

## Astronomiczna miara czasu.

Zjawiska powtarzające się na niebie w sposób regularny dały podstawy mierzenia czasu. Okresy pomiędzy dwoma kolejnymi wschodami Słońca, pomiędzy dwoma kolejnymi pełniami Księżycy, pomiędzy dwoma kolejnymi przesileniami zimowymi Słońca dały miarę dni, miesięcy i lat.

- ▶ Obrót Ziemi dookoła osi trwa 23 h 56 m 04 s. Okres pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami Słońca trwa średnio 24 h. Dobowy cykl dnia i nocy. Ze względu na obecność atmosfery, która rozprasza światło Słońca mamy zjawisko świtów i zmierzchów.
- ▶ Okres orbitalny Księżycy względem Ziemi wynosi 27.3 d., ale ze względu na ruch orbitalny Ziemi względem Słońca miesiąc synodyczny (okres zmian faz Księżycy) trwa średnio 29.53 doby.
- ▶ Okres orbitalny Ziemi względem Słońca (rok gwiazdowy) wynosi 365.2563 doby, ale ze względu na precesję powodującą cofanie się punktu Barana po ekliptyce okres zmian pór roku (rok zwrotnikowy) wynosi 365.2422 doby.

**Kalendarz** od *Kalendae* łacińskiej nazwy pierwszego dnia miesiąca księżycowego w starożytnym Rzymie.

Obecnie nasz kalendarz oparty jest na cyklu zmian pór roku, którego średnia długość wynosi obecnie 365.2422 doby. W krajach Islamu obowiązuje kalendarz księżycowy.

### Kalendarz juliański

- ▶ Wprowadzony przez Juliusza Cezara w roku 709 AUC (*Ab Urbe Condita*) 45 p.n.e.
- ▶ Średnia długość roku kalendarzowego w okresie 4 lat wynosi 365.25 dni.
- ▶ Rok zwykły liczy 365 dni, co cztery lata mamy rok przestępny liczący 366 dni (52 tygodnie to 364 dni).
- ▶ Średnia długość roku kalendarzowego jest dłuższa od roku zwrotnikowego o 0.078 dnia, różnica pomiędzy kalendarzem a rokiem zwrotnikowym narasta do 1 dnia po 128 latach, a po 1540 latach do ponad 12 dni

## Kalendarz gregoriański

- ▶ Wprowadzony papieża Grzegorza XIII w 1582 r
- ▶ Opuszczono kilkanaście dni (po 4 października nastąpił 15)
- ▶ Średnia długość roku kalendarzowego w okresie 400 lat wynosi 365.2425 dni.
- ▶ Jeżeli liczba oznaczająca numer roku nie była podzielna przez 4, to rok ten jest rokiem zwykłym.
- ▶ Jeżeli liczba oznaczająca numer roku, nie ma pełnej liczby setek i jest podzielna przez 4, to rok jest przestępny.
- ▶ Jeżeli liczba oznaczająca numer roku ma pełną liczbę setek i liczba setek nie jest podzielna przez 4, to jest to rok zwykły.
- ▶ Jeżeli liczba oznaczająca numer roku ma pełną liczbę setek i liczba setek jest podzielna przez 4, to jest to rok przestępny.
- ▶ Średnia długość roku kalendarzowego jest dłuższa od roku zwrotnikowego o 0.0003 dnia, różnica pomiędzy kalendarzem a rokiem zwrotnikowym narasta do 1 dnia po około 3000 lat.

### Przykłady

Lata zwykłe: ..., 1900, .. , 2009, 2010, 2011, ..., 2100, 2101, ...

Lata przestępne: ..., 2000, 2004, 2008, 2012, .., 2400

## Rachuba ciągła dni

- ▶ Dni juliańskie (JD) wprowadzone zostały przez Josepha Scaligera w 1583 roku. Jest to liczba dni jakie upłynęły od godziny 12 czasu uniwersalnego 1 stycznia roku 4713 p. n. e. (11.09.2012, godz. 14:00 to JD=2456181.00)
- ▶ Zmodyfikowana data juliańska  $MJD = JD - 2400000.5$

## Czasy lokalne

### Czas gwiazdowy

- ▶ Czas gwiazdowy: kąt godzinny punktu Barana. W praktyce kąt godzinny obserwowanego obiektu + jego rektascensja
- ▶ Doba gwiazdowa - okres pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami punktu Barana

### Czas prawdziwy słoneczny.

- ▶ Czas słoneczny prawdziwy: kąt godzinny środka tarczy Słońca + 12 godzin
- ▶ Doba słoneczna prawdziwa: okres pomiędzy dwoma kolejnymi dolnymi kulminacjami środka tarczy Słońca.

Czas słoneczny prawdziwy nie płynie jednostajnie, rektascensja środka tarczy Słońca nie narasta równomiernie.

Przyczyna 1: Nachylenie ekliptyki do równika.

Przyczyna 2: Eliptyczność orbity Ziemi - prędkość kątowna ruchu Słońca po ekliptyce nie jest stała (jest największa, gdy Ziemia jest najbliżej Słońca i najmniejsza gdy jest od niego najdalej)

## Czas średni słoneczny

- ▶ Słońce średnie: punkt poruszający się po równiku ze stałą prędkością kątową równą średniej prędkości kątowej ruchu Słońca po ekliptyce.
- ▶ Czas słoneczny średni: kąt godzinny Słońca średniego + 12 godzin.
- ▶ doba średnia słoneczna - okres pomiędzy dwoma kolejnymi dolnymi kulminacjami słońca średniego.

## Czas uniwersalny (UT)

- ▶ Czas Uniwersalny (UT): czas średni słoneczny mierzony na południku Greenwich ( $\lambda = 0^{\text{h}}$ ).
- ▶ Równanie czasu: różnica czasu słonecznego prawdziwego i czasu średniego słonecznego

$$E = T_p - T_s$$

Długość geograficzna obserwatora: różnica czasu lokalnego obserwatora i czasu lokalnego Greenwich.

$$\lambda = T(\lambda) - T(\lambda = 0^{\circ})$$

## Czasy strefowe i urzędowe

- ▶ Czas lokalny zależy w sposób ciągły od długości geograficznej i na przykład różnica czasu lokalnego między Warszawą, a Poznaniem wynosi 17 minut.
- ▶ Względy administracyjne wymagają ujednoczenia czasu na pewnym obszarze. Początkowo miały to być wycinki sfery ograniczone południkami różniącymi się o 15 stopni długości geograficznej na których czas strefowy różniłby się od czasu uniwersalnego o całkowitą liczbę godzin.

- ▶ Granice polityczne jednak nie zawsze przebiegają po południkach Z tego powodu ustala się, obszary na których obowiązuje ten sam czas ustalony administracyjnie (możliwie bliski czasu strefowego) Najczęściej czasy urzędowe różnią się od czasu uniwersalnego UT o całkowitą liczbę godzin, nie jest to jednak prawdą dla Iranu (UT+3.5h), Afganistanu (UT+4.5h) Indii (UT+5.5h) i jeszcze kilku obszarów.
- ▶ W Polsce następują w ciągu roku zmiany czasu. W ostatnią niedzielę października zaczyna obowiązywać czas środkowoeuropejski (CSE = UT+1h), a w ostatnią niedzielę marca przechodzimy na czas wschodnioeuropejski (CWE = UT+2h).



Rysunek: Strefy czasowe na powierzchni Ziemi

# Elementy trygonometrii sferycznej

- Trzy łuki kół wielkich wyznaczają **trójkąt sferyczny**
- Boki i kąty trójkąta sferycznego wyrażamy w mierze kątowej
- Podstawowe wzory trygonometrii sferycznej:

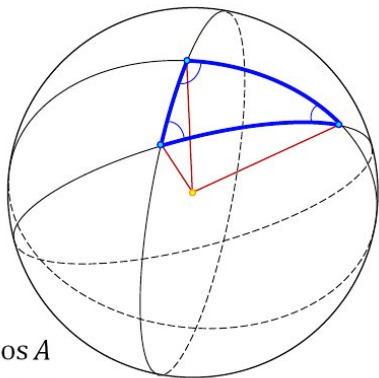
$$\sin a \sin B = \sin b \sin A$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

- + dwa analogiczne zestawy wzorów powstałe z przestawienia cyklicznego kątów i boków:

$$a, A \rightarrow b, B \rightarrow c, C$$



## Nadmiar sferyczny trójkąta sferycznego

- ▶ Pole powierzchni sfery wynosi  $4\pi$ .
- ▶ Z każdego wierzchołka trójkąta wycinamy sektory wyznaczone przez kąt wierzchołkowy
- ▶ Pole powierzchni sektorów wyciętych przy wierzchołku A wynosi  $4\pi \cdot A/\pi = 4A$  i analogicznie dla pozostałych wierzchołków
- ▶ Suma pól wyciętych przez sektory przy wierzchołkach ABC równa jest powierzchni sfery dodać cztery razy powierzchnia trójkąta sferycznego ABC

$$4(A + B + C) = 4\pi + 4P_{ABC}$$

$$P_{ABC} = A + B + C - \pi$$

- ▶ Przykład trójkąta sferycznego o wierzchołkach  $A = (-, 90^\circ)$ ,  $B = (0^\circ, 0^\circ)$ ,  $C = (90^\circ, 0^\circ)$ . Suma kątów wewnętrznych wynosi  $3/2\pi$ , jego powierzchnia jest równa  $1/8$  powierzchni sfery, czyli  $1/2\pi$

Zamiana współrzędnych horyzontalnych na równikowe godzinne

$$\cos(\delta)\sin(t) = \cos(h)\sin(az)$$

$$\cos(\delta)\cos(t) = \cos(\varphi)\sin(h) + \sin(\varphi)\cos(h)\cos(az)$$

$$\sin(\delta) = \sin(\varphi)\sin(h) - \cos(\varphi)\cos(h)\cos(az)$$

Zamiana współrzędnych równikowych godzinnych na horyzontalne

$$\cos(h)\sin(A) = \cos(\delta)\sin(t)$$

$$\cos(h)\cos(az) = -\cos(\varphi)\sin(\delta) + \sin(\varphi)\cos(\delta)\cos(t)$$

$$\sin(h) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(t)$$

## Długość dnia i azymut wschodu i zachodu Słońca

Ogólne wzory na kosinusy kąta godzinnego i azymutu mają postać:

$$\cos(t) = \frac{\sin(h) - \sin(\delta) * \sin(\varphi)}{\cos(\delta)\cos(\varphi)}$$

$$\cos(a) = \frac{\sin(h)\sin(\varphi) - \sin(\delta)}{\cos(h)\cos(\varphi)}$$

jeżeli pominiemy refrakcję, kulistość Ziemi i będzie nas interesowało kiedy środek tarczy Słońca przechodzi przez horyzont, to wtedy możemy przyjąć, że  $h = 0^\circ$  i wzory się upraszczają. Kosinusy kąta godzinnego i azymutu zachodu wynoszą wtedy:

$$\cos(t) = -\operatorname{tg}(\varphi)\operatorname{tg}(\delta)$$

$$\cos(a) = -\sin(\delta)/\cos(\varphi)$$

zmierch cywilny kończy się gdy środek tarczy Słońca ma  $h = -6^\circ$

zmierch morski kończy się gdy środek tarczy Słońca ma  $h = -12^\circ$

zmierch astronomiczny kończy się gdy środek tarczy Słońca ma  $h = -18^\circ$

Czas trwania zmierzchu obliczamy korzystając ze wzoru:

$$\cos(t) = \frac{\sin(h) - \sin(\delta)\sin(\varphi)}{\cos(\delta)\cos(\varphi)}$$

Przykład trwania długości zmierzchu dla Warszawy ( $\varphi = 52^\circ$ ) gdy  $\delta_\odot = -20^\circ$ .

$$t(h = -51') = 4h15m$$

$$t(h = -6^\circ) = 4h53m$$

$$t(h = -12^\circ) = 5h35m$$

$$t(h = -18^\circ) = 6h15m$$

Zmierchy i świty najkrótsze są na równiku w okresie równonocy: 21 min, 48 min, 72 min.

Widoczność po zachodzie lub przed wschodem Słońca w dużej mierze zależy od stanu atmosfery.

## Zamiana współrzędnych ekliptycznych na równikowe równonocne

$$\cos(\delta)\cos(\alpha) = \cos(\beta)\cos(\lambda)$$

$$\cos(\delta)\sin(\alpha) = -\sin(\beta)\sin(\epsilon) + \cos(\beta)\cos(\epsilon)\sin(\lambda)$$

$$\sin(\delta) = \sin(\beta)\cos(\epsilon) + \cos(\beta)\sin(\epsilon)\sin(\lambda)$$

Najprostsze zastosowanie: Jaka jest przybliżona deklinacja Słońca przy założeniu, że  $\lambda$  narasta jednostajnie?

$$\sin(\delta_{\odot}) = \sin(\epsilon) * \sin(\lambda)$$

Słońce osiąga deklinację 5,10,15,20 stopni po równonocy po w przybliżeniu: 12, 25, 40, 59 dniach.

# Promieniowanie elektromagnetyczne

- ▶ Promieniowanie elektromagnetyczne - promieniowanie pochodzące z oddziaływań cząstek posiadających ładunek elektryczny.
- ▶ Prędkość rozchodzenia się promieniowania elektromagnetycznego w próżni jest uniwersalną stałą fizyczną (w przybliżeniu  $c = 300000\text{km/s}$ ).
- ▶ promieniowanie elektromagnetyczne jest skwantowane - jest przenoszone przez fotony ma jednak też własności falowe (ulega np. interferencji i dyfrakcji)
- ▶ pomiędzy częstością promieniowania a długością fali istnieje związek

$$\lambda = c/\nu$$

- ▶ pomiędzy częstością a energią fotonu zachodzi związek

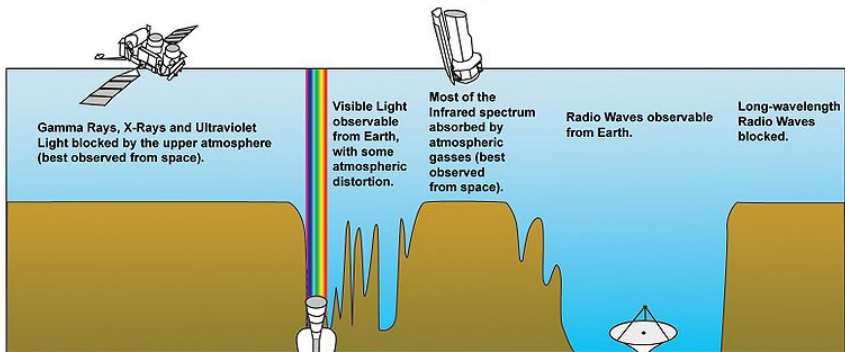
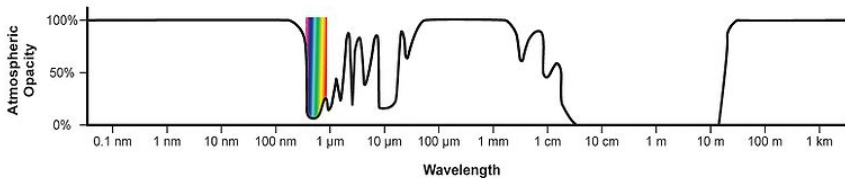
$$E = h\nu$$

$h$  - stała Plancka, jedna z podstawowych stałych fizycznych

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

W zależności od energii promieniowania, jego pochodzenia lub sposobów obserwacji możemy podzielić je na następujące zakresy:

- ▶ radiowy
- ▶ mikrofalowy
- ▶ podczerwień
- ▶ widzialny
- ▶ ultrafioletowy
- ▶ rentgenowski
- ▶ gamma



Rysunek:

## Promieniowanie termiczne

W przypadku gdy promieniowanie w pewnym obszarze często oddziałuje z materią może mieć własności bliskie promieniowaniu ciała doskonale czarnego. Możemy mówić wtedy o temperaturze charakteryzującej to promieniowanie. Rozkład natężenia promieniowania w zależności od częstości jest dany wzorem Plancka.

$$I_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} (\exp(h\nu/kT) - 1)^{-1}$$

Maksimum emisji w częstości lub w długości fali zależy od temperatury

$$\lambda(I_{max}) = 2.9mm/K$$

Całkowity strumień energii emitowany przez element powierzchni ciała doskonale czarnego wynosi

$$F = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2/K^4$$

Stąd wynika, że temperatura ciała doskonale czarnego...

## Wpływ atmosfery na obserwacje

- ▶ pochłanianie promieniowania (zależne od długości fali) okna optyczne, w niektórych zakresach podczerwieni i radiowe
- ▶ rozpraszanie promieniowania (niebieska barwa dziennego nieba)
- ▶ refrakcja (ugięcie toru promieniowania przy wejściu w gęstsze warstwy gazu)
- ▶ migotanie gwiazd
- ▶ “seeing” - rozmycie obrazu powodowane przez turbulencję atmosferyczną

wpływ atmosfery najmniejszy jest w zenicie, a najsilniejszy przy horyzoncie

# Podstawowe typy instrumentów optycznych

Ludzkie oko: obraz szerokokątny o rozdzielczości 1', czas reakcji  $\sim 1/50$  s. średnica źrenicy ok. 6 mm.

- ▶ lunety - refraktory - skupianie światła w ognisku poprzez załamanie światła w soczewce.
- ▶ teleskopy zwierciadłowe - reflektory - skupienie światła w ognisku poprzez odbicie od powierzchni zwierciadła.
- ▶ kamery Schmidta - światło przechodzi przez soczewkę korekcyjną i odbija się od zwierciadła - duże pole widzenia.

Pierwsze konstrukcje lunet - początek XVII wieku.

Odkrycia Galileusza: fazy Wenus, księżycy Jowisza, pomiary wysokości gór na Księżycu

## Radykalne zwiększenie możliwości obserwacji.

### 1) Dokładność obserwacji

- ▶ powiększenie kątowe przy obserwacji przez okular

$$p = \frac{F}{f}$$

F - długość ogniskowej obiektywu

f - długość ogniskowej okularu

- ▶ rozdzielczość dyfrakcyjna - największa teoretycznie możliwa rozdzielczość teleskopu o średnicy obiektywu D obserwującego na długości fali  $\lambda$

$$\alpha = \frac{1.22\lambda}{D}$$

dla światła widzialnego ( $\lambda = 0.5\mu m$ )  $\alpha = 0.13''/D(m)$

- ▶ "seeing" atmosferyczny - rozmycie obrazu punktowych źródeł światła przez turbulencję atmosferyczną (rzędu 1")
- ▶ optyka adaptacyjna - szybka korekcja kształtu zwierciadła dostosowująca go do kształtu frontu fali elektromagnetycznej (na razie działa w bliskiej podczerwieni).

## 2) Zdolność zbierania światła (promieniowania)

Dla teleskopów optycznych możemy porównać ile promieniowania z danego źródła w jednostce czasu będzie zbierane przez teleskop, a ile przez ludzkie oko ( $D$  - średnica obiektywu teleskopu,  $d$  - średnica źrenicy oka)

$$A = \frac{D^2}{d^2}$$

Teleskop o średnicy 0.6m zbiera w jednostce czasu  $10^4$  razy więcej światła niż ludzkie oko.

## 3) Rejestracja promieniowania

Wprowadzenie nowych metod obserwacji: fotografii w XIX w, fotonozników, kamer CCD.

Obecnie najczęściej korzysta się z kamer CCD (mamy dużą czułość i rozdzielczość)

Można dokonywać obserwacji bardzo słabych obiektów.

Przykład:

Podczas obserwacji Hubble UDF wykonanych teleskopem kosmicznym Hubble'a ( $D=2.4$  m.) wykonano 800 ekspozycji trwających łącznie 11 dni. Udało się zarejestrować obiekty do 30 mag (ponad 20 miliardów razy słabsze niż widoczne gołym okiem).

## Największe teleskopy optyczne:

przed 30 laty

- ▶ W Polsce - o średnicy 90cm (pod Toruniem)
- ▶ Mount Palomar - śr 5m
- ▶ Zelnenczuska - śr 6m

obecnie

- ▶ VLT - Cerro Paranal (Chile) 4 teleskopy o średnicy 8.2 m
- ▶ Keck - Mauna Kea (Hawaje) 2 teleskopy segmentowe o śr 10m
- ▶ Subaru - Mauna Kea (Hawaje) - średnica 8.2 m
- ▶ Gemini - 2 teleskopy jeden na północnej (Mauna Kea) a drugi na południowej półkuli Cerro Pachon Chile)
- ▶ HET, SALT - wielosegmentowe o uproszczonym montażu i efektywnej średnicy zwierciadła 10.5m
- ▶ Teleskopy Magellan o śr. 6.5 m. w Las Campanas



**Rysunek:** Budynki teleskopu Uniwersytetu Warszawskiego w Las Campanas

## Radioteleskopy

- ▶ pierwsze obserwacje radiowe Słońca w 1943 roku.
- ▶ pierwsze katalogi radioźródeł lata 40/50 XX w.
- ▶ największy radioteleskop w Polsce - śr 32m (po Toruniem)
- ▶ najbardziej znane radioteleskopy
  - Arecibo - 300m (nieruchoma czasza)
  - Effelsberg - 100m (ruchomy)
  - VLA - 27 anten 23m umieszczonych na torach umożliwiających zmianę konfiguracji urządzenia.
- ▶ interferometria wielkobazowa VLBI

## Obserwacje w zakresie mikrofalowym

- ▶ James Clerk Maxwell Telescope - Hawaje (śr 15 m., zakres 0.45-0.85 mm) i Submillimeter Array (SMA)
- ▶ ALMA - Llano de Chajnator wys 5000 m. - 54 anteny o średnicy 12 m.i 12 o średnicy 7 m (na razie zainstalowano 16). Obserwacje w dostępnych zakresach pomiędzy 0.35 a 10 mm.

# ALMA

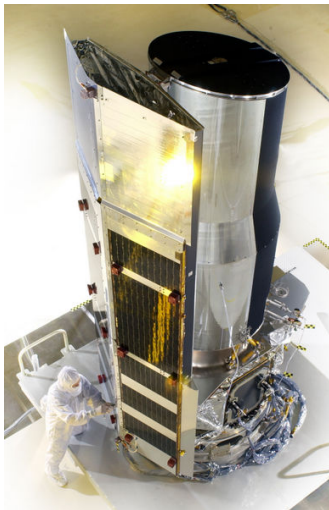


Rysunek: Pierwsze anteny obserwatorium ALMA

## Obserwatoria orbitalne

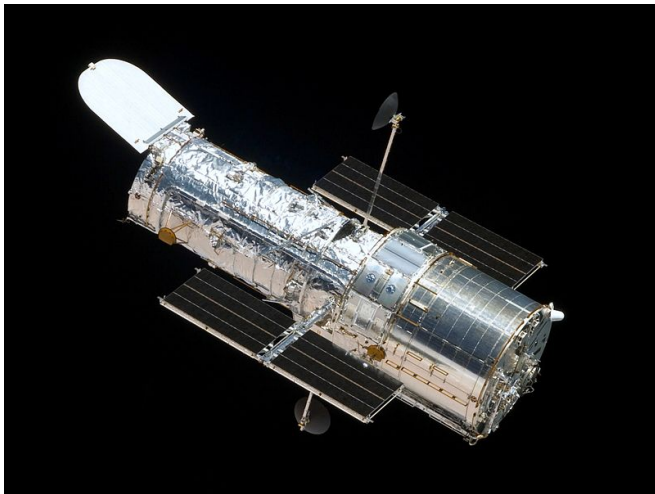
- ▶ Teleskop Hubble - średnica zwierciadła 2.4m
- ▶ mikrofałe: COBE (nieczynne), WMAP, Planck
- ▶ podczerwień (potrzeba chłodzenia teleskopu i detektorów): IRAS, ISO (nieczynne), Spitzer, WISE, Herschel
- ▶ obserwatoria rentgenowskie: Einstein, ROSAT (nieczynne), Chandra, XMM
- ▶ obserwatoria gamma: GRO(nie działa), Integral, Fermi
- ▶ Obserwatorium słoneczne - SOHO

# Spitzer



Rysunek: Przygotowania do startu teleskopu Spitzer

HST



Rysunek: Teleskop Hubble'a z promu kosmicznego

## Sondy międzyplanetarne

- ▶ Surveyor
- ▶ Pionier 10, Pionier 11
- ▶ Voyager 1, Voyager 2
- ▶ Sondy orbitalne wokół Marsa
- ▶ Lądowniki marsjańskie
- ▶ Messenger - na orbicie wokół Merkurego.
- ▶ Cassini - na orbicie wokół Saturna
- ▶ Dawn - na orbicie wokół Westy
- ▶ Pluto - express - w drodze do Plutona i obiektów Pasa Kuipera
- ▶ Juno - w drodze do Jowisza, Galileo wszedł w atmosferę Jowisza w 2003 r.