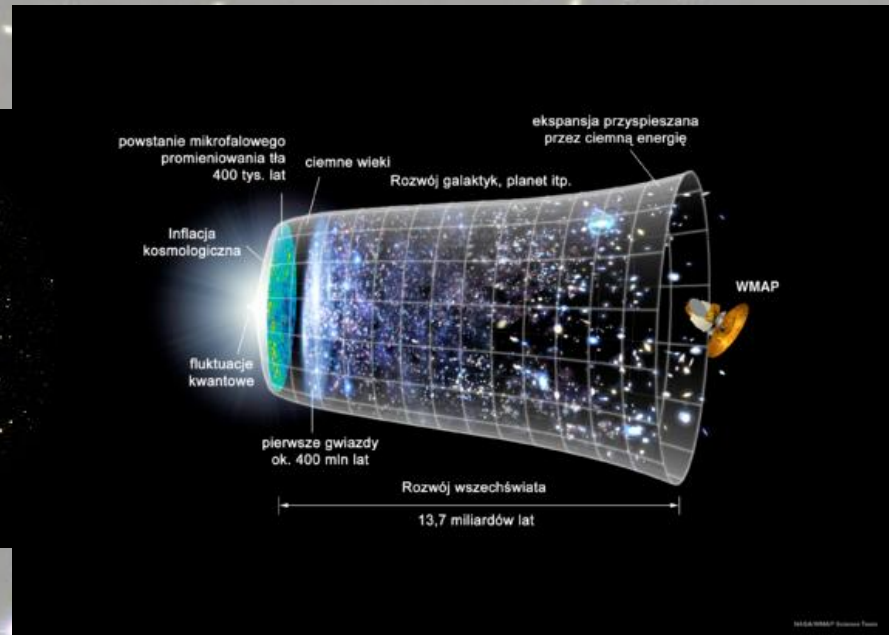
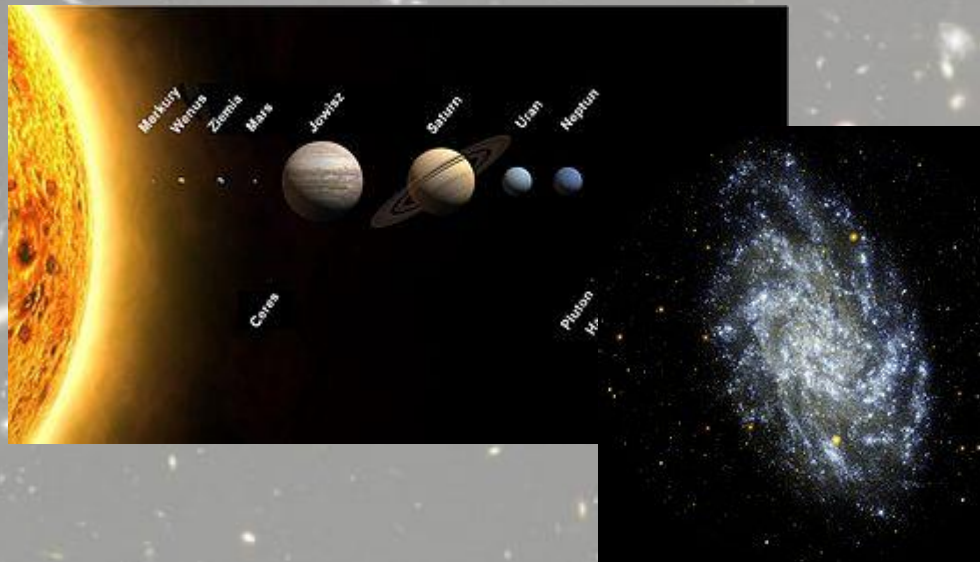


**Odległość mierzy się zerami**



# Jednostki odległości w astronomii

jednostka astronomiczna AU, j.a.	średnia odległość Ziemi od Słońca	$1.4959787 \cdot 10^{11}$ m
rok świetlny l.y., r.św.	odległość przebyta przez światło w próżni w ciągu 1 roku	$9.4605 \cdot 10^{15}$ m
parsek pc	odległość, z której 1 j.a. jest widoczna pod kątem 1''	$3.0857 \cdot 10^{16}$ m 3.2616 l.y. 206265 AU



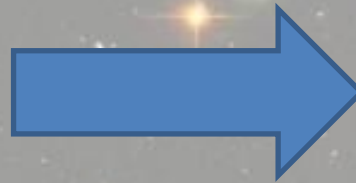
# Skala odległości we Wszechświecie



Ziemia



Księżyc

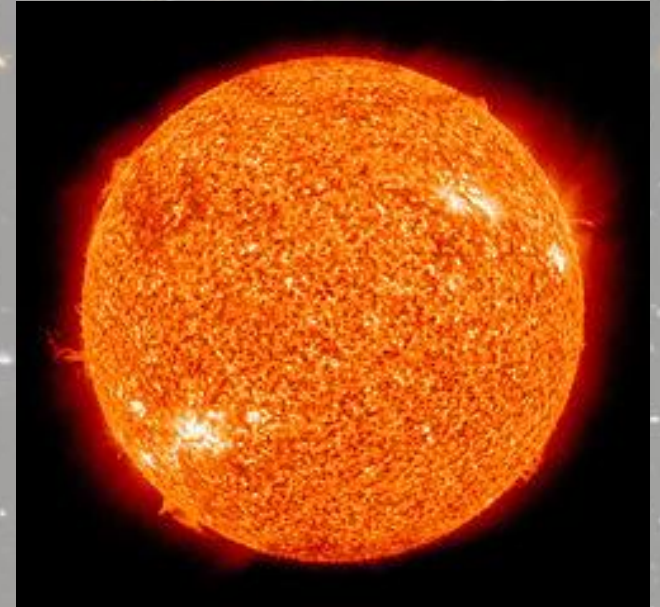


**384 400 km**  
**1.28 s św.**

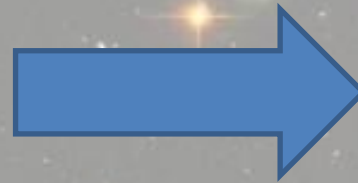
# Skala odległości we Wszechświecie



Ziemia

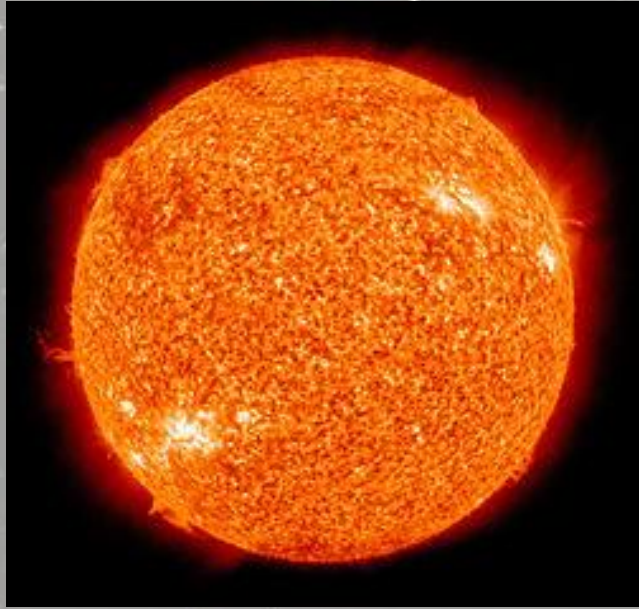


Słońce

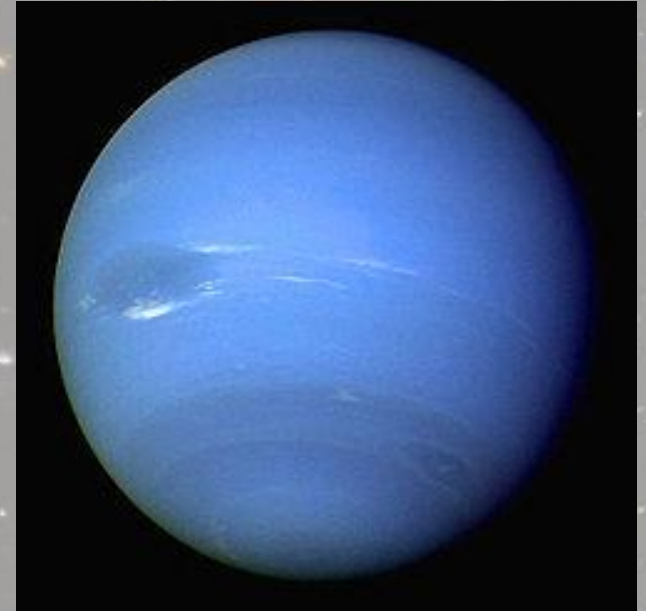


**149 600 000 km**  
**498.7 s św. = 8.3 min. św.**

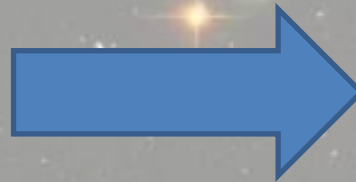
# Skala odległości we Wszechświecie



Słońce

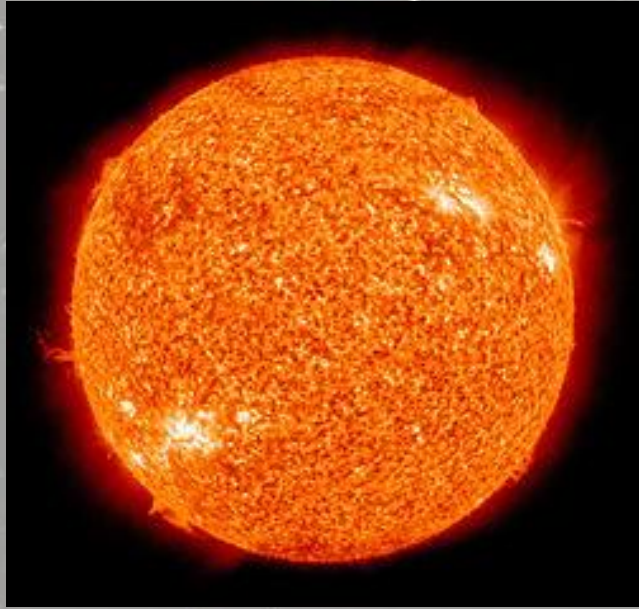


Neptun



**4 459 630 000 km**  
**14865.4 s św. = 247.8 min. św. = 4.1 godz. św.**

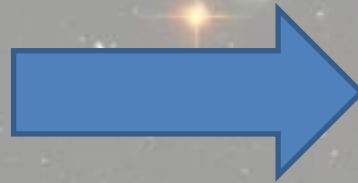
# Skala odległości we Wszechświecie



Słońce

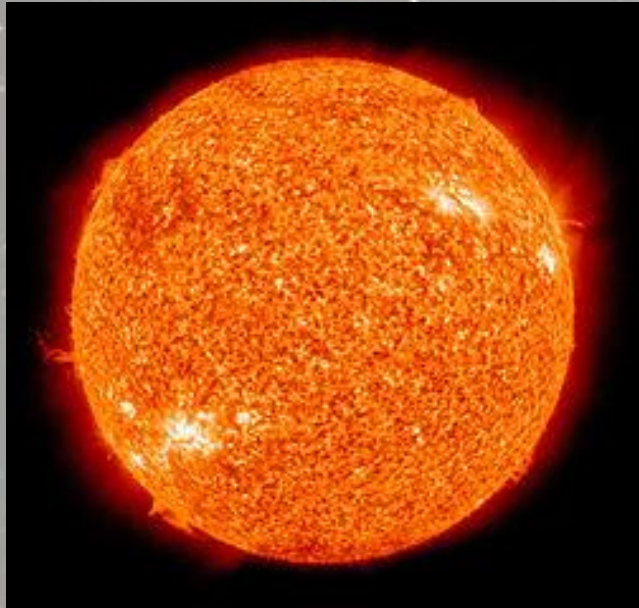


Proxima Centauri



**1 664 000 000 000 km**  
**4.22 lat św.**

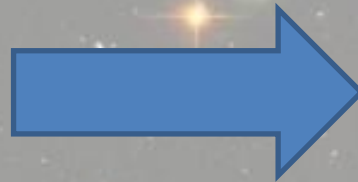
# Skala odległości we Wszechświecie



Słońce

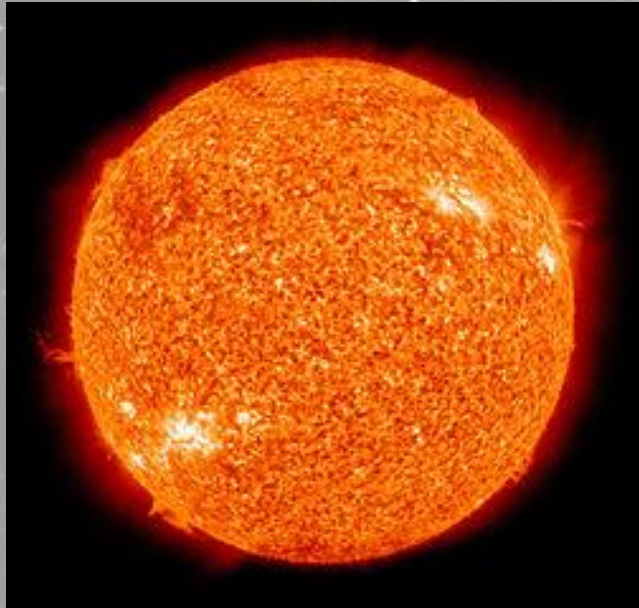


Centrum Drogi Mlecznej



10 650 000 000 000 000 km  
27 000 lat św.

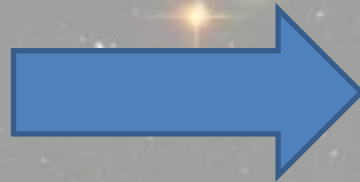
# Skala odległości we Wszechświecie



Słońce



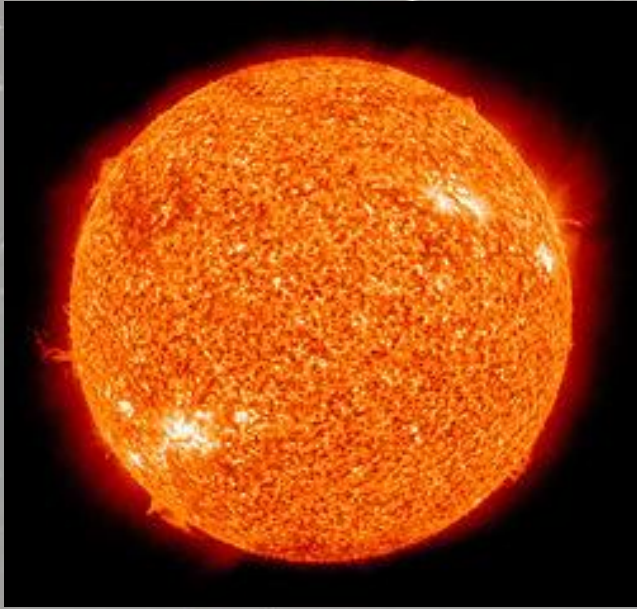
Galaktyka Andromedy



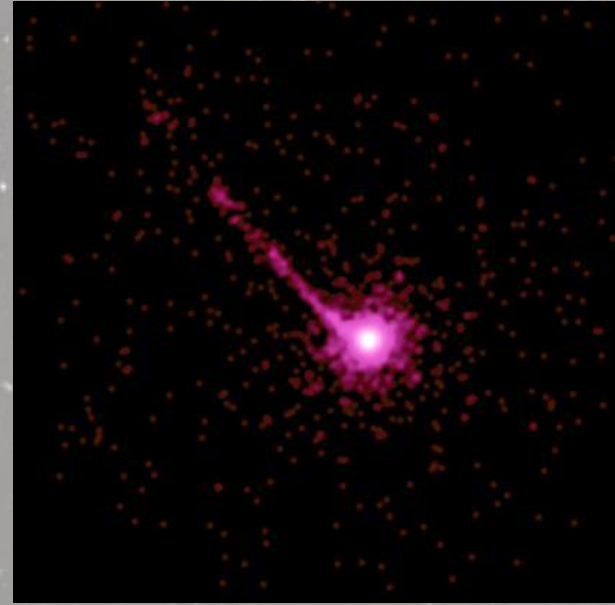
1 000 000 000 000 000 000 km  
2 540 000 lat św.



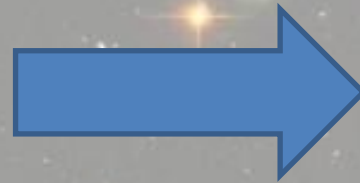
# Skala odległości we Wszechświecie



Słońce

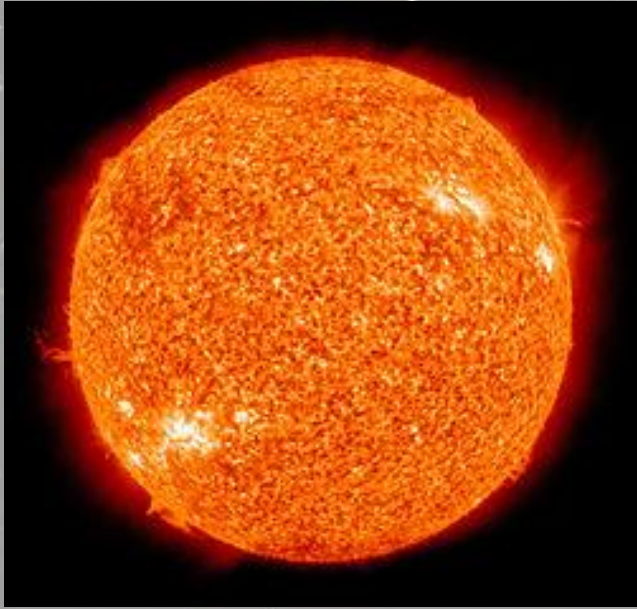


Kwazar PKS 1127-145

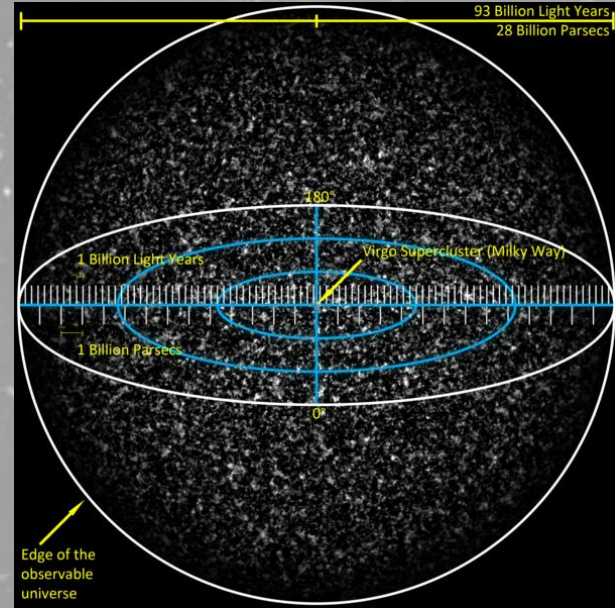


4 000 000 000 000 000 000 000 km  
10 000 000 000 lat św.

# Skala odległości we Wszechświecie



Słońce



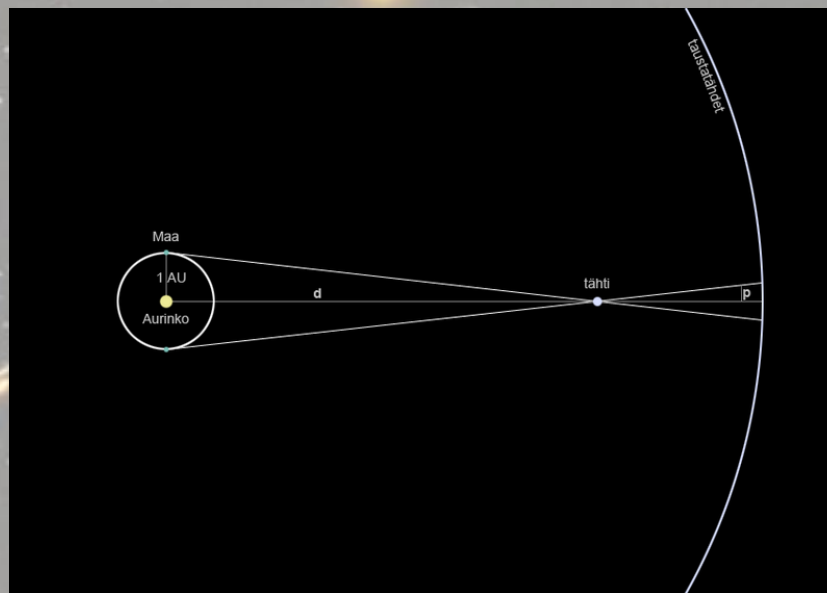
Granica Wszechświata

20 000 000 000 000 000 000 000 km  
46 000 000 000 lat św.

# Metody wyznaczania odległości we Wszechświecie

Bezpośrednie:

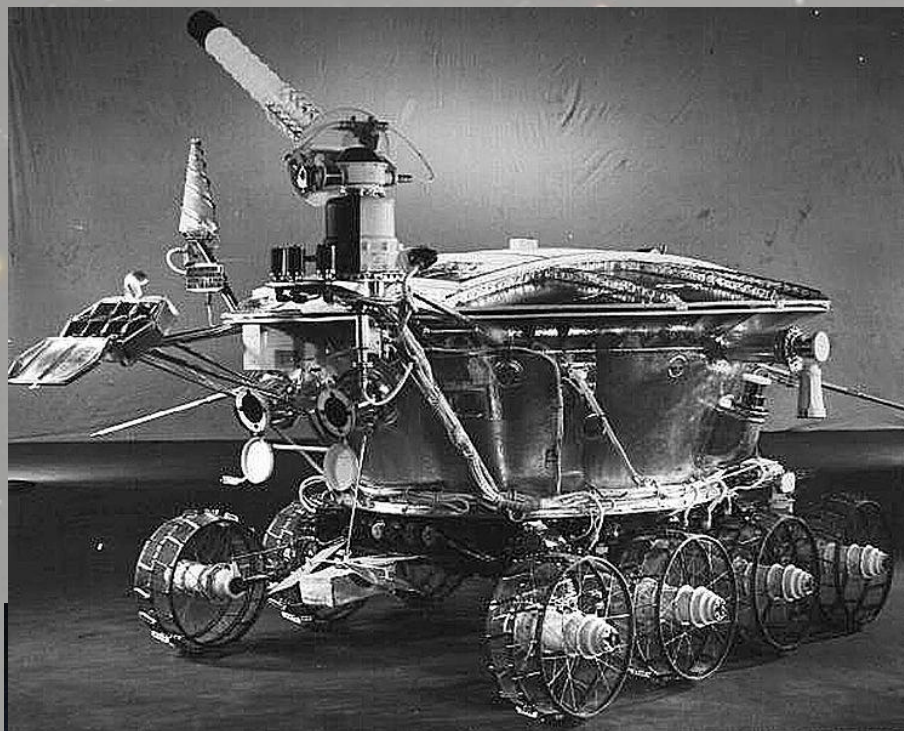
- metoda paralaksy,
- pomiary laserowe
- pomiary radarowe



Pośrednie:

- świece standardowe,
- pręty miernicze,
- prawo Hubble'a
- i 30 innych...

# Pomiary laserowe

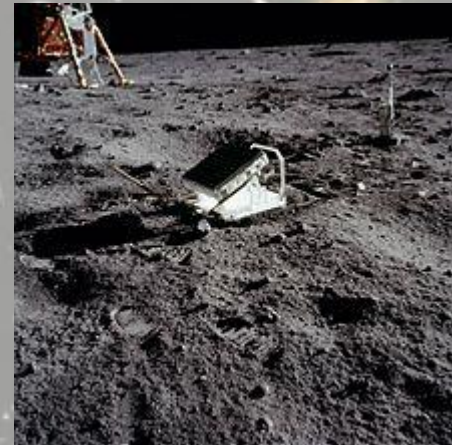
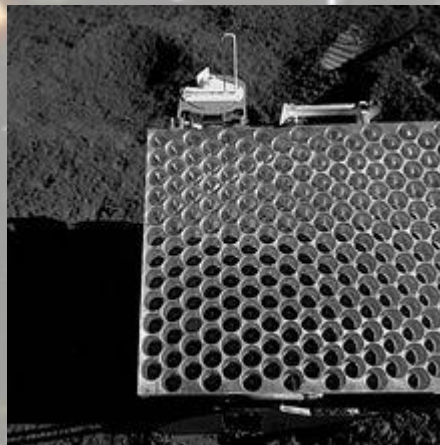
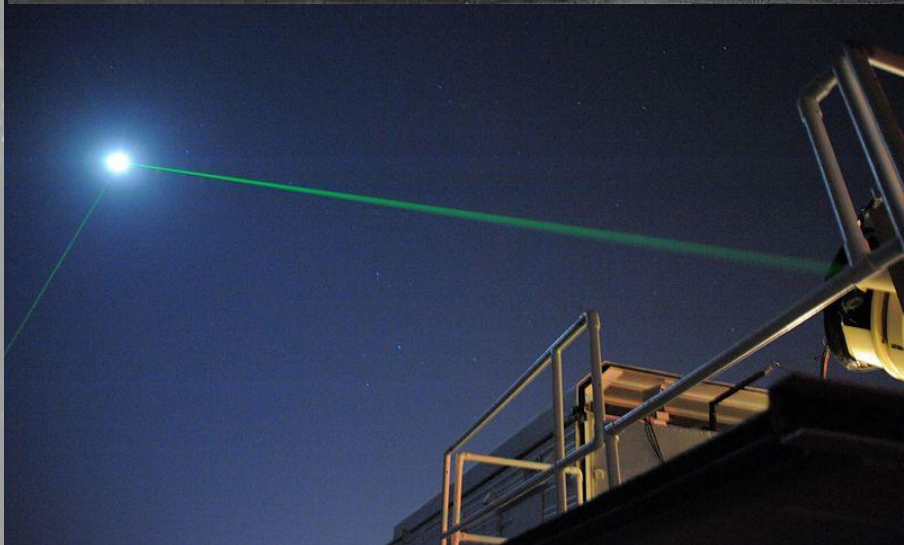


Szereg luster zostawionych na powierzchni Księżyca (Apollo 11, 14 i 15, Łunochod 1 i 2)

Średnica wiązki na Księżycu: 6.5 km

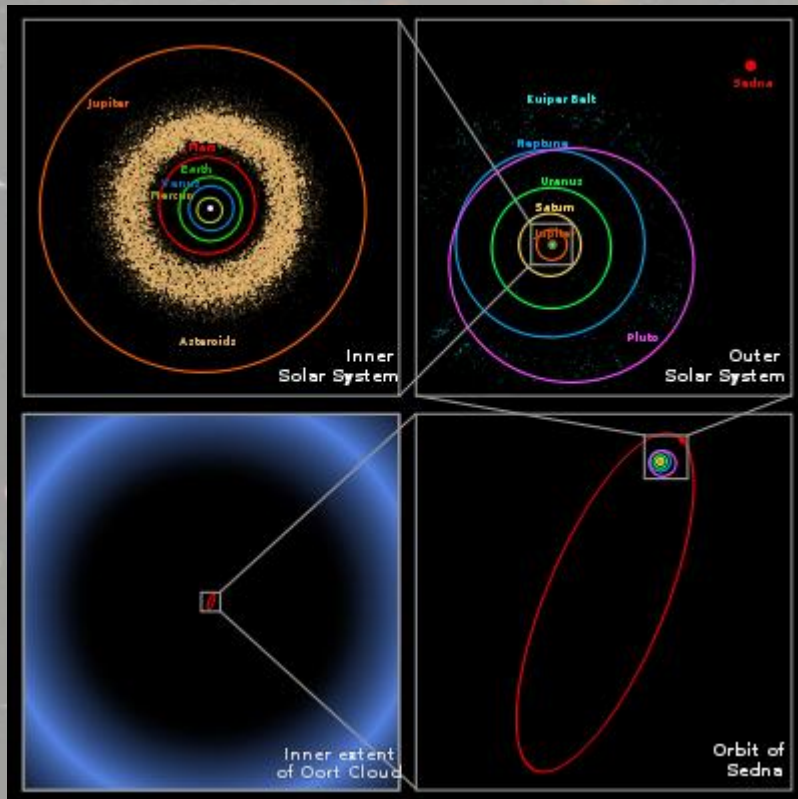
Na każde  $10^{17}$  fotonów w kierunku Ziemi zostaje odbity tylko jeden

Ogromna dokładność. Stwierdzono np. oddalanie się Księżyca od Ziemi w tempie 38 mm/rok



# Pomiary radarowe

Prawa Keplera pozwalają nam zmierzyć odległości w układzie słonecznym. Są to jednak odległości względne. Potrzeba wyznaczyć jakąś jednostkę odległości.



1961 r. – pierwsze pomiary (podczas zblżenia Wenus i Ziemi)

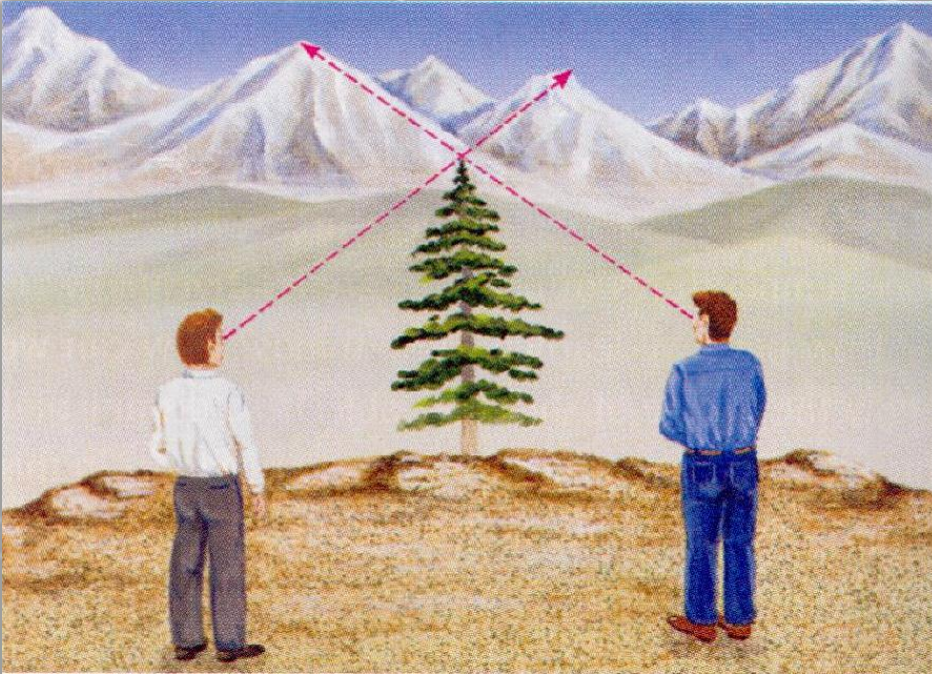
Sygnał pokonał ponad 40 mln km

Znając położenie planet w US wiedzieliśmy, że Słońce znajdowało się 3.6 razy dalej

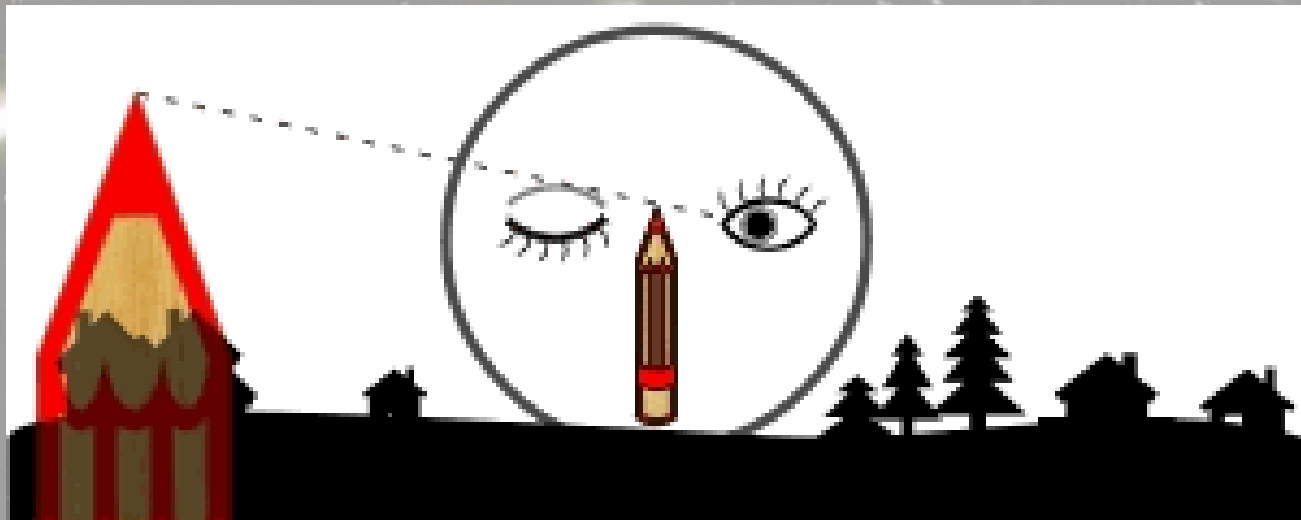
Wyznaczona wtedy wartość:

1 AU= 149 600 000 km

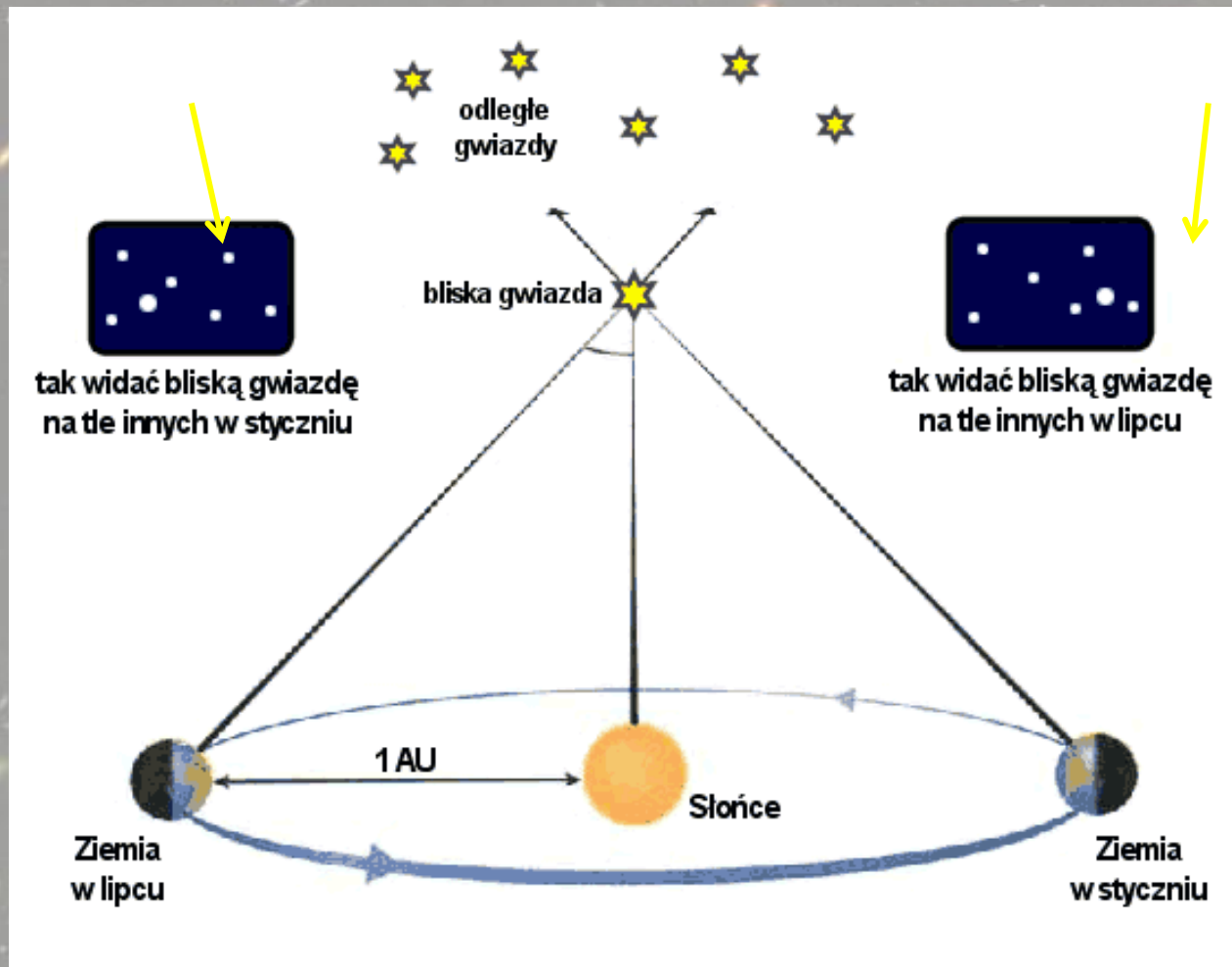
# Paralaksa



Znając długość bazy i kąt o jaki przesunął się obiekt na dalekim tle można wyznaczyć odległość



# Paralaksa heliocentryczna



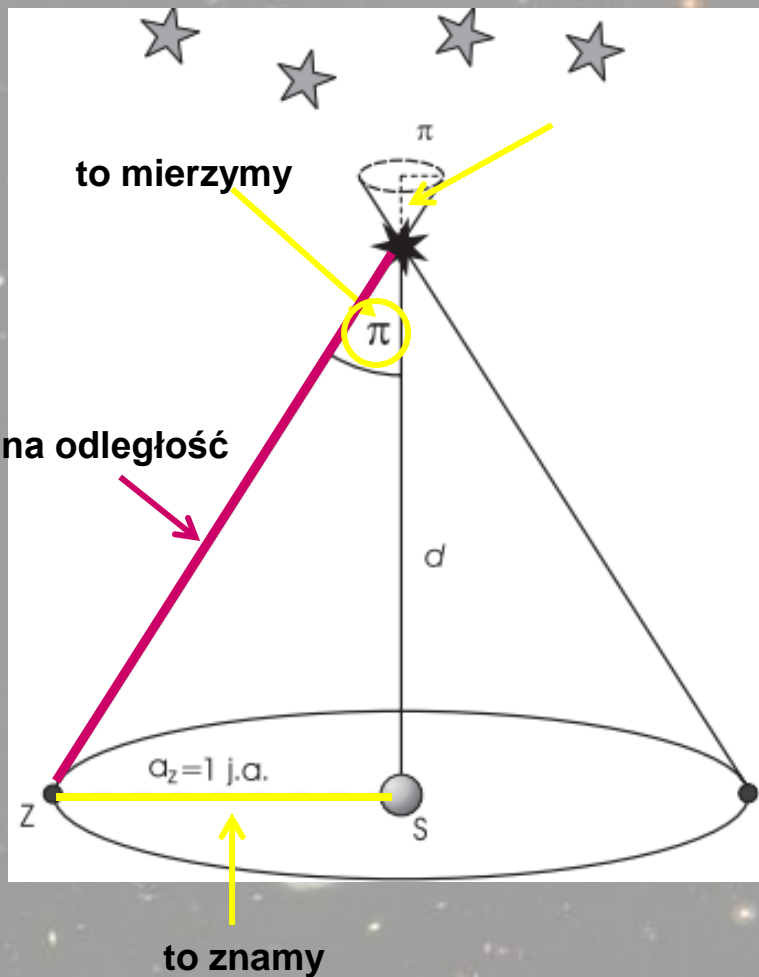
Friedrich Bessel w 1838  
mierzy paralaksę gwiazdy  
**61 Cygni**



Kolejnego pomiaru  
dokonał Thomas  
Henderson. Zmierzył  
odległość  **$\alpha$  Cen**

# Paralaksa heliocentryczna

$$D[\text{pc}] = 1/\pi''$$



Nazwa Galaktyki	Odległość (lata świetlne)
Wielki Obłok Magellana	160 000
Mały Obłok Magellana	180 000
Tarcza	270 000
Lew I	900 000
Wielka Mgławica Andromedy	2 200 000
NGC 598	2 300 000



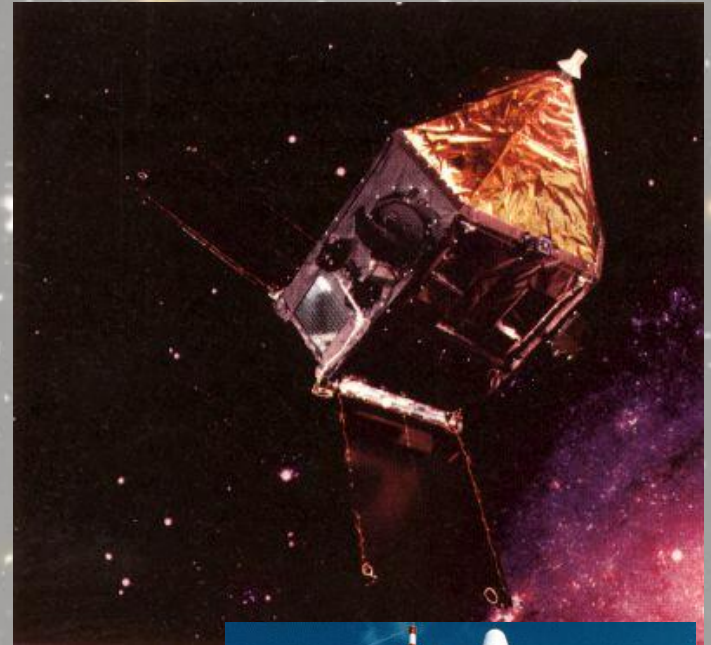
# Paralaksa - Hipparcos

## High Precision Parallax Collecting Satellite

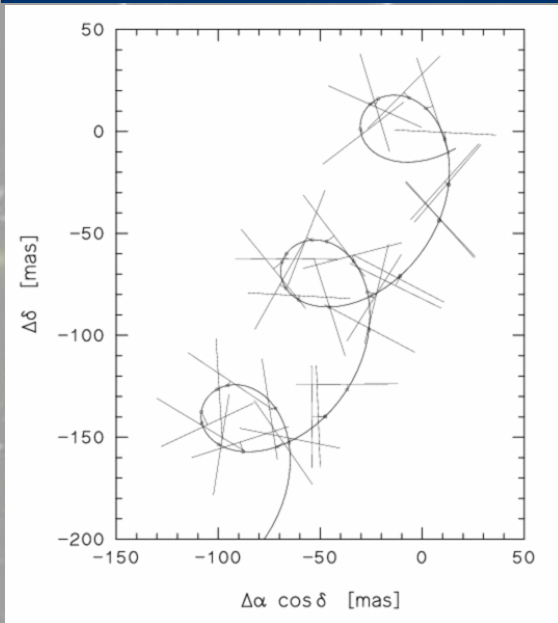
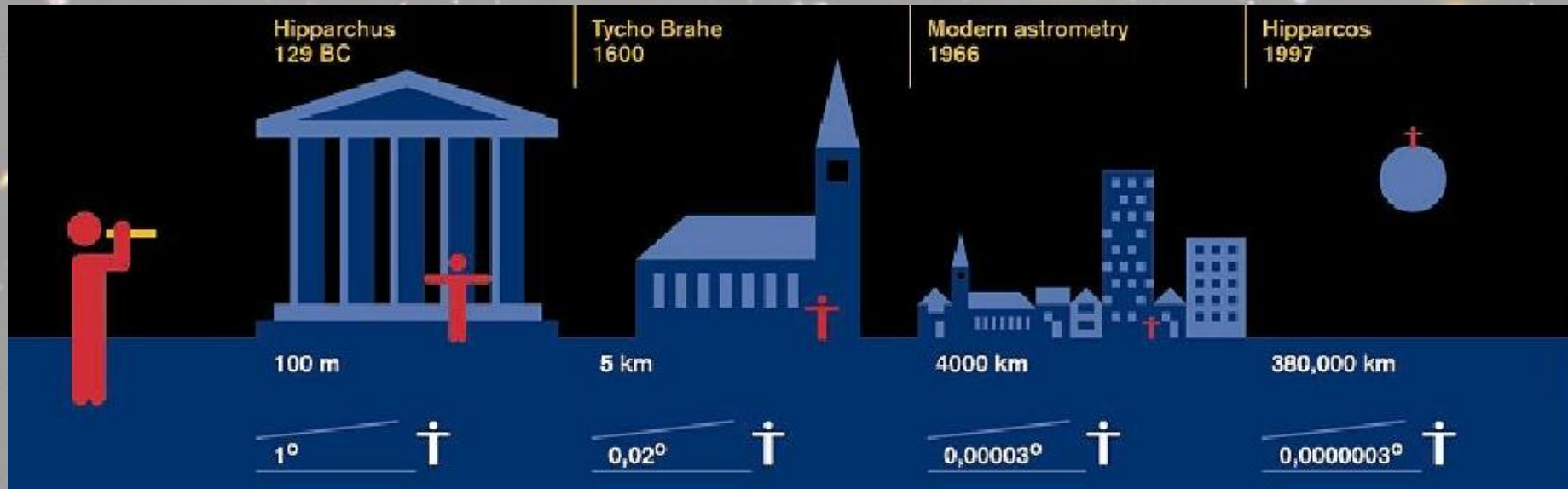
Wystrzelony 8 sierpnia 1989 r.

Dwa katalogi z obserwacjami:

1. Hipparcos – pomiary położeń (dokładność 1 milisekundy kątowej) i jasności (dokładność 2%) dla 118 tys. gwiazd
2. Tycho – pozycje (z dokładnością 20-30 milisekund kątowych) i jasności (dokładność 6%) dla ponad miliona gwiazd



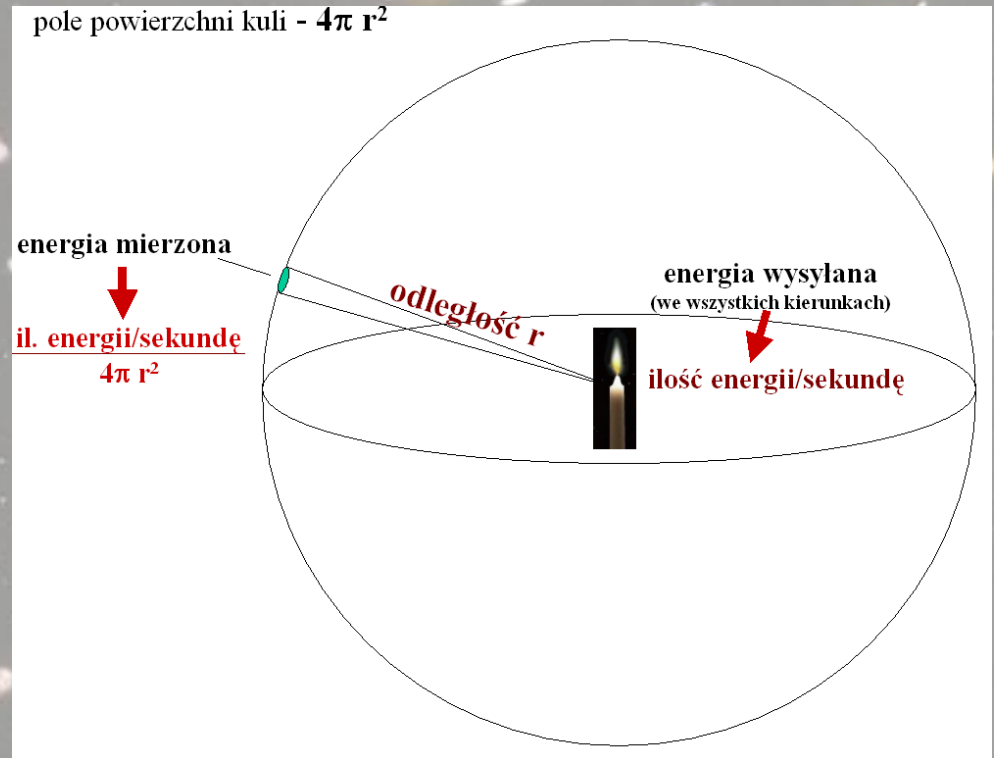
# Paralaksa - dokładność



Wyznaczono paralaksy dla około 7 tys. gwiazd do odległości 500 lat świetlnych

W niektórych przypadkach okazało się, że pomiary są obarczone (w niektórych obszarach nieba) błędem na poziomie 1 sekundy kątowej

# Świece standardowe



Na podstawie obserwacji obiektu o znanej jasności wyznaczamy odległość do niego

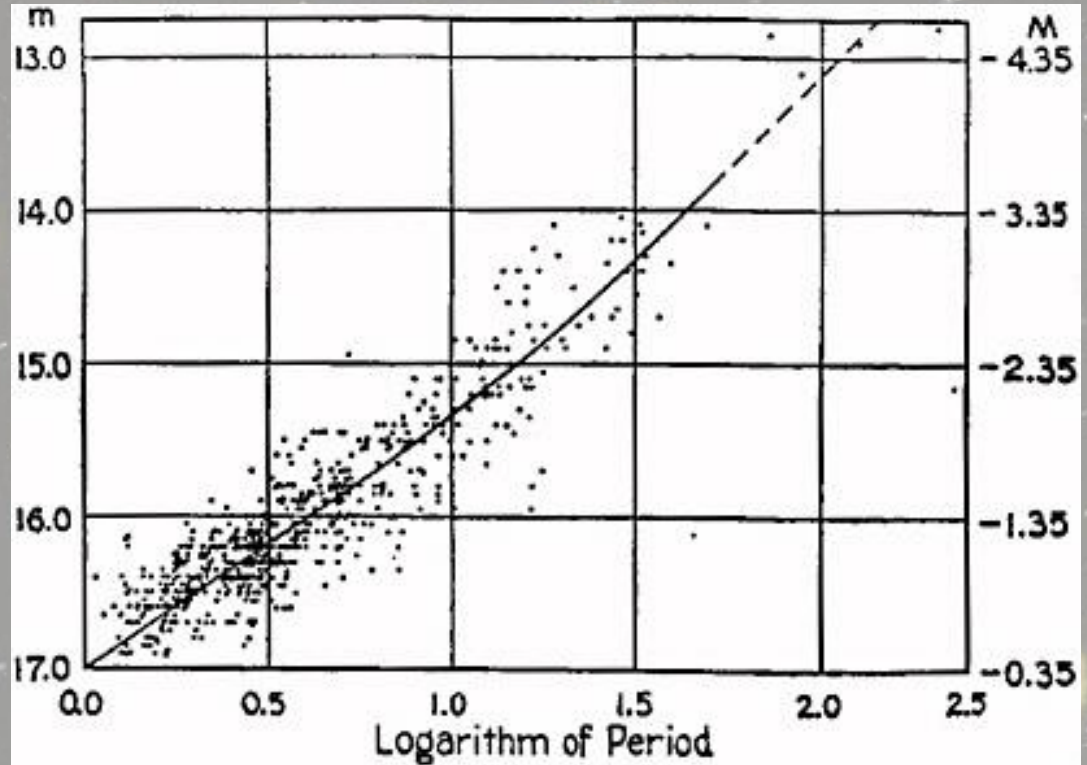
Rolę świec standardowych spełniają między innymi gwiazdy zmienne (pulsujące) i supernowe typu Ia

Jeżeli świecą standardową jest bardzo jasny obiekt, to możemy wyznaczyć naprawdę duże odległości

# Świece standardowe – zmienne pulsujące

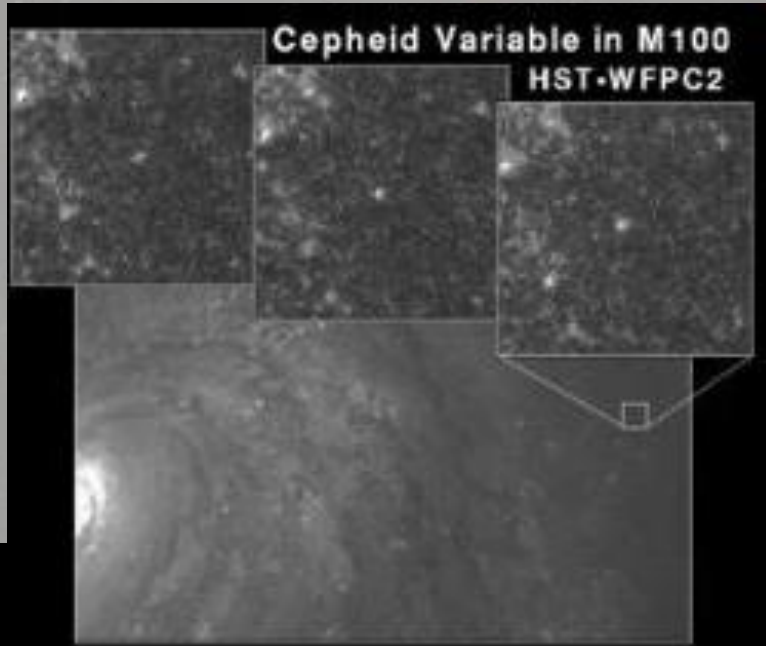


**Henrietta Swan Leavitt**  
4.06.1868 r.- 12.12.1921 r.



Związek jasności absolutnej z okresem zmian blasku sprawia, że cefeidy są świecami standardowymi

# Świece standardowe – zmienne pulsujące



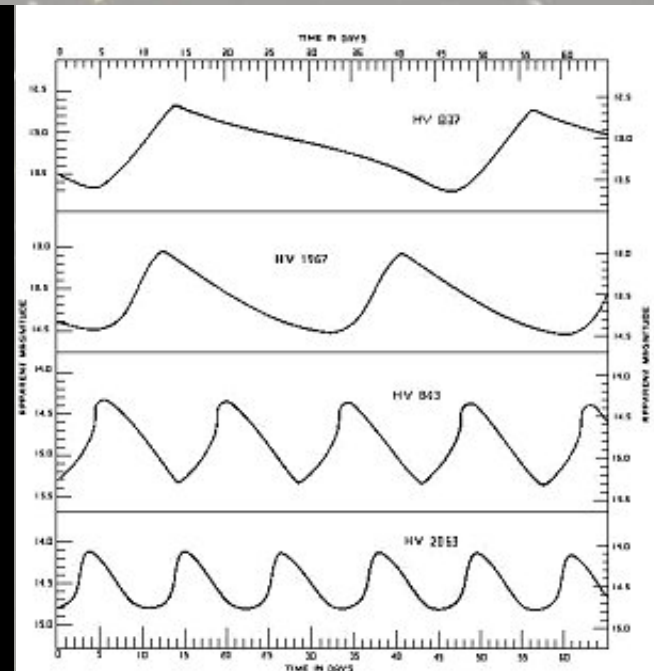
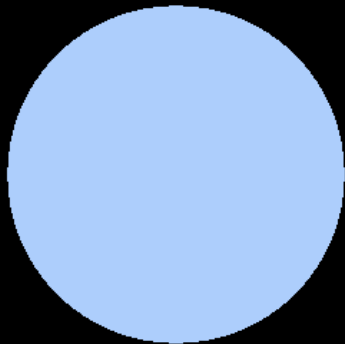
Cefeidy:

nadolbrzmy (widoczne z dużych odległości)

gwiazdy zmienne pulsujące

okres zmian jasności: od 1 do 150 dni.

amplituda zmian jasności: od 0,1 do 2 mag



# Świece standardowe – zmienne pulsujące

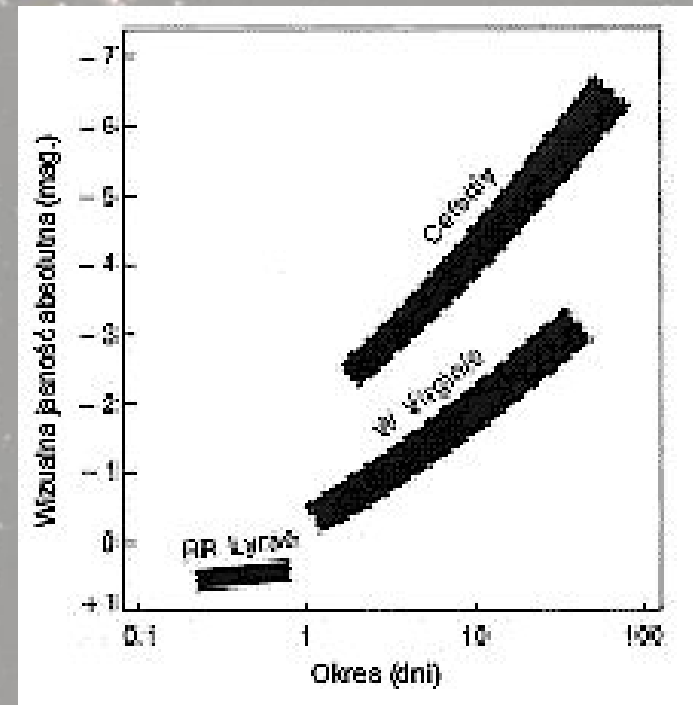
## RR Lyrae

- gwiazdy pulsujące,
- podobne do cefeid, ale mają mniejsze rozmiary i krótsze okresy pulsacji,
- wykorzystywane do wyznaczania odległości do gromad kulistych

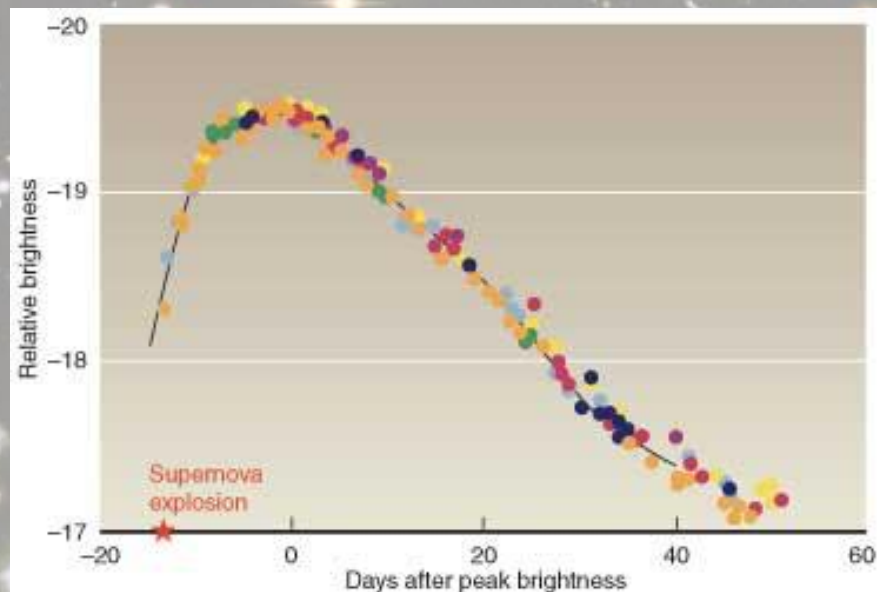
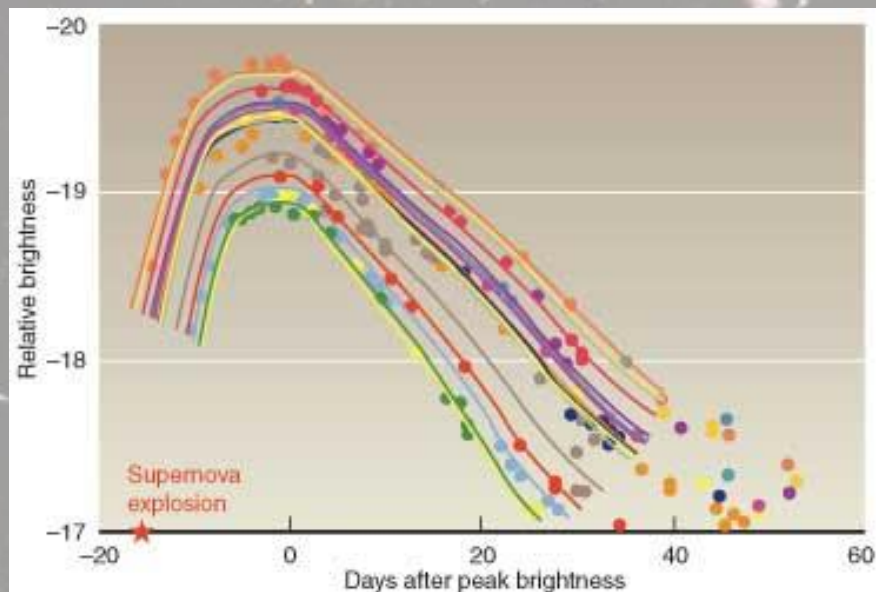


## W Virginis

- gwiazdy pulsujące,
- podobne do cefeid (cefeidy typu II),
- obserwuje się je w gromadach kulistych,



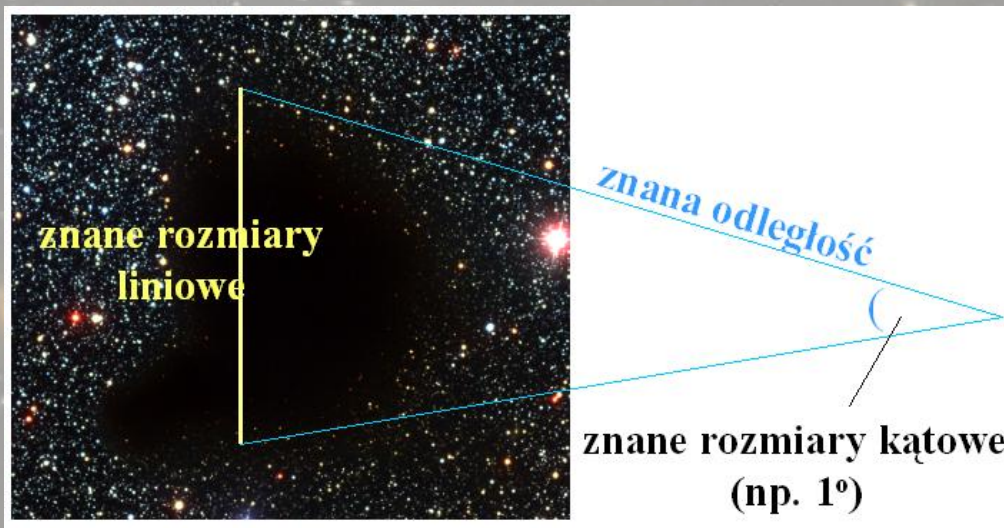
# Końcowe etapy życia gwiazd – duże masy



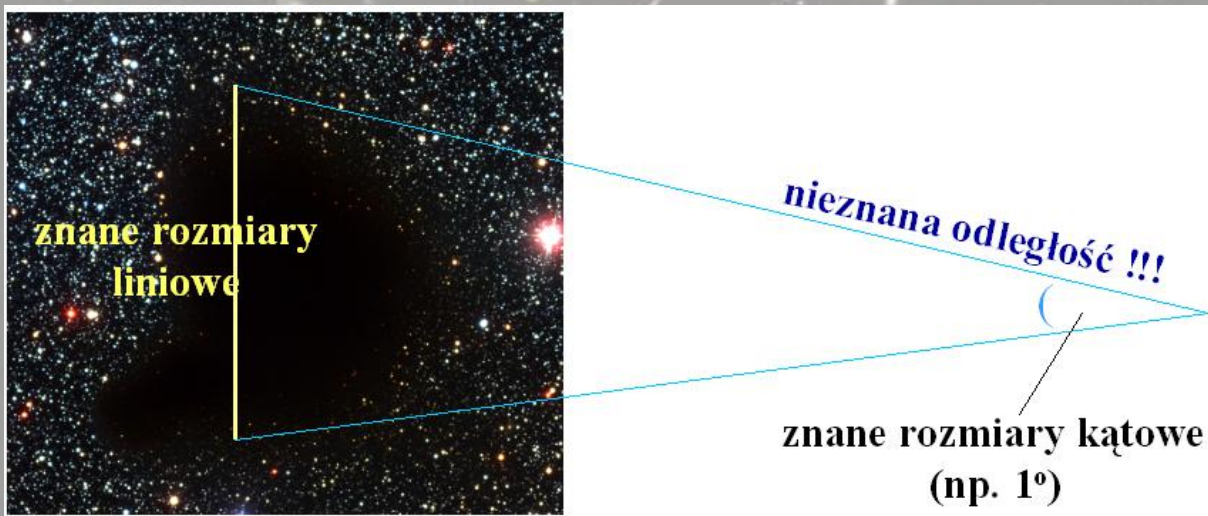
Jasność supernowych w maksimum jest różna i zależy od wielu czynników – nie nadają się na świece standardowe. Jest jeden wyjątek – supernowe typu Ia

# Pręty miernicze

Szukamy obiektów o znanych, charakterystycznych rozmiarach liniowych



Pomiar rozmiaru katowego pozwala wyznaczyć odległość



Ta metoda pozwala wyznaczyć odległości rzędu 200 Mpc

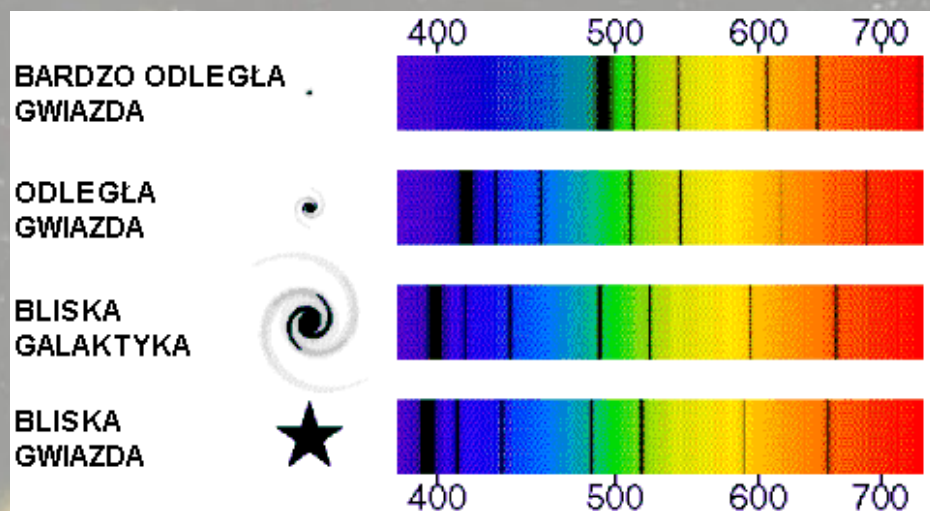
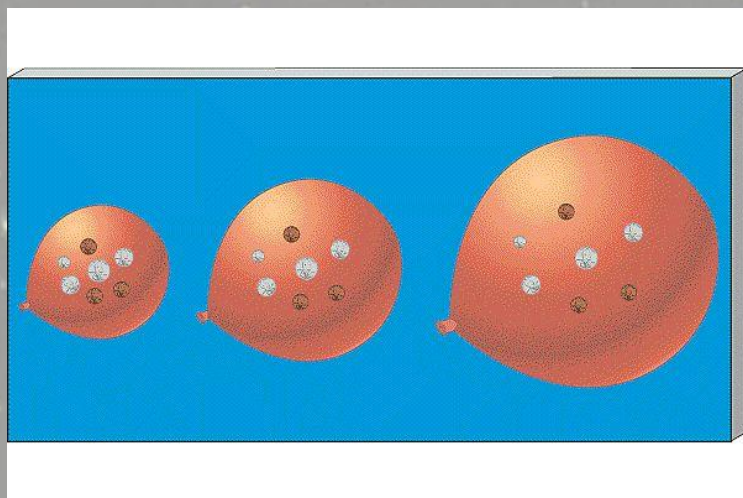
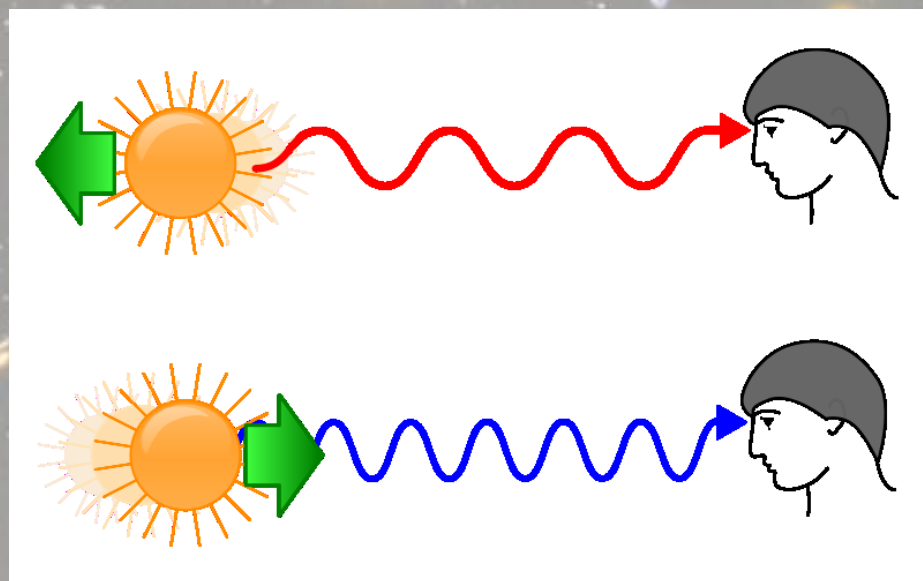


# Odległości kosmologiczne

Efekt Dopplera związany jest z ruchem źródła lub/i obserwatora

Obserwowane jest przesunięcie ku długofalowej (oddalanie) lub krótkofalowej (zbliżanie) części widma

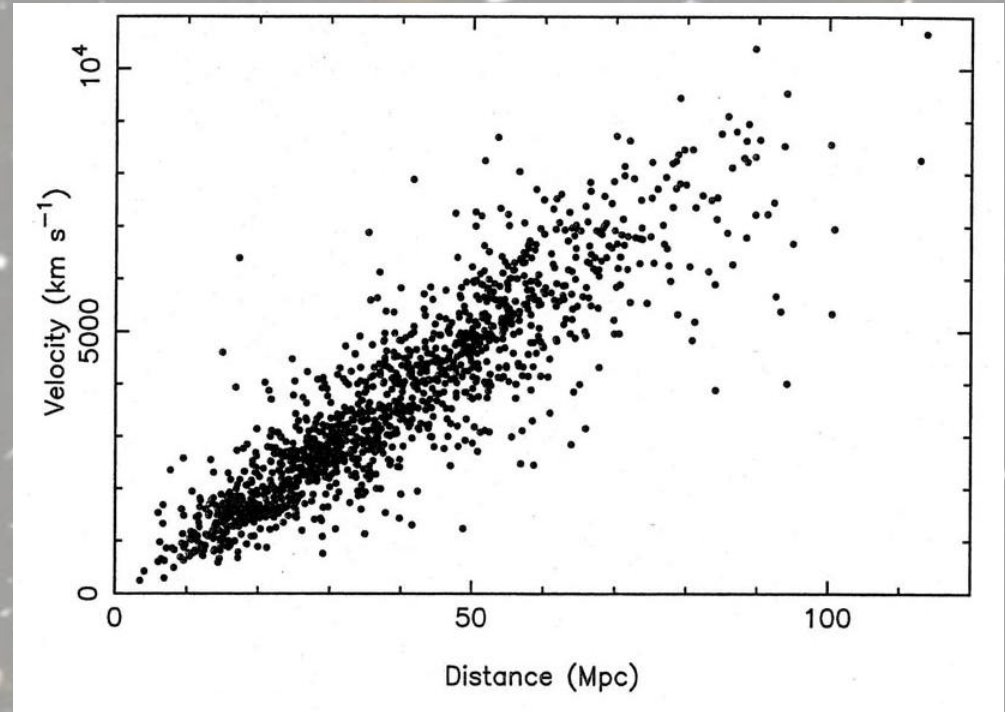
W przypadku odległości kosmologicznych poczerwienienie jest związane z ekspansją Wszechświata



# Odległości kosmologiczne



Edwin Hubble  
(20.11.1889 r. – 28.09.1953 r.)



$$v = H_0 r \quad H_0 = 73 \pm 3 \text{ km/s/Mpc}$$

Im dalsza galaktyka tym większa prędkość oddalania się od nas

# Mierzymy odległości w całym widzialnym Wszechświecie

