniku rotacji Ziemię. Okres precesji wynosi ok. 25400 lat
- ▶ Ruch węzłów orbity Księżyca powoduje zmiany nachylenia orbity Księżyca do równika Ziemi, a przez to modulacje w wartości momentu sił działających na Ziemię. Powoduje to nutację o okresie 18.6 lat i amplitudzie 17" w długości i 9" w nachyleniu osi obrotu do płaszczyzny ekliptyki.
- ▶ Na ekliptyce węzeł wstępujący orbity Księżyca (nachylonej do ekliptyki pod kątem  $5.15^\circ$ ) w przybliżeniu pokrywa się z węzłem zstępującym równika księżycowego (nachylonym do ekliptyki pod kątem  $1.54^\circ$ ), w wyniku czego nachylenie płaszczyzny równikowej Księżyca do jego płaszczyzny orbity wynosi  $6.69^\circ$ .

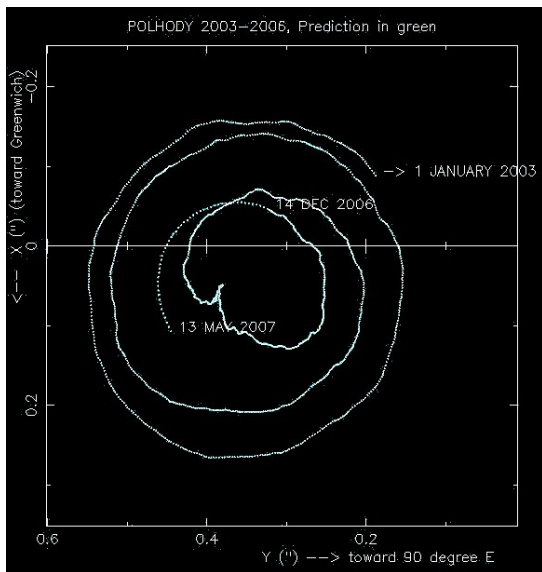




Rysunek: Precesja osi obrotu Ziemi



# Ruch biegunów Ziemi



Rysunek: Precesja Chandlera o okresie 420 dni i amplitudzie 20m

## Efekty przyptywowe

Siła grawitacji:

$$\vec{F} = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Można policzyć różnicę przyspieszeń jakim podlegają ciała znajdujące się w różnych położeniach względem oddziałującego grawitacyjnie obiektu.

Umożliwia to oszacowanie rozmiaru odkształcenia przyptywowego z warunku aby potencjał na powierzchni bryły był stały.

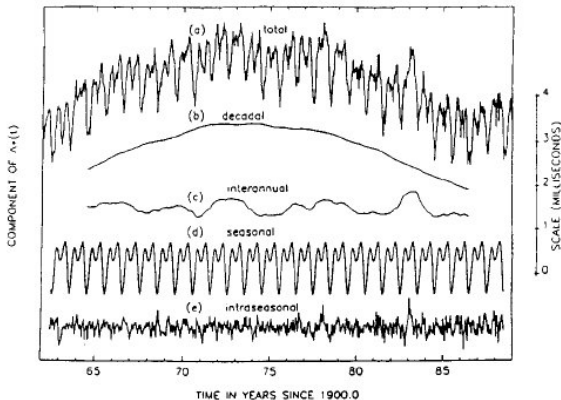
$$\frac{\delta r}{r} \sim \frac{M_s}{M_p} \frac{r_p^3}{a^3}$$

Rozciągnięcie wzdłuż prostej łączącej środki ciał jest 2 razy większe niż ściśnięcie do niej prostopadłe.

- ▶ Dla Ziemi istotne są oddziaływania ze strony Księżyca i Słońca  
pływy lunisolarne - oddziaływanie przyływowe Księżyca 2  
razy większe
- ▶ przyływowa synchronizacja okresu orbitalnego Księżyca i jego  
okresu rotacji.
- ▶ powolna zmiana okresu rotacji Ziemi i zwiększanie rozmiarów  
orbity Księżyca (ok.3 cm/rok)
- ▶ Gdyby Ziemia cała pokryta była oceanem amplituda pływów  
księżycowych wynosiłaby ok. 1m (słonecznych 2 razy mniej).  
W praktyce fala przyływu może być spiętrzana gdy dochodzi  
do wybrzeża, w szczególności gdy wchodzi w zatoki i tam  
amplitudy zmian poziomu wody mogą osiągać kilkanaście  
metrów.

# Zmiany okresu rotacji Ziemi

- ▶ Przypływowe oddziaływanie Księżyca powoduje wiekowe spowolnienie rotacji Ziemi ok.  $0.002\text{s}/100\text{lat}$ .
- ▶ okresowe zmiany okresu związane z oddziaływaniem Słońca i Księżyca, zmianami atmosferycznymi, prądami morskimi, ruchem materii we wnętrzu Ziemi (amplituda zmian długości doby ok  $0.001\text{s}$ )



## Współczesna miara czasu

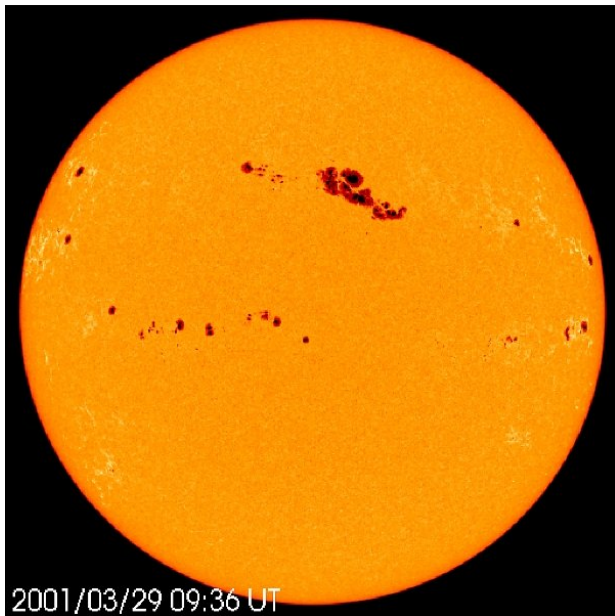
- ▶ Obecnie (od 1967) sekunda została określona jako 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającego przejściu pomiędzy dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu 133. Jednostka ta została tak dobrana aby była równa jednej średniej sekundzie słonecznej 1 stycznia 1900 roku.
- ▶ Obowiązujący czas jest mierzony przez zegary atomowe
- ▶ Aby zapewnić jego zgodność czasu atomowego z czasem średnim słonecznym co pewien czas wprowadzane są sekundy przestępne (gdy pojawia się możliwość, że czas atomowy będzie się różnił od UT o więcej niż 0.9 s.).
- ▶ Przy obecnej dokładności pomiarów czasu istotne są efekty relatywistyczne (zarówno szczególnej jak i ogólnej teorii względności).

# Słońce

- ▶ Masa:  $1.99 \times 10^{30}$  kg  $\approx 333000 M_Z$
- ▶ Promień: 696 tys km (109.1  $R_Z$ )
- ▶ Stała słoneczna 1380  $W/m^2$ , jasność  $3.85 \times 10^{26}$  W, temperatura efektywna 5770 K
- ▶ Skład chemiczny powierzchni: 73 % wodór 25 % hel, 2% pozostałe (tlen, węgiel, neon, żelazo, azot, siarka, magnez, krzem, ...)
- ▶ Wiek: 4.6 mld lat
- ▶ fotosfera - widoczna tarcza Słońca, powyżej znajduje się chromosfera i korona (niezwykle gorąca - ponad 1 mln stopni Kelwina, ale o bardzo małej gęstości).



- ▶ Aktywność słoneczna: plamy, chromosfera, korona, protuberancje, rozbłyski słoneczne, koronalne wyrzuty masy.
- ▶ Granulacja - w fotosferze obserwujemy powierzchnię warstwy konwektywnej.
- ▶ Rotacja różniczkowa na powierzchni (i we wnętrzu): 25 dni równik, 30 dni okolicy biegunów
- ▶ Powstawanie pola magnetycznego wiąże się z istnieniem otoczki konwektywnej i rotacją. Zmiany w aktywności zachodzą w przybliżeniu w okresie 11 lat (około 22 lata pełen cykl magnetyczny)



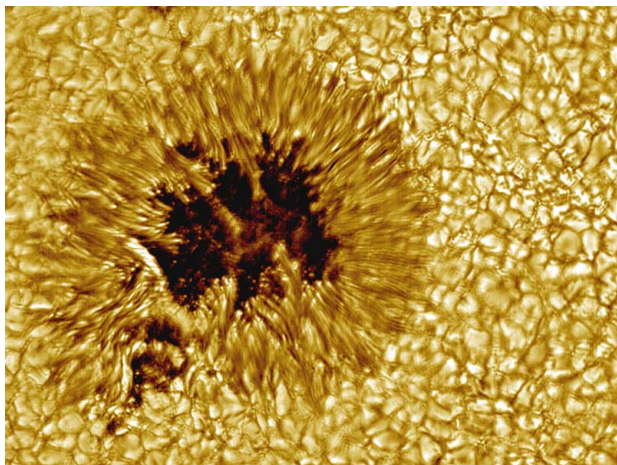
Rysunek: Słońce w maksimum aktywności



Rysunek: Słońce w minimum aktywności

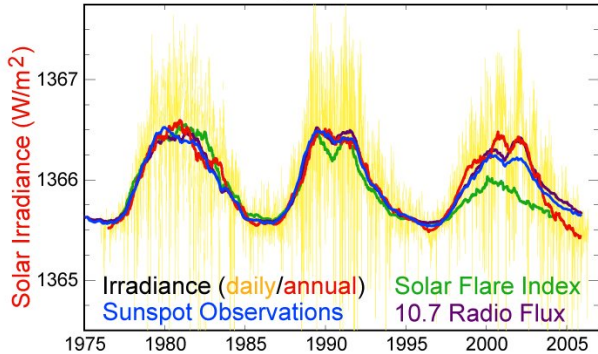


Rysunek: Wielka protuberancja



Rysunek: Obszar plamy i granulacja

## Solar Cycle Variations



Rysunek: Cykl aktywności Słońca

# Budowa i ewolucja Słońca

- ▶ Heliosejsmologia - konwekcja wzbudza oscylacje słoneczne, które są badane i pozwalają na uzyskanie informacji o wnętrzu Słońca.
- ▶ Budowa: jądro, obszar promienisty, obszar konwektywny,
- ▶ fotosfera, chromosfera, korona, wiatr słoneczny.
- ▶ neutrina słoneczne - rejestrowane w specjalnych detektorach - bezpośrenia informacja o przebiegu reakcji jądrowych na Słońcu.
- ▶ reakcje termojądrowe powodują stopniową zmianę budowy Słońca

- ▶ Obecne warunki we wnętrzu Słońca  
centrum ( $r=0$  km):  $T_C = 15.7$  mln K,  $\rho_c = 150 \text{ g/cm}^3$ , wodór 0.34, hel 0.64  
dno warstwy konwektywnej ( $r \approx 500000$  km, ok 200 tys km poniżej fotosfery):  $T = 2$  mln K,  $\rho = 0.2 \text{ g/cm}^3$ ., skład chemiczny podobny jak fotosfery
- ▶ temperatura i gęstość we wnętrzu Słońca będą powoli się zwiększać, co doprowadzi do większego tempa reakcji termojądrowych i zwiększenia jasności Słońca (w ciągu najbliższego 1 mld lat jasność Słońca zwiększy się o około 10% co spowoduje odparowanie oceanów na Ziemi).



## Główne etapy ewolucji Słońca

- ▶ protogwiazda (kilkadziesiąt milionów lat) - kurczenie grawitacyjne obłoku gazu, powstanie protosłońca i dysku pyłowo - gazowego, głównym źródłem energii jest kurczenie się gazu tworzącego Słońce
- ▶ ciąg główny (prawie 10 mld lat) - praktycznie jedynym źródłem energii są reakcje termojądrowe w wyniku których wodór zamieniany jest w hel - jasność Słońca powoli rośnie
- ▶ czerwony olbrzym (około 2 miliardy lat): spalanie wodoru w otoczce wokół helowego jądra, "zapalenie" helu, okres palenia helu w jądrze, okres palenia helu w otoczce wokół węglowo-tlenowego jądra (asymptotyczna gałąź olbrzymów)  
W tym okresie zostaną pochłonięte kolejno Merkury, Wenus i najprawdopodobniej Ziemia
- ▶ odrzucenie otoczki (kilkadziesiąt tysięcy lat) - utworzenie mgławicy planetarnej?
- ▶ biały karzeł - stabilna konfiguracja utrzymywana w wyniku równowagi siły grawitacji i gradientu ciśnienia zdegenerowanych elektronów - powolne stygnięcie

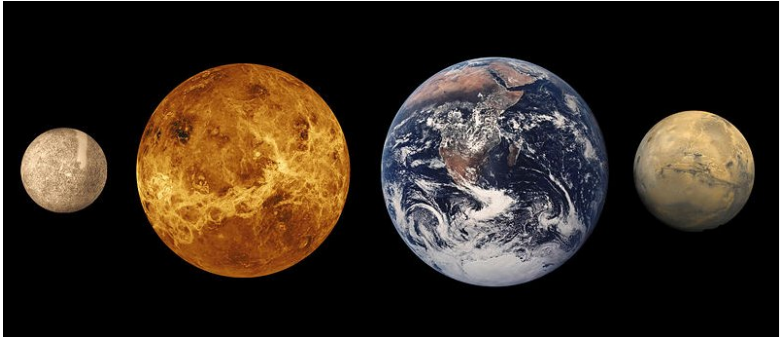
# Główne etapy ewolucji Słońca

Phase	Age/Gy	$L/L_{\odot}$	$T_{\text{eff}}/K$	$R/R_{\odot}$	$M_{\text{Sun}}/M_{\odot}$
ZAMS	0.00	0.70	5596	0.89	1.000
present	4.58	1.00	5774	1.00	1.000
MS:hottest	7.13	1.26	5820	1.11	1.000
MS:final	10.00	1.84	5751	1.37	1.000
RGB:tip	12.17	2730.	2602	256.	0.668
ZA-He	12.17	53.7	4667	11.2	0.668
AGB:tip	12.30	2090.	3200	149.	0.546
AGB:tip-TP	12.30	4170.	3467	179.	0.544

(note: 1.00 AU = 215  $R_{\odot}$ )

**Rysunek:** Parametry Słońca na różnych etapach ewolucji z pracy Schröder i Smith 2008

# Planety podobne do Ziemi

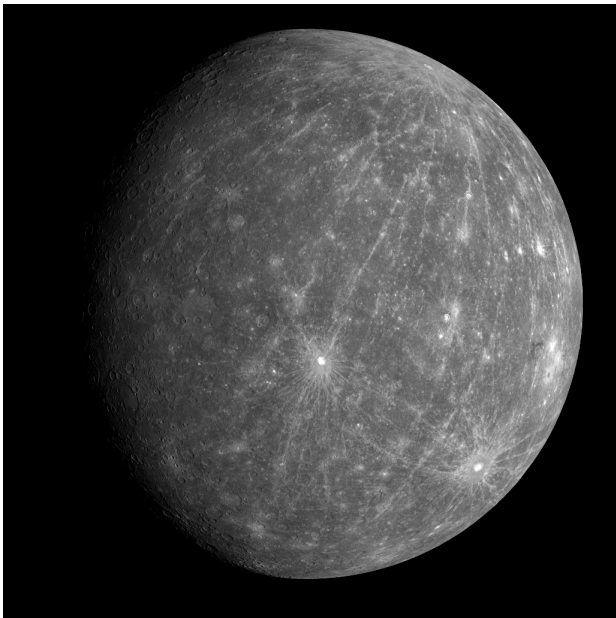


Rysunek: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars.

# Merkury

- ▶ Okres obiegu: 0.241 lat gw. (88 dni)
- ▶ Elementy orbity:
  - $a = 0.387$  j.a. (57.9 mln km),
  - $e = 0.2056$ ,
  - $i = 7^{\circ}00'$
- ▶ Masa :  $0.0553 M_Z$
- ▶ Promień: 2440 km ( $0.383 R_Z$ )
- ▶ Okres rotacji 58.6 dni (2/3 okresu orbitalnego);
- ▶ nachylenie osi obrotu -  $0^{\circ}$
- ▶ albedo: 0.12
- ▶ Budowa: żelazne jądro ( $r \approx 1800$  km), krzemianowa otoczka
- ▶ Powierzchnia: krateru uderzeniowe, rowy, skarpy będące efektem deformacji skorupy

- ▶ Temperatura powierzchni: 100K - 770K
- ▶ Atmosfera: śladowa ( $P \sim 2 \times 10^{-9}$  hPa, głównie He)
- ▶ Pole magnetyczne: słabe (0.005 Oe)
- ▶ Ruch peryhelium - obserwacyjne potwierdzenie OTW
- ▶ Misje międzyplanetarne: Mariner 10 - mapy 45% powierzchni (1974/75)  
MESSENGER: start 4.04.2004, wejście na orbitę Merkurego 18.03.2011. (po drodze: 1 spotkanie z Ziemia, 2 z Wenus i 3 z Merkurym)



Rysunek: Merkury sfotografowany z sondy MESSENGER



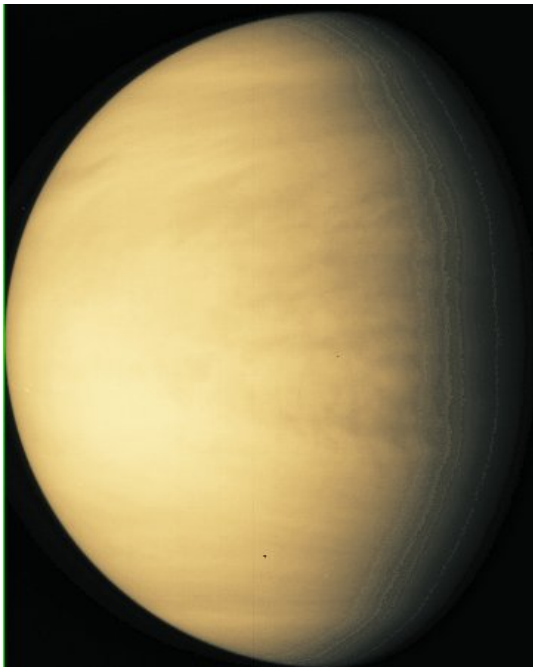
Rysunek: Merkury sfotografowany z sondy MESSENGER

# Wenus

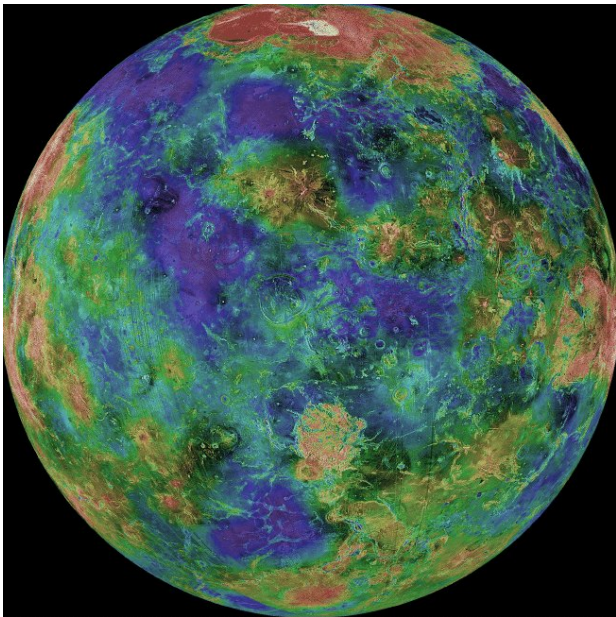
- ▶ Okres orbitalny: 0.615 lat gw. (225 dni)
- ▶ Elementy orbity  $a = 0.723$  A.U. (108.2 mln km)  $e = 0.0068$  i  $= 3^{\circ}24'$
- ▶ Masa :  $0.815 M_Z$
- ▶ Promień: 6052 km ( $0.95 R_Z$ )
- ▶ Okres rotacji: 243 dni; nachylenie osi obrotu:  $177^{\circ}.36$
- ▶ albedo: 0.90
- ▶ Atmosfera: gęsta ( $P \sim 100$  atm,  $CO_2$  - 99% ,  $H_0$  1%,)
- ▶ Temperatura powierzchni: ok. 740 K (efekt cieplarniany)
- ▶ Brak pola magnetycznego
- ▶ Budowa wewnętrzna: żelazne jądro, skalny płaszcz, skorupa, brak płyt tektonicznych.



- ▶ Na powierzchni Wenus możemy wyróżnić “kontynenty” wyniesione powyżej poziomu równin.
- ▶ Liczne struktury wulkaniczne (wulkany tarczowe, deformacje skorupy) powierzchnia młoda (0.5-1 mld lat)
- ▶ Mało kraterów uderzeniowych (gęsta atmosfera, młoda powierzchnia na skutek działalności wulkanicznej).
- ▶ 22 misje kosmiczne (przeloty, sztuczne satelity, próbniki atmosferyczne, lądowniki)



Bunuelo: Chmura Wenus



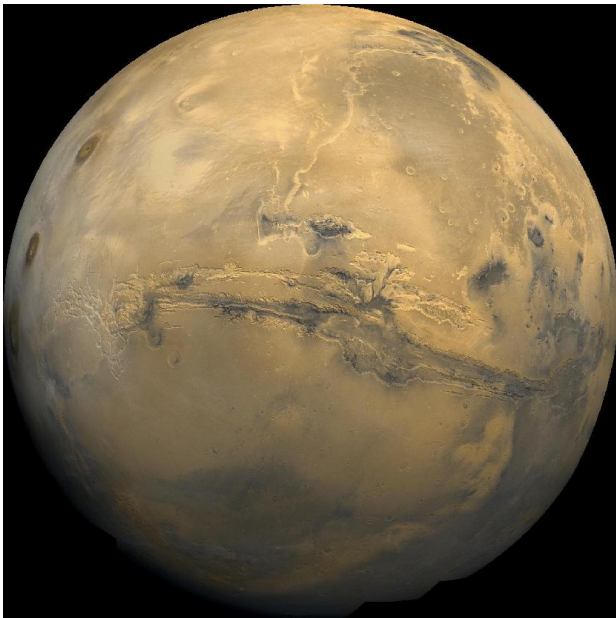
Rysunek: Radarowy obraz powierzchni Wenus

Mars



- ▶ Okres obiegu: 1.881 lat gw.
- ▶ Elementy orbity:
  - $a = 1.524 \text{ A.U. (227.9mln km)}$ ,
  - $e = 0.0934$ ,
  - $i = 1^{\circ}51'$
- ▶ Masa :  $0.10744 M_Z$
- ▶ Promień równ.: 3397 km ( $0.5326 R_Z$ ), spłaszczenie:  $1/154.41$
- ▶ Okres rotacji:  $24^h37^m23^s$ ;
- ▶ nachylenie osi obrotu -  $25.19^{\circ}$
- ▶ albedo: 0.16
- ▶ Budowa:
  - jądro - 1700 km
  - płaszcz - ok. 1600 km
  - skorupa - 35-80 km

- ▶ Atmosfera: rzadka ( $P \sim 1-9$  hPa, głównie  $CO_2$  95.3%,  $N_2$  2.7%,  $Ar$  1.6%  $CO$ ,  $O_2$  ok. 0.1%,  $H_2O$  0.03%,)
- ▶ Temperatura powierzchni: ok. 200-260 K
- ▶ Pole magnetyczne: bardzo słabe
- ▶ Kratery uderzeniowe: Basen Hellas, północna półkula Marsa
- ▶ Ogromne wulkany tarczowe (Olympus Mons, wulkany rejonu Tharsis) i rowy tektoniczne (Doliny Marinerów)



Rysunek: Zdjęcie Marsa z sondy kosmicznej Viking 1

## Księżyce:

nazwa	promień orbity (km)	rozmiary (km)	masa (kg)	odkrywca
Fobos	9377	27x22x19	1.08e16	Hall
Deimos	23469	10x12x16	1.80e15	Hall

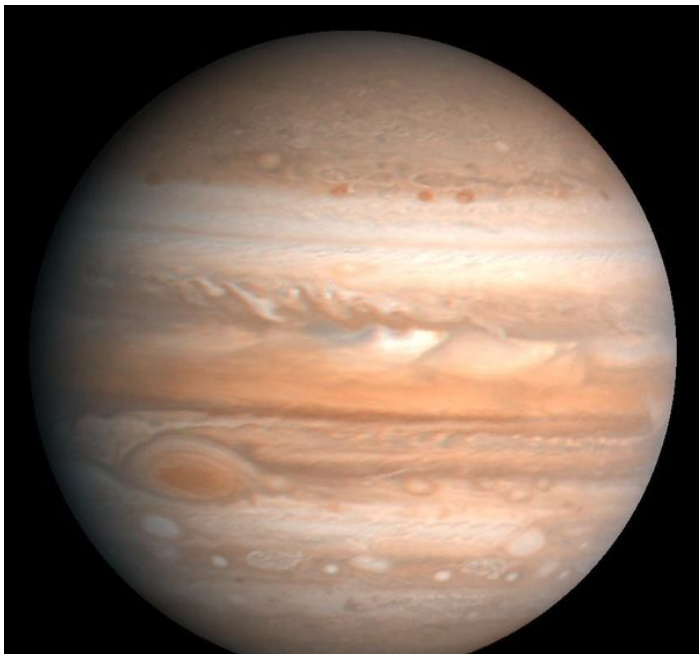
- ▶ Księżyce Marsa są niewielkie o nieregularnych kształtach, przypominają planetoidy.
- ▶ Pochodzenie księżyców Marsa nie zostało dotąd wyjaśnione.
- ▶ Okres orbitalny Fobosa jest mniejszy niż okres rotacji Marsa, w wyniku czego na skutek efektów przyptywowych księżyc zbliża się powoli do powierzchni planety i za kilkadziesiąt milionów lat ulegnie zniszczeniu.





Rysunek: Fobos

Jowisz



- ▶ Okres obiegu: 11.872 lat gw.
- ▶ Elementy orbity:  $a = 5.204 \text{ A.U.}$  (778mln km),  $e = 0.0485$ ,  $i = 1^\circ 18'$
- ▶ Masa :  $317.8334 M_Z$  Promień równ.: 71492 km ( $11.21 R_Z$ ), spłaszczenie:  $1/15.4144$
- ▶ Okres rotacji:  $9^h 55.5^m$ , nachylenie osi obrotu -  $3.13^\circ$
- ▶ albedo: 0.
- ▶ Budowa wewnętrzna: skalne jądro 12-40 mas Ziemi, otoczone przez metaliczny a powyżej  $0.8 R_J$  cząsteczkowy wodór i hel
- ▶ Atmosfera:  $H_2$  89%, hel 11%, metan 0.2%, amoniak  
Temperatura powierzchni: ok. 170 K (1000hPa)
- ▶ Jowisz emituje około dwa razy więcej promieniowania niż dociera do niego ze Słońca (powoli kurczy się i stygnie)
- ▶ Pole magnetyczne: silne (4 - 14 Oe), bardzo duży obszar magnetosfery

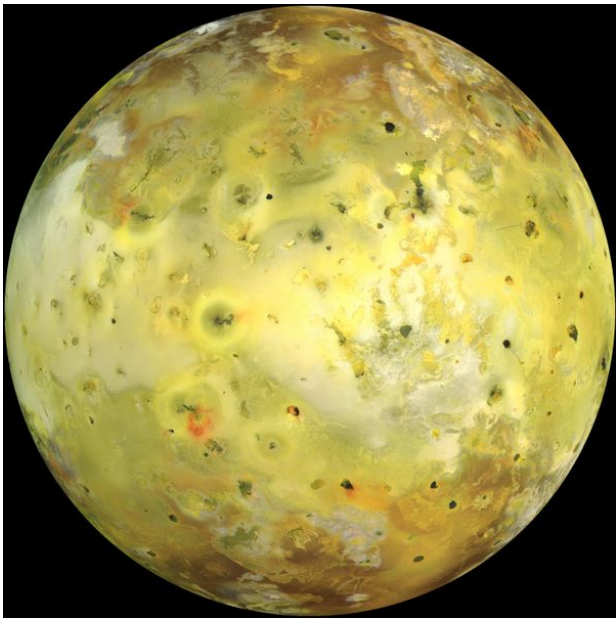
# Księżyce Jowisza

- ▶ Małe księżyce wewnętrzne: Metis,Adrastea, Amalthea, Thebe
- ▶ Księżyce Galileuszowe: Io, Europa, Ganimedes, Kallisto

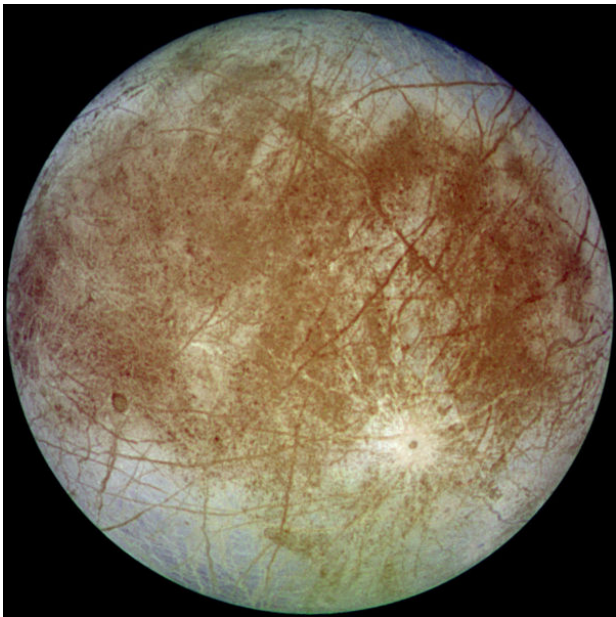
nazwa	pr. orb. (tys km)	promień (km)	masa (kg)
Io	422	1815	$8.94 \cdot 10^{22}$
Europa	671	1569	$4.8 \cdot 10^{22}$
Ganimedes	1070	2631	$1.48 \cdot 10^{23}$
Kallisto	1883	2400	$1.08 \cdot 10^{23}$

- ▶ Małe księżyce zewnętrzne: Leda, Himalia, Lysithea, Elara, Ananke, Carme, Pasiphae, Sinope + nowo odkryte = 63 znane
- ▶ Obserwacje Io: pierwszy pomiar prędkości światła.
- ▶ Jowisz posiada również pierścienie

- ▶ Io - jest globem złożonym głównie ze skał. Współmierność okresu orbitalnego z Europą i Ganimesem (bliższa 1:2 i 1:4) wymusza eliptyczność orbity tłumioną przez oddziaływanie przyptywowe Jowisza, co powoduje silne grzanie wnętrza księżycy i jego silną aktywność wulkaniczną. Powierzchnia Io jest pokryta materiałem wyrzuconym z wulkanów.
- ▶ Europa - powierzchnia tego księżycy pokryta jest lodową skorupą pod którą najprawdopodobniej znajduje się płynny ocean otaczający skalne wnętrze. Podobnie jak w przypadku Io powierzchnia Europy jest bardzo młoda.
- ▶ Ganimeses jest największym księżycem w Układzie Słonecznym. Choć jego powierzchnia jest stara, stwierdzono obecność pola magnetycznego, co niektórzy uważają za świadectwo istnienia podpowierzchniowego oceanu (ale musi być położony głębiej niż w przypadku Europy).
- ▶ Kallisto jest drugim co do wielkości księżycem Jowisza. Jego powierzchnia jest bardzo stara i nie udało się zarejestrować śladów aktywności wewnętrznej.



Rysunek: Io



Rysunek: Europa



Rysunek: Ganimedes

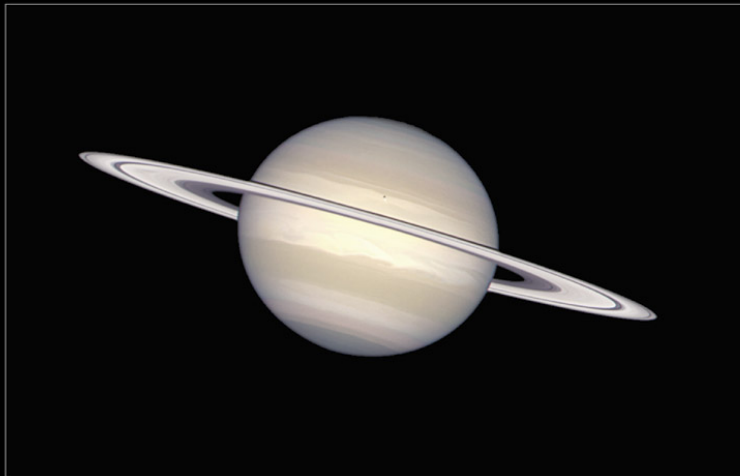




Rysunek: Kallisto

# Saturn

Saturn



Hubble  
Heritage

- ▶ Okres obiegu: 29.675 lat gw.
- ▶ Elementy orbity:  $a = 9.585 \text{ A.U.}$  (1427mln km),  $e = 0.0556$ ,  $i = 2^\circ 29'$
- ▶ Masa :  $95.1592 M_Z$
- ▶ Promień równ.: 60268 km ( $9.4492 R_Z$ ), spłaszczenie: 1/10.208
- ▶ Okres rotacji:  $10^h 39.4^m$ , nachylenie osi obrotu -  $25.07^\circ$
- ▶ albedo: 0.47
- ▶ Atmosfera:  $H_2$  96%, hel 3.4% , metan 0.4%, amoniak 0.1-0.6 %
- ▶ Budowa wewnętrzna: skalne jądro o masie 10-20 mas Ziemi, otoczone przez metaliczny a wyżej płynny wodór i hel.
- ▶ Saturn podobnie jak Jowisz emituje około dwa razy więcej promieniowania niż dociera do niego ze Słońca.
- ▶ Temperatura powierzchni: ok. 90 K
- ▶ Pole magnetyczne: silne, (0.3 Oe)
- ▶ Przeloty sond kosmicznych: Pioneer 11 (1973), Voyager 1 (1980) Voyager 2 (1981),
- ▶ Saturn, jego księżyce i pierścienie od 2004 roku badane są przez sondę Cassini (próbnik Huygens wylądował na Tytanie)

# Księżyce Saturna

Księżyce:

Pan, Atlas, Prometheus, Pandora, Epimethus, Janus, Mimas, Enceladus, Tethys, Telesto, Kalypso, Dione, Helena, Rhea, Tytan, Hiperion, Iapetus, Phoebe, ... + nowo odkryte = 62

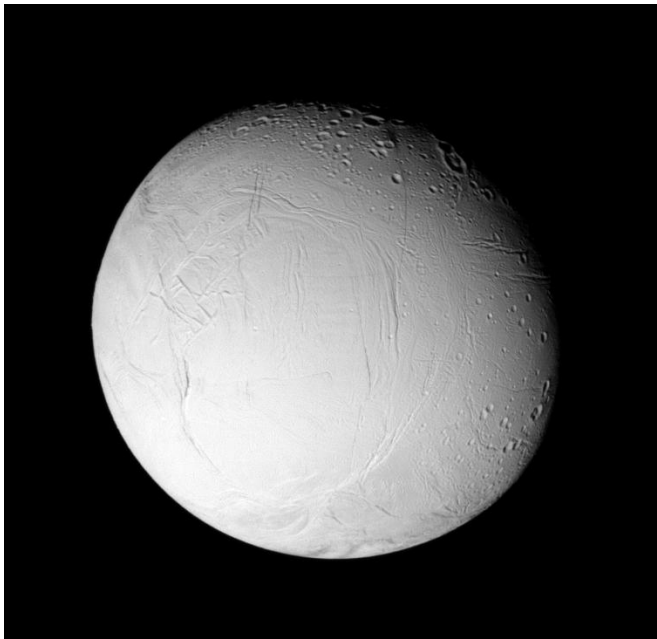
Najważniejsze księżyce

nazwa	pr. orb. (tys km)	promień (km)	masa (kg)
Mimas	185.5	197	$3.8 \cdot 10^{19}$
Enceladus	238.02	251	$8.4 \cdot 10^{19}$
Tetyda	294.7	524	$7.6 \cdot 10^{20}$
Dione	377.4	559	$1.05 \cdot 10^{21}$
Rhea	527	764	$2.5 \cdot 10^{21}$
Tytan	1222	2575	$1.35 \cdot 10^{23}$
Iapetus	3561	718	$1.88 \cdot 10^{21}$

- ▶ Tytan jest drugim co do wielkości księżycem Układu Słonecznego i jedynym księżycem posiadającym gęstą atmosferę, która składa się głównie z azotu. Ciśnienie na powierzchni wynosi ok. 147 kPa. Na powierzchni znajdują się najprawdopodobniej jeziora ciekłego metanu. Obieg metanu na Tytanie może przypominać obieg wody na Ziemi.
- ▶ Enceladus mimo swoich małych rozmiarów jest księżycem niezwykle aktywnym. Blisko południowego bieguna znajduje się system rowów, z których w przestrzeń wyrzucana jest materia z wnętrza księżyca (gejzery, kriowulkanizm). Jest wiele dowodów na to, że pod powierzchnią księżyca znajduje się woda w stanie płynnym.



Rysunek: Tytan i Dione sfotografowane przez sondę Cassini



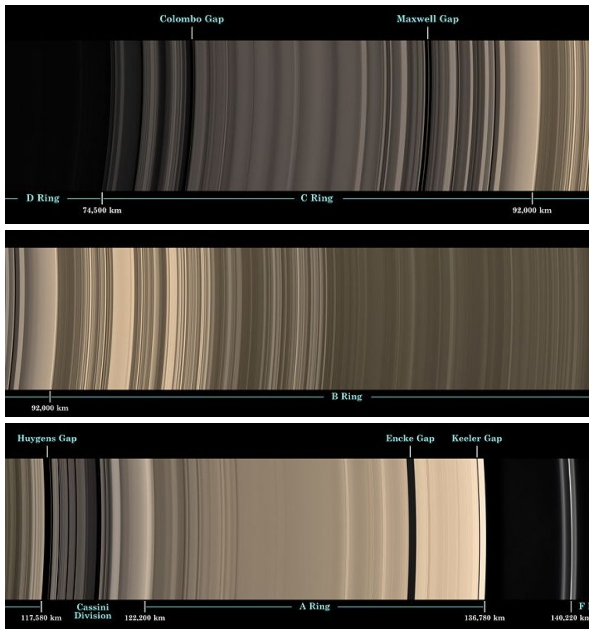
Rysunek: Enceladus

## Pierścienie Saturna

Chociaż Jowisz, Uran i Neptun również posiadają pierścienie, to pierścienie Saturna są najjaśniejsze i najbardziej efektowne. Główny pas pierścieni rozciąga się od ok. 8 tys. do ok. 80 tys. km powyżej równika Saturna. Obszar pierścieni podzielony jest przerwami związanymi z rezonansami orbitalnymi księżyców i poszczególne części mają oznaczenia literowe A,B,C, .. Wyróżniane są również pierścienie związane z materią wyrzucaną z poszczególnych księżyców (na skutek ich aktywności bądź uderzeń meteoroidów). Jasne pierścienie złożone są głównie z bryłek lodu wodnego, a ich całkowita masa wynosi  $3 \cdot 10^{19} \text{ kg}$ . Najprawdopodobniej powstały w wyniku rozpadu księżycyca o rozmiarach podobnych do Enceladusa.



# Pierścienie Saturna



Uran



- ▶ Odkrycie: 1781 - Wiliam Herschel
- ▶ Okres orbitalny: 84 lat gw.
- ▶ Elementy orbity:  $a = 19.170$  A.U. (2868mln km),  $e = 0.0472$ ,  $i = 0^{\circ}46'$
- ▶ Masa :  $14.50 M_Z$
- ▶ Promień równ.: 26000 km ( $4.01 R_Z$ ), spłaszczenie:  $1/43.616$
- ▶ Okres rotacji:  $17^h14.4^m$ , nachylenie osi obrotu:  $97.86^{\circ}$
- ▶ albedo: 0.30 (Bond), 0.51 (geometryczne w zakresie widzialnym)
- ▶ Budowa wewnętrzna: skalne jądro, płaszcz złożony z wody i amoniaku, gazowa otoczka złożona głównie z wodoru, helu i metanu.
- ▶ Atmosfera: wodór, hel, metan, amoniak
- ▶ Brak znaczącej emisji promieniowania z wnętrza planety
- ▶ Pole magnetyczne o natężeniu przy powierzchni 0.1-1.1 Oe (bardzo niesymetryczne względem środka planety)
- ▶ Uran posiada pierścienie złożone głównie z fragmentów skalnych o rozmiarach 0.2-20 m.

# Księżycy Urana

Księżycy:

Cordelia, Ophelia, Bianca, Cressida, Desdemona, Juliet, Portia, Rosalind, Belinda, 1986 U10, Puck, Miranda, Ariel, Umbriel, Tytania, Oberon, Caliban, Sycorax, Prospero, Setebos, Stephano, .. (27 znanych).

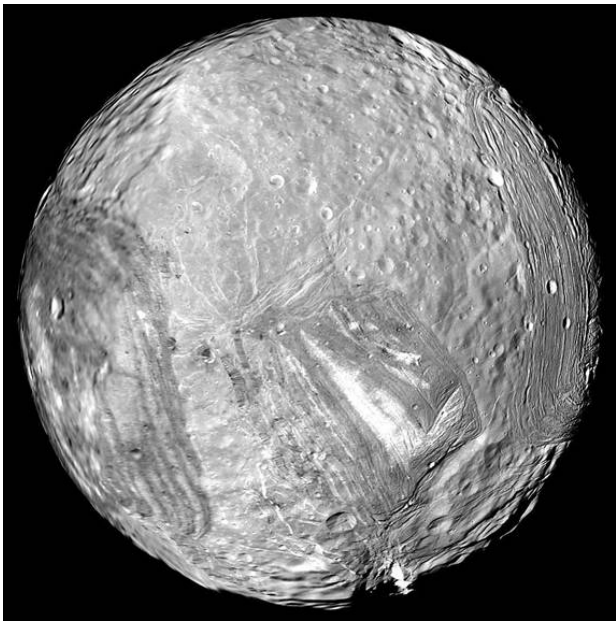
Najważniejsze księżycy

nazwa	pr. orb. (tys km)	promień (km)	masa (kg)
Miranda	130	236	$6.3 \cdot 10^{19}$
Ariel	191	579	$1.3 \cdot 10^{21}$
Umriel	266	585	$1.2 \cdot 10^{21}$
Tytania	436	789	$3.5 \cdot 10^{21}$
Oberon	582	761	$3.0 \cdot 10^{21}$

Przelot sondy Voyager 2 - 1986

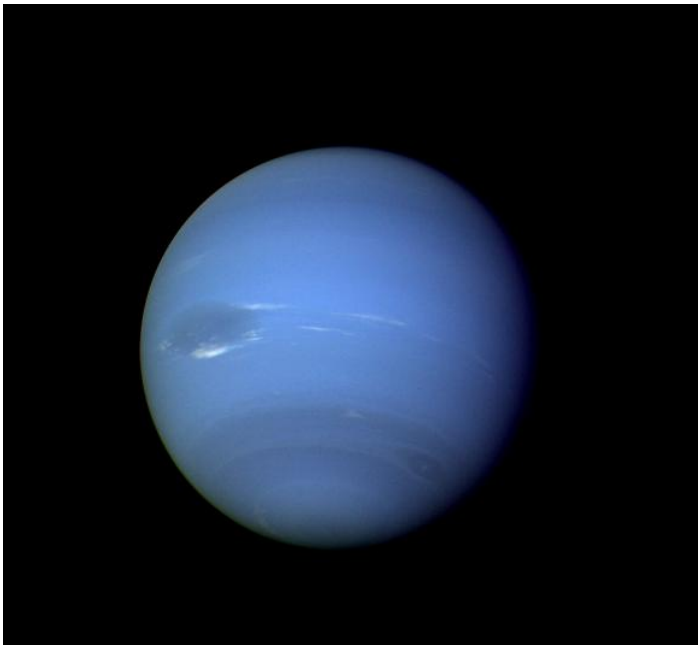


Rysunek: Główne satelity Urana



Rysunek: Miranda sfotografowana przez sondę Voyager 2

# Neptun



- ▶ Odkrycie: 1846 - Johann G. Galle (obliczenia Le Verriera)
- ▶ Okres obiegu: 164 lat gw.
- ▶ Elementy orbity:  $a = 30$  A.U. (4488mln km),  $e = 0.011$ ,  $i = 1^{\circ}46'$
- ▶ Masa :  $17.204 M_Z$
- ▶ Promień równ.: 24764 km ( $3.883 R_Z$ ), spłaszczenie:  $1/58.544$
- ▶ Okres rotacji:  $17^h14.4^m$ , nachylenie osi obrotu:  $28.31^{\circ}$
- ▶ albedo: 0.29 (Bond) 0.41 (geometryczne w zakresie widzialnym)
- ▶ Budowa wewnętrzna: skalne jądro, płaszcz złożony z wody i amoniaku, gazowa otoczka złożona głównie z wodoru, helu i metanu.
- ▶ Atmosfera: wodór, hel, niewielka ilość metanu; bardzo silne wiatry
- ▶ Temperatura powierzchni chmur: ok. 60 K
- ▶ Przelot sondy kosmicznej Voyager 2 - 1989
- ▶ Księżyce, pierścienie



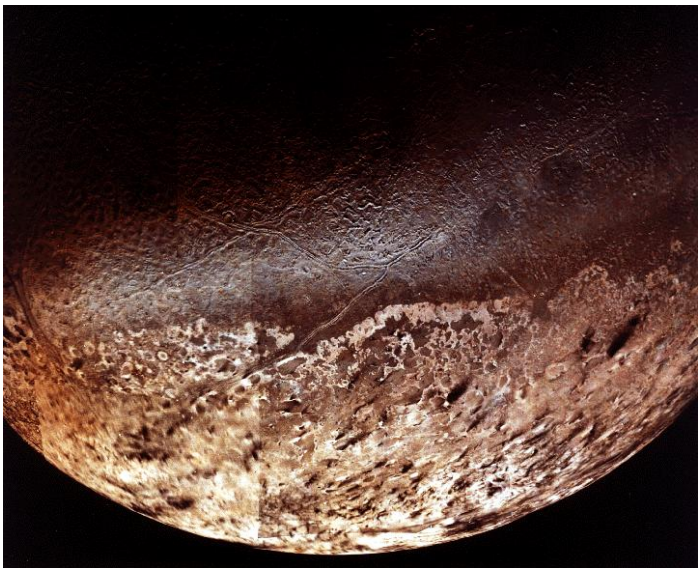
## Księżyce Neptuna

Obecnie znamy 13 księżyców Neptuna, 8 znajdujących się najbliżej planety podanych jest w tabeli, pozostałe znajdują się w odległości większej niż 15 mln. km od Neptuna i mają średnice 40-60 km.

Księżyce:

nazwa	pr. orb. (tys km)	promień (km)	masa (kg)	odkrycie
Naiad	48	29	?	Voyager 2
Thalassa	50	40	?	Voyager 2
Despina	53	74	?	Voyager 2
Galatea	62	79	?	Voyager 2
Larissa	74	96	?	Voyager 2
Proteus	118	209	?	Voyager 2
Tryton	355	1350	2.14e22	Lassell
Nereid	5509	170	?	Kuiper

Największym księżycem jest Tryton. Jego rozmiary i własności podobne są do Plutona. Znajduje się na orbicie wstecznej o nachyleniu  $157^\circ$  do równika Neptuna. Najprawdopodobniej jest przechwyconym obiektem Pasa Kuipera. Jest obiektem aktywnym, ma młodą powierzchnię i Wykazuje aktywność kriowulkaniczną. Ze powodu przyptywowego oddziaływania z Neptunem za kilka miliardów lat ulegnie zniszczeniu.



Rysunek: Powierzchnia Trytona sfotografowana przez sondę Voyager 2.

## Pas Kuipera

- ▶ Obszar poza orbitą Neptuna w którym występują skalno - lodowe obiekty powstałe w okresie formowania się Układu Słonecznego nazywamy Pasem Kuipera.
- ▶ Pierwszym odkrytym obiektem Pasa Kuipera był Pluton.
- ▶ W roku 1992 odkryto QB 1992 (następny po Plutonie obiekt P.K.)
- ▶ W roku 2003 odkryto obiekt o rozmiarach porównywalnych z Plutonom (Eris), co stało się przyczyną rewizji statusu Plutona i utworzenia klasy obiektów nazywanych planetami karłowatymi.
- ▶ Większość znanych obiektów P.K. znajduje się w odległości mniejszej niż 55 j.a. od Słońca.

- ▶ klasyczny P.K., obiekty rezonansowe 3:2 (plutina), rozproszony dysk (obiekty o dużym mimośrodku)
- ▶ Przewiduje się że w P.K. znajduje się ok. 70000 obiektów o średnicy większej niż 100 km., a jego całkowita masa wynosi ok. 1/20 masy Ziemi.
- ▶ Sedna - peryhelium w odległości 75 j.a. i okres orbitalny 11.5 tysięcy lat.

# Pluton

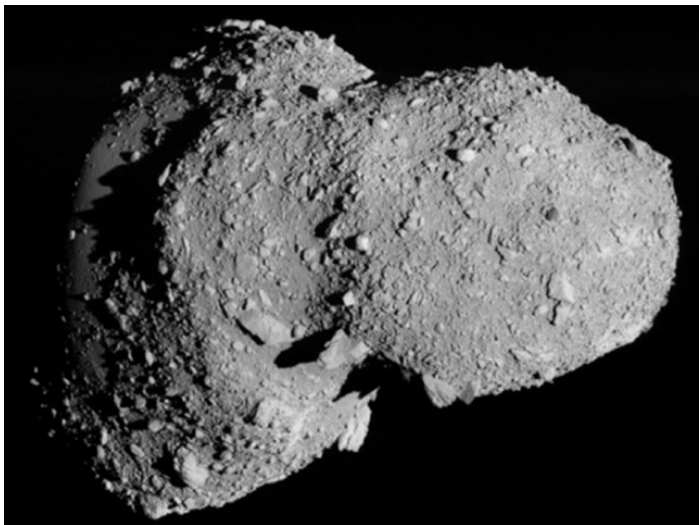
- ▶ Odkrycie: 1930 - Clyde W. Tombaugh
- ▶ Okres orbitalny: 246 lat, a więc  $3/2$  okresu orbitalnego Neptuna.
- ▶ obiekty Pasa Kuipera o tej własności nazywa się plutinami
- ▶ Elementy orbity:  $a = 39.25$  A.U. (5872mln km),  $e = 0.245$ ,  $i = 17^{\circ}08'$
- ▶ Masa :  $0.0022 M_Z$
- ▶ Promień równikowy: 1137 km ( $0.18 R_Z$ ); spłaszczenie
- ▶ Okres rotacji:  $6^d9^h.3$
- ▶ Nachylenie osi obrotu:  $122.51^{\circ}$
- ▶ Okres rotacji:  $6^d9^h.3$
- ▶ Budowa wewnętrzna: skalne jądro, lodowy płaszcz, skorupa zamrożonego azotu (okresowo sublimująca tworząca śladową atmosferę)

- ▶ Główny księżyc - Charon o promieniu 600 km, na orbicie o promieniu 20 tys km. O układzie Pluton - Charon czasem się mówi jako o układzie podwójnym. Masa Charona jest około 9 razy mniejsza niż Plutona, co spowodowało, synchronizację okresu obrotu z okresem orbitalnym zarówno u Charona jak i u Plutona.
- ▶ Oprócz Charona znane są 3 niewielkie księżycy (Nix, Hydra, S/2011P1)
- ▶ Sonda Pluto - Express ma przelecieć w pobliżu Plutona w 2015 r.

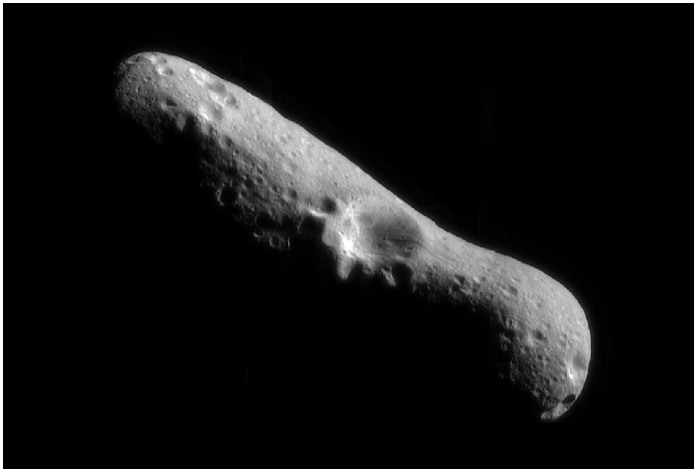
# Planetoidy

- ▶ W obszarze pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza znanych jest obecnie ok. 500 tys. obiektów.
- ▶ Przewiduje się że liczba obiektów o średnicy większej niż 1 km wynosi ok. 1 mln, a ich całkowita masa wynosi ok. 1/2000 masy Ziemi.
- ▶ Największe planetoidy: Ceres (1)- około 1000 km średnicy Pallas (2), Westa (4) - około 500 km średnicy, Hygeia (10) - około 400 km średnicy
- ▶ Planetoidy fotografowane przez sondy kosmiczne: Gaspra (951), Ida (243), Matylda (253), Eros (433)
- ▶ Badane radarowo z powierzchni Ziemi: np. Toutatis,
- ▶ Znane planetoidy podwójne lub z satelitami, np. Toutatis, Ida,
- ▶ Mniejsze planetoidy mają najczęściej kształty nieregularne. Mogą być bryłami żelaznymi, skalnymi, lub może je tworzyć rumosze skalny.
- ▶ Ostatnio w GPP zarejestrowano kilka obiektów kometarnych, a więc zapewne zawierających znaczną ilość lodu

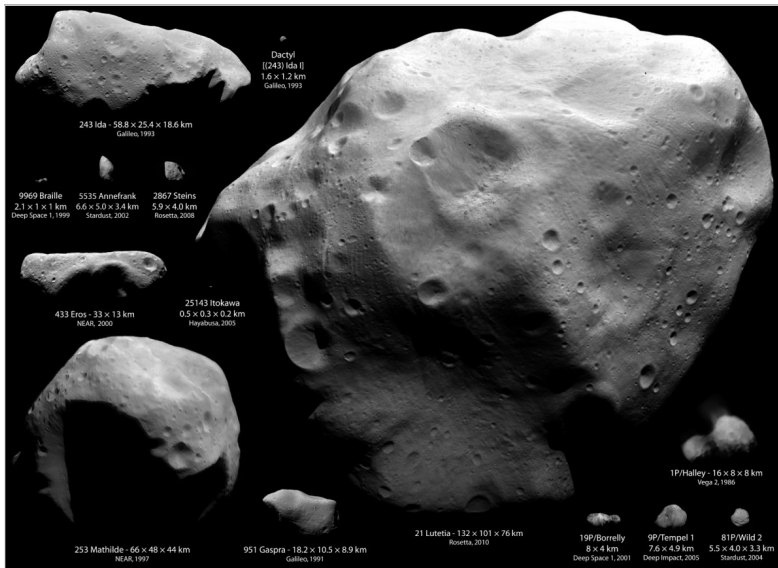




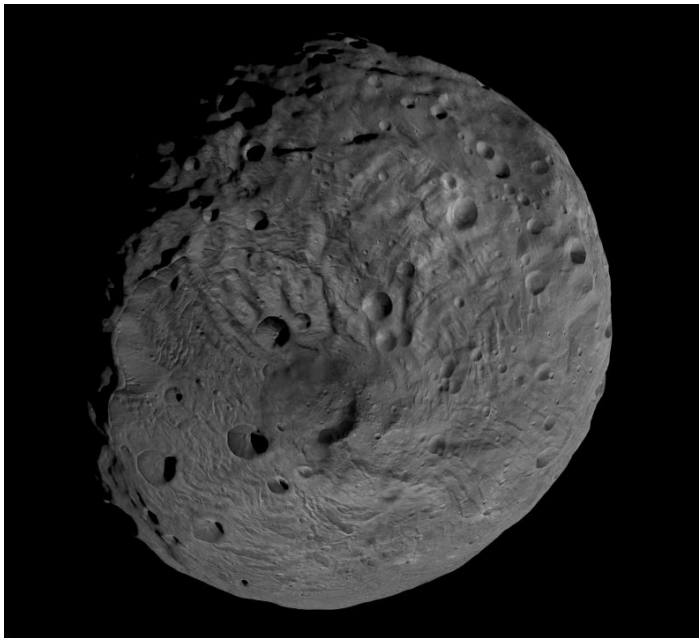
Rysunek: Planetoida Itokawa sfotografowana z sondy Hayabusa



Rysunek: Planetoida Eros sfotografowana z sondy NEAR



Rysunek: Planetoidy i komety badane przez sondy kosmiczne



Rysunek: Planetoida Westa sfotografowana z sondy DAWN

# Komety



Rysunek: Kometa Halleya

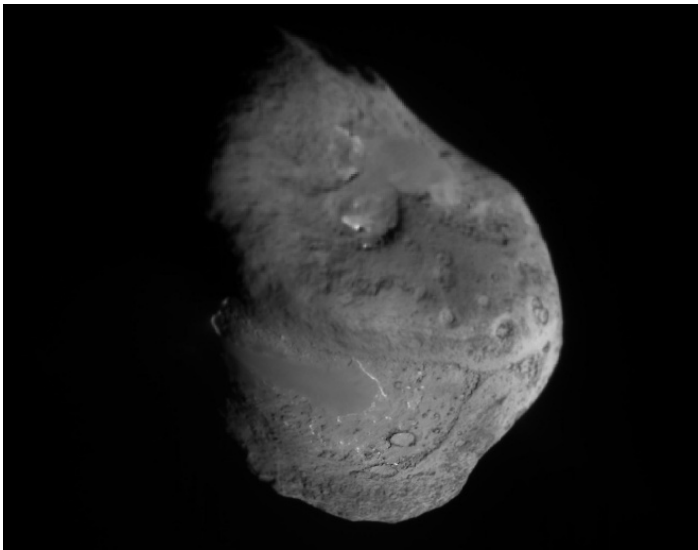
- ▶ Komety znane były od starożytności, ich pojawienia się budziły duże zainteresowanie i były odnotowywane w kronikach
- ▶ Komety są to bryły skalno lodowe, które zbliżając się do Słońca są ogrzewane i wyrzucają w przestrzeń odparowywane gazy i pył. Skalno - lodowa bryła nazywana jest jądrem komety, gazową otoczkę czasem nazywa się głową komety, zaś unoszony przez promieniowanie Słońca i wiatr słoneczny gaz i pył nazywa się warkoczem komety.
- ▶ Pierwszą kometą, dla której znaleziono okres orbitalny i przewidziano jej powrót w sąsiedztwo Słońca była kometa Halleya.
- ▶ Znanych jest obecnie ponad 200 komet okresowych.

- ▶ Komety o bardzo długich okresach orbitalnych pochodzą najprawdopodobniej z tak zwanego obłoku Oorta, który rozciąga się do odległości 50000 jednostek astronomicznych od Słońca i liczy setki miliardów obiektów wyrzuconych na duże odległości w okresie formowania się układu planetarnego.
- ▶ Komety przechodzące w pobliżu Słońca. Największą do tej pory liczbę komet zobserwował do tej pory satelita SOHO obserwujący Słońce. Większość z nich stanowi fragmenty dużego obiektu, który rozpadł się przelatując w pobliżu Słońca (komety rodziny Kreutz'a - ok 1500 zaobserwowanych), ale są też rodziny mniej liczne (Marsena i Krachta) i obiekty niezwiązane z innymi znanymi.



Rysunek: Kometa Hale-Bopp





Rysunek: Jądro komety 9P Tempel z sondy Deep Impact

Pył, meteoroidy i meteory.



- ▶ Aktywność komet i zderzenia pomiędzy planetoidami powodują powstawanie pyłu i dużej ilości drobnych fragmentów skalnych
- ▶ Pył, który w większości znajduje się w pobliżu ekliptyki rozprasza promieniowanie Słońca i powoduje światło zodiakalne. (widoczne po zachodzie lub przed wschodem Słońca).
- ▶ Pył jest usuwany z Układu Słonecznego przez promieniowanie Słońca (im mniejszy obiekt tym większy wpływ ma na niego promieniowanie) i musi być uzupełniany.

- ▶ Drobne obiekty wyrzucone z komet poruszają się po orbitach, kiedy Ziemia wchodzi w ślad pyłowy komety obserwujemy meteory pochodzące z tego samego radiantu i mówimy o roju meteorów.
- ▶ Najaktywniejsze roje meteorów:
  - Kwadrantydy (maksimum 3/4 stycznia) - planetoida 2003  $EH_1$
  - Perseidy (maksimum 12/13 sierpnia) - kometa Swift-Tuttle
  - Geminidy (13/14 grudnia) - planetoida 3200 Phaeton
  - Leonidy (17/18 listopada) - kometa Tempel Tuttle
- ▶ Meteory sporadyczne - nie należą do żadnego znanego roju.

# Światło zodiakalne.



Rysunek: Światło zodiakalne