

Marian Soida

Podstawy astronomii

1 rok astronomii

<http://www.oa.uj.edu.pl/~soida/wyklady/PodAstr/PA.pdf>

Literatura

Jerzy M. Kreiner „Ziemia i Wszechświat, astronomia nie tylko dla geografów”
Wyd. Naukowe UP, Kraków 2009

Jan Mietelski „Astronomia w geografii” PWN, Warszawa 2005 (wyd. 4.)

Jerzy S. Stodólkiewicz „Astrofizyka ogólna z elementami geofizyki”, PWN, Warszawa 1978

Eugeniusz Rybka „Astronomia ogólna” PWN, Warszawa 1983 (wyd 7.)

...

<http://apod.oa.uj.edu.pl>

<http://www.wiw.pl/astronomia>

<http://pl.wikipedia.org>

<http://www.nasa.gov>

...

„Spis treści”

- podstawowe pojęcia
 - sfera niebieska
 - układy współrzędnych
 - orientacja na niebie
 - miary odległości
 - jasności ciał niebieskich
- obserwacje astronomiczne

- widmo elektromagnetyczne
- promieniowanie korpuskularne

- atmosfera Ziemi
 - okna atmosferyczne
 - ekstynkcja atmosferyczna
 - refrakcja
 - magnetyzm Ziemi

- instrumenty astronomiczne

- lunety, teleskopy
- radioteleskopy
- inne instrumenty

- Ziemia
 - kształt i rozmiary
 - ruch obrotowy
 - ruch orbitalny

- rachuba czasu

- czas gwiazdowy

- czas słoneczny

- pomiar czasu

- służba czasu

- Księżyc

- odległość, rozmiar, budowa

- ruch wirowy i orbitalny

- kalendarz

- Sztuczne satelity Ziemi
- układ planetarny
 - planety i ich satelity
 - inne ciała Układu Słonecznego
 - materia międzyplanetarna
- Słońce
 - rozmiary i budowa
 - ruchy słońca

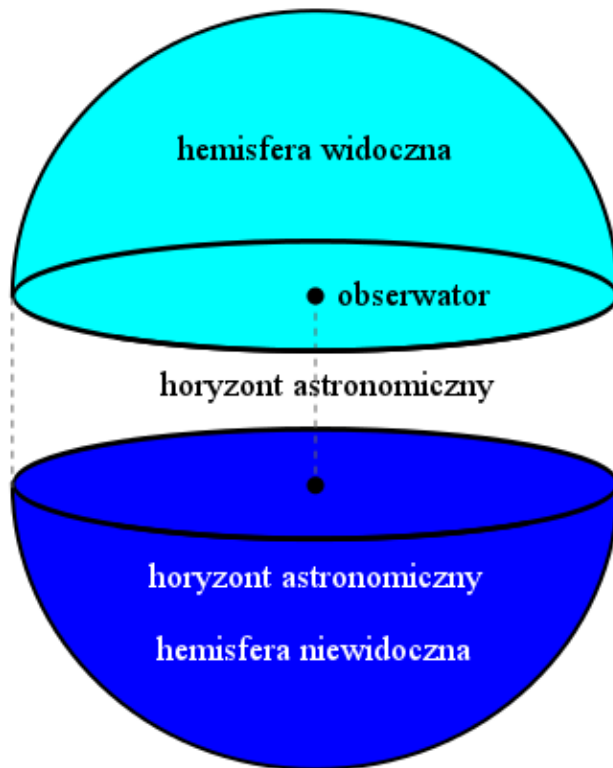
- źródła energii
- aktywność słoneczna
- gwiazdy
 - typy gwiazd
 - widma gwiazd
 - ewolucja gwiazd
 - końcowe etapy ewolucji gwiazd
- galaktyki

- klasyfikacja
 - skład
 - dynamika
 - Droga Mleczna
 - inne galaktyki
-
- obiekty „pozagalaktyczne”
 - gromady galaktyk
 - aktywne centra galaktyk

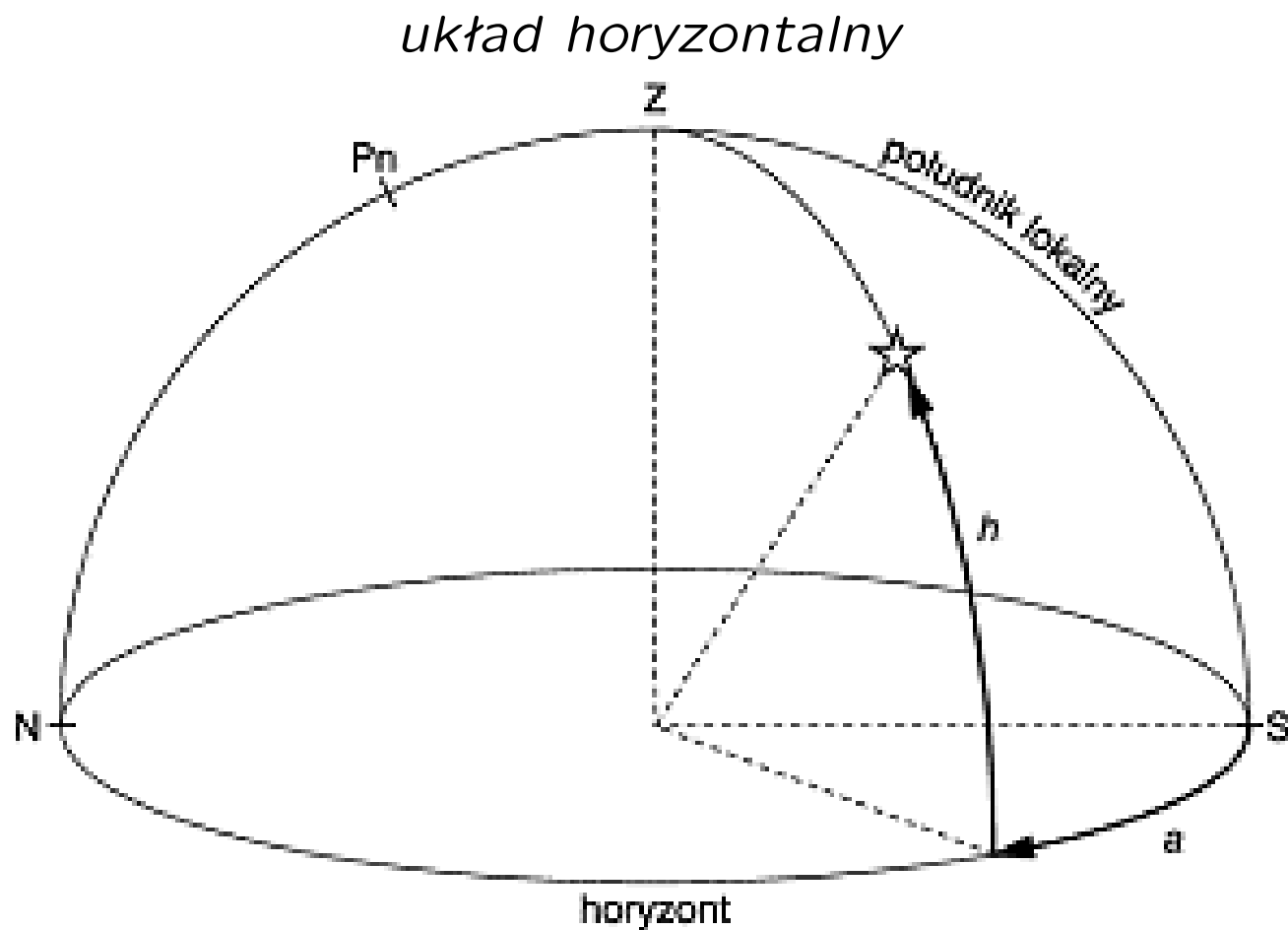
- kwazary
- prawo Hubblea
- elementy kosmologii

podstawowe pojęcia

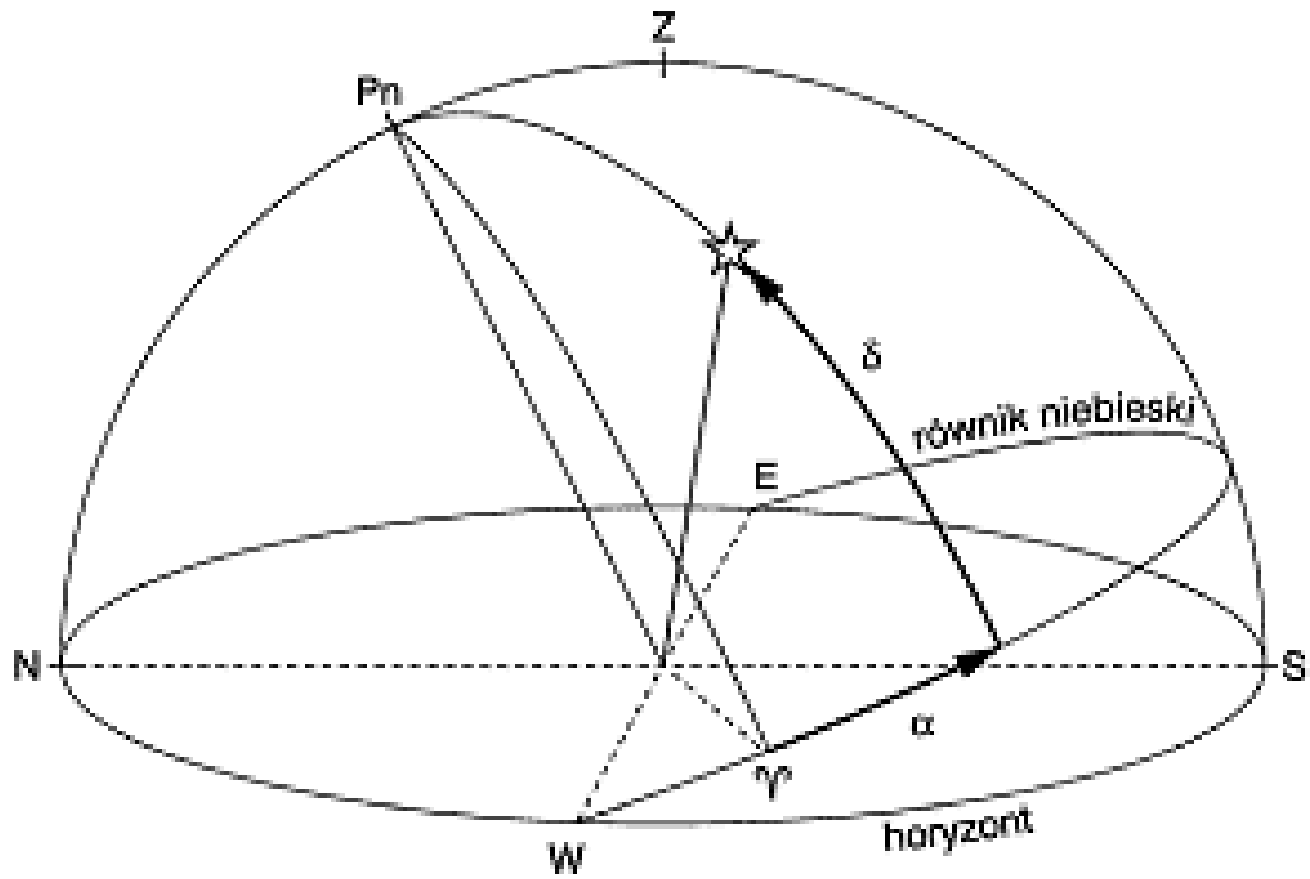
- sfera niebieska



- układy współrzędnych



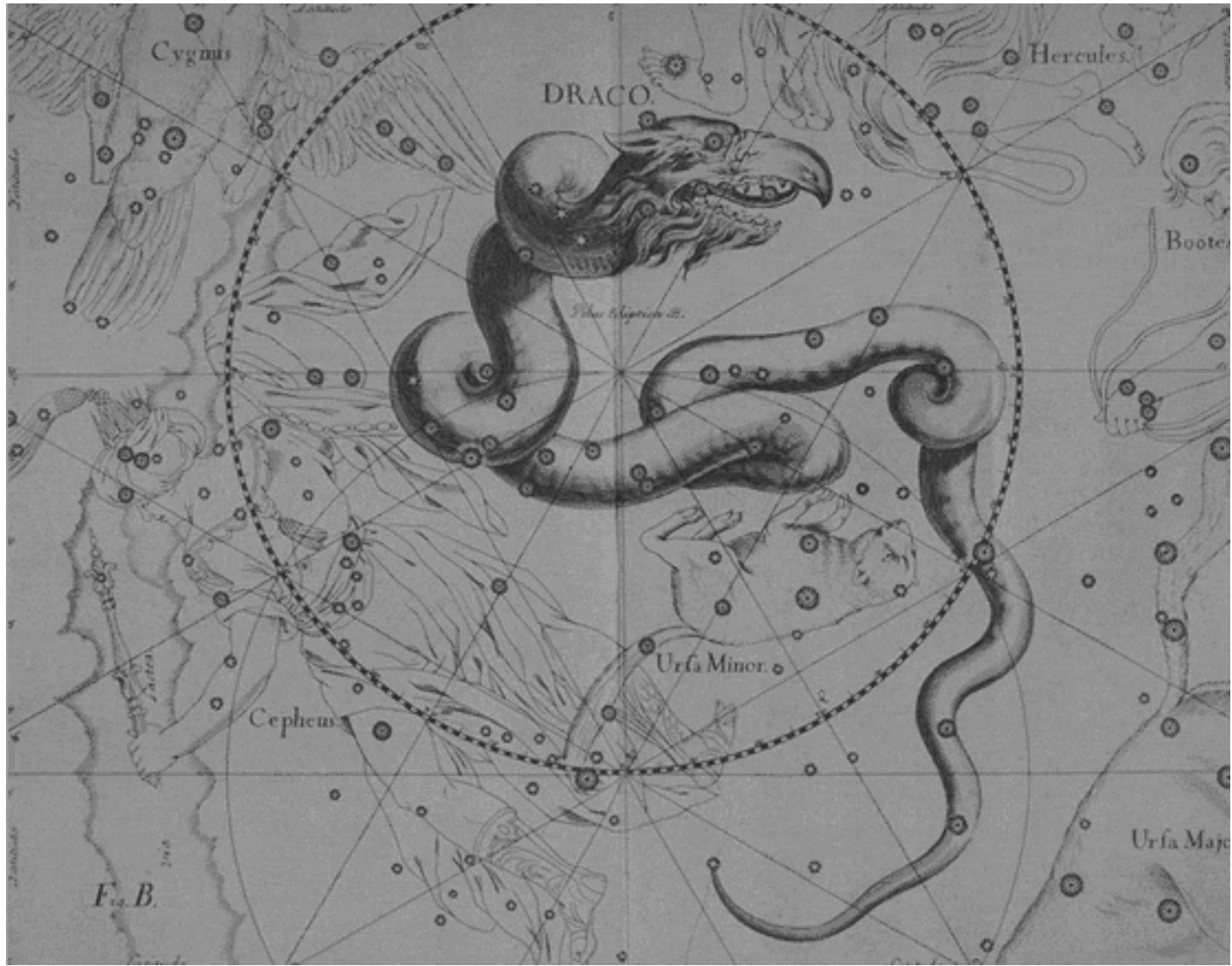
układ równikowy



- **orientacja na niebie**

gwiazdozbiory

- Aratos z Soloj (350–240 r. p.n.e.)
- Hipparch (190–125 r. p.n.e.)
- Ptolomeusz (100–168 r. n.e.)
- Jan Heveliusz (1611–1687)



nazwy gwiazd

katalogi

- Bonner Durchmusterung (1855) (BD) – 457 847 gwiazd
- Cordoba Durchmusterung (CoD) – 613 953 gwiazd
- Bright Star Catalogue (1908) (HR) – 9096 gwiazd
- General Catalogue (1936) (GC) – 33 342 gwiazd (typ widmowy, ruchy własne)

- Hipparcos (199x) – 118 218 gwiazd (paralaksy, ruchy własne)
- Guide Star Catalog (I: 1990, II: 2008) (GSC) – 945 592 683 gwiazd

- miary odległości

- Układ SI od 1966 r.

- Jednostka Astronomiczna: $1 \text{ AU} = 149\,597\,870\,691 \text{ m}$

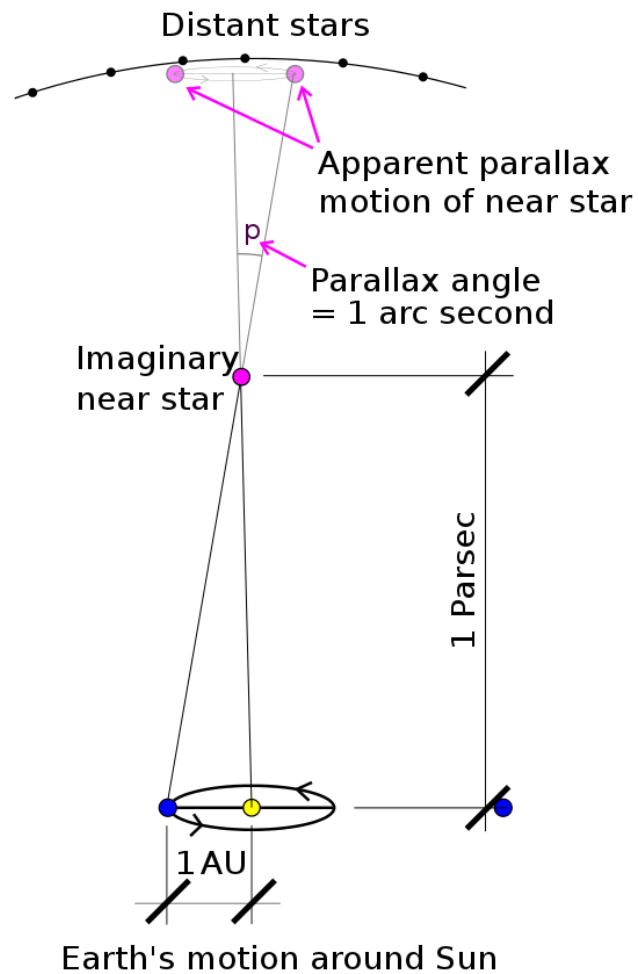
- Definition: An Astronomical Unit is approximately the mean distance between the Earth and the Sun. It is a derived constant and used to indicate distances within the solar system. Its formal definition is the radius of an unperturbed circular orbit a massless body would revolve about the sun in $2 \cdot (\pi) / k$ days (i.e., 365.2568983.... days), where k is defined as the Gaussian constant exactly equal to 0.01720209895. Since an AU is based on radius of a circular orbit, one AU is actually slightly less than the average distance between the Earth and the Sun (approximately 150 million km or 93 million miles).*

– parsek:

$$1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ AU}}{\text{tg } 1''} \simeq 3.085678 \times 10^{16} \text{ m}$$

– rok świetlny:

$$1 \text{ ly} = c \times 365.25 \text{ d} \simeq 9\,460\,730\,472\,580.8 \text{ km}$$



- **jasności ciał niebieskich**

- miara jasności – *wielkość gwiazdowa*

Klaudiusz Ptolomeusz II w n.e. – podział gwiazd na sześć grup

Norman Robert Pogson (1829–1891) – definicja wielkości gwiazdowej:

$$\frac{I_m}{I_{m+1}} = \text{const}$$

$$\frac{I_m}{I_{m+5}} = 100$$

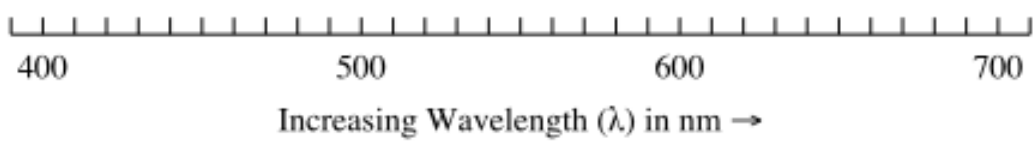
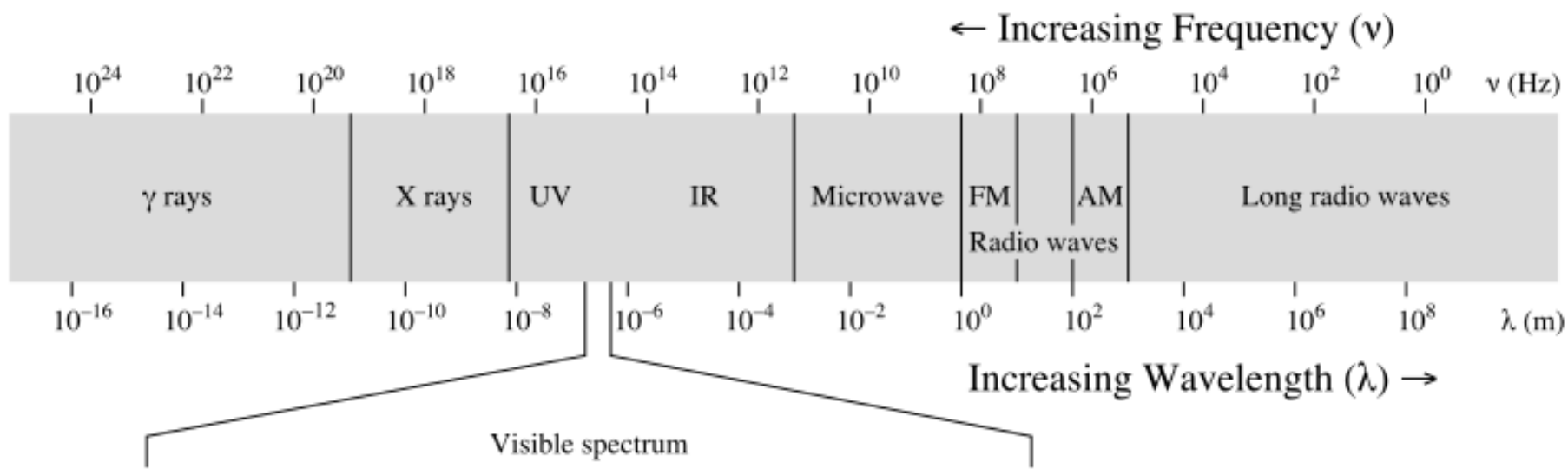
$$m - n = -2.5 \log \frac{I_m}{I_n}$$

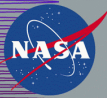
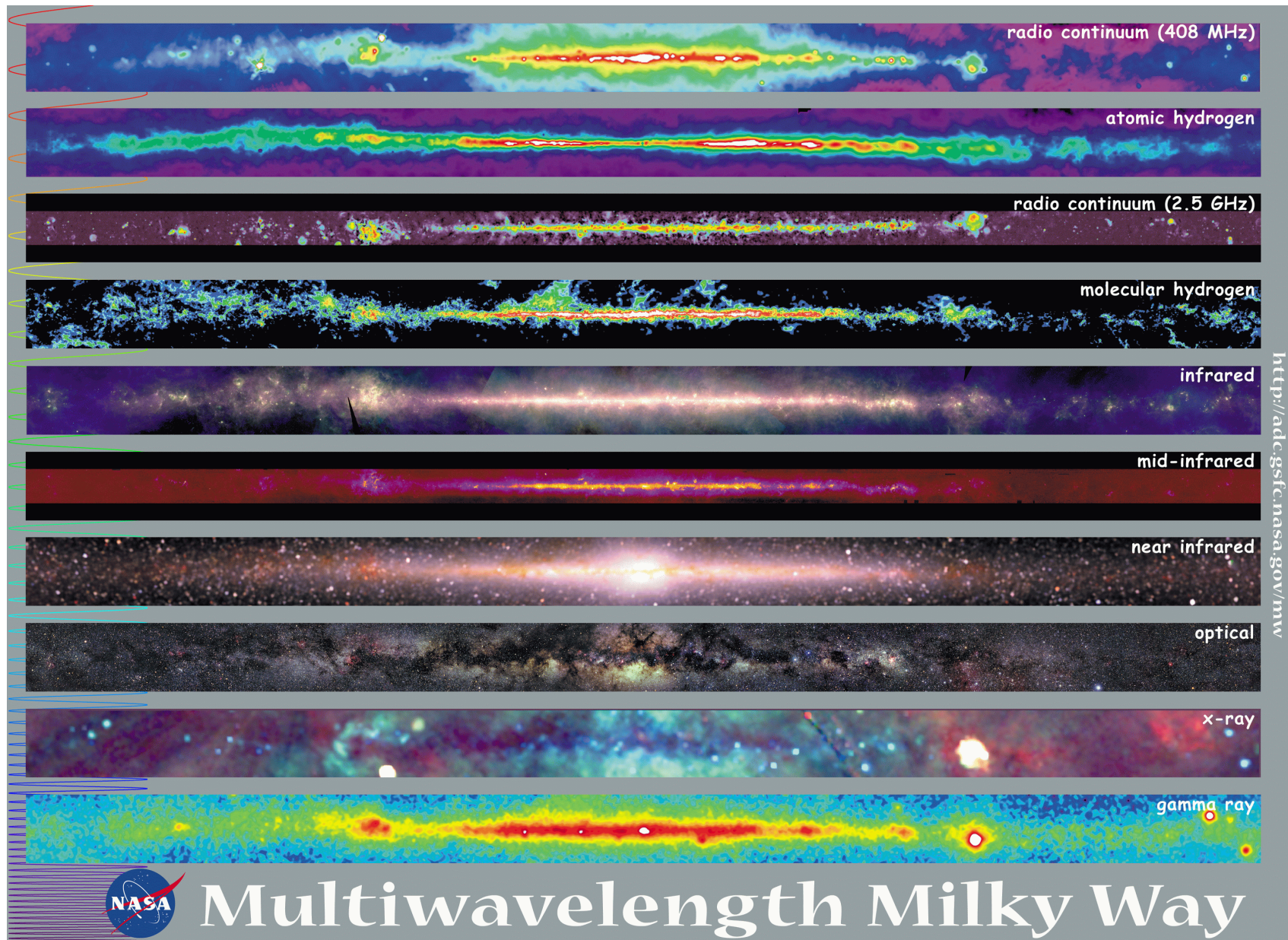
	[<i>m</i>]
Słońce	-26. ^{<i>m</i>} 8
Księżyc	-12. ^{<i>m</i>} 7
Wenus	-4. ^{<i>m</i>} 3
Jowisz	-2. ^{<i>m</i>} 1
Syriusz	-1. ^{<i>m</i>} 5
Wega	0. ^{<i>m</i>} 0
αUMi	2. ^{<i>m</i>} 0

- **obserwacje astronomiczne**

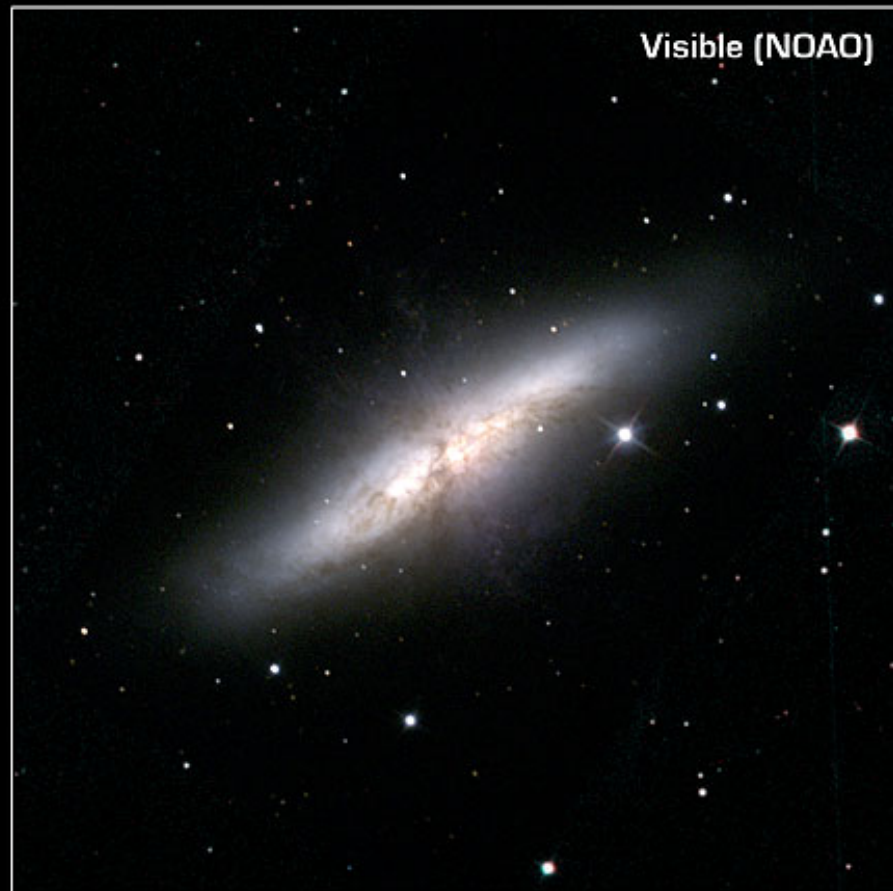
- podstawowym źródłem informacji jest obserwacja, na ogół obserwacja promieniowania elektromagnetycznego

- widmo elektromagnetyczne





Multiwavelength Milky Way



“Cigar” Galaxy M82

NASA / JPL-Caltech / C. Engelbracht (Steward Observatory) and the SINGS team

Spitzer Space Telescope • IRAC

ssc2006-09a

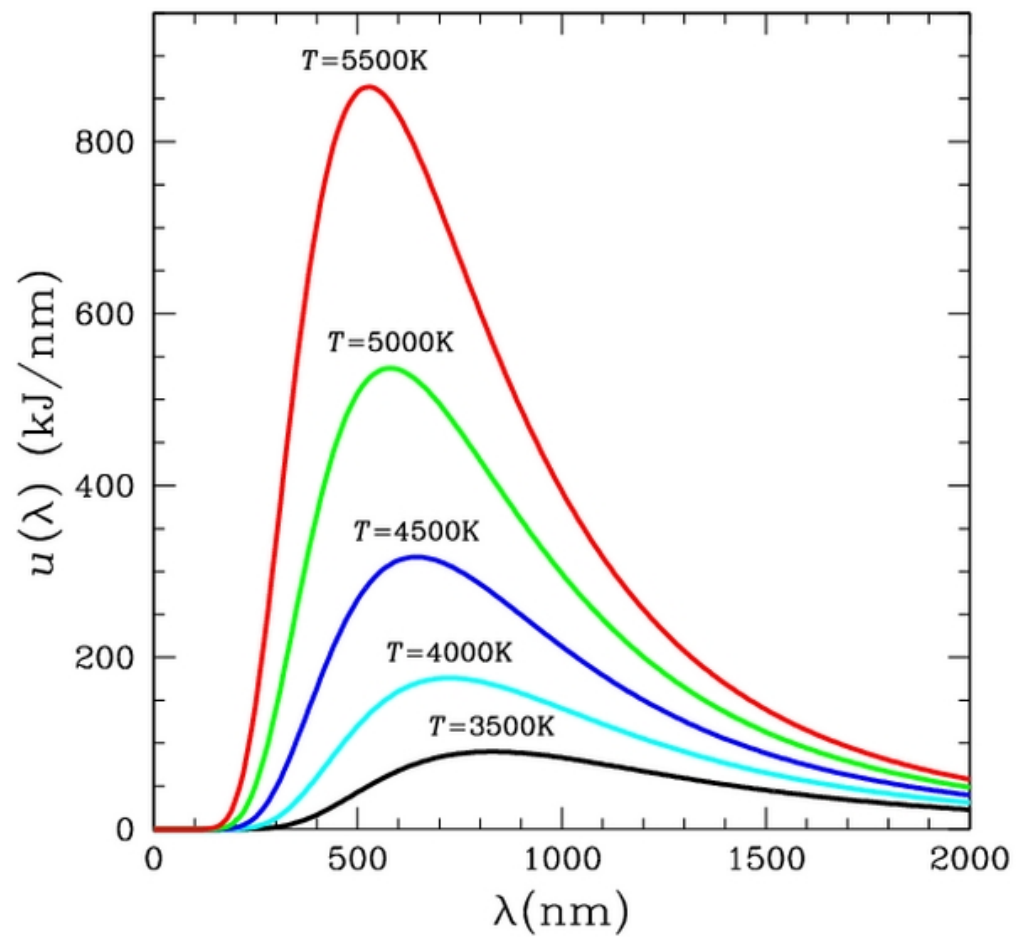
– promieniowanie ciała doskonale czarnego

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

$$h = 6.62606957 \times 10^{-34} \text{ J/s}$$

$$k = 1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$



– prawo Stefana-Bolzmannna

$$j = \sigma T^4$$

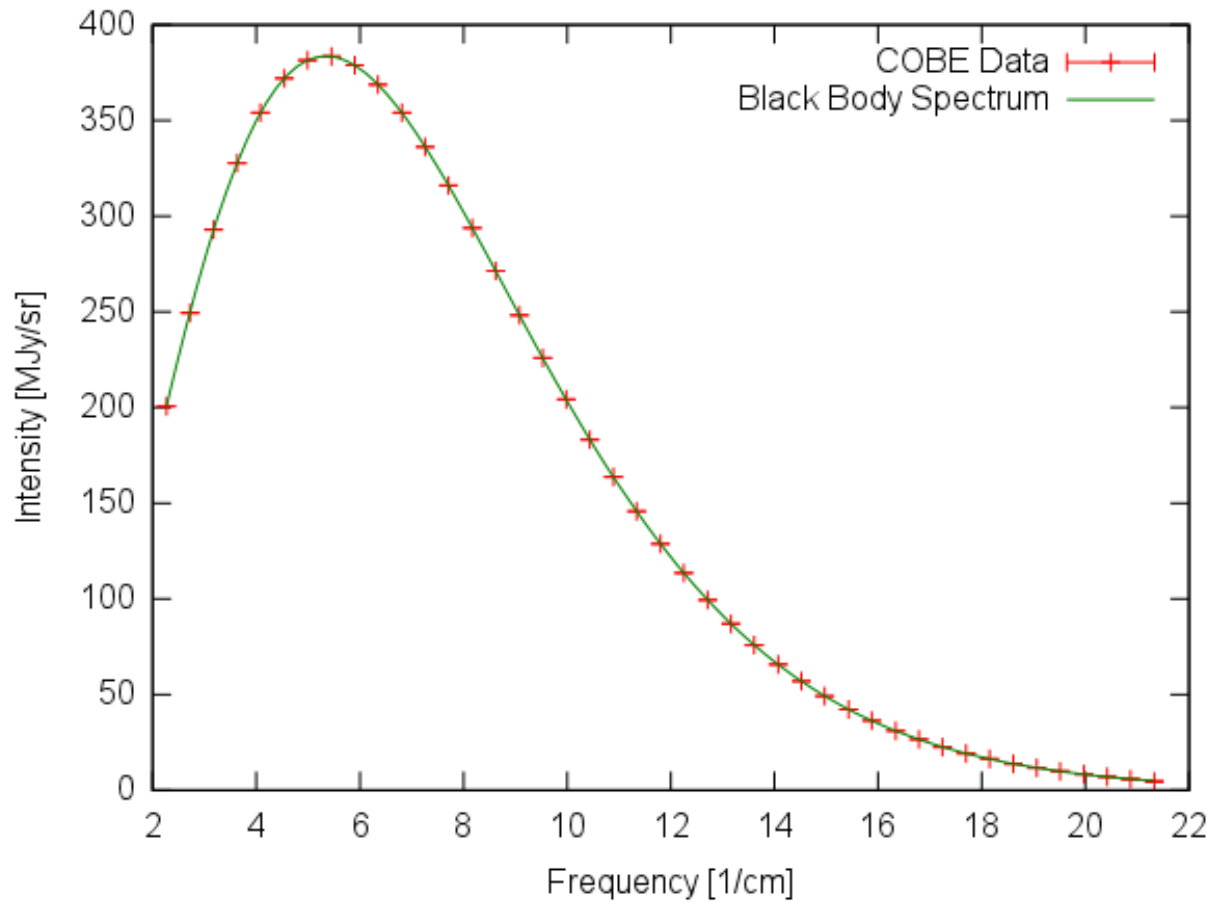
$$\sigma = 5.670373 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$$

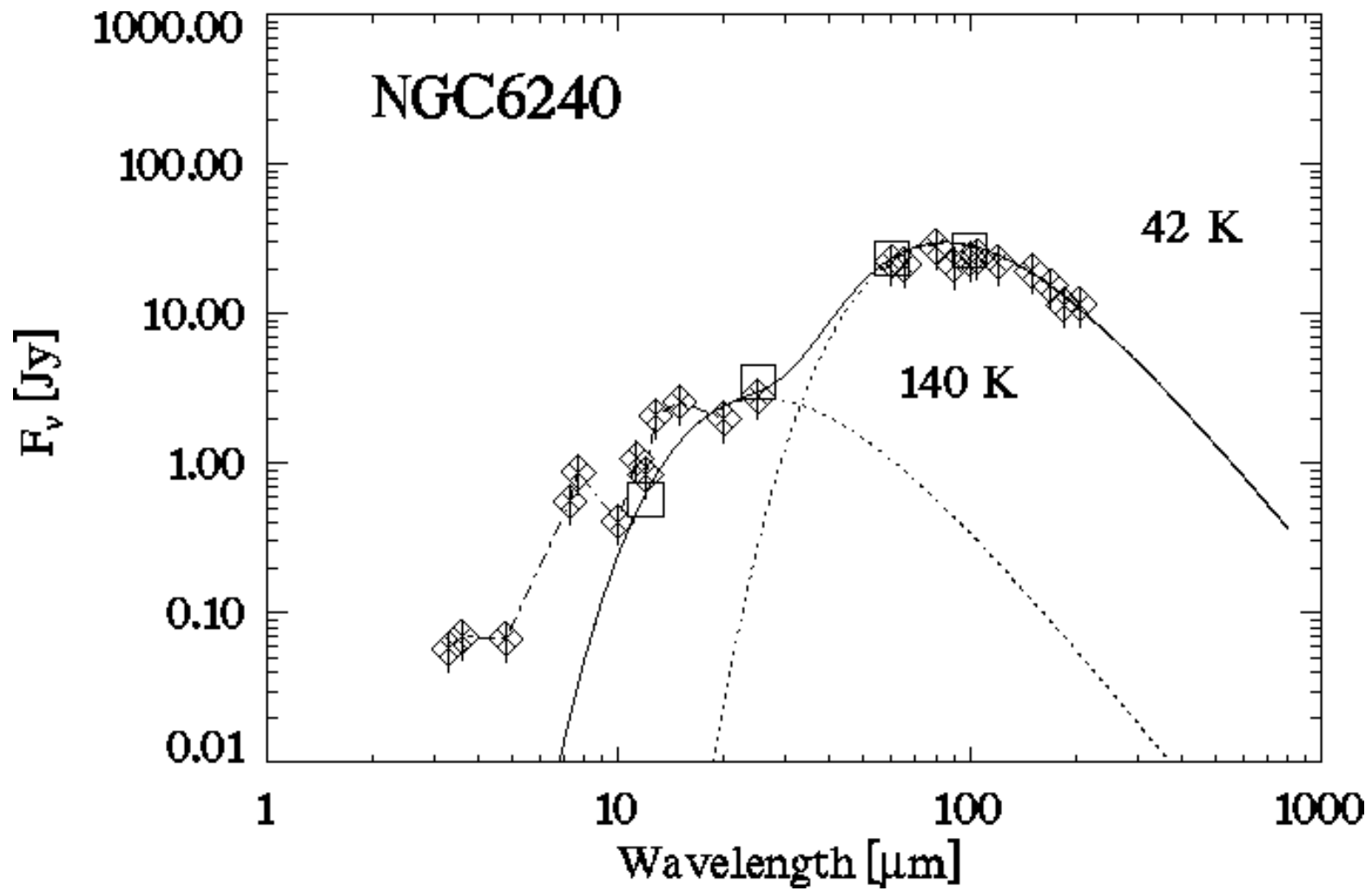
– prawo przesunięć Wiena

$$\lambda_{max} = b/T$$

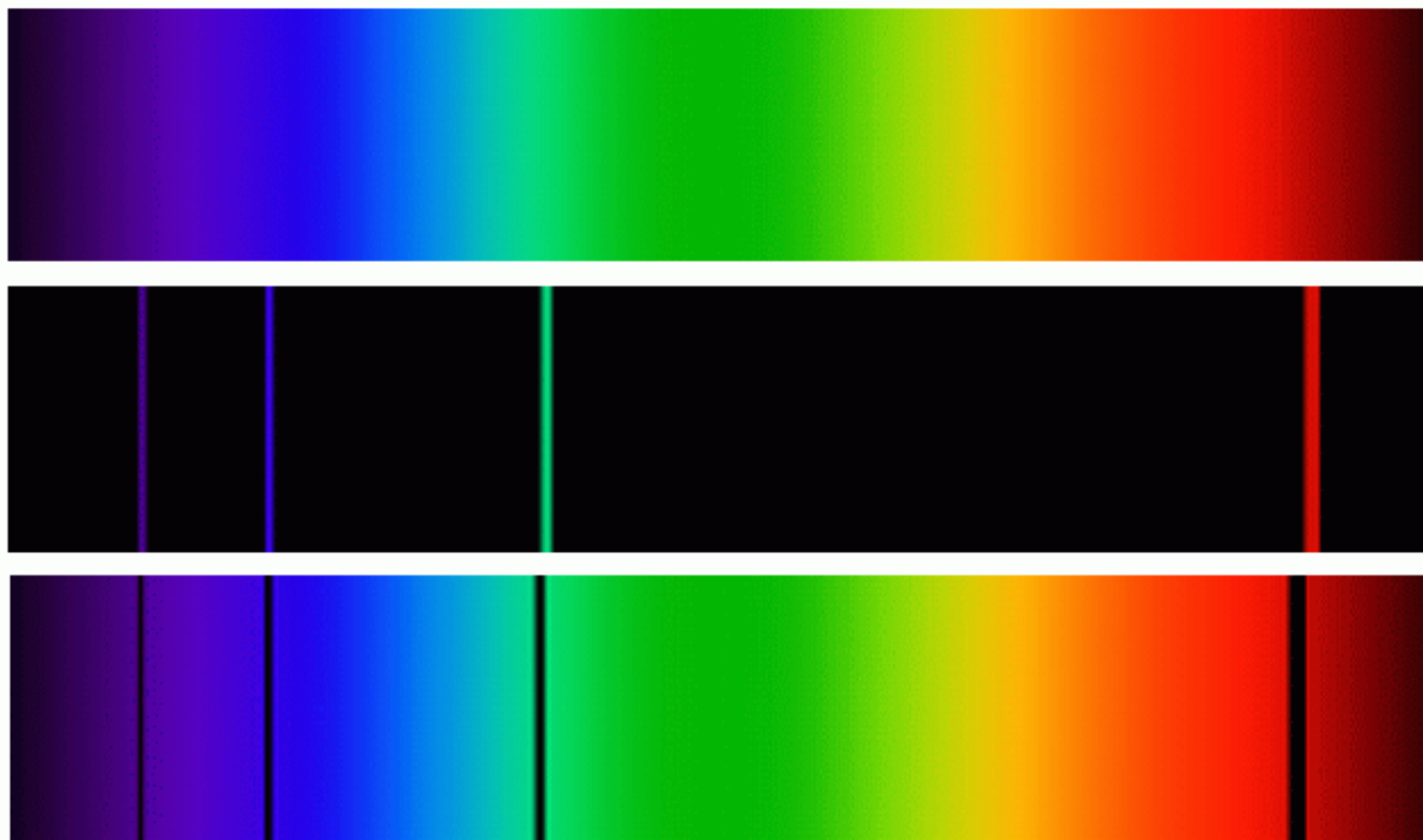
$$b = 2.8977721 \times 10^{-3} \text{ Km}$$

Cosmic Microwave Background Spectrum from COBE

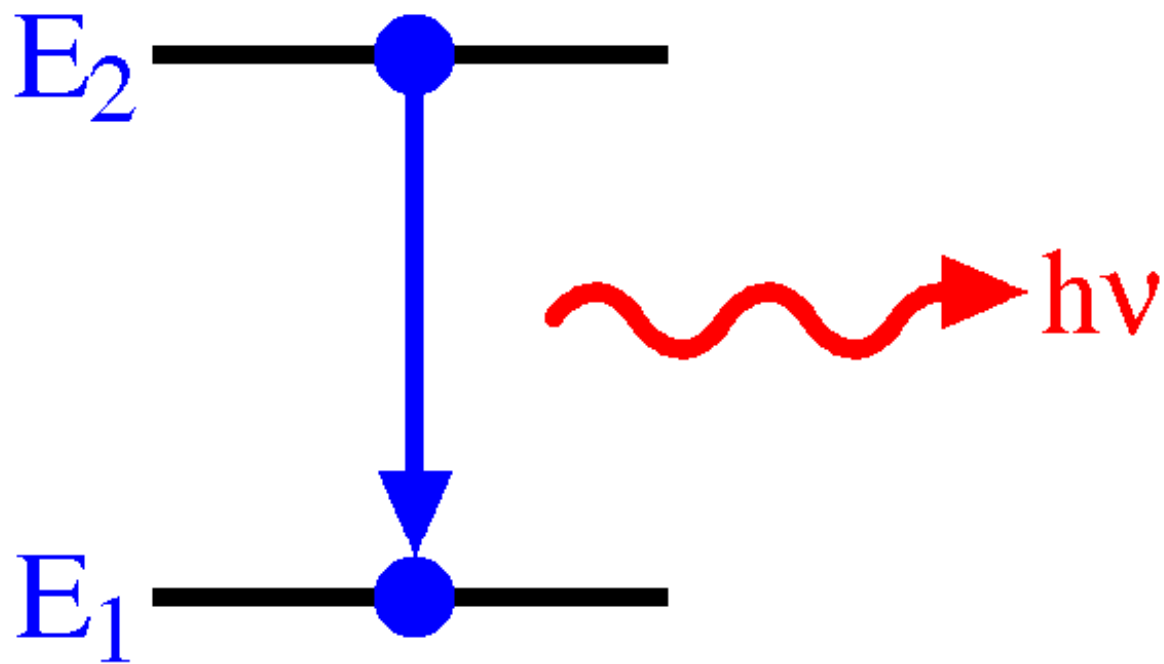




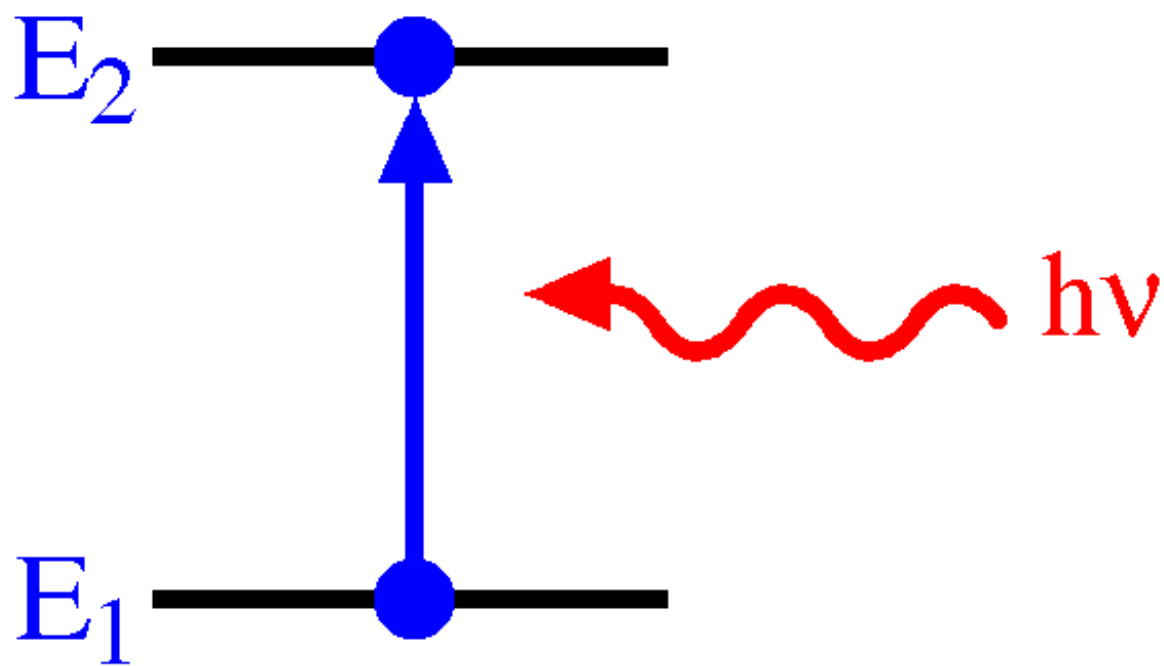
– linie widmowe



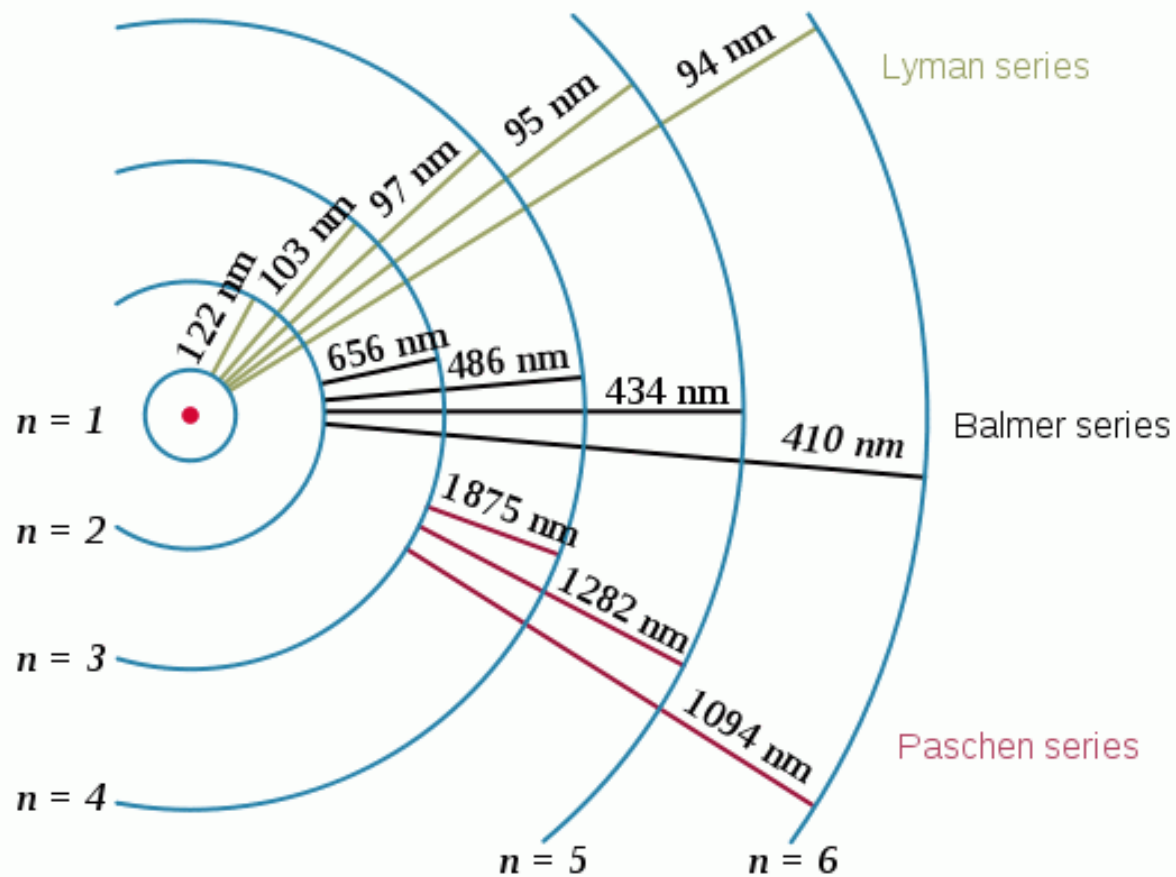
emisja fotonu



absorpcja fotonu



serie widmowe atomu wodoru



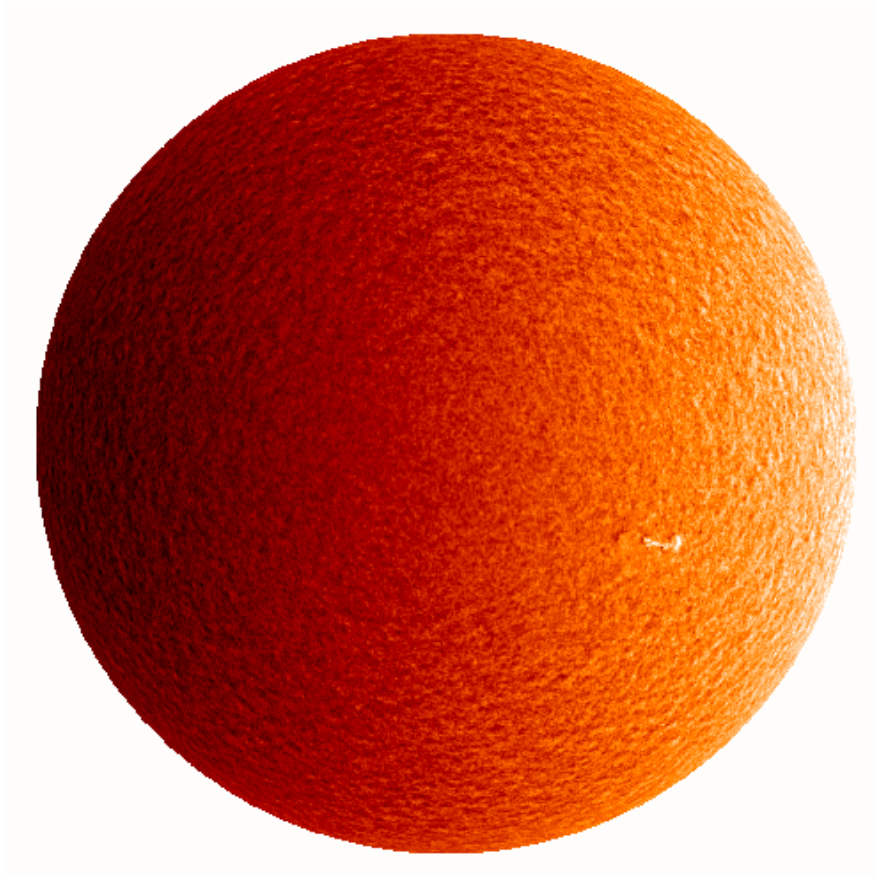
– zjawisko Dopplera

$$\nu \simeq \left(1 - \frac{\Delta v}{c}\right) \nu_0$$

$$\lambda \simeq \left(1 + \frac{\Delta v}{c}\right) \lambda_0$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \simeq \frac{\Delta v}{c}$$

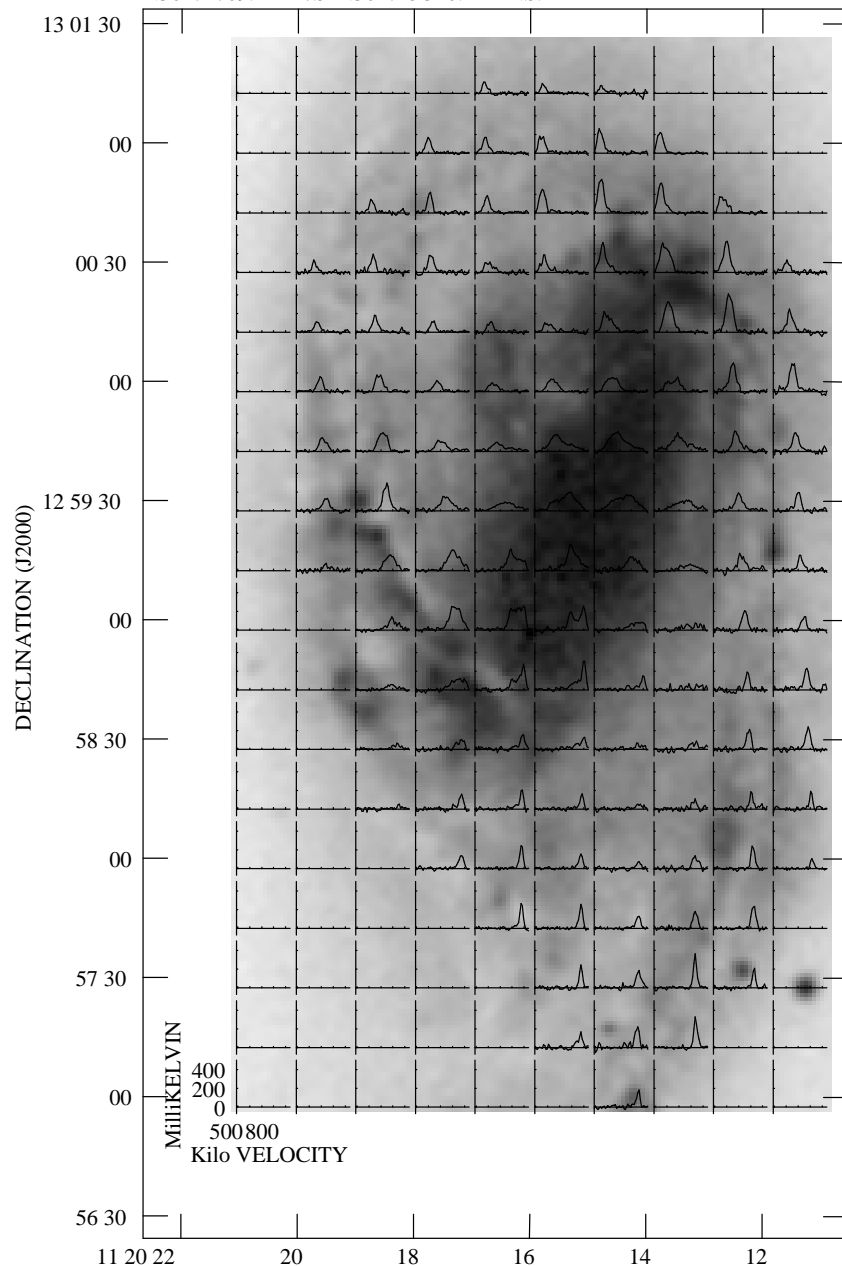
Full-disk Dopplergram
9 July 1996, 9:00:00



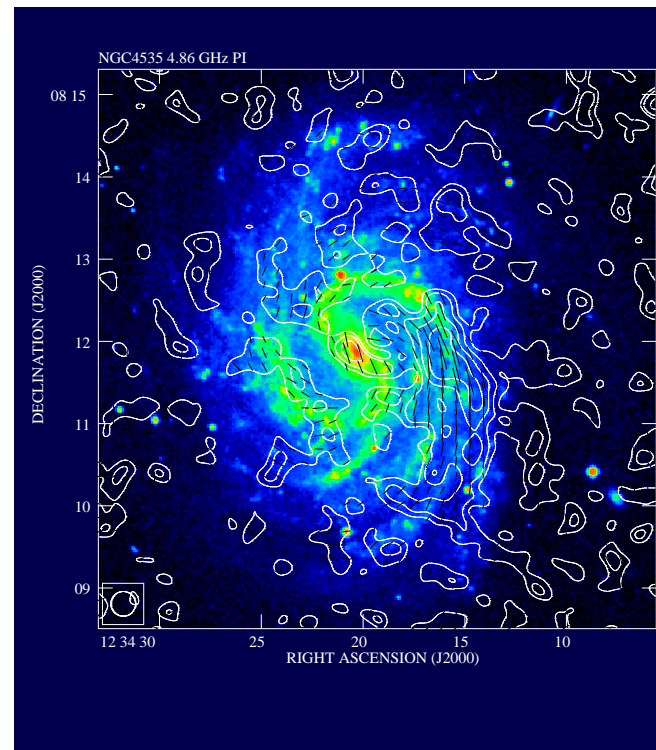
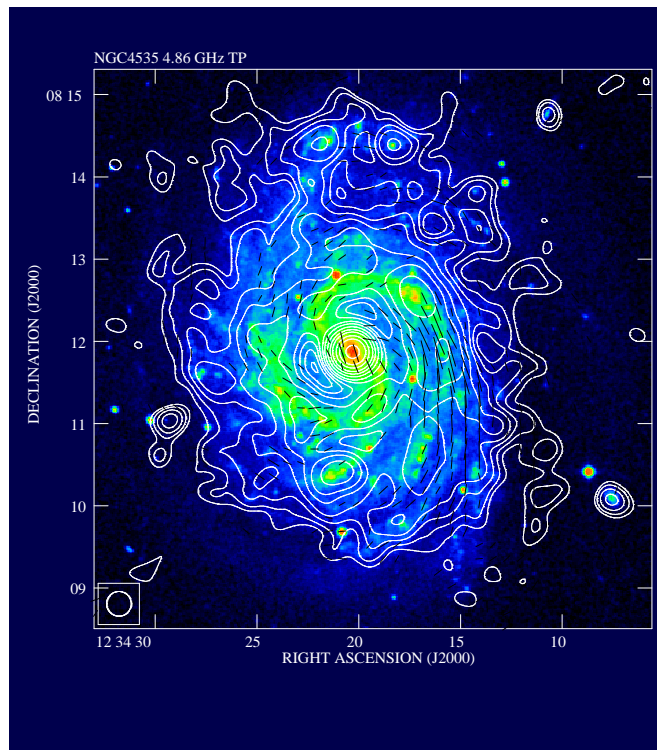
-2 -1 0 1 2

Velocity (km/s)

N3627 709.1 KM/S N3627 CO10.TRANS.1



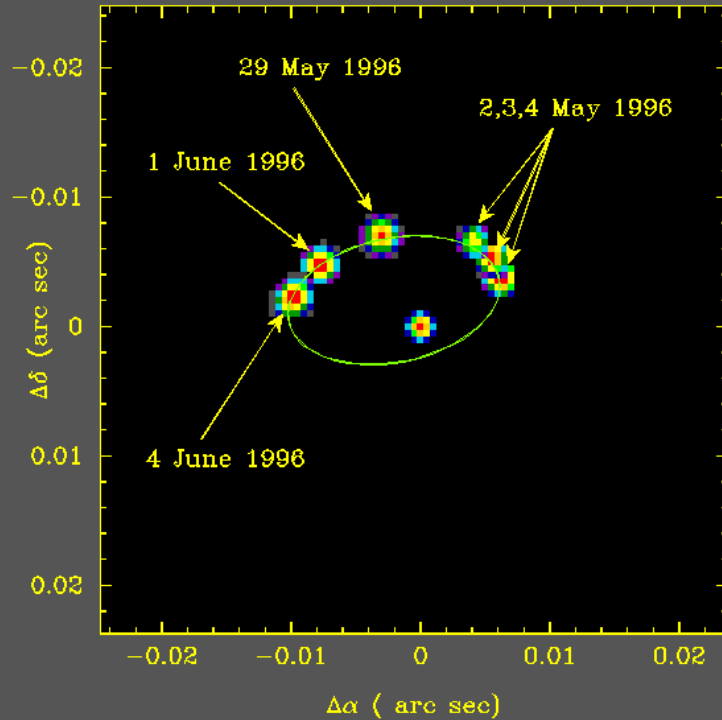
– polaryzacja



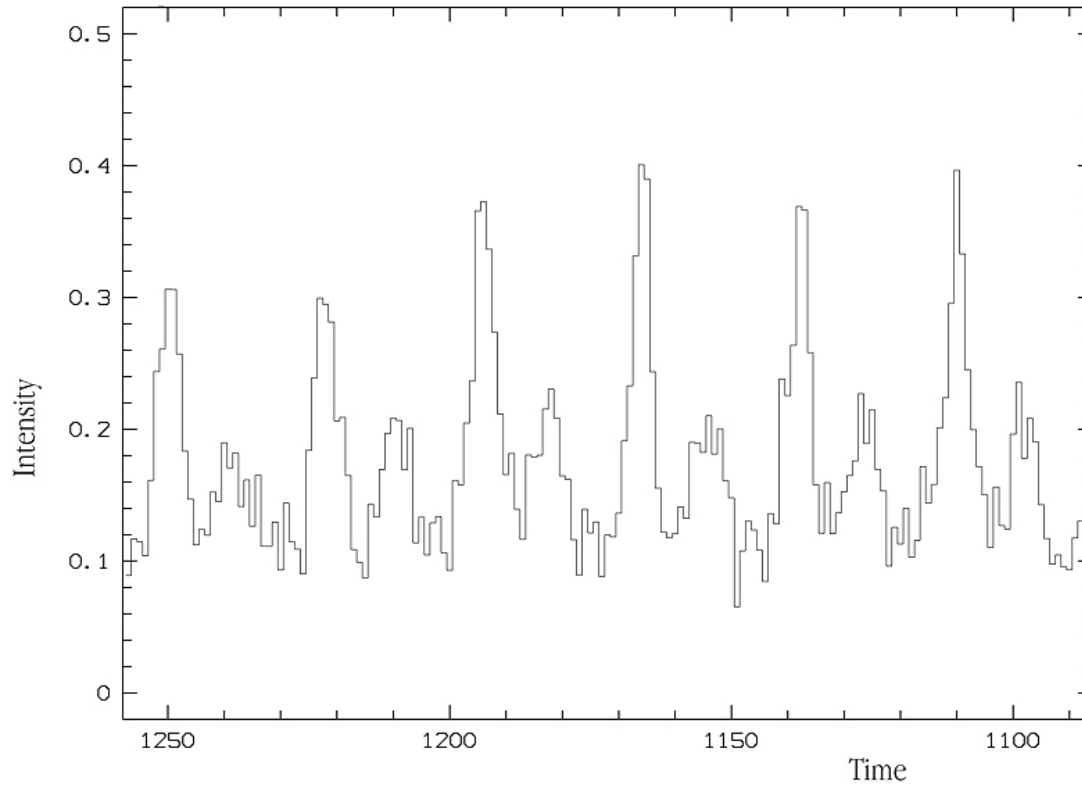
– zależność czasowa zjawisk

- pozycje:

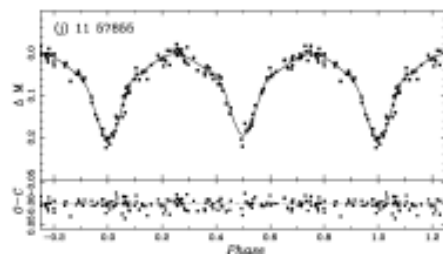
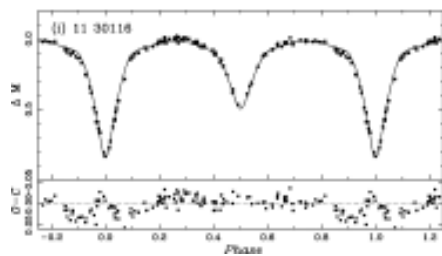
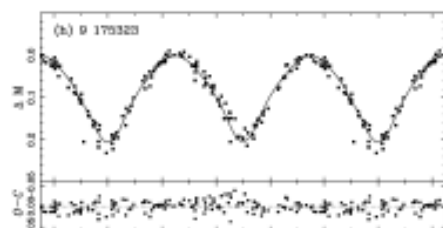
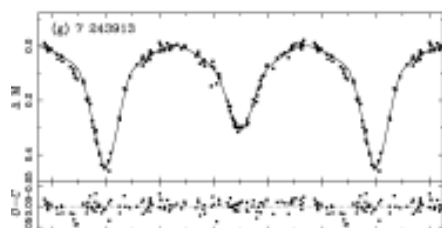
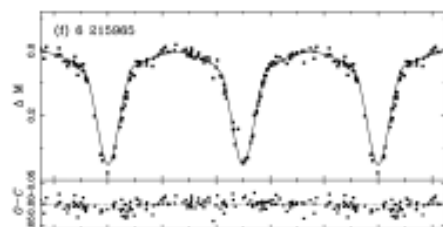
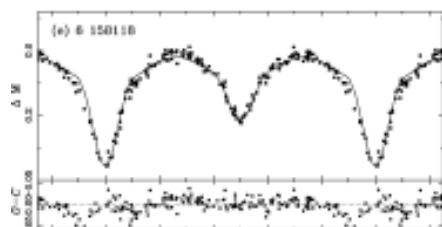
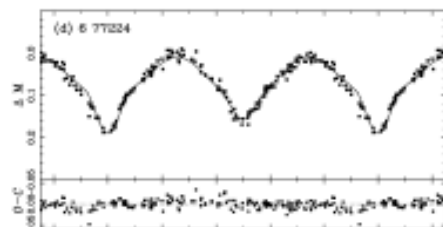
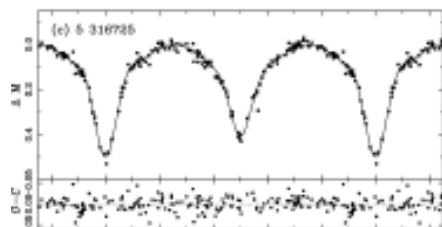
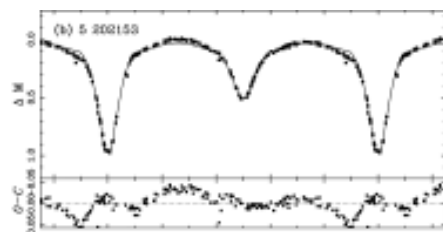
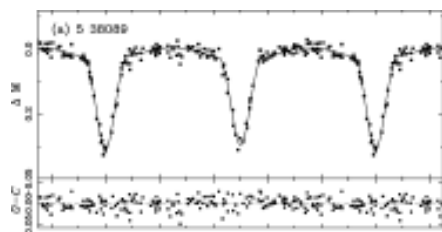
ξ^1 Ursae Majoris



- zmiany jasności:

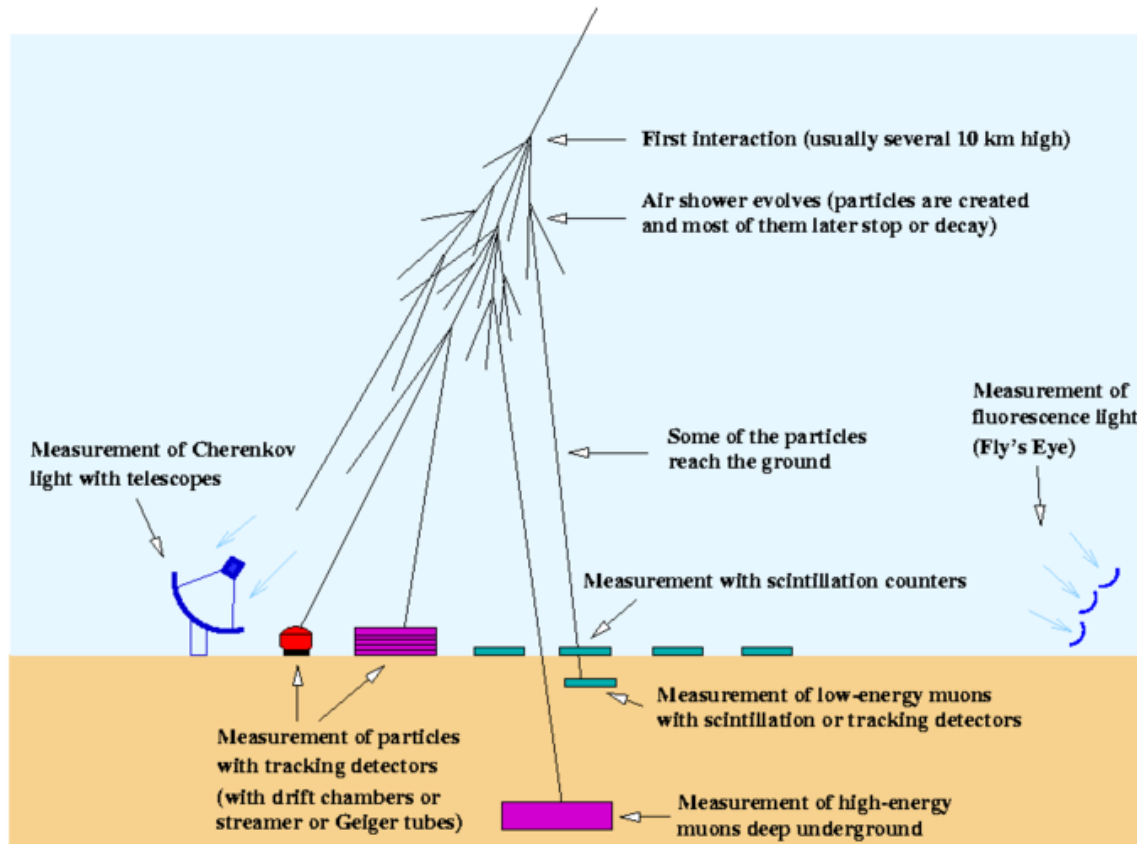


Lightcurve of Crab Pulsar (VLT KUEYEN + FORS2 + FIERA)



– promieniowanie korpuskularne

Measuring cosmic-ray and gamma-ray air showers



(C) 1999 K. Bernhöfer

- podsumowanie
 - emisja ciągła (kontinuum)
 - temperatura, jasność
 - linie emisyjne/absorpcyjne
 - skład chemiczny, prędkości radialne
 - emisja maserowa (laserowa)
 - polaryzacja
 - pola magnetyczne
 - zależność czasowa
 - masy, odległości, . . .

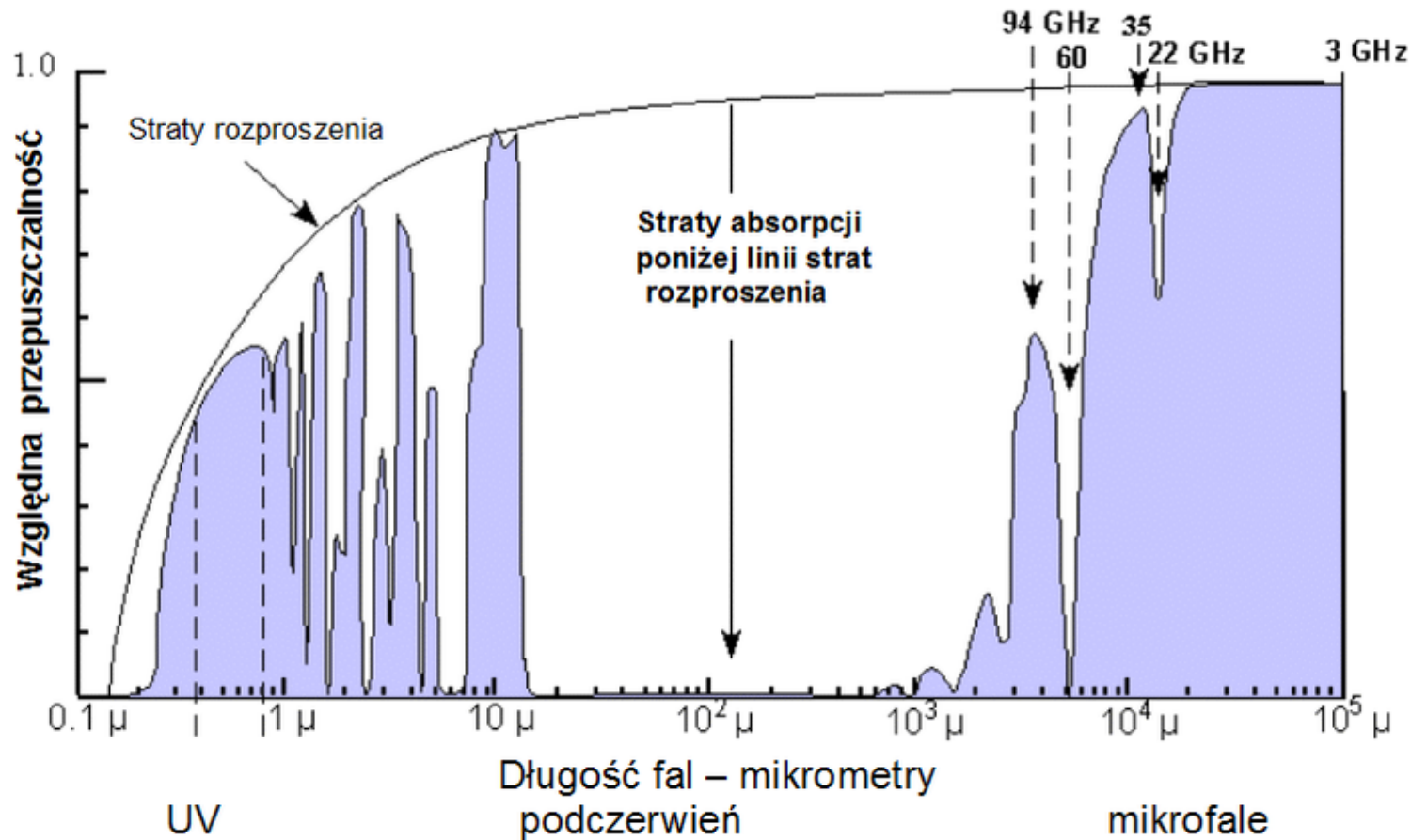


- atmosfera Ziemi



–ekstynkcja atmosferyczna

Oslabienie fal elektromagnetycznych przez atmosferę



masa powietrza (Rosenberg 1966):

$$X = \frac{1}{\cos z + 0.025e^{-11 \cos z}}$$

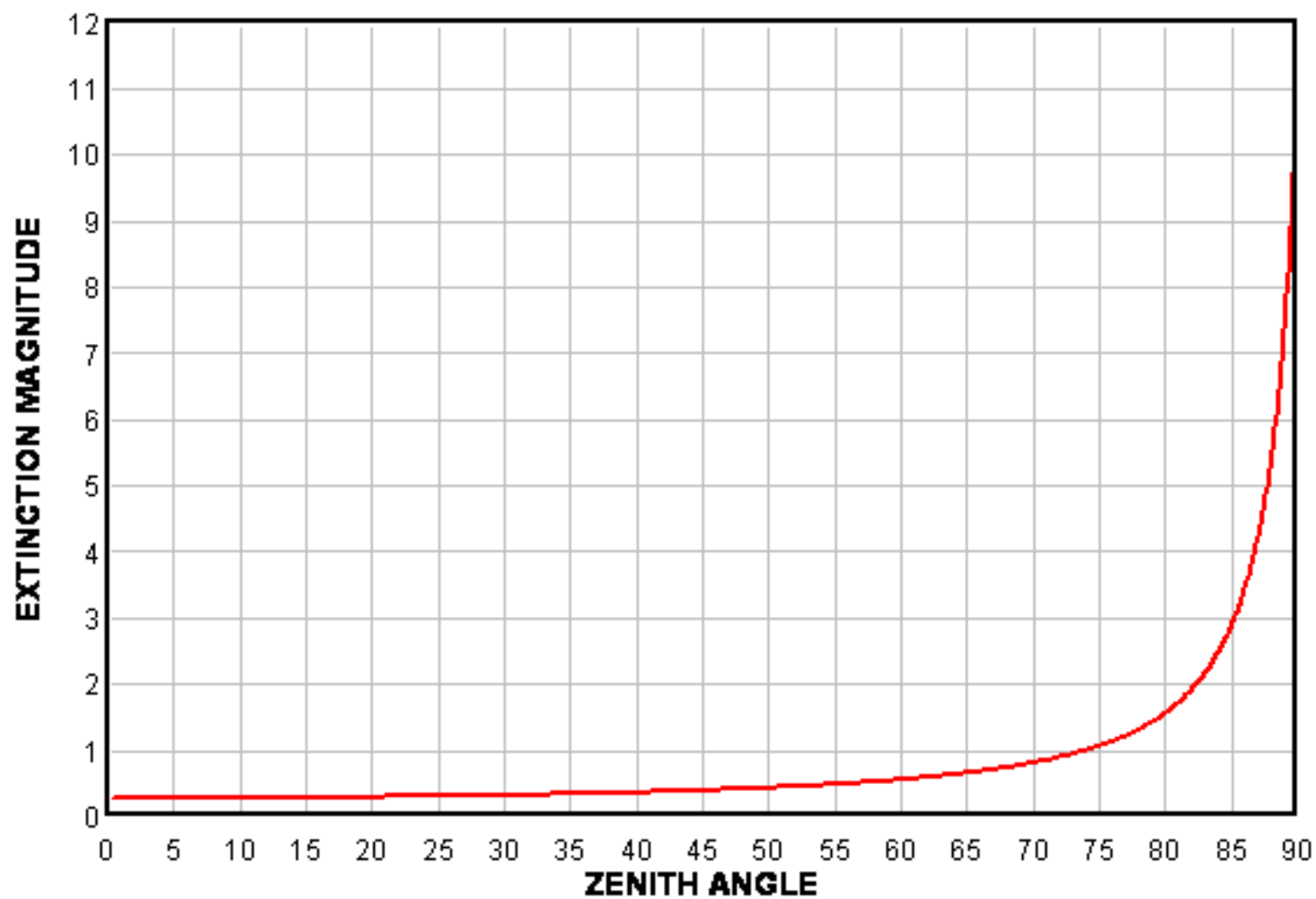
ekstynkcja (na poziomie morza):

$$A \simeq 0.28X$$

wys. n.p.m.	0	500	1000	2000
wsp. ekst.	0.28	0.24	0.21	0.16

zależne od długości fali, ciśnienia, wilgotności, itp.

AVERAGE ATMOSPHERIC EXTINCTION



–refrakcja

$$r \simeq k \operatorname{tg} z$$

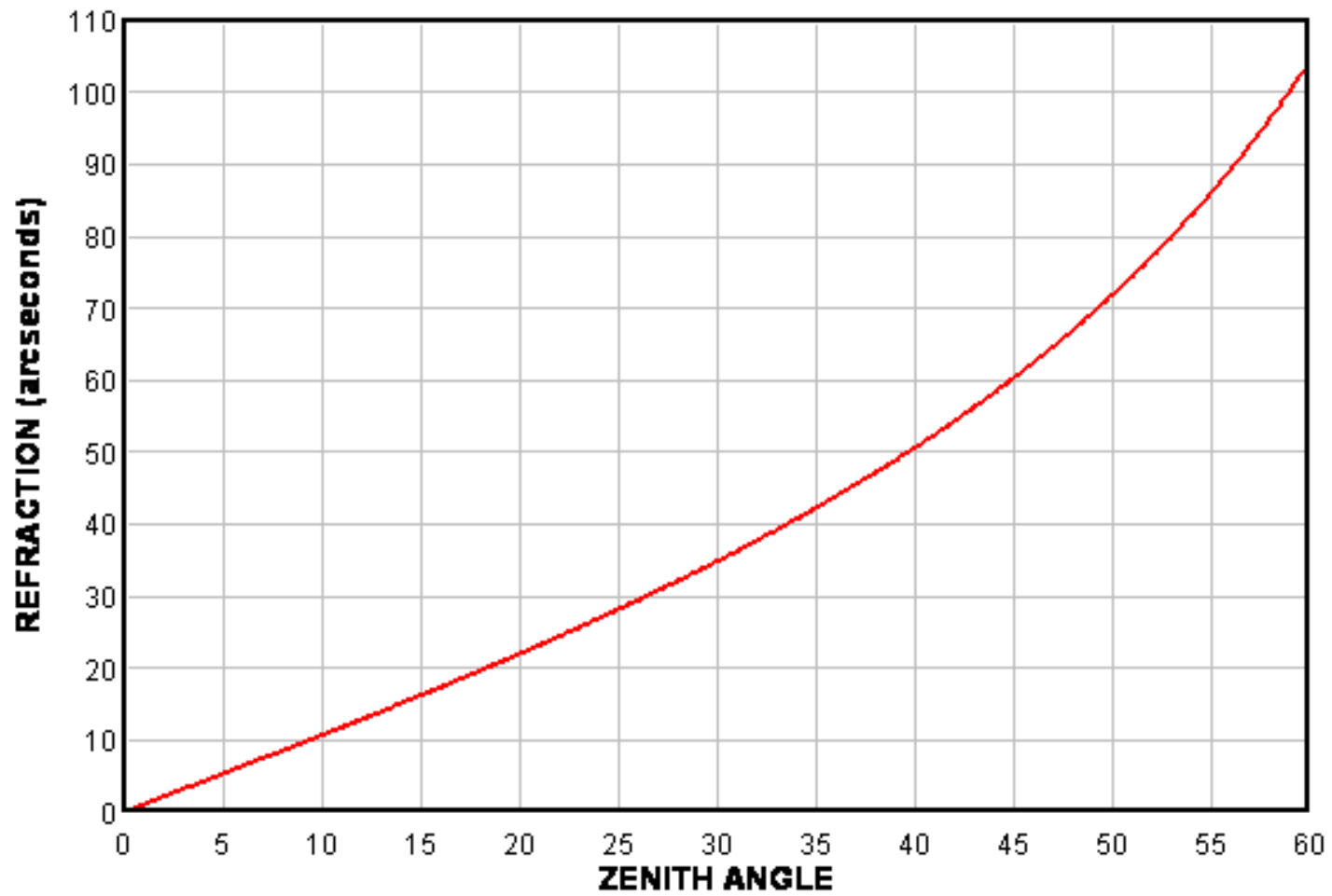
na poziomie morza, w warunkach normalnych:

λ [nm].	400	500	600	700
k	60''4	57''8	57''4	57''2

ok. 20% mniej na 2 km n.p.m.

$$\begin{array}{l} \text{Bennet (1982)} \\ r = \operatorname{ctg} \left(h_a + \frac{7.31}{h_a + 4.4} \right) \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Sæmundsson (1986)} \\ r = 1.02 \operatorname{ctg} \left(h + \frac{10.3}{h + 5.11} \right) \end{array}$$

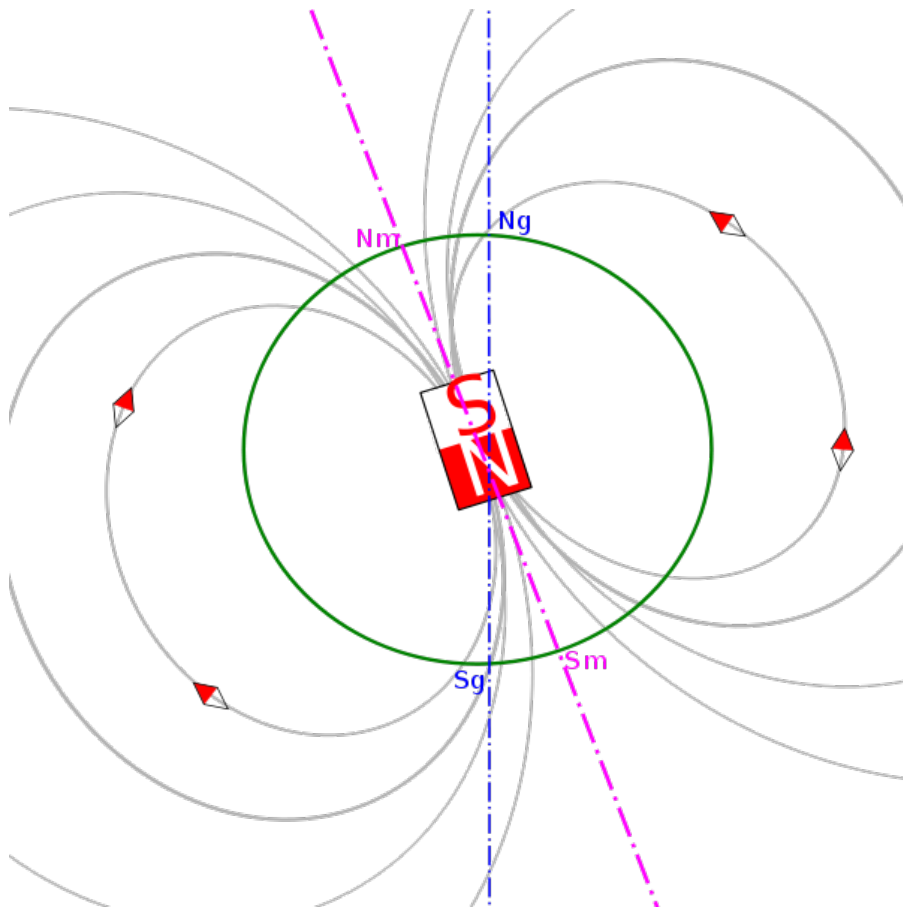
AVERAGE ATMOSPHERIC REFRACTION



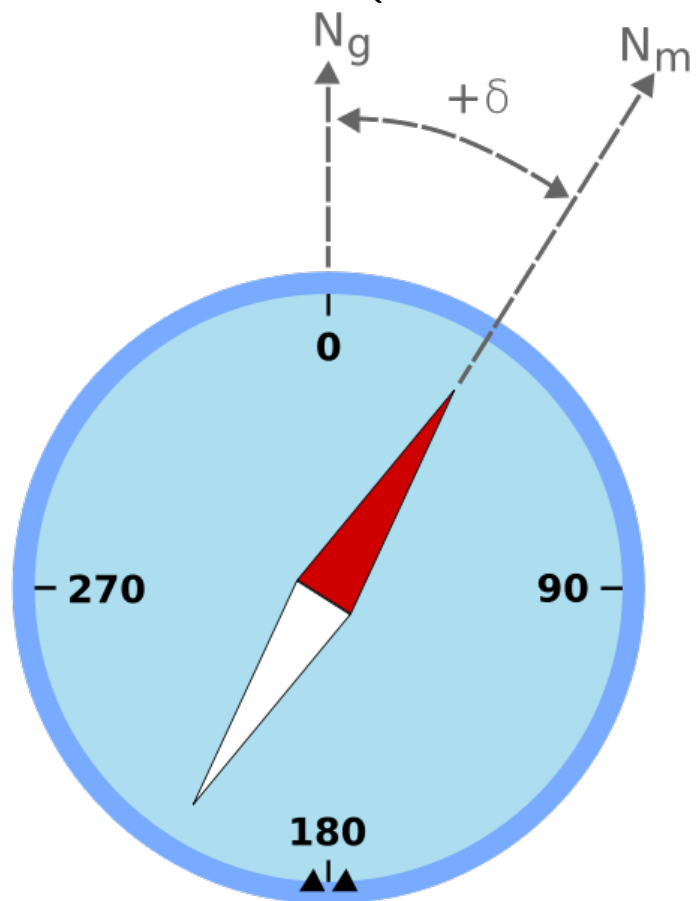


z	2°	1°	0°
r	18'.4	24'.75	35'.35

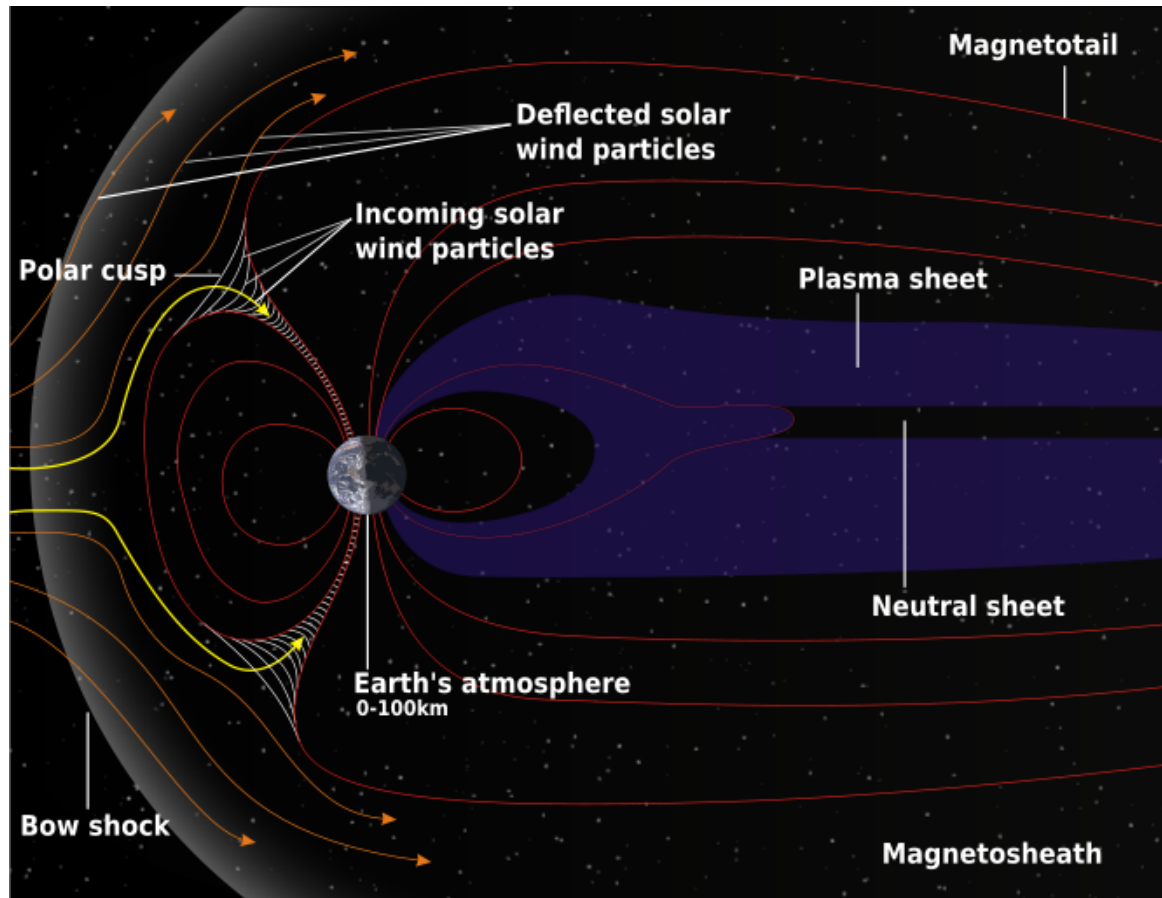
–magnetyzm Ziemi



- inklinacja
- deklinacja (ok. $+4^\circ$ w pd. Polsce)



– magnetosfera Ziemi

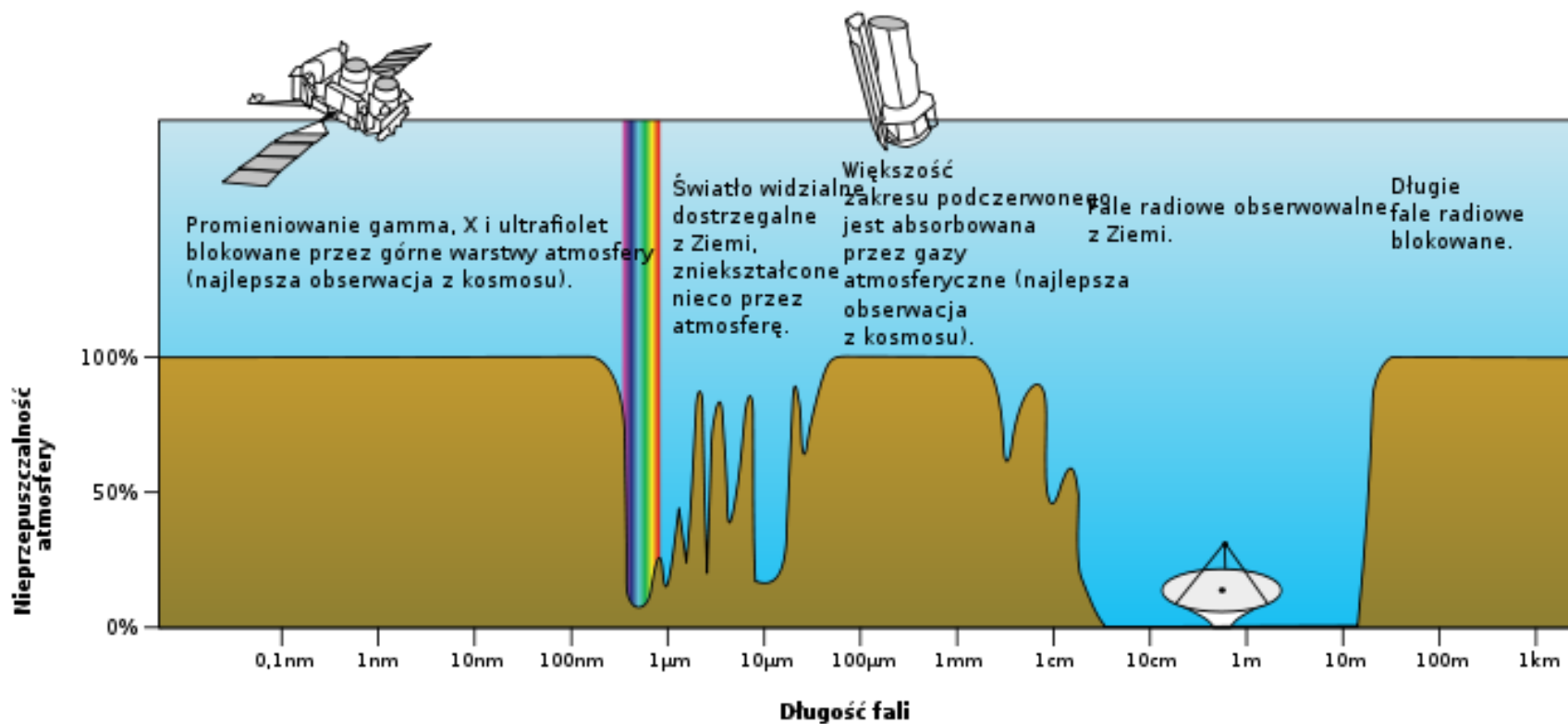


- zanieczyszczenie atmosfery

- pył,
- para wodna,
- światło
- seeing

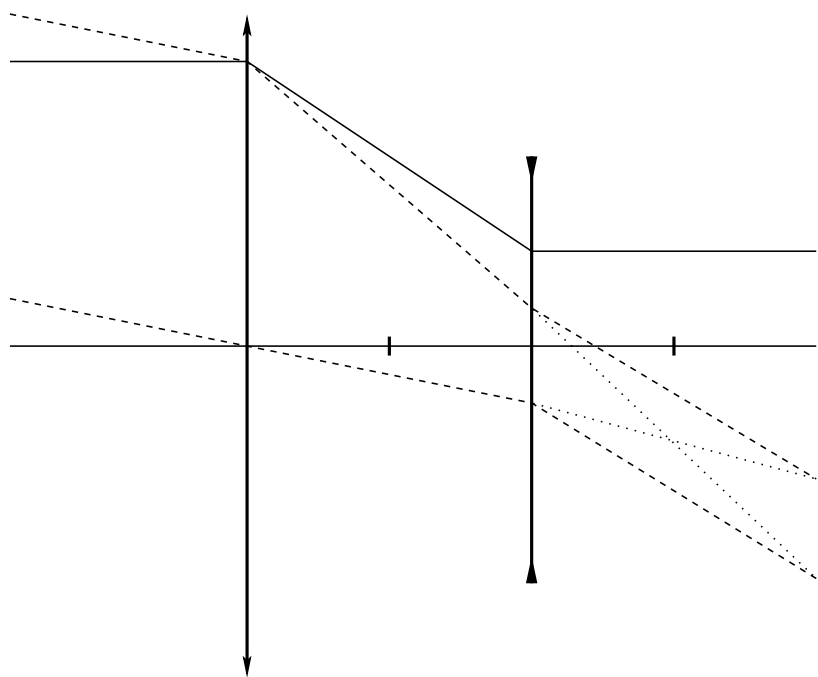
- instrumenty astronomiczne

–okna atmosferyczne

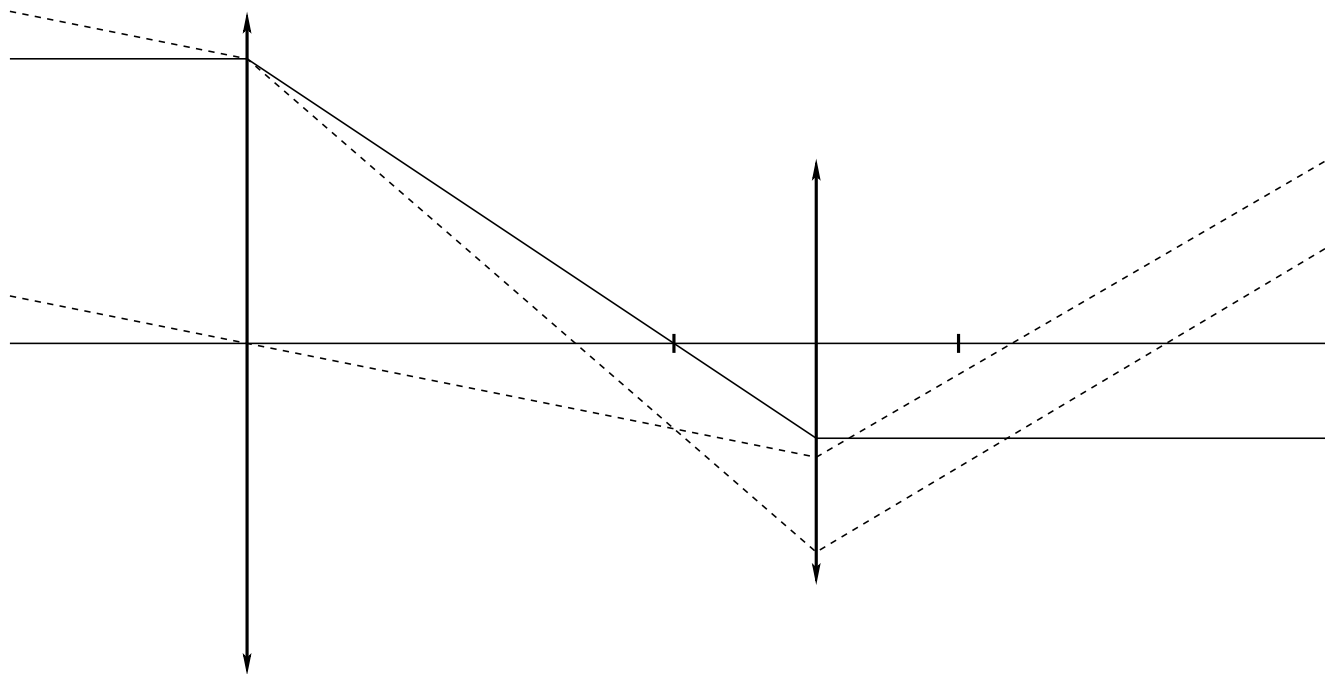


–lunety, teleskopy

Luneta Galileusza

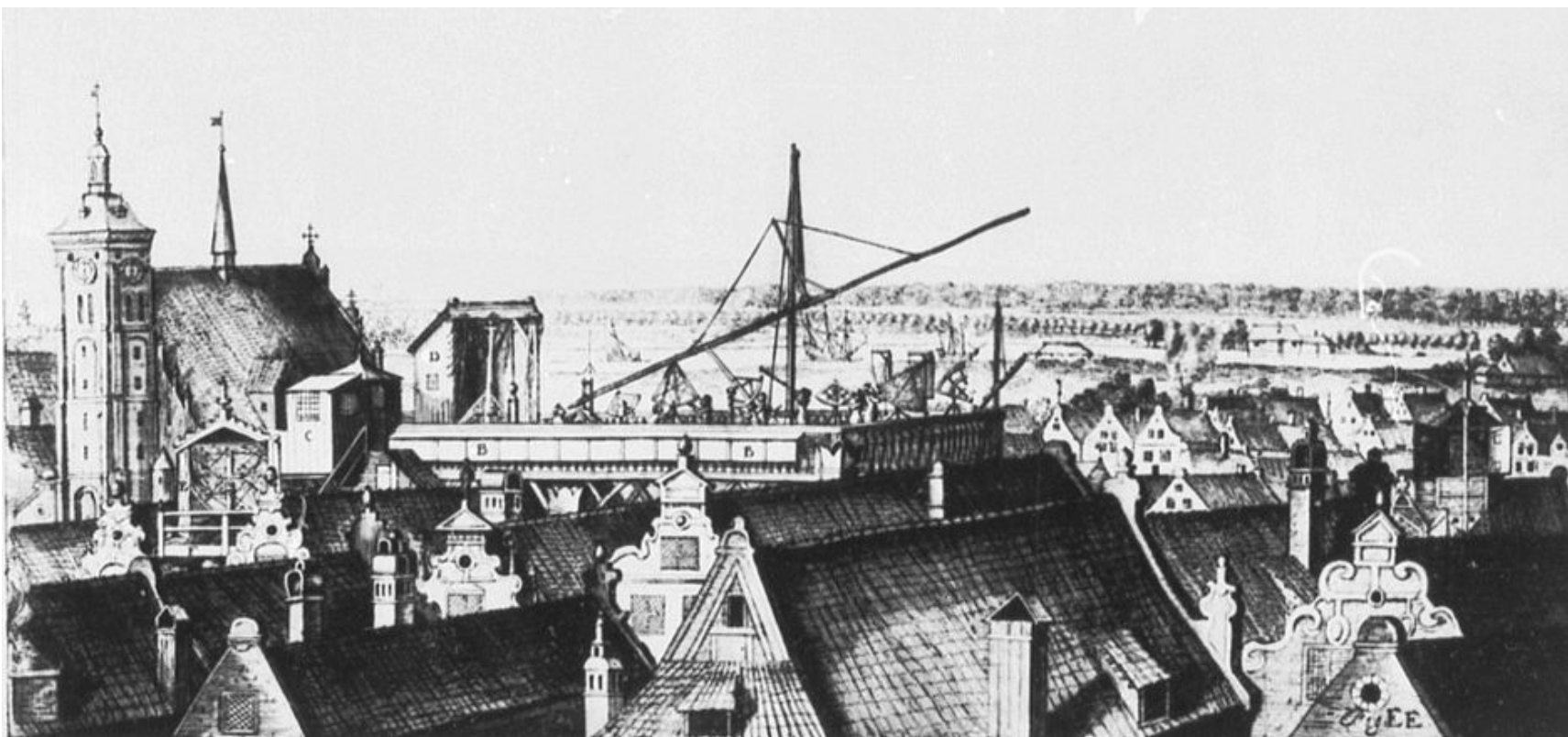


Luneta Keplera



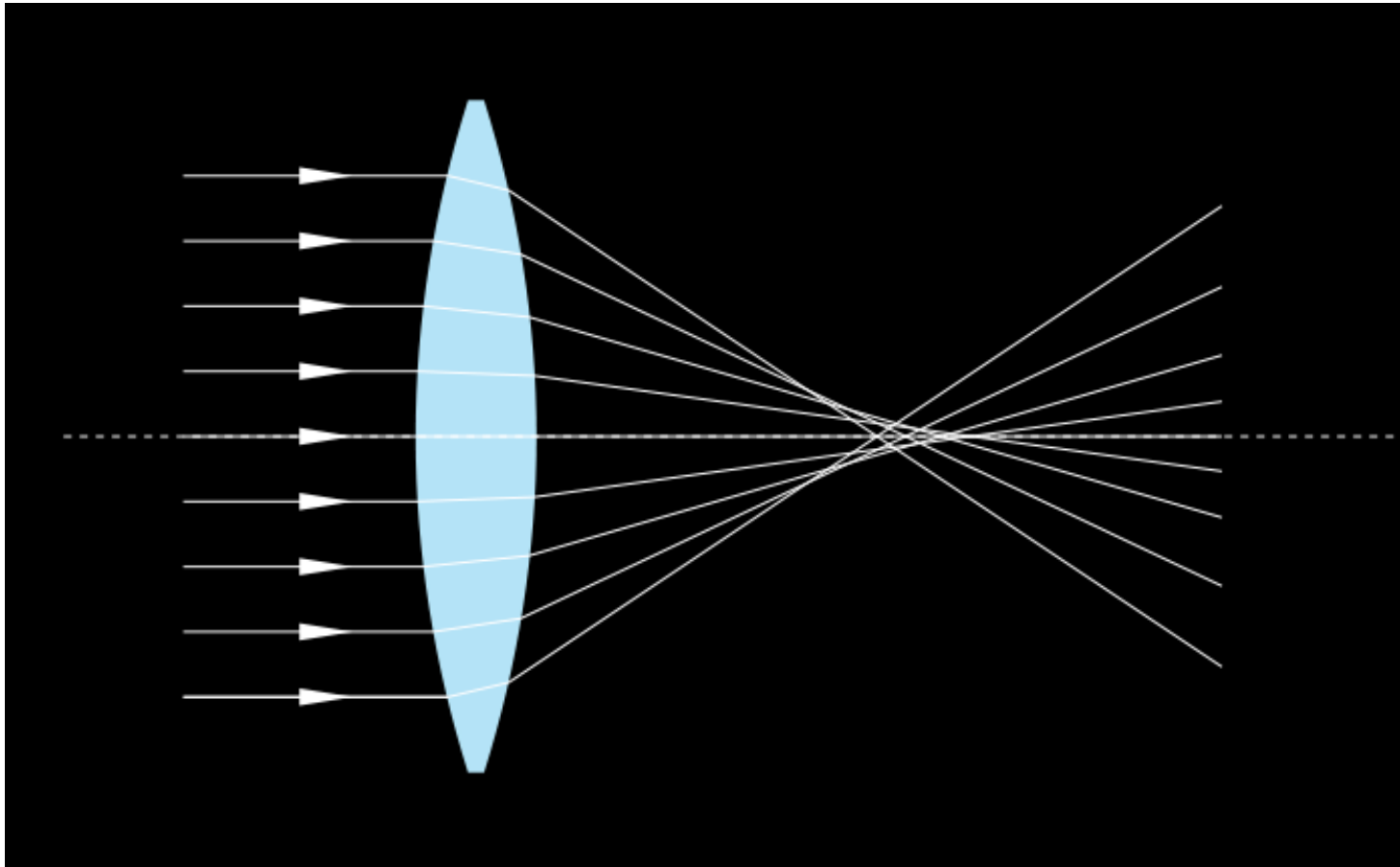
Powiększenie: $p = f_{ob}/f_{ok}$

Obserwatorium Heweliusza (1640):

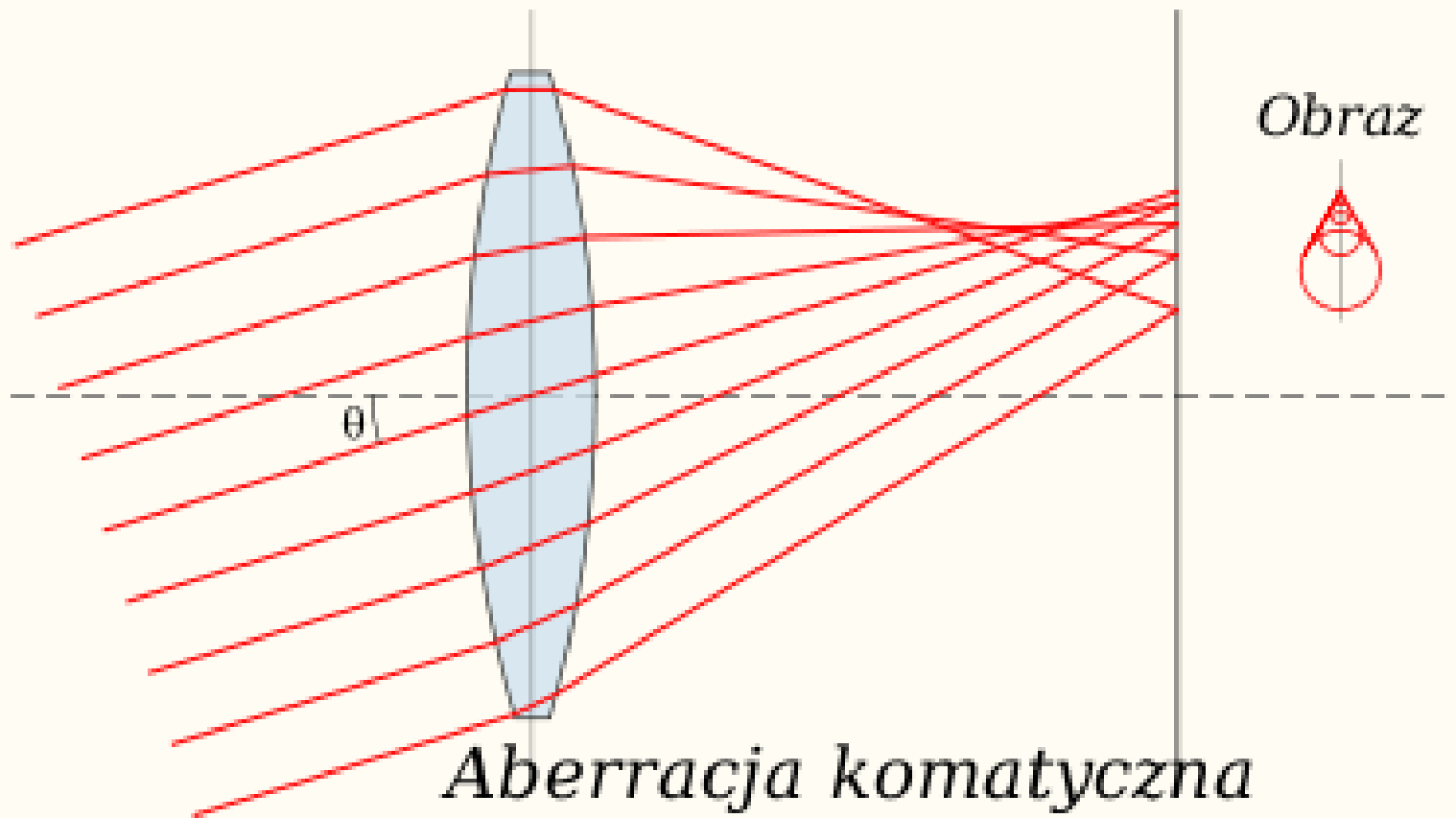


- aberracje optyczne

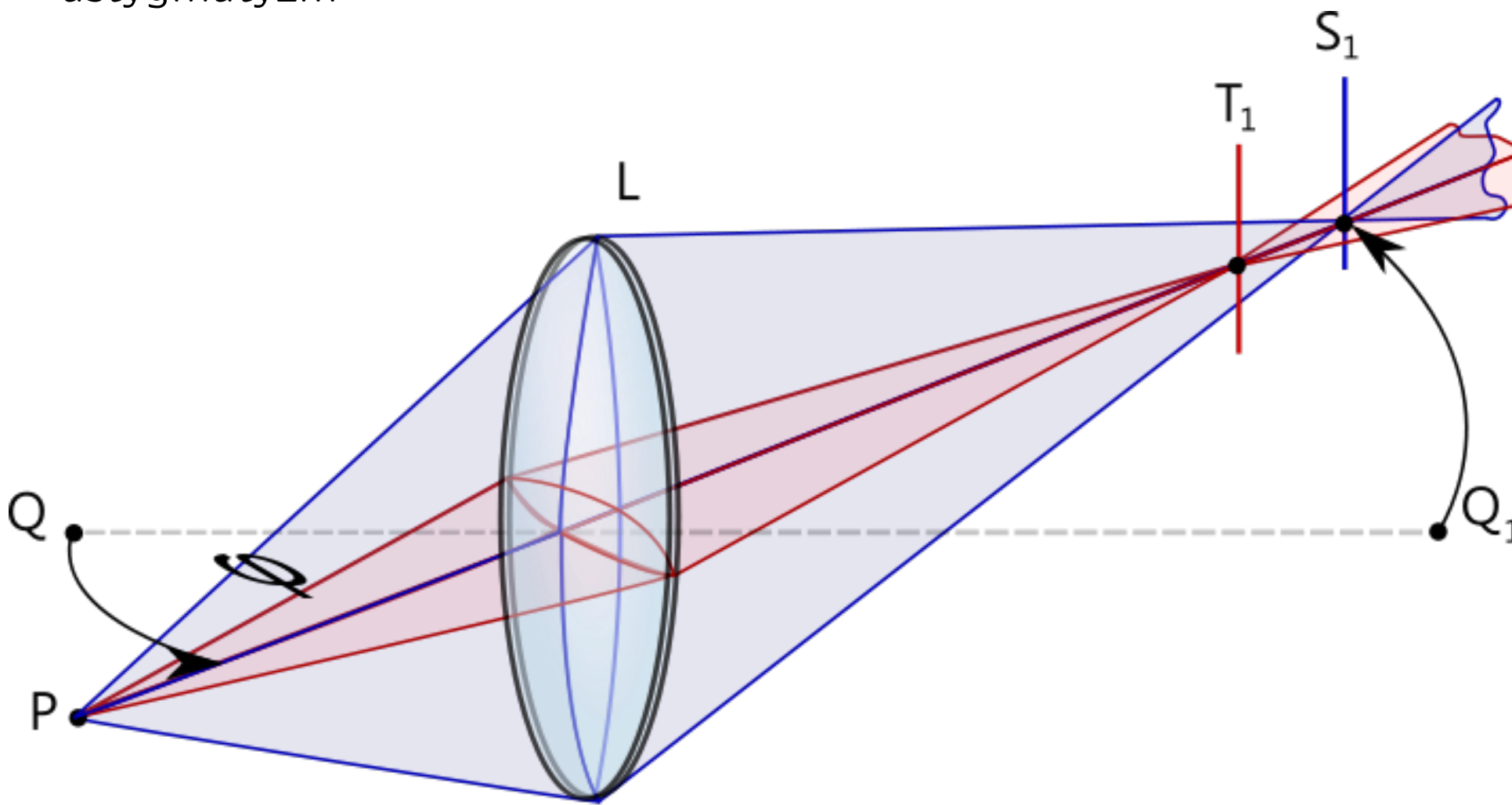
- aberracja sferyczna



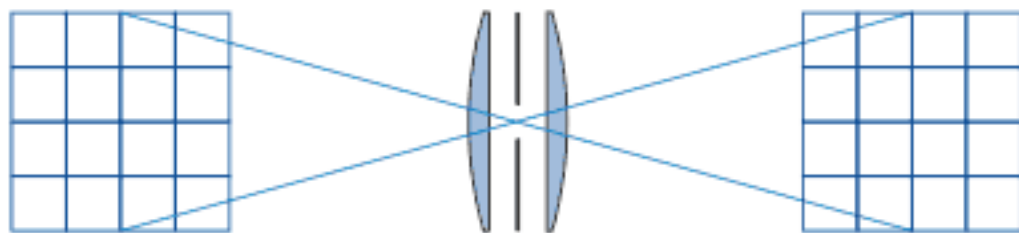
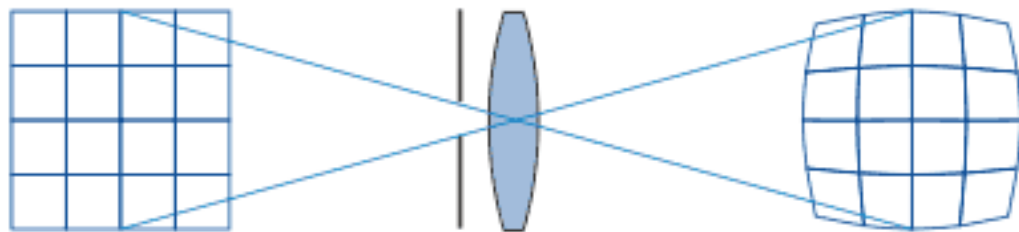
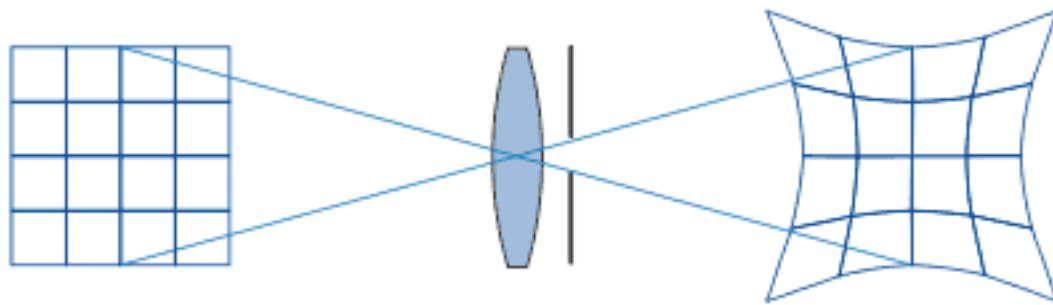
– koma



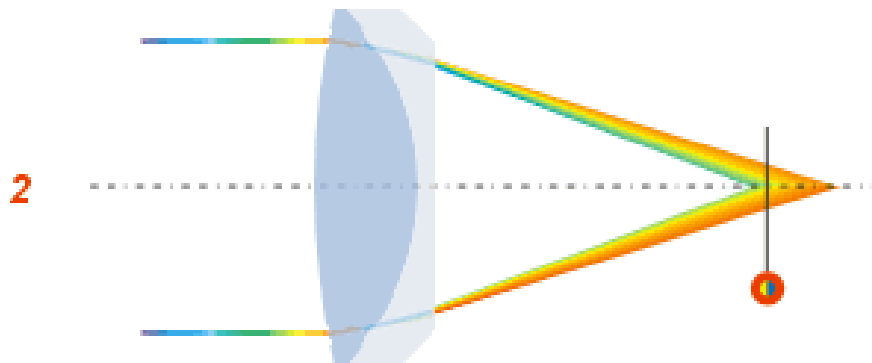
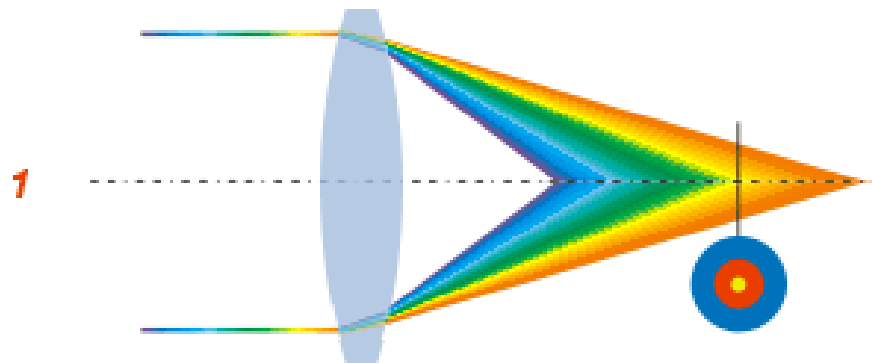
– astygmatyzm



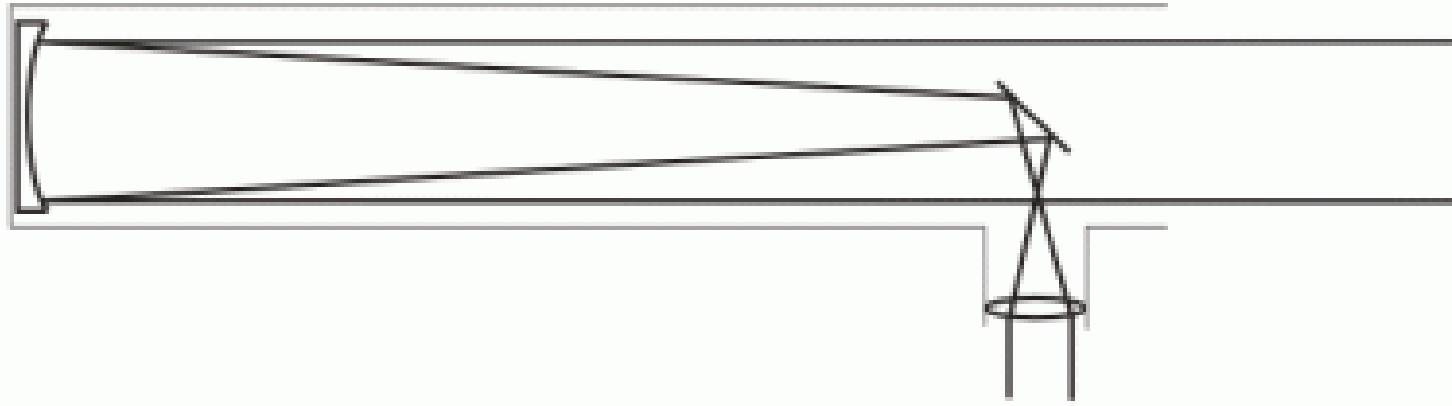
– dystorsja



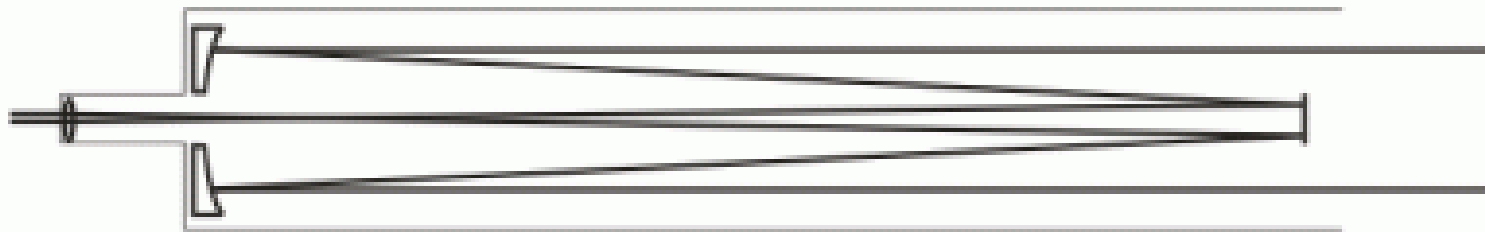
– aberracja chromatyczna



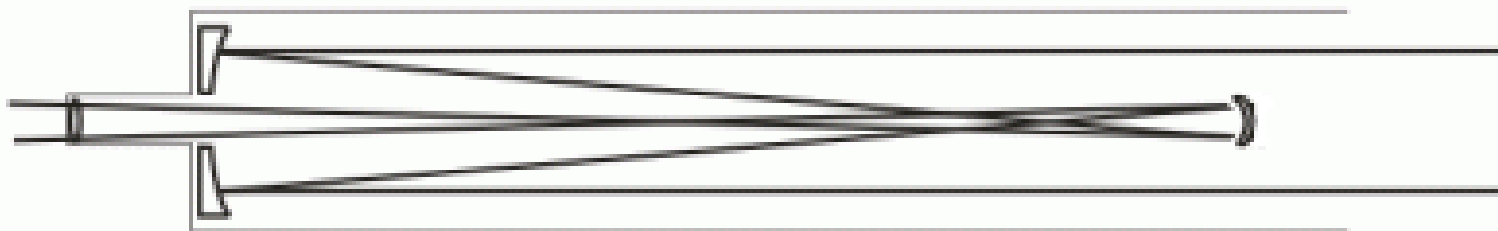
Teleskop Newtona



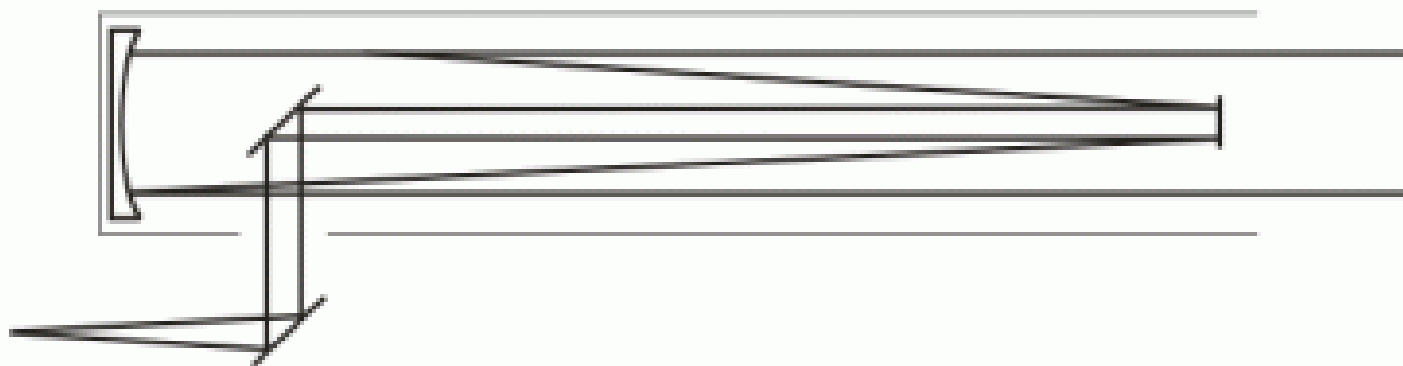
Teleskop Cassegraina



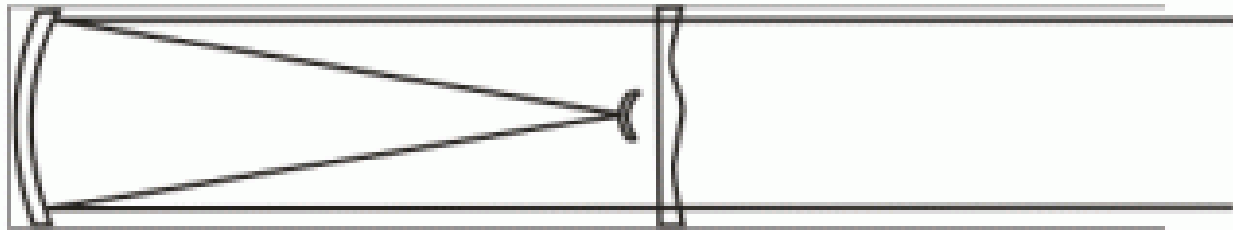
Teleskop Gregory'ego



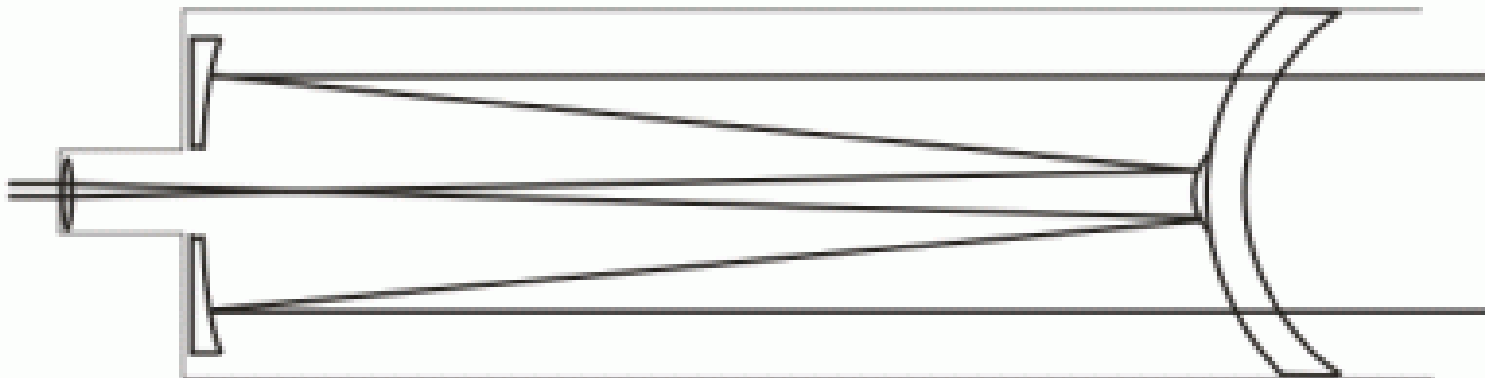
Teleskop Coudé



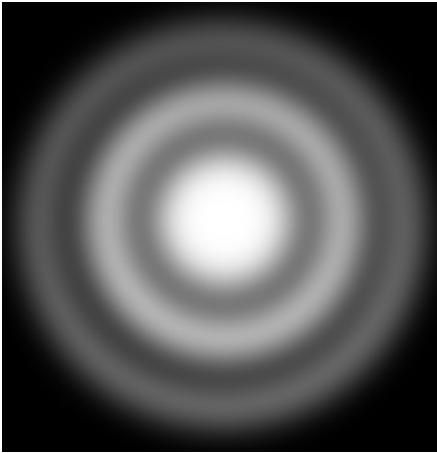
Teleskop Schmidta



Teleskop Maksutova



– zjawisko dyfrakcji:



kątowy rozmiar krążka dyfrakcyjnego:

$$\rho = 2.44 \frac{\lambda}{D}$$

$$\rho["] = 27.6/D[\text{cm}]$$

w ognisku obiektywu:

$$d = 2.44\lambda \frac{f_{ob}}{D}$$

$$d[\mu\text{m}] = 1.34 \frac{f_{ob}}{D}$$

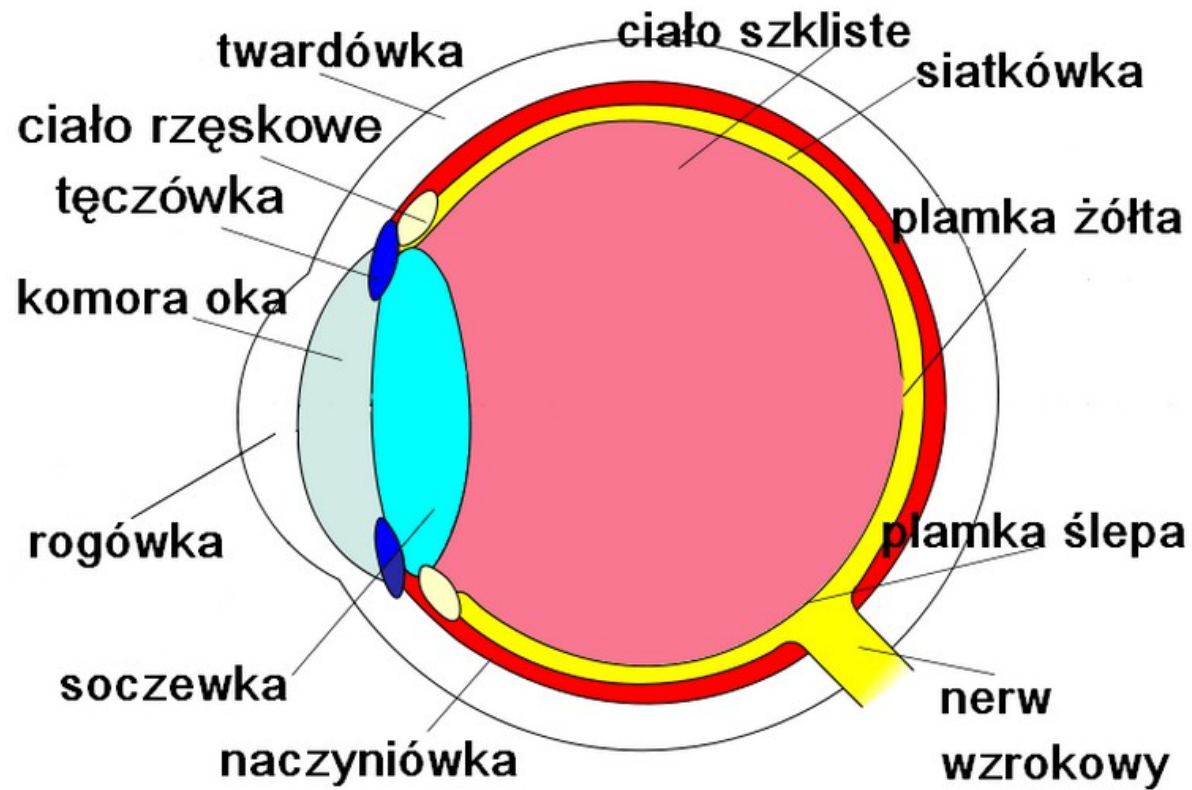
„światłosiła” teleskopu: $B = D/f_{ob}$

– jasność obrazu $\propto D^2$, ale wielkość obrazu $\propto f_{ob}$

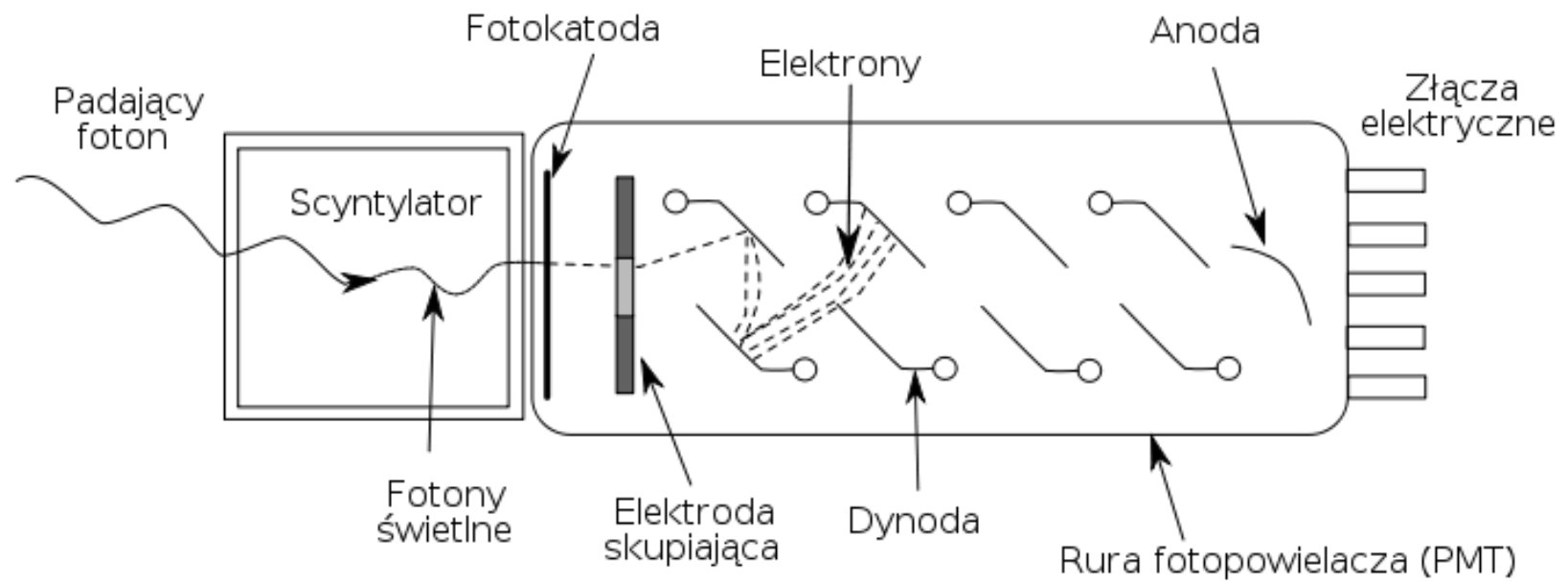
– jasność powierzchniowa obrazu jest $\propto B$

- odbiorniki promieniowania

– oko:

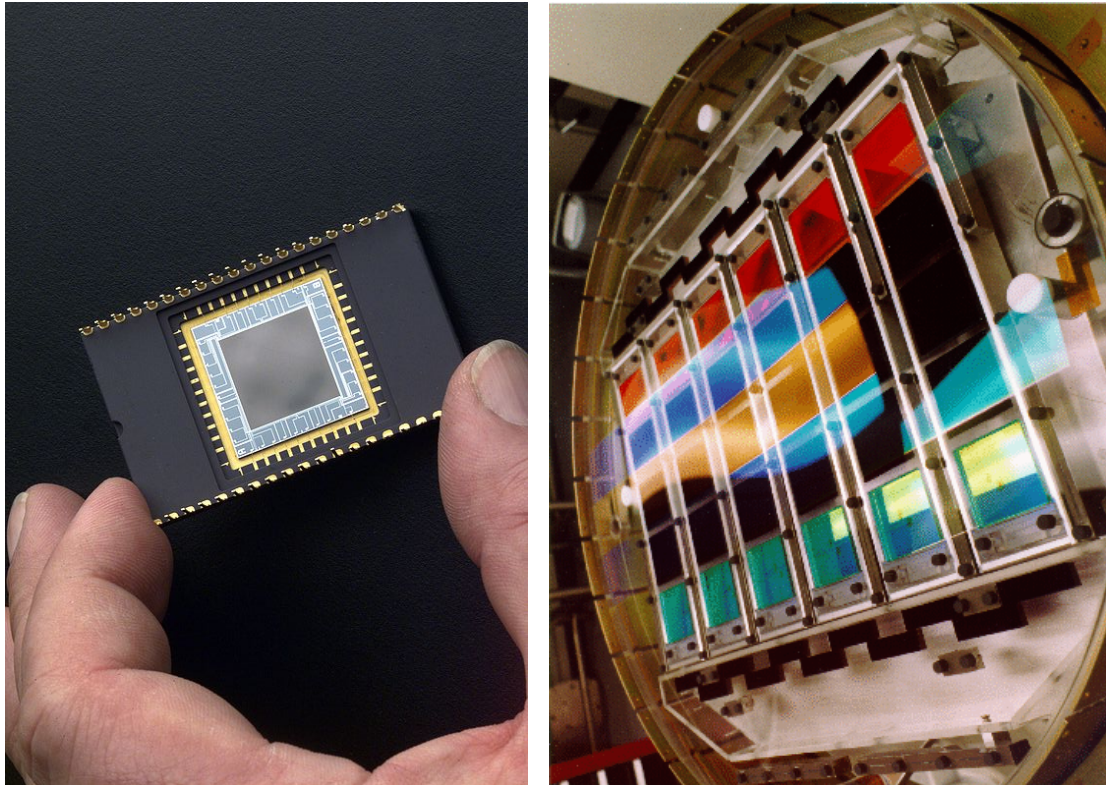


– fotopowielacz:



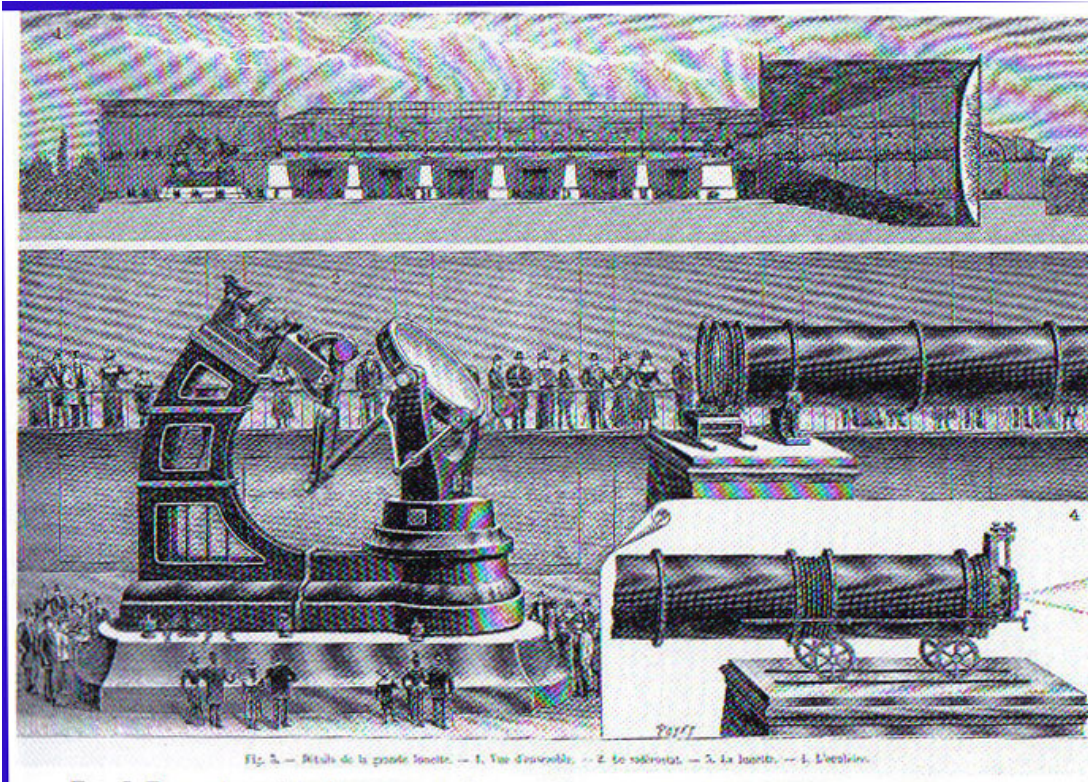
– klisza fotograficzna

– kamera CCD (*Charge Coupled Device*):



– różne czułości – standardy fotometryczne (filtry UBVRI, i in.)

– Great Paris Exhibition Telescope of 1900:



$$D = 1.25 \text{ m}, f = 57 \text{ m}$$

– Yerkes Observatory



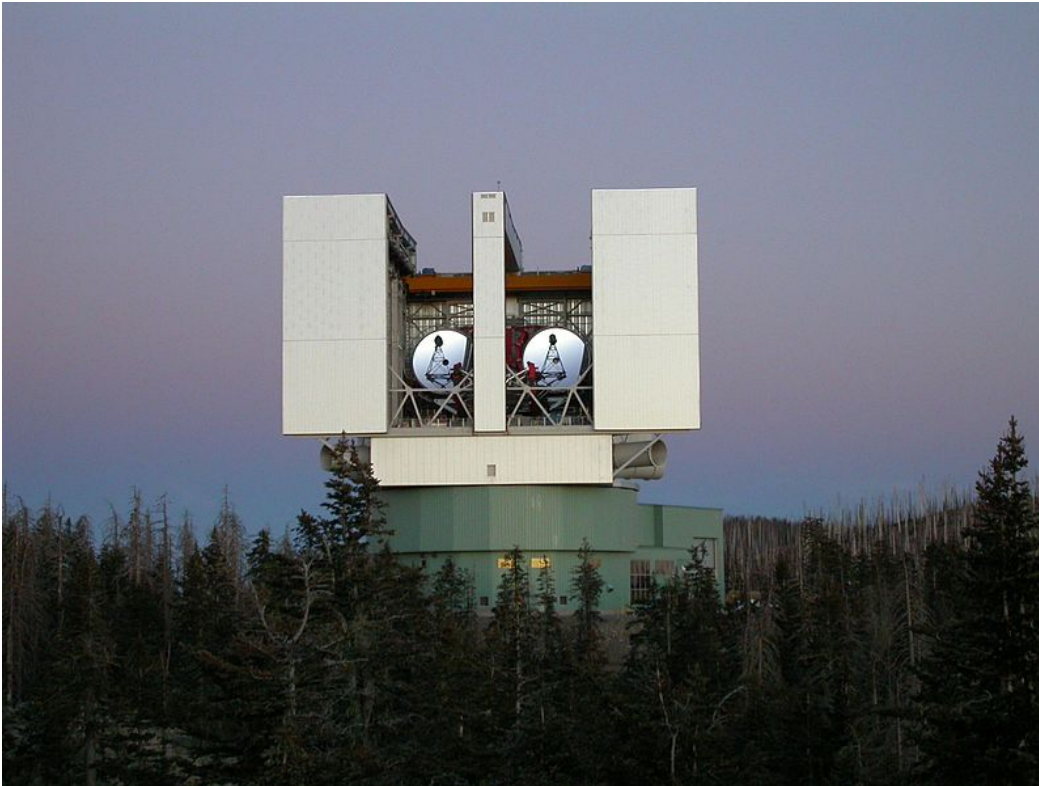
$D = 1.02 \text{ m}$

– Planetarium Śląskie



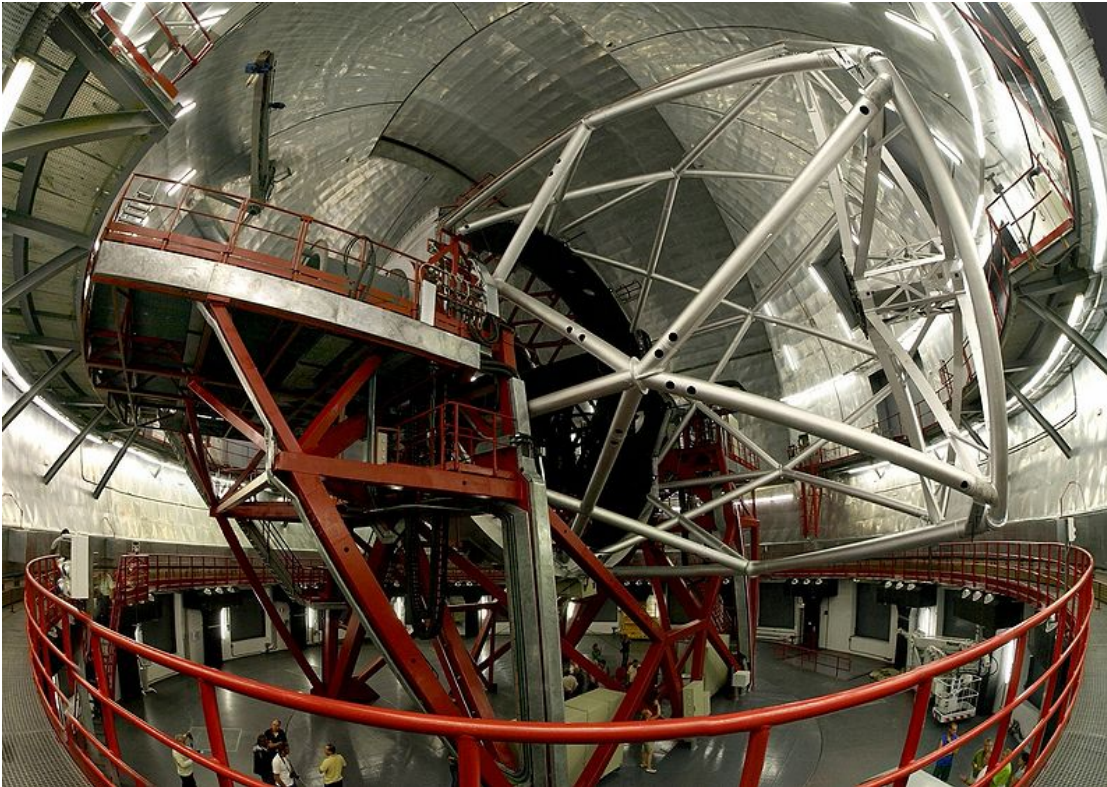
$D = 30 \text{ cm}$

– Large Binocular Telescope (Mt. Graham, Arizona)



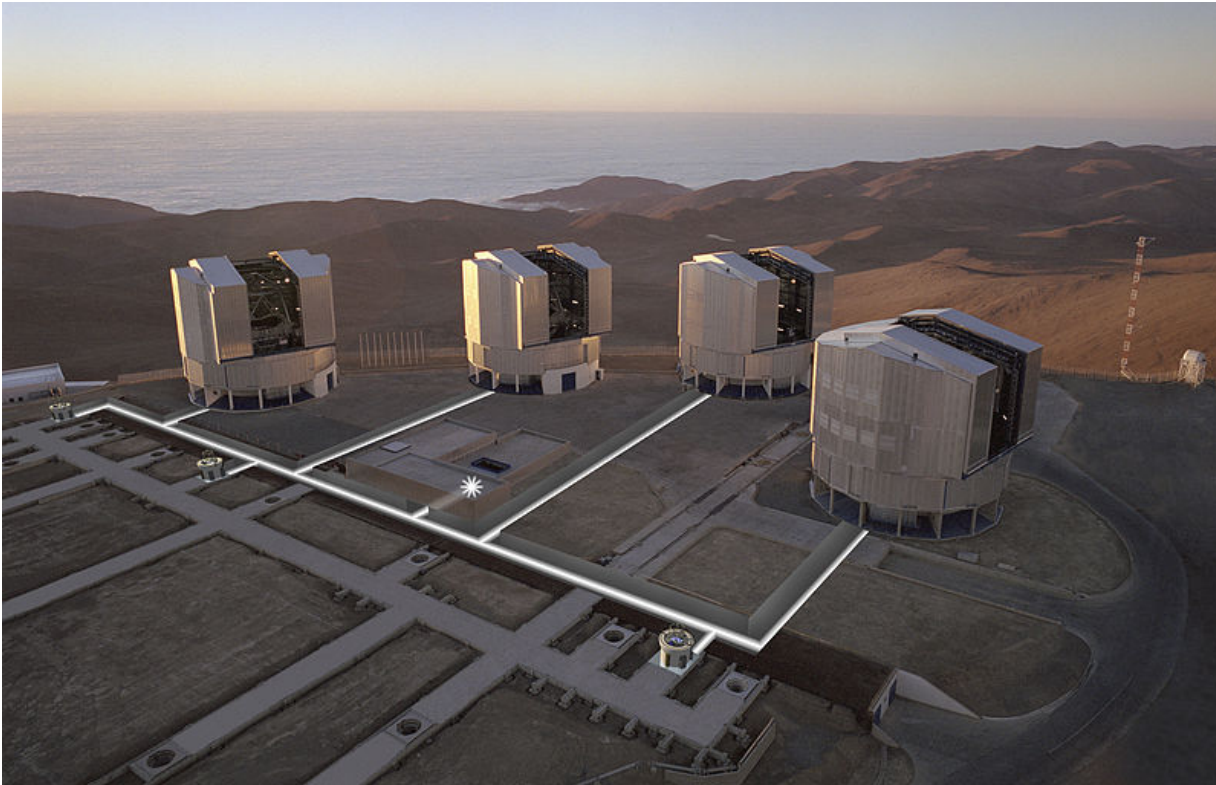
$$D = 2 \times 8.4 \text{ m}, f = 9.6 \text{ m}$$

– Gran Telescopio Canarias (La Palma, Hiszpania)



$D = 10.4 \text{ m}, f = 16.5 \text{ m}$

– Very Large Telescope (Cerro Paranal, Chile)



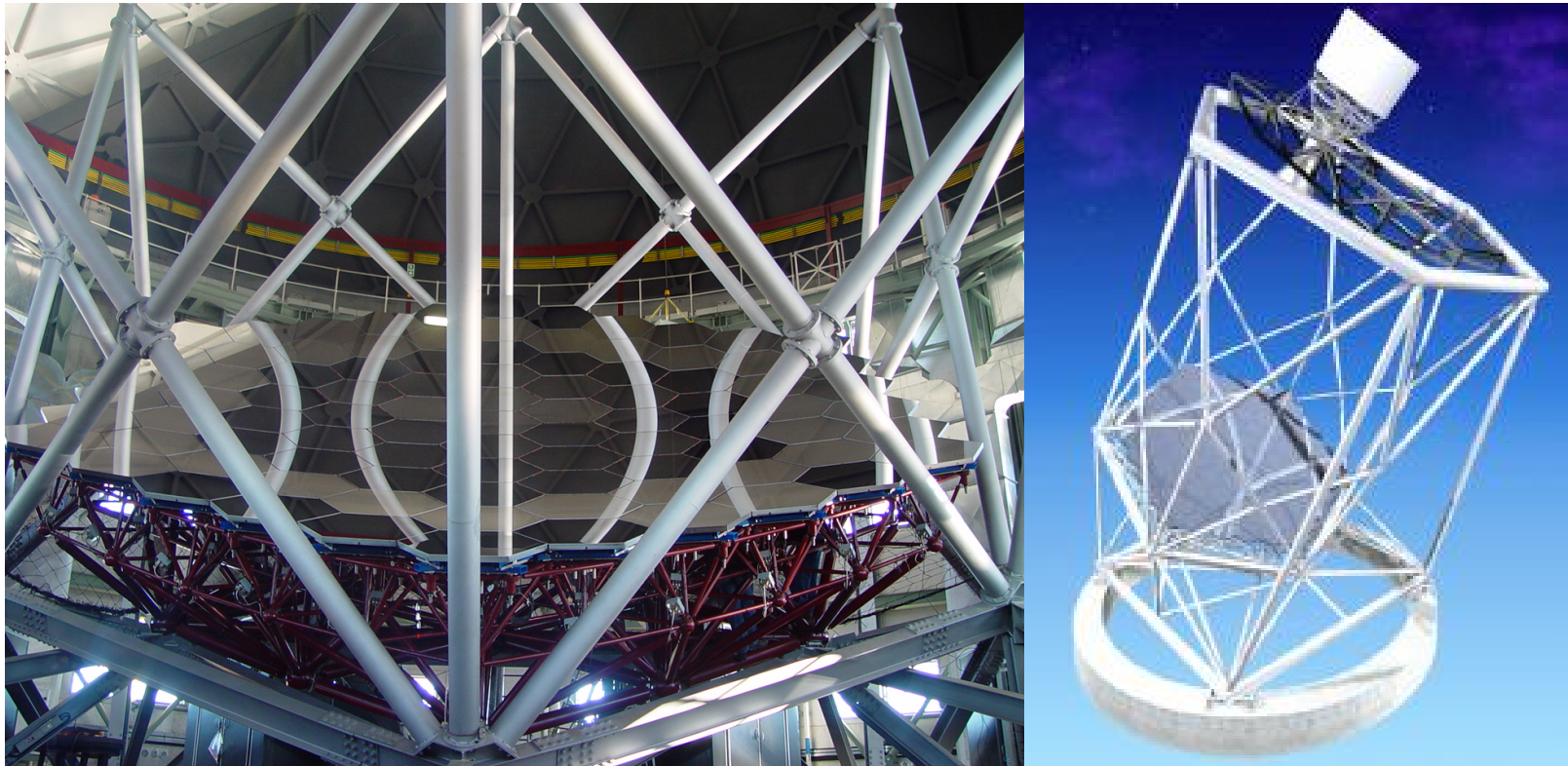
$$D = 4 \times 8.2 \text{ m}$$

– Centrum Astronomiczne UMK (Piwnice k/Torunia)



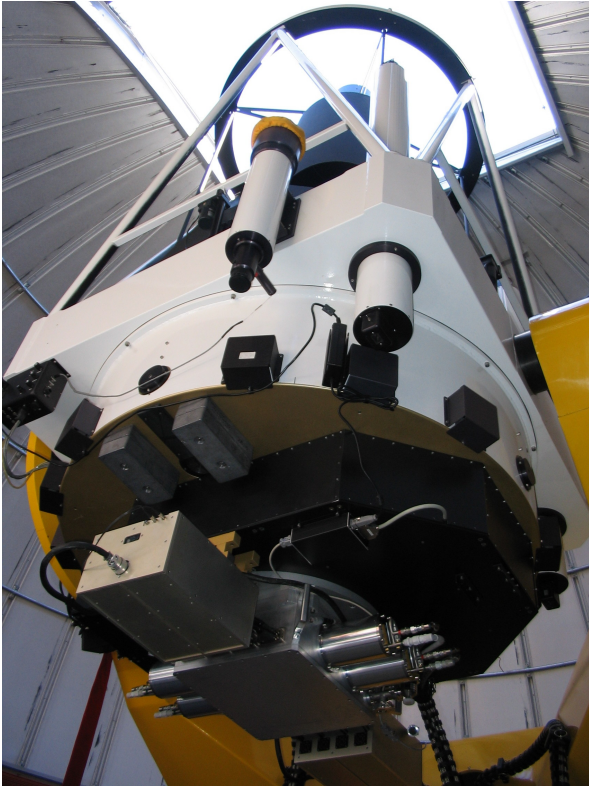
$D = 90 \text{ cm}$, $f = 180/1350 \text{ cm}$

– Southern African Large Telescope (RPA)



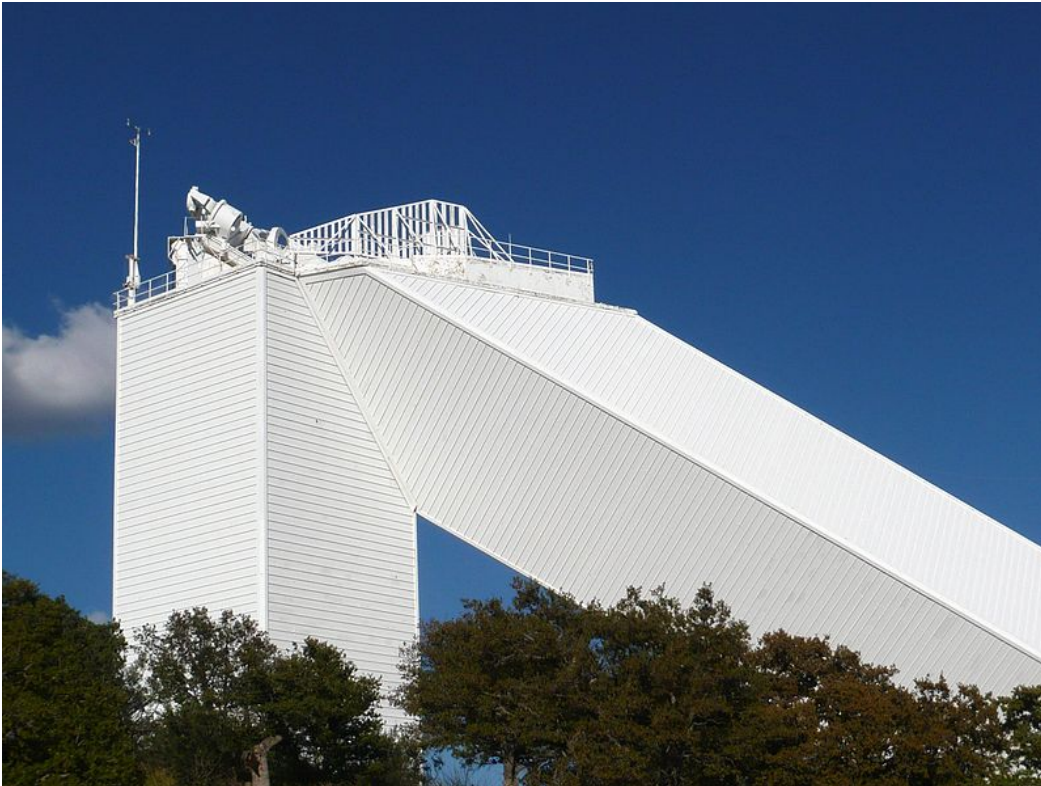
$D = 10.5$ m, częściowo ruchomy

– Obserwatorium Astronomiczne UW (Las Campanas, Chile)



$D = 1.3 \text{ m}$, $f = 360/1200 \text{ cm}$

– McMath-Pierce Solar Telescope (Kitt Peak, Arizona)



$D = 1.6 \text{ m}, f = 86.5 \text{ m}$

– Stacja Obserwacyjna UW r (Białków)



$D = 53 \text{ cm}$

- radioteleskopy

–National Radio Astronomy Observatory (Arecibo, Puerto Rico)



$D = 305 \text{ m}$

–National Radio Astronomy Observatory (Green Bank, West Virginia)



$D = 110 \times 100 \text{ m}$

– Max-Planck-Institute (Effelsberg, Niemcy)



$D = 100 \text{ m}$

– Centrum Astronomiczne UMK (Piwnice k/Torunia)



$D = 32 \text{ m}$

–Very Large Array, NRAO (Socorro, Nowy Meksyk)



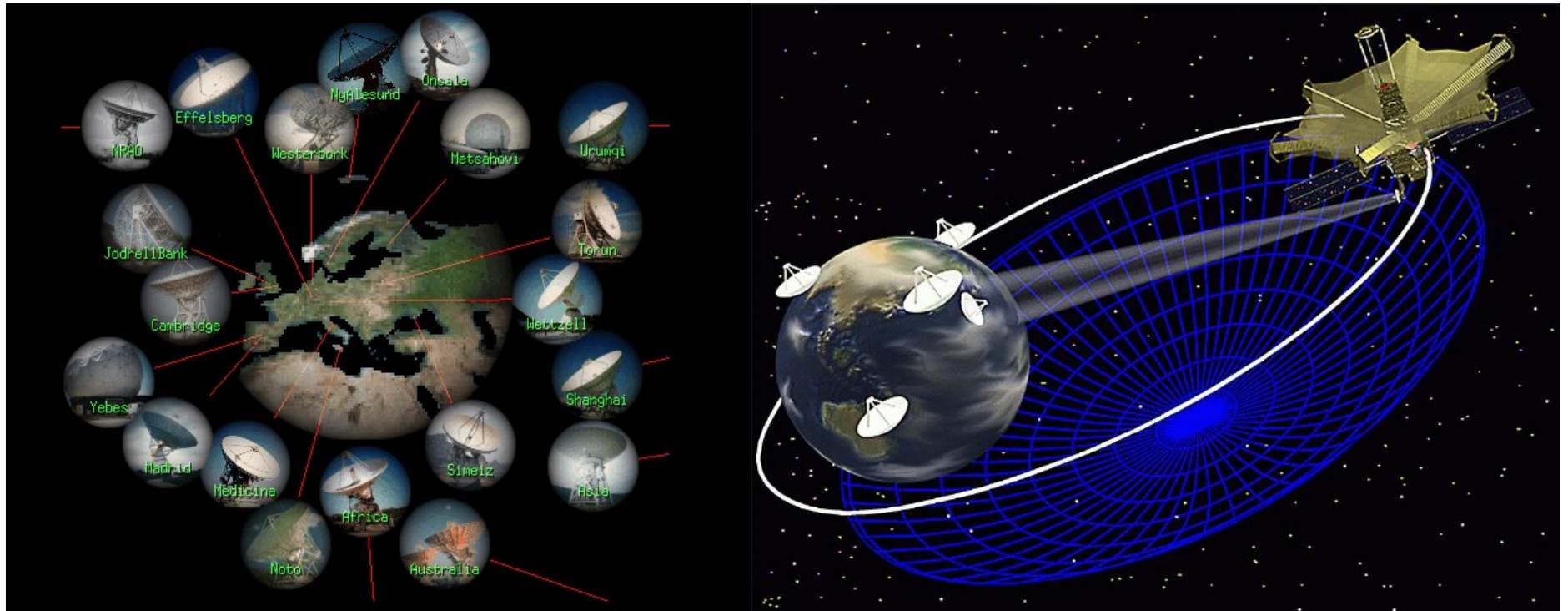
$$D = 27 \times 25 \text{ m}$$

–Very Long Baseline Array, NRAO (USA)

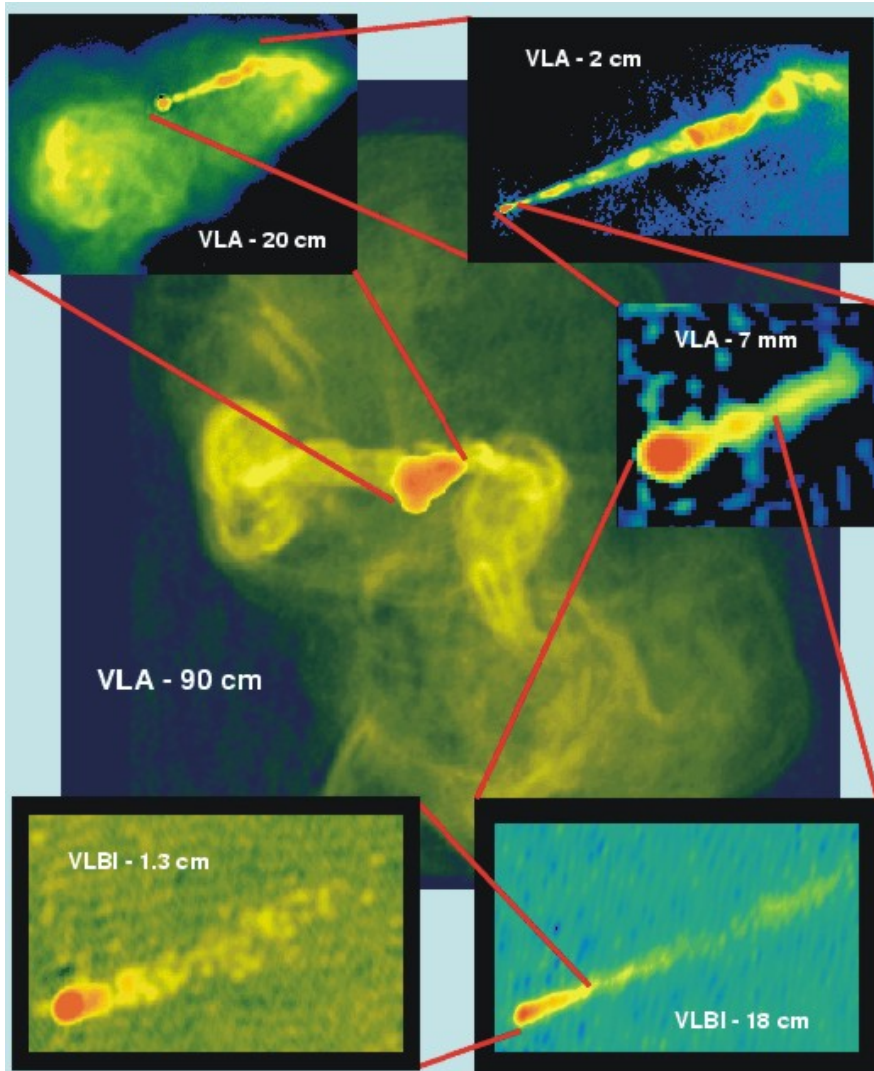


$$D = 10 \times 25 \text{ m}$$

–Very Long Baseline Interferometry



$$n \times (30 - 300) \text{ m}$$



van, NRAO, with J. Biretta, STSCI, & J. Eilek, NIMM/T

- teleskopy orbitalne

- Hubble Space Telescope (ESA + NASA)



$D = 2.4 \text{ m}$

–XMM-Newton (ESA)



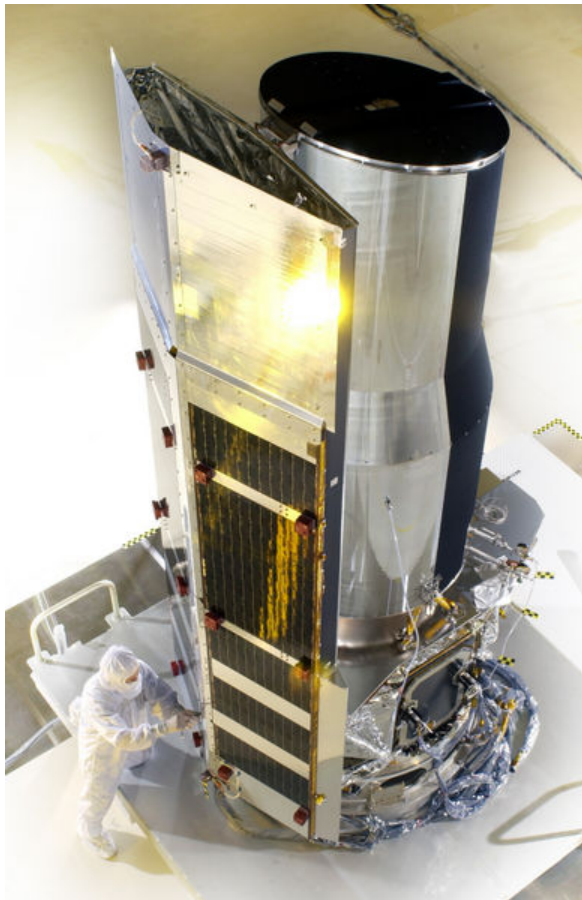
–Chandra X-ray Observatory (NASA)



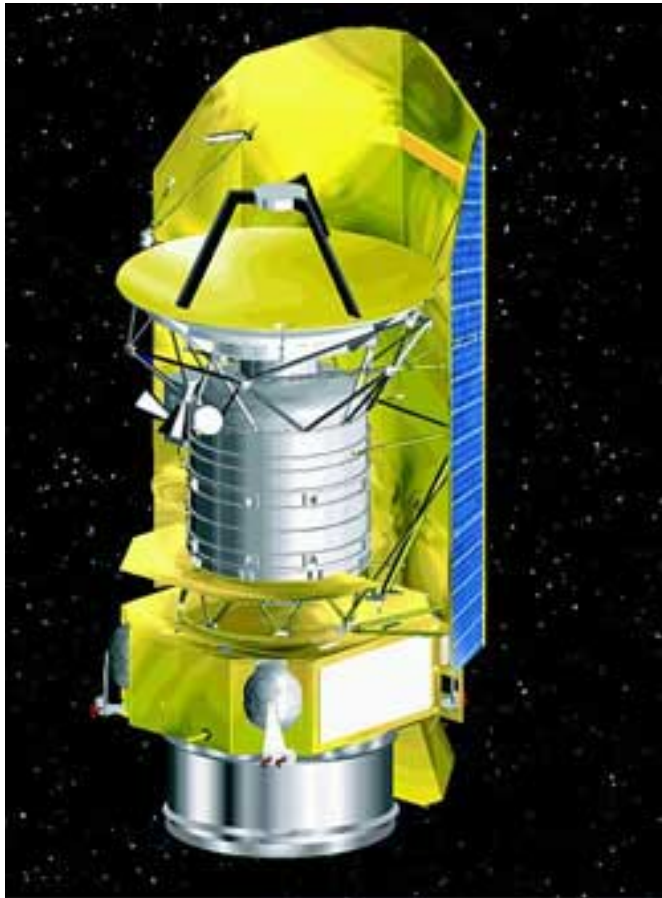
–Fermi γ -ray Space Observatory (NASA +)



–Spitzer (NASA + JPL + CalTex)



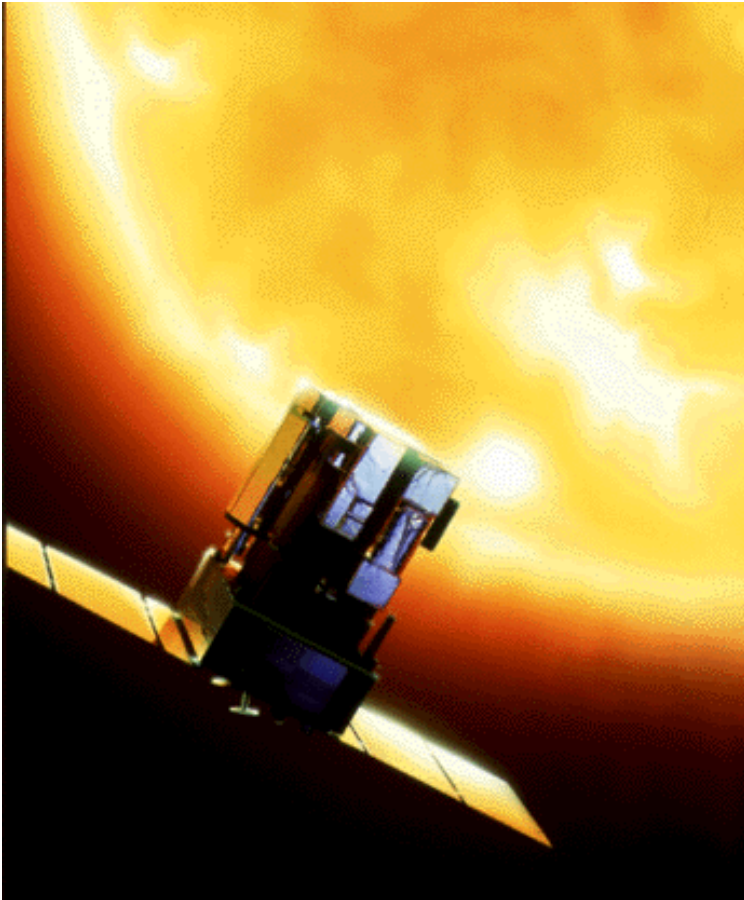
–Herschel (ESA + NASA)



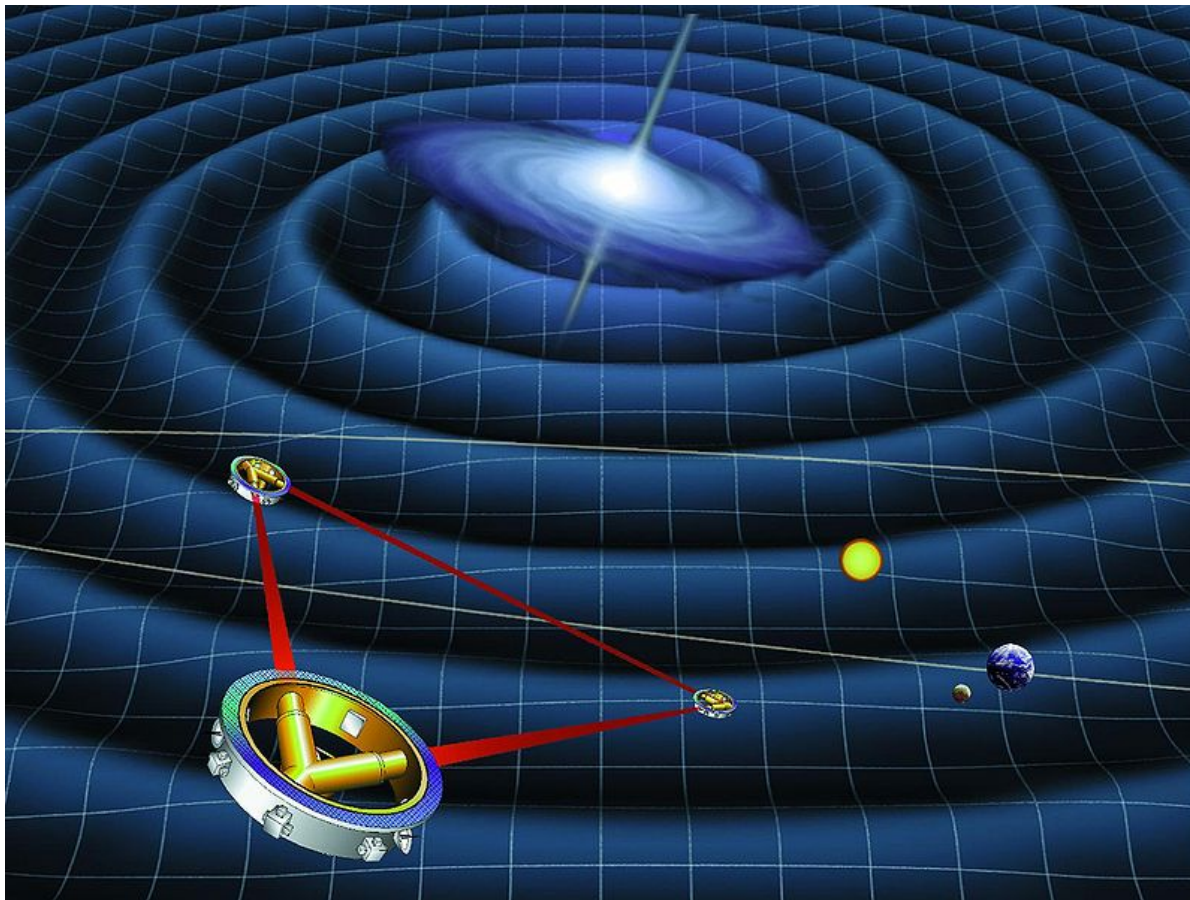
–Planck (ESA)



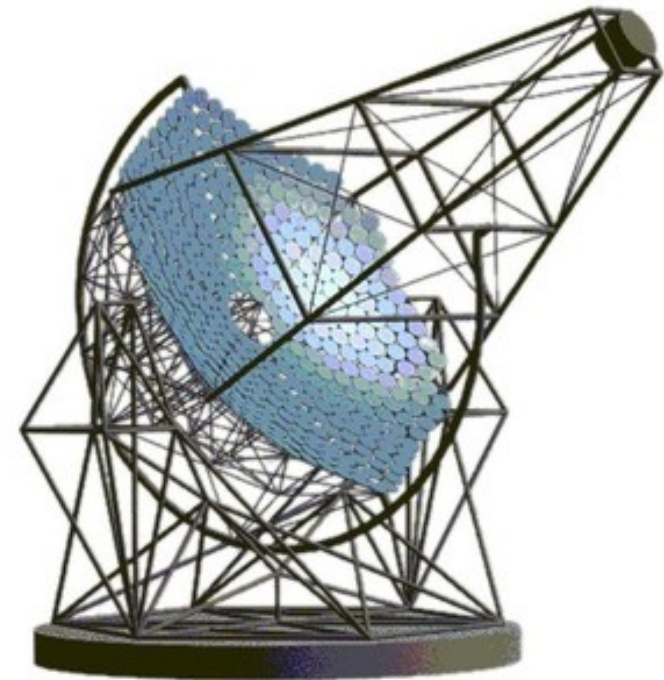
– Solar & Heliospheric Observatory (ESA + NASA)



–Laser Interferometer Space Antenna (ESA + NASA)



–High Energy Stereoscopic System (Namibia)



$D = 4 \times 12 \text{ m}$, $(382 \times 60 \text{ cm})$, $f = 15 \text{ m}$, $\text{fov} = 5^\circ$, $v = 100^\circ/\text{min}$

- Snellius (XVII w.) – pomiary triangulacyjne
- Newton (XVIII w) – kwestionuje kulistość Ziemi
- 1735–1742 r. ekspedycja Akademii Francuskiej do Peru i Laponii – potwierdzenie elipsoidalności

- 1979 r. Kongres Międzynarodowej Unii Geodezyjno-Geograficznej ustala kształt elipsoidy ziemskiej (GRS'80)
- 1984 r. National Geospatial-Intelligence Agency – World Geodetic System'84

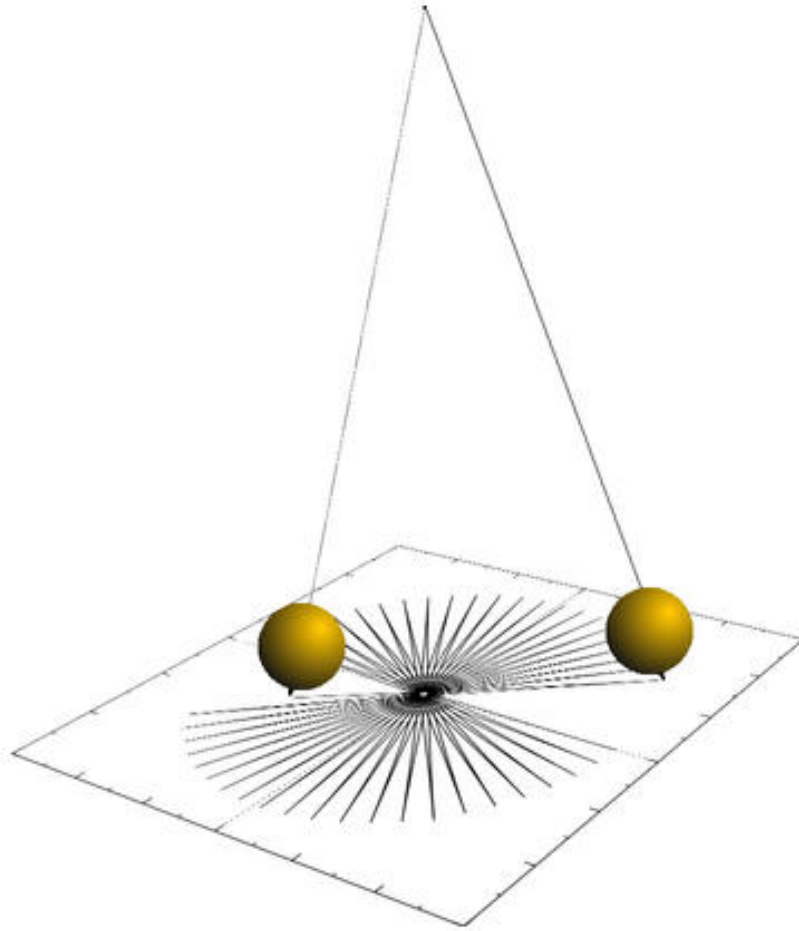
	GRS'80	WGS'84 (GPS)
promień równikowy a	6 378 137.00000 m	
splaszczanie $\frac{1}{f} = \frac{a}{a-b}$	298.257 222 101	298.257 223 563
promień biegunowy b	6 356 752.314 140 m	6 356 752.314 245 m

- ruch obrotowy

- dobowy ruch sklepienia niebieskiego

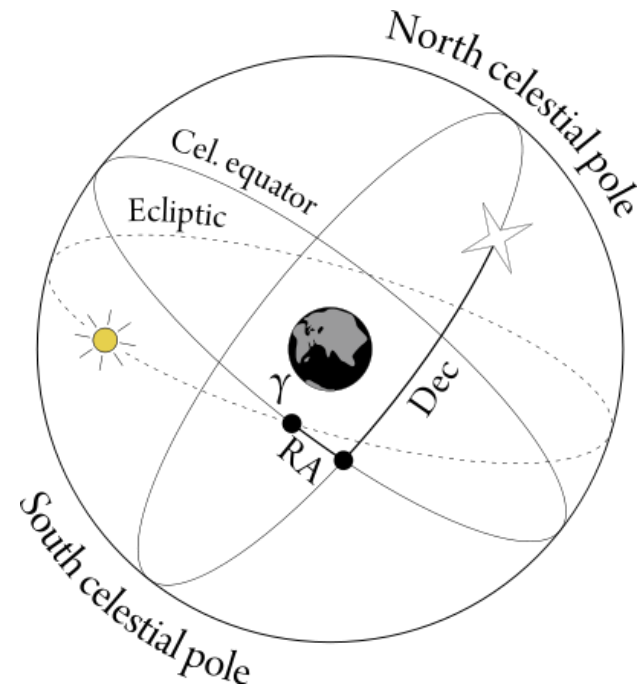
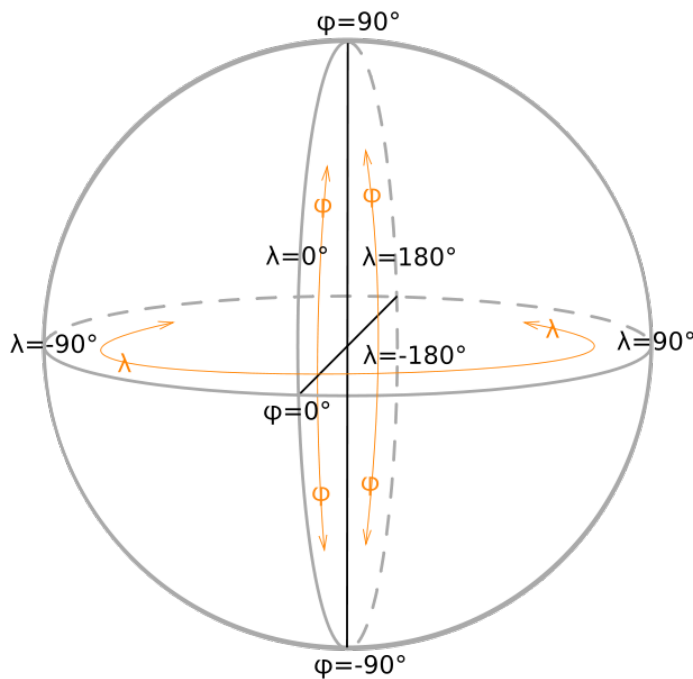
- Platon (IV w p.n.e.) – pierwsze wzmianki o możliwości obrotu Ziemi

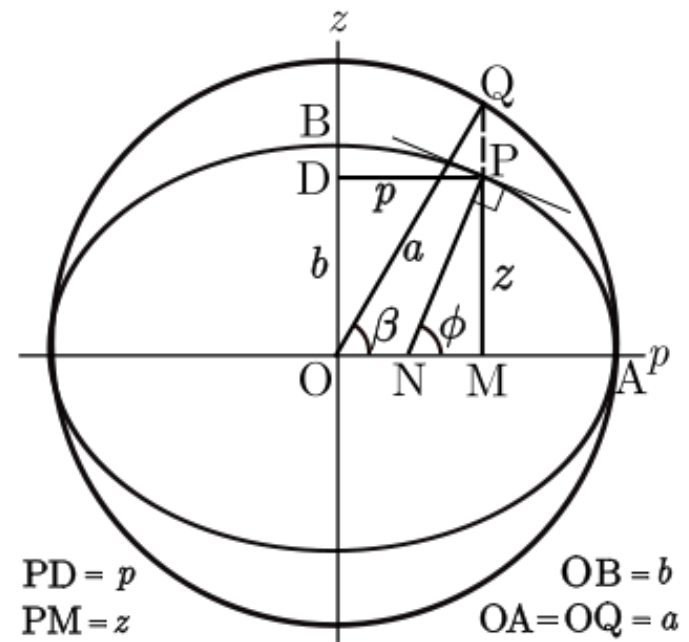
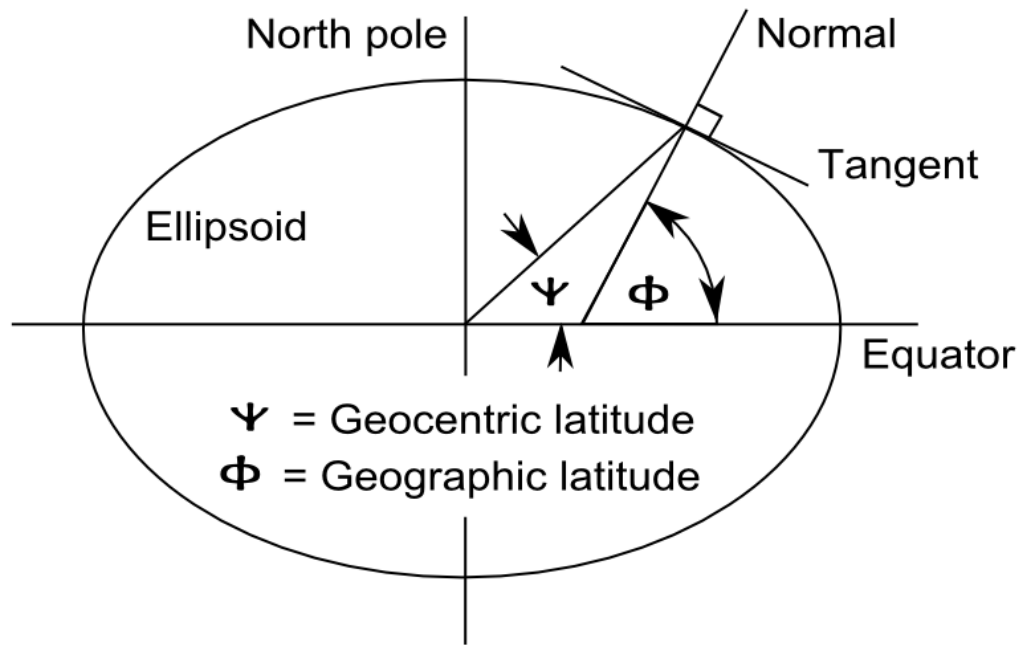
- XIX w. – pomiary efektu Coriolisa (odchylenie spadających ciał od pionu)



– wahadło Foucault'a

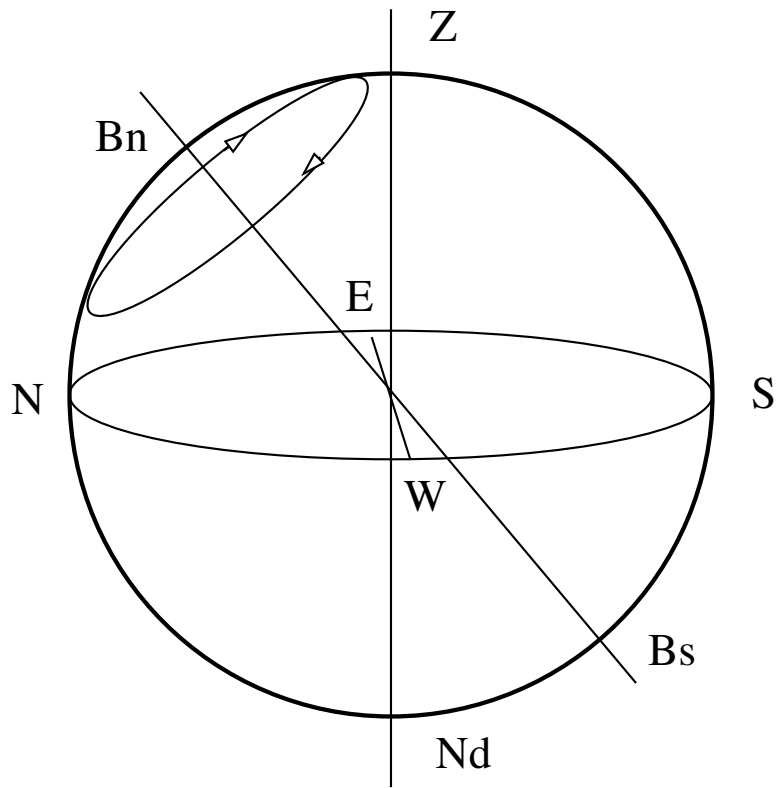
- obrót Ziemi – raz na 23h 56m 4.1s – wyróżnione punkty przecięcia osi obrotu ze sferą niebieską – bieguny geograficzne
- przecięcie płaszczyzny prostopadłej do osi obrotu ze sferą – równik
- współrzędne geograficzne (na niebie – równikowe)





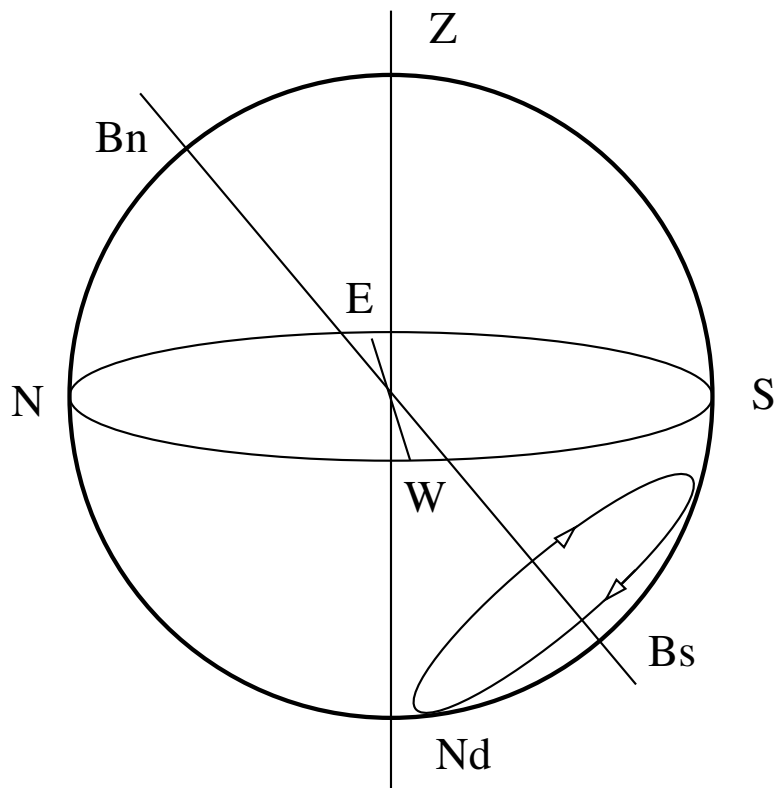
– długość geograficzna

– szerokość geograficzna, geodezyjna, geocentryczna, zredukowana, ...



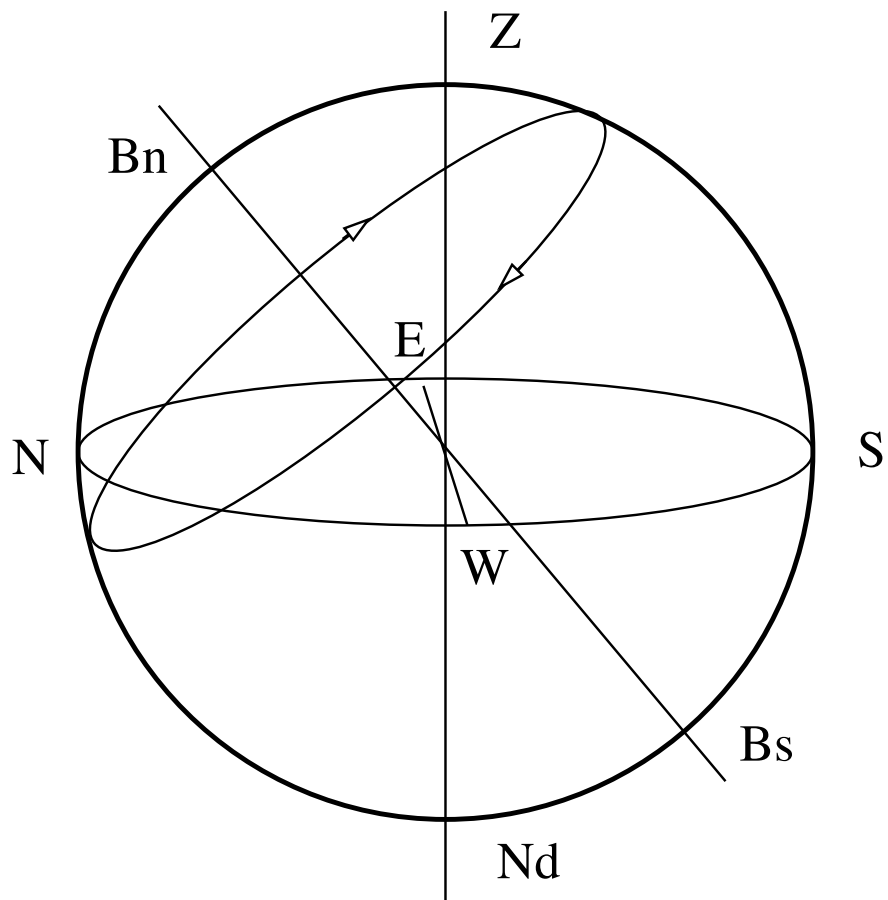
$$\varphi > 90^\circ - \delta$$

$$\delta > 90^\circ - \varphi$$



$$90^\circ + \delta < \varphi$$

$$\delta < -90^\circ + \varphi$$



$$-90^\circ + \varphi < \delta < 90^\circ - \varphi$$

- ruch orbitalny

- roczny ruch Słońca wśród gwiazd

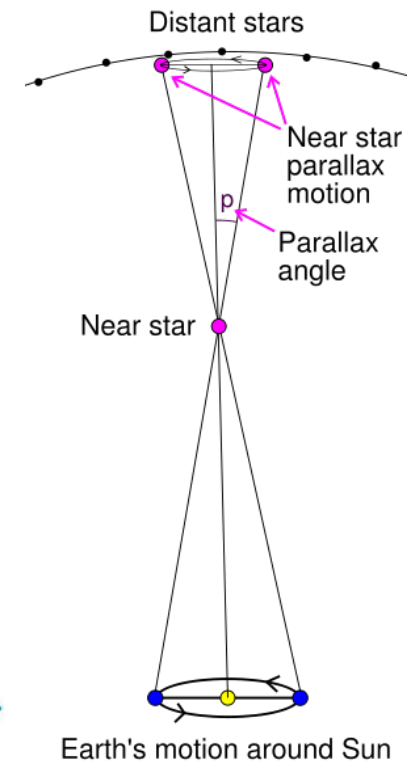
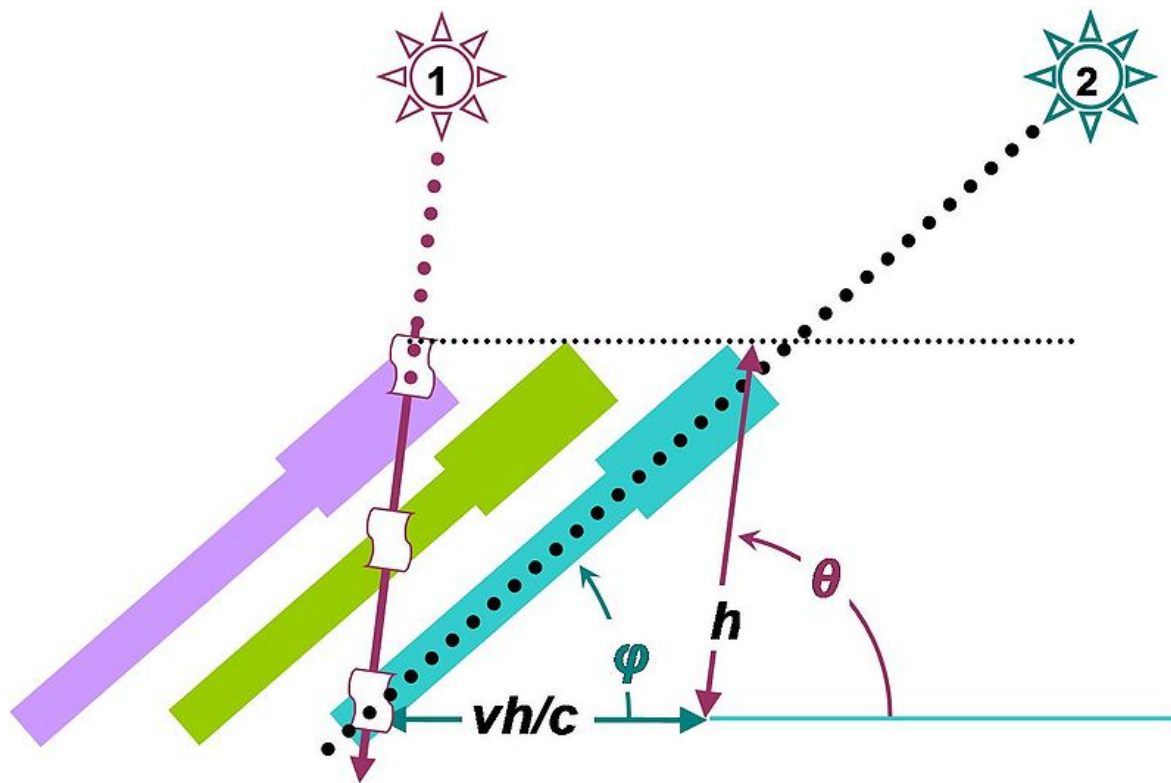
- pitagorejczycy (V w p.n.e.) – hipoteza orbitalnego ruchu Ziemi

- Ptolomeusz (II w. n.e.) – ugruntował przekonanie o nieruchomej Ziemi w centrum Świata

- M. Kopernik (*De Revolutionibus* 1545 r.) – teoria heliocentryczna

- J. Bradley (1725 r.) – zjawisko aberracji światła

- F.W. Bessel, T. Henderson, F.G.H. von Struve (XIX w.) – paralaksy gwiazd

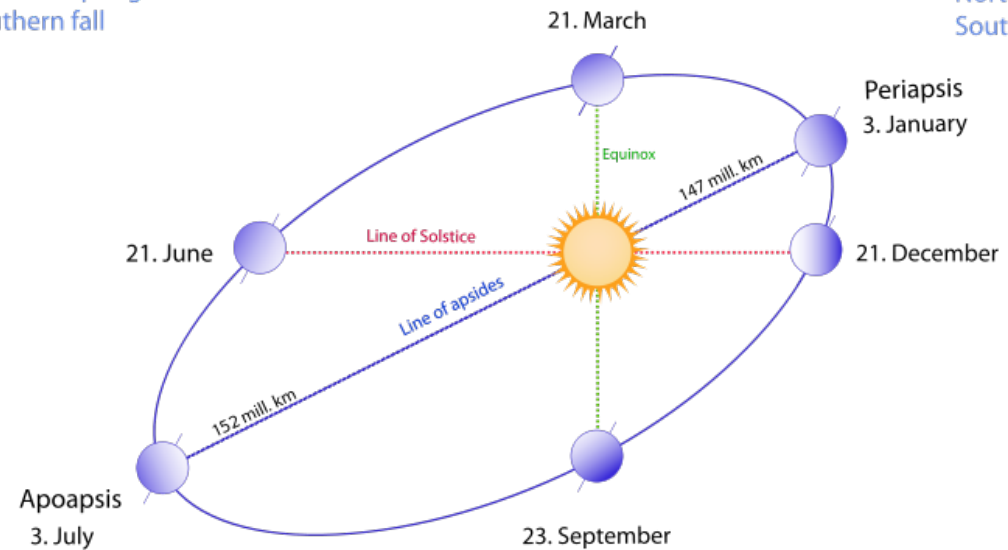


- orbita Ziemi – droga Słońca wśród gwiazd – ekliptyka
- prosta prostopadła do ekliptyki przecina sferę niebieską w biegunach ekliptycznych

– kąt pomiędzy ekliptyką a płaszczyzną równika – nachylenie osi/orbity ok. 23.45° – pory roku

Northern spring/
Southern fall

Northern winter/
Southern summer



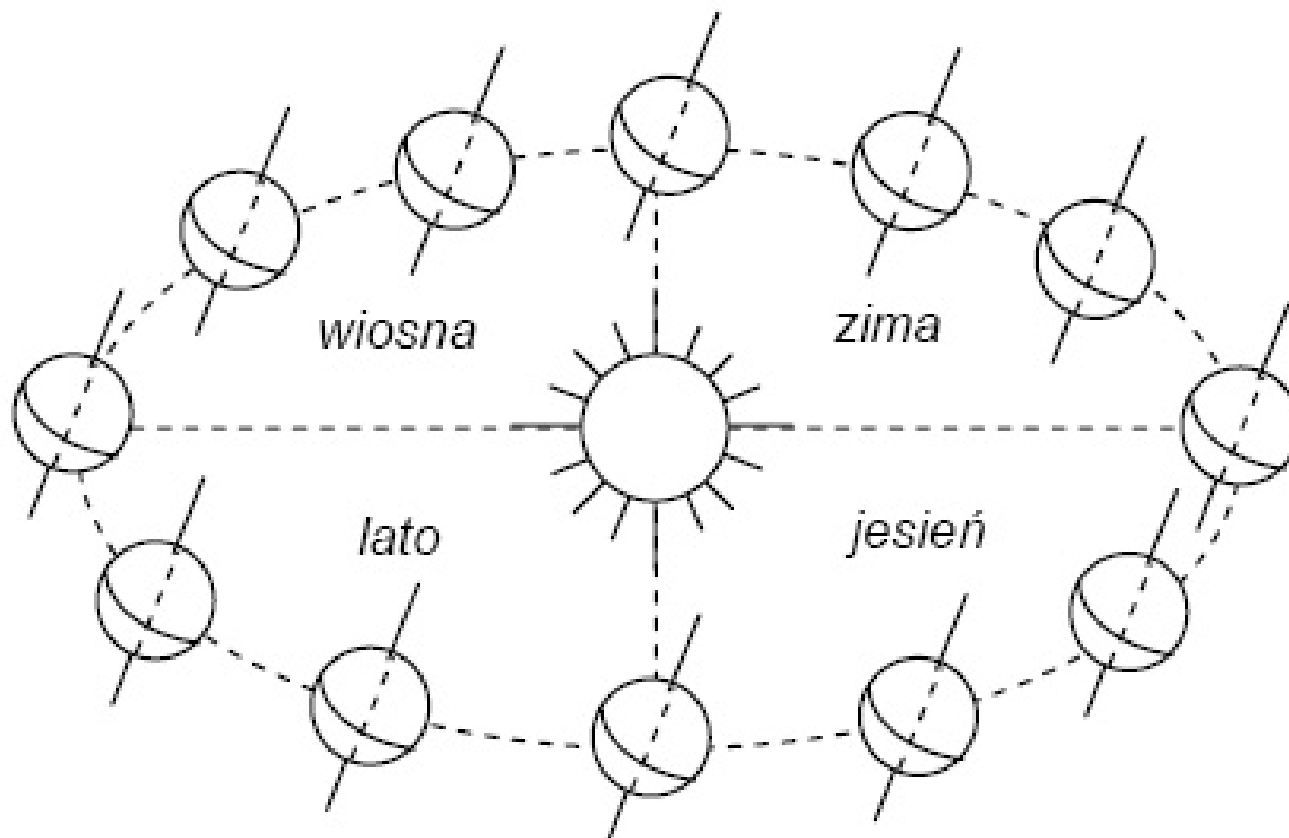
Northern summer/
Southern winter

Northern fall/
Southern spring

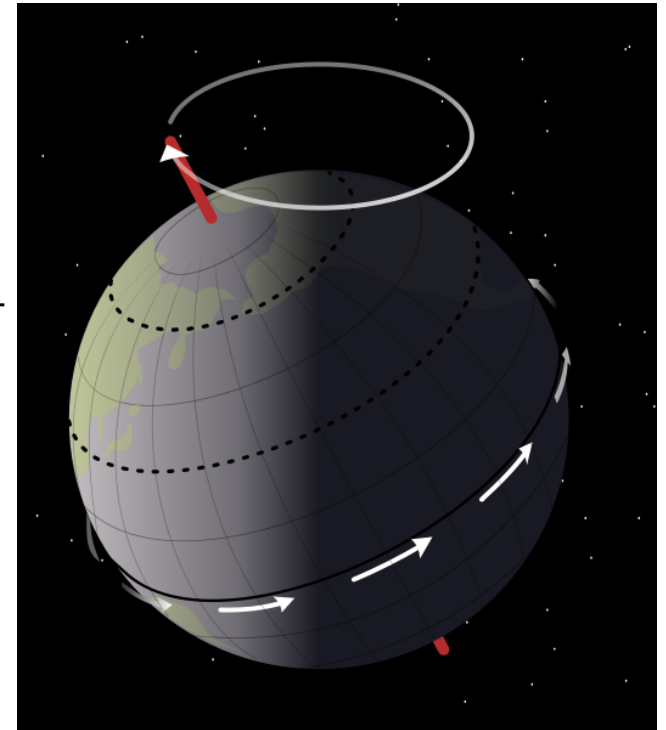
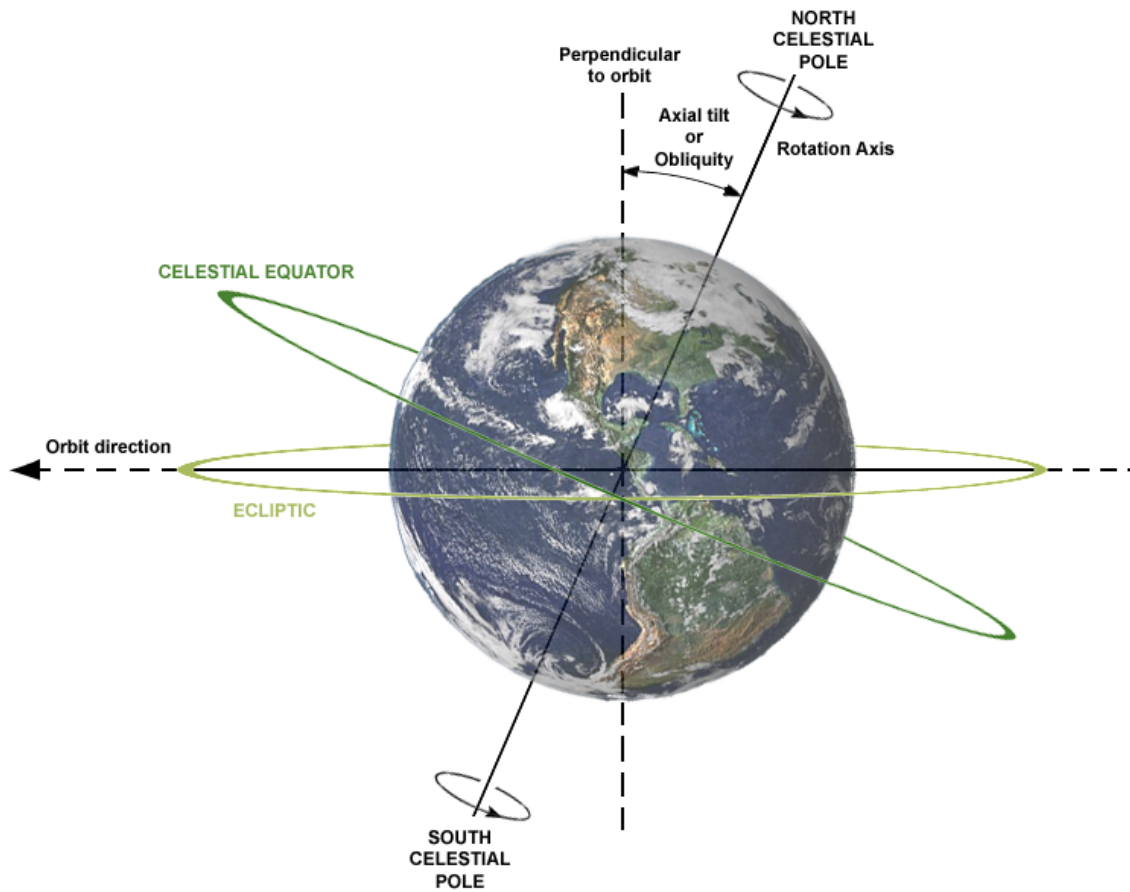
– orbita Ziemi – elipsa:

półoś	149 598 261 km
mimośród	0.01671123
okres	365.256363004 d

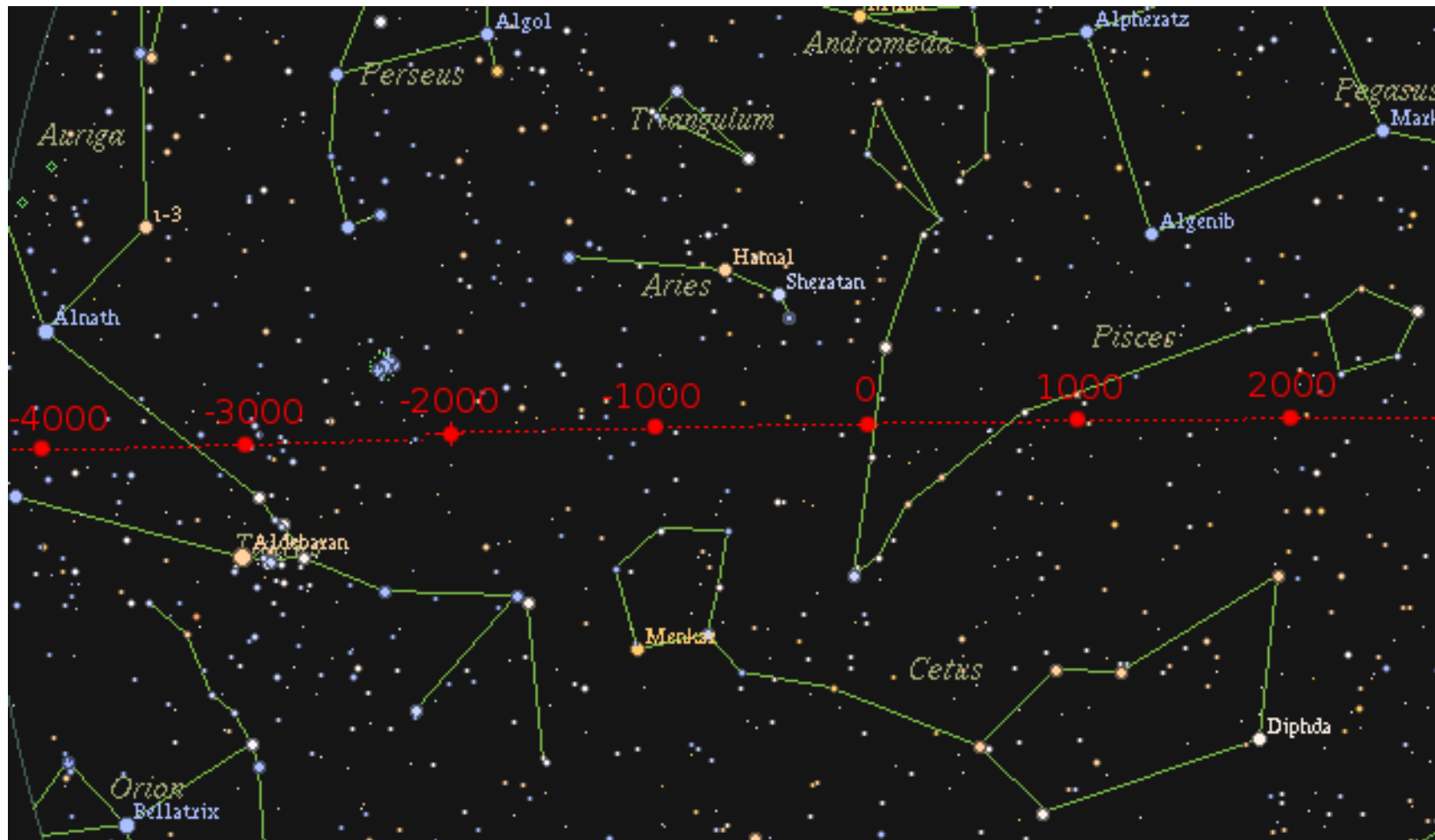
– pory roku



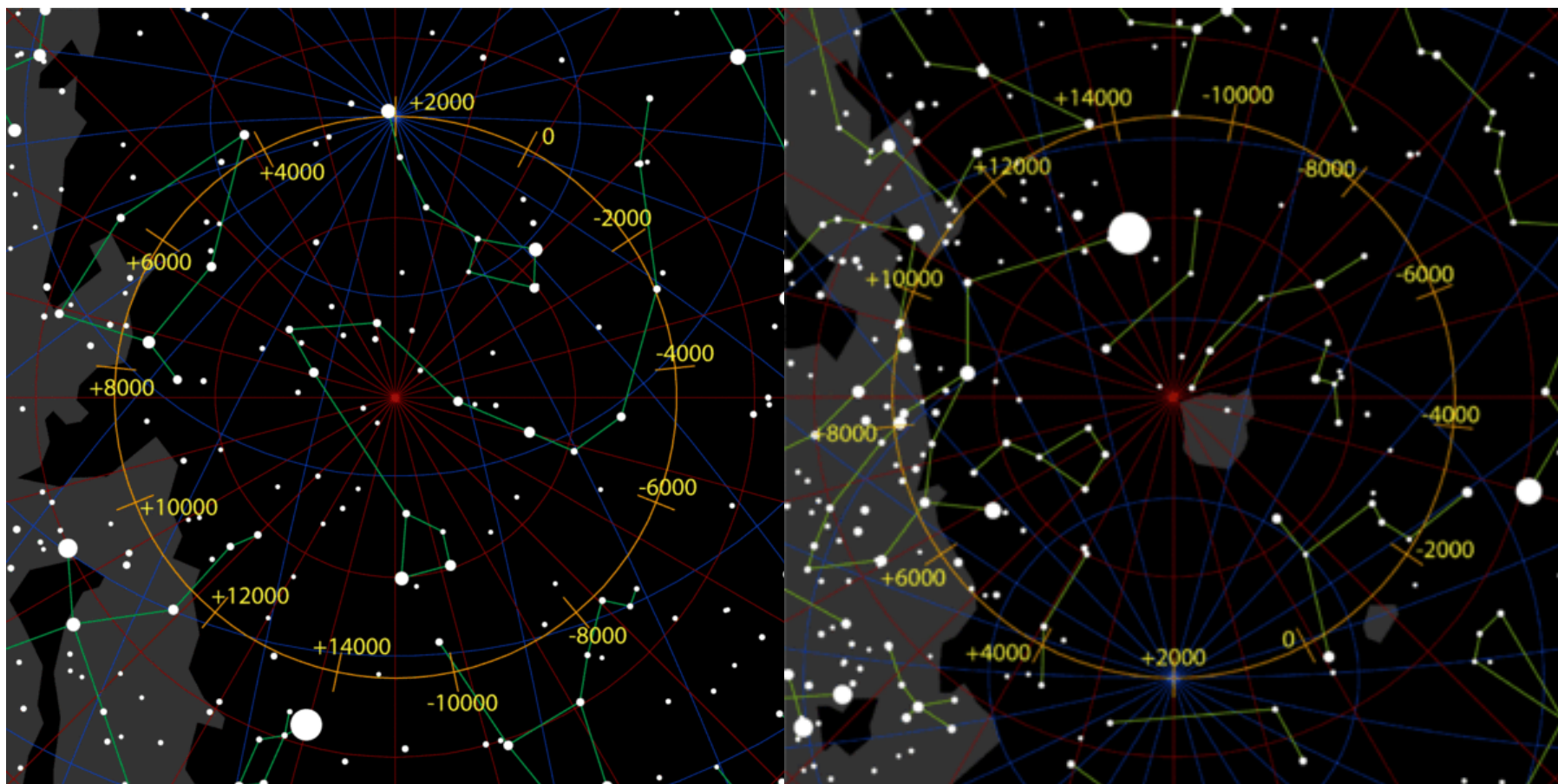
– precesja osi ziemskiej (ok. 26 000 lat):



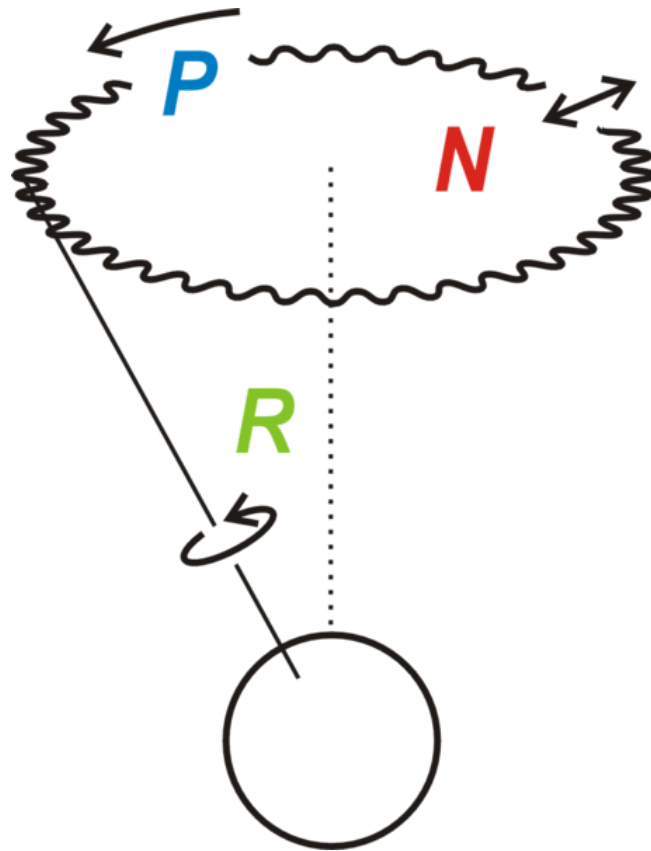
– ruch punktu barana (Υ):



– ruch biegunów:



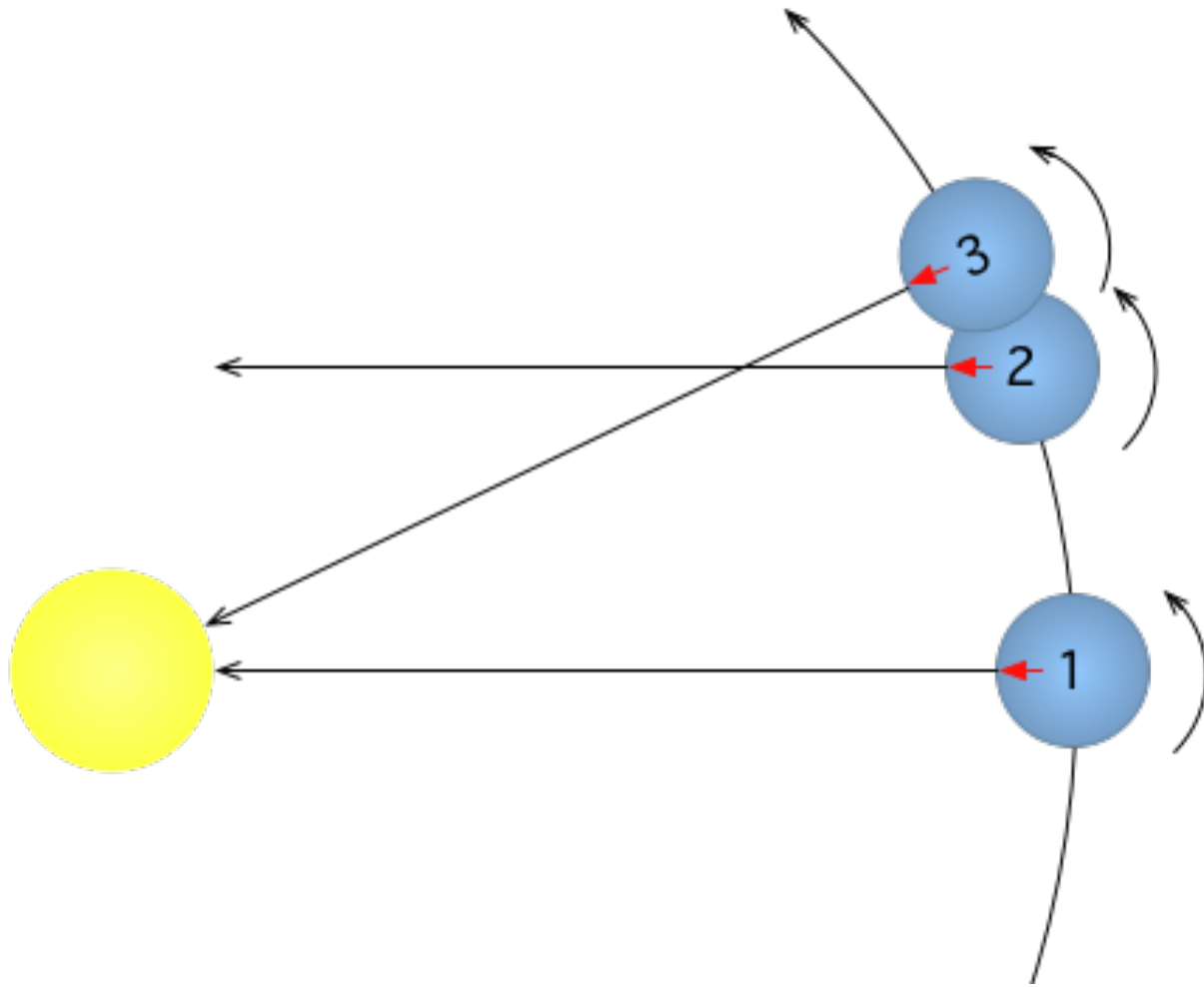
– nutacja:



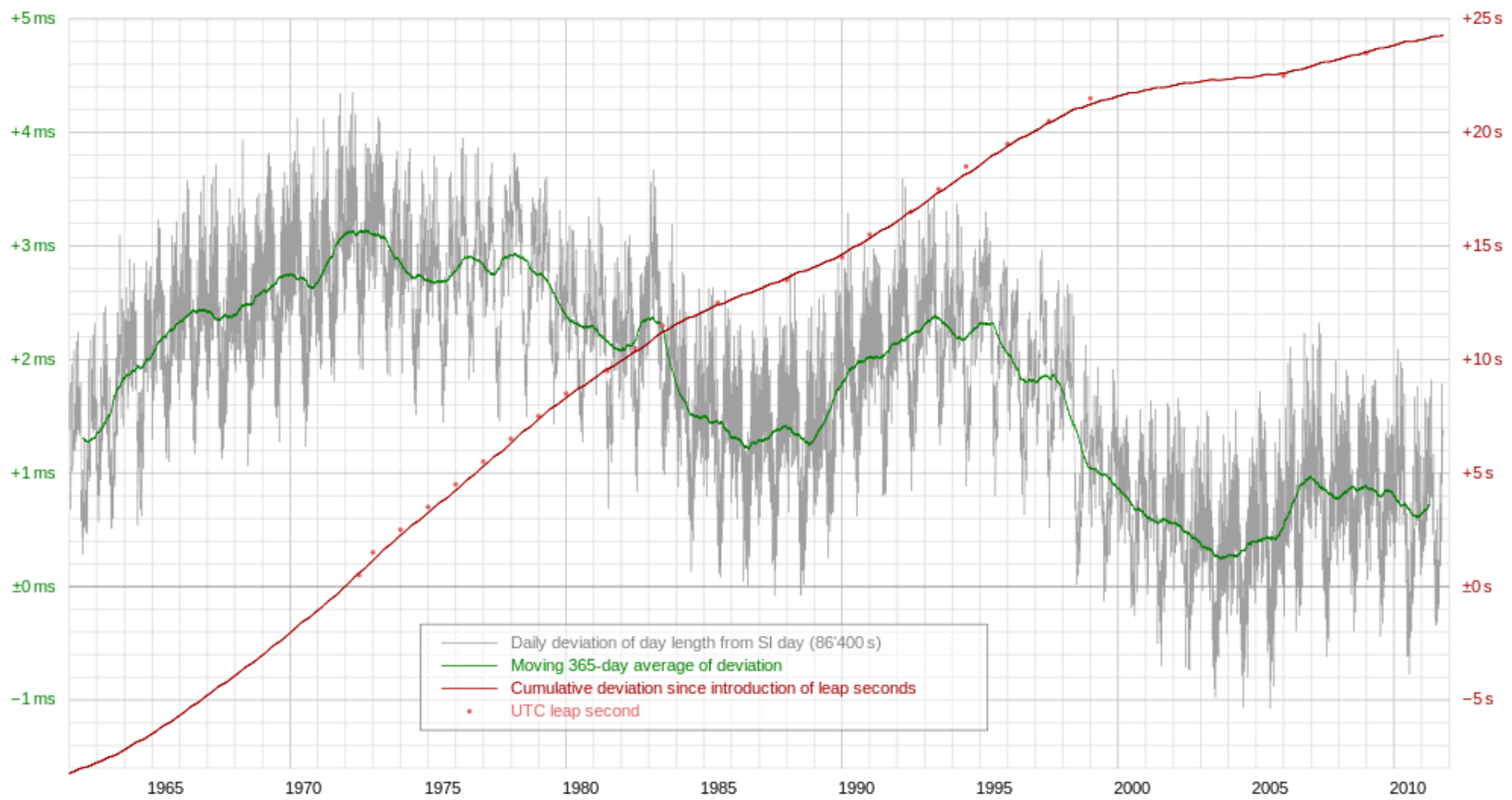
okres ok. 18.6 lat, amplituda max. $\sim 17''$

Czas

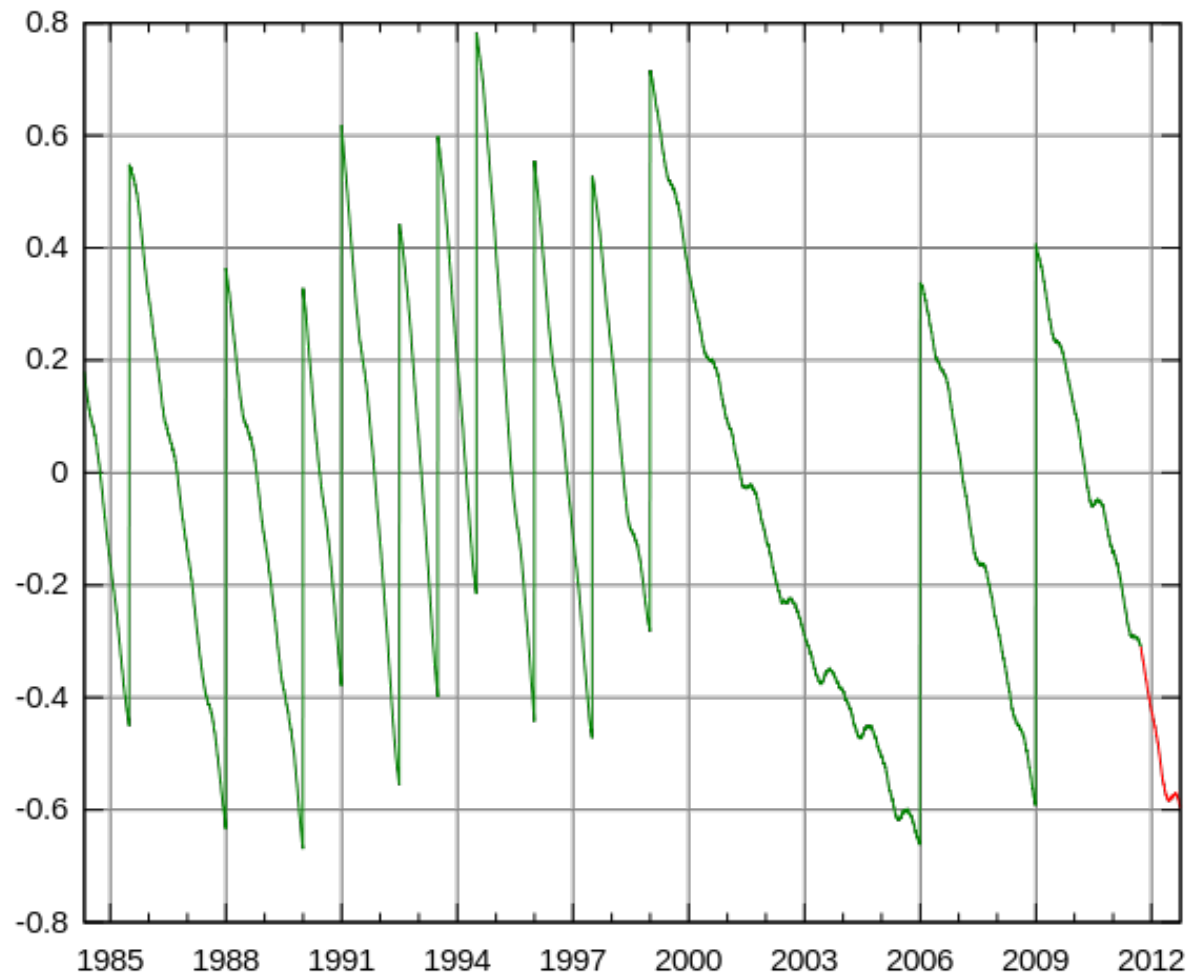
- 1 sekunda = 9 192 631 770 okresów dragań fali emitowanej przez atom ^{133}Cs (przejście $F=3/4$ stanu $^2S_{1/2}$) (od 1967)
- rotacja Ziemi → doba *gwiazdowa*
86 164.098 903 691 s (~ 23 h 56 m 4.1 s)
- czas pomiędzy kolejnymi kulminacjami Słońca → doba *słoneczna* – 24 h



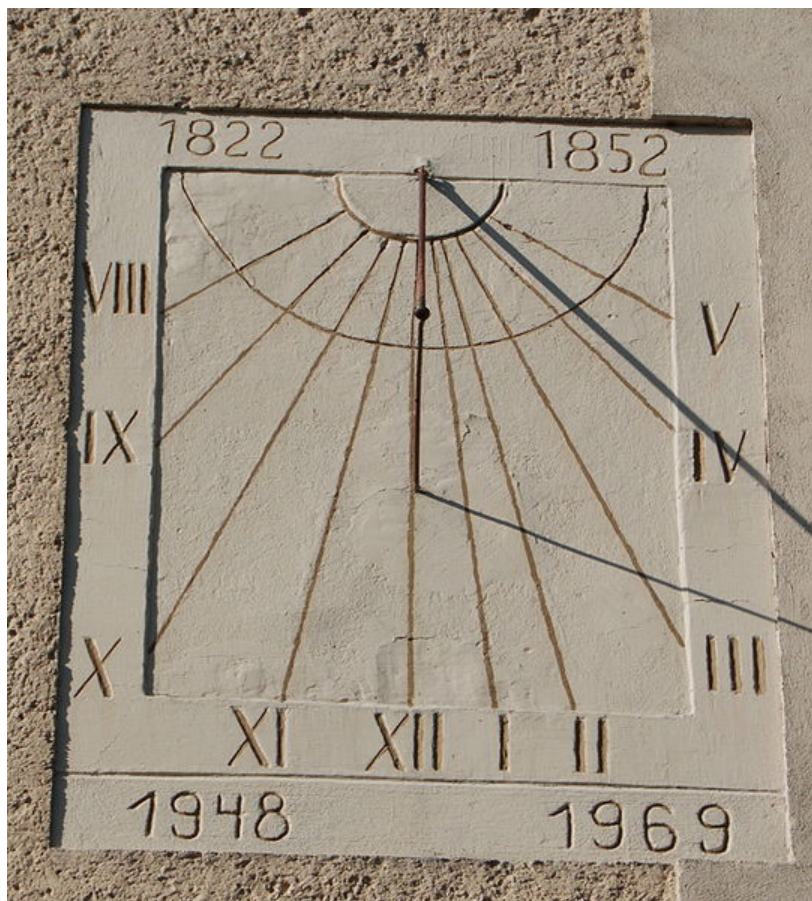
- czas atomowy (TAI)
- czas GPS: $\text{TAI} - \text{GPS} = 19 \text{ s}$
- czas uniwersalny (UT1) – średni czas słoneczny południka Greenwich
- czas uniwersalny koordynowany (UTC)
- ziemski czas dynamiczny (TDT, TT, ET): $\text{TDT} - \text{TAI} = 32.184 \text{ s}$
- czas urzędowy – UTC + strefa czasowa

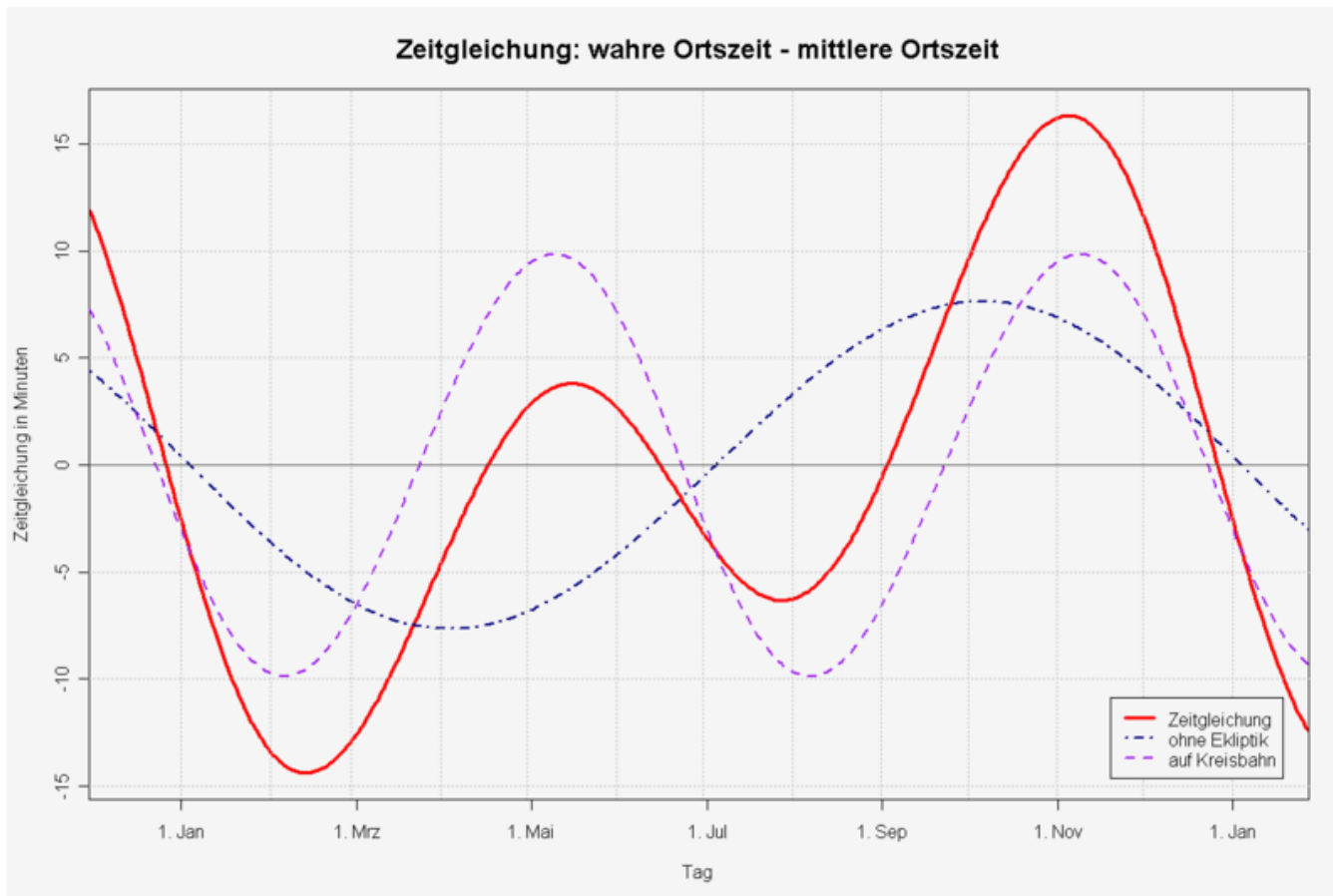


UT1-UTC



– czas lokalny (prawdziwy)





$$\Delta t \simeq -7.657 \sin M + 9.862 \sin(2M + 3.599) \text{ min}$$

– analemma:



- rok zwrotnikowy: 365 d 5 h 48 m 45.19 s (2000)

$$365.2421896698 - 6.15359 \times 10^{-6} T - 7.29 \times 10^{-10} T^2 + 2.64 \times 10^{-10} T^3$$

gdzie T to ilość stuleci juliańskich (36 525 dni) od południa 1 stycznia 2000 (TT)

- rok gwiazdowy: 365 d 6 h 9 m 9.76 s (2000)
 - rok anomalistyczny: 365 d 6 h 13 m 52.6 s (2011)
 - rok juliański: 365.25 d
 - rok gregoriański: 365.2425 d
- inne – smoczy, księżycowy, Gaussa, Bessela, ...

Księżyc



- teorie powstania

- oderwanie od formującej się Ziemi — potrzebna b. szybka rotacja wyjściowego układu

- przechwycenie przez Ziemię — trudności z wytraceniem energii przez przechycony obiekt

- jednoczesne powstanie z dysku protoplanetarnego — nie tłumaczy b. dużego momentu pędu układu i różnice w udziale żelaza w składzie Ziemi i Księżyca

– oderwanie się od Ziemi w wyniku uderzenia innego ciała — symulacje zderzenia pozwalają na taki scenariusz, pewne problemy ze składem izotopowym

● odległość i rozmiary



– wielka półka: 384 399 km (0.00257 AU)

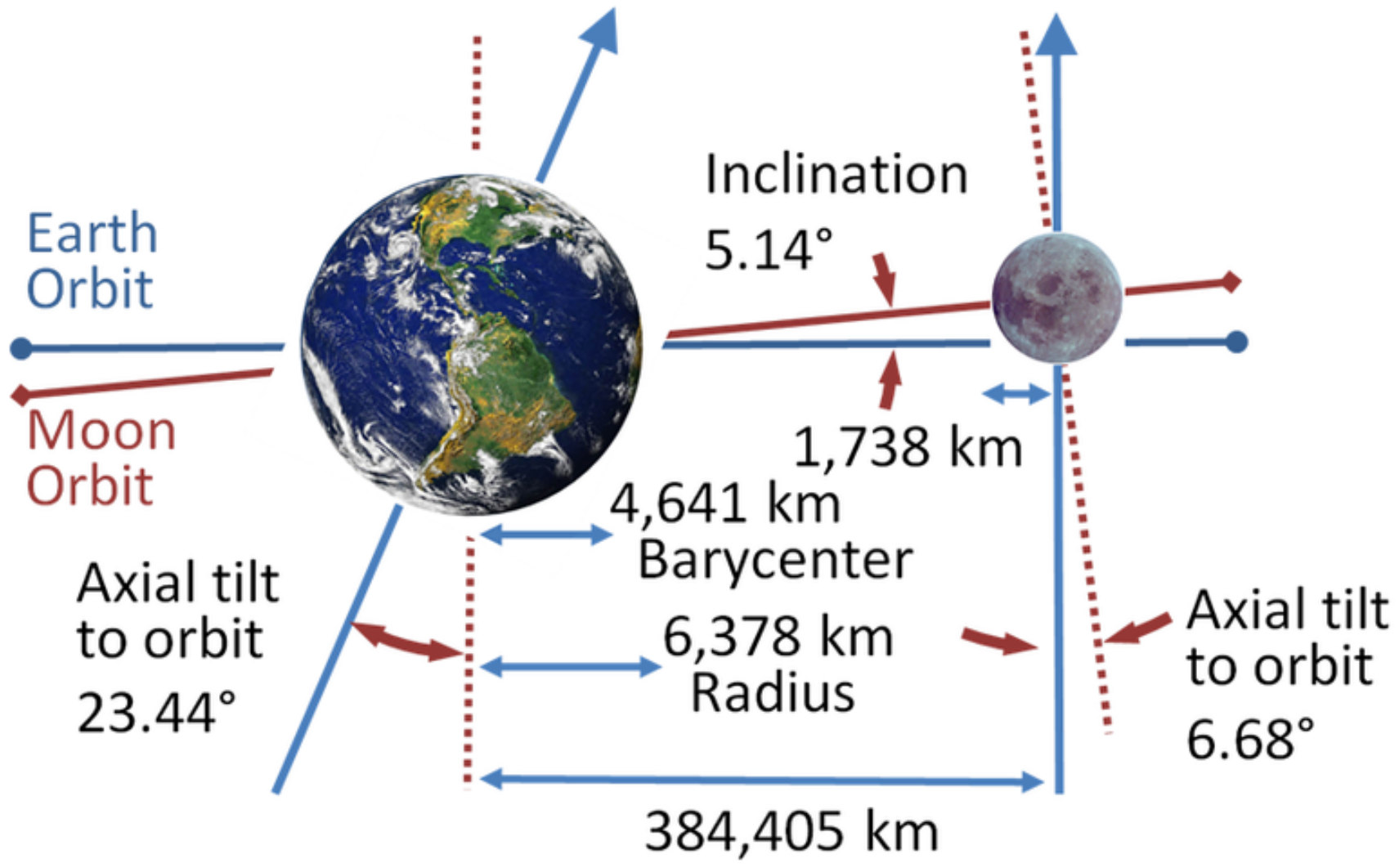
– mimośród: 0.0549

– okres obrotu: 27.321582 d

– promień: 1 737.10 km (0.273 R_{\oplus})

– masa: 7.3477×10^{22} kg (0.0123 M_{\oplus})

– śr. gęstość: 3.3464 kg/dm³

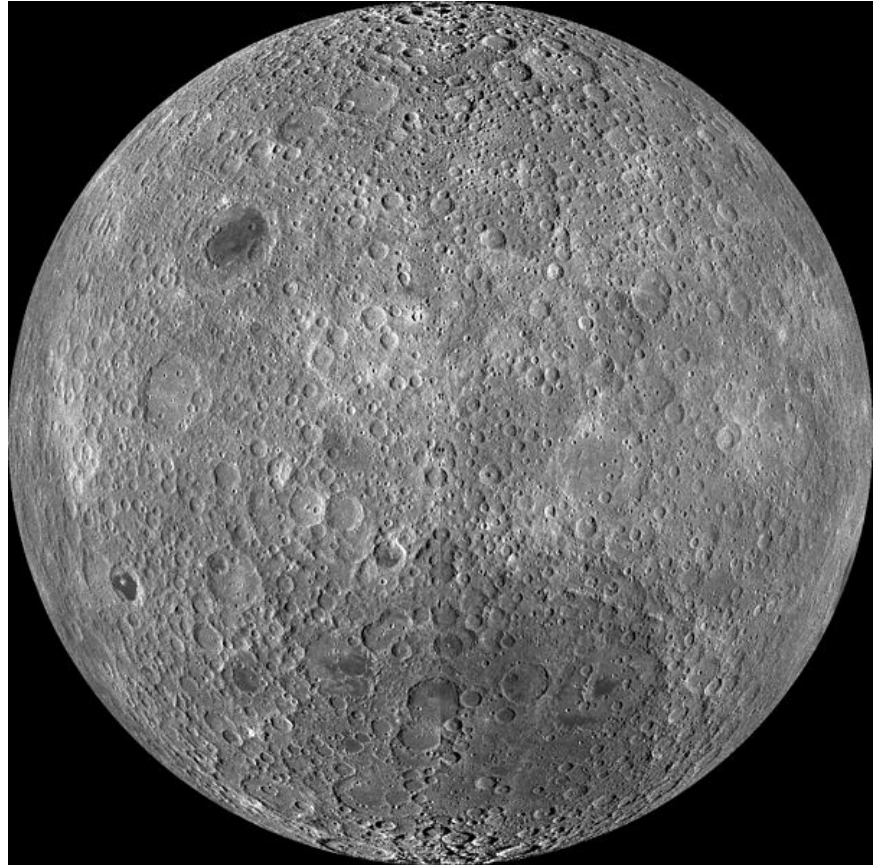
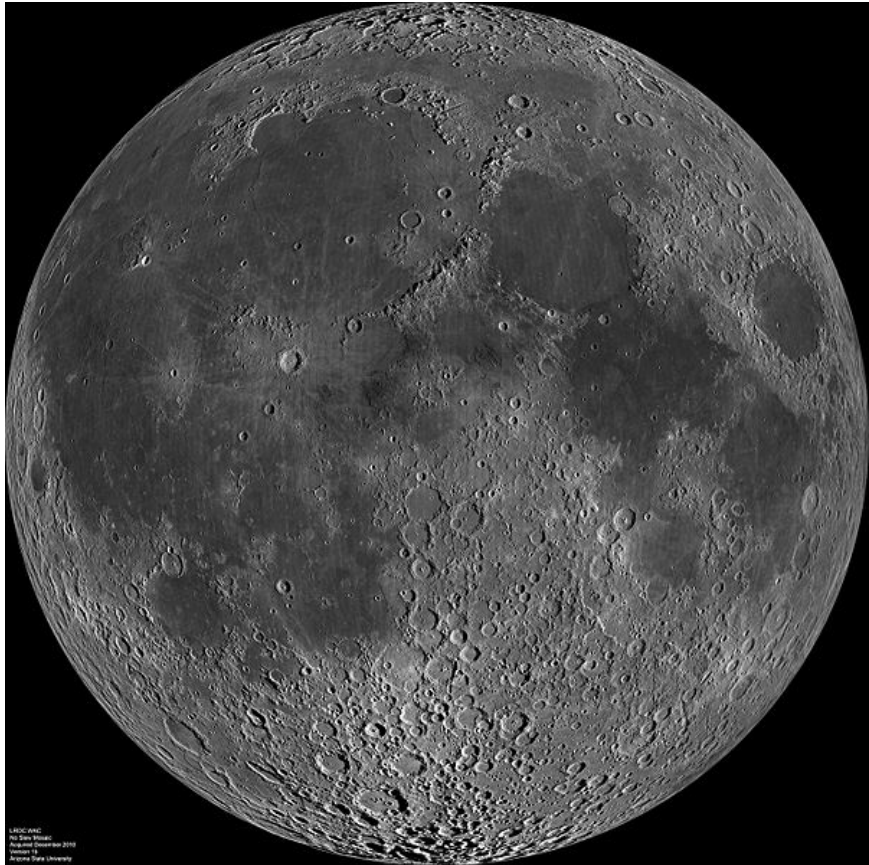


- powierzchnia:

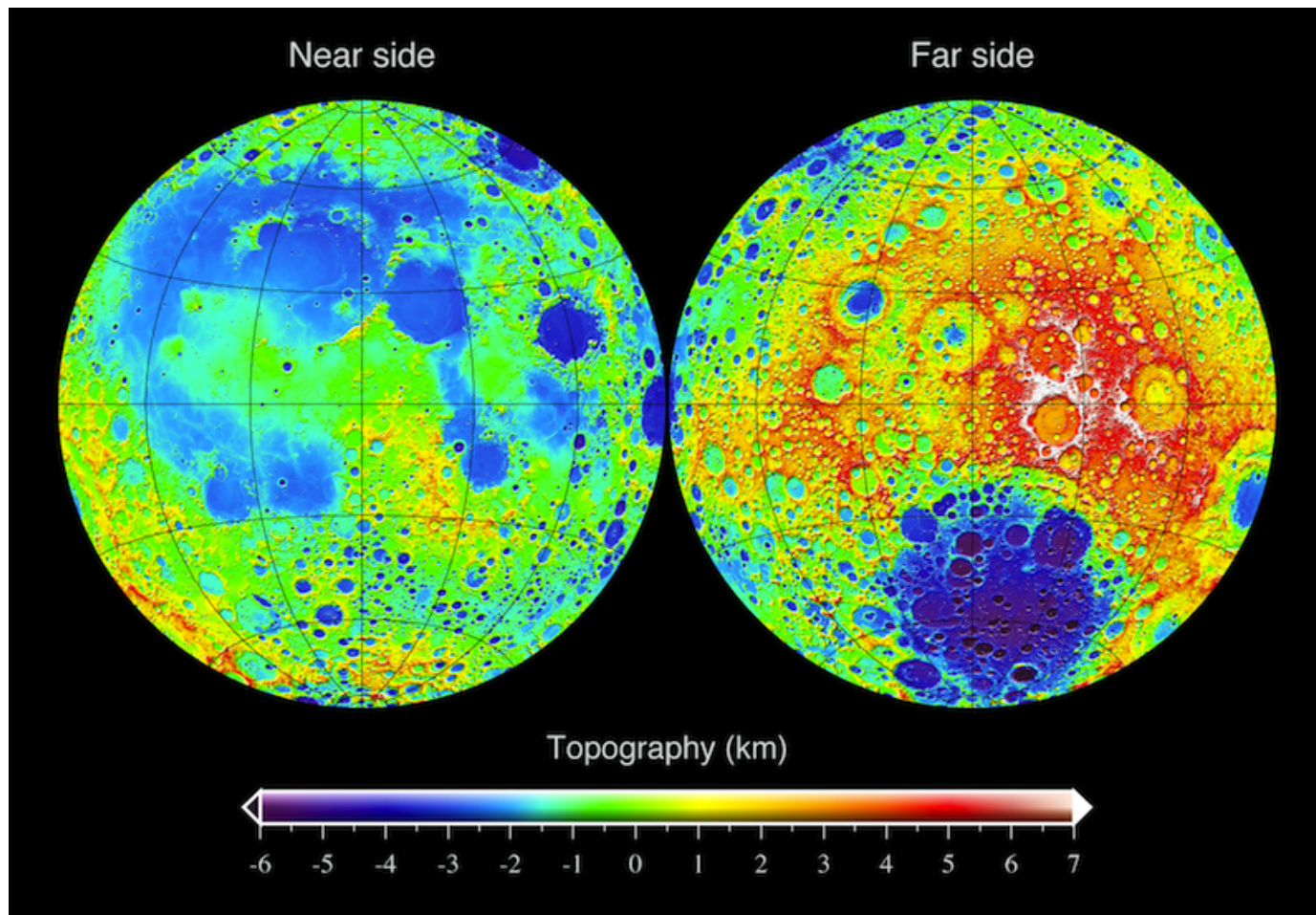
- XVII w. T. Harriot, Galileusz – pierwsze obserwacje

- J. Heweliusz „*Selenographia*” (1647) – pierwsze mapy Księżyca



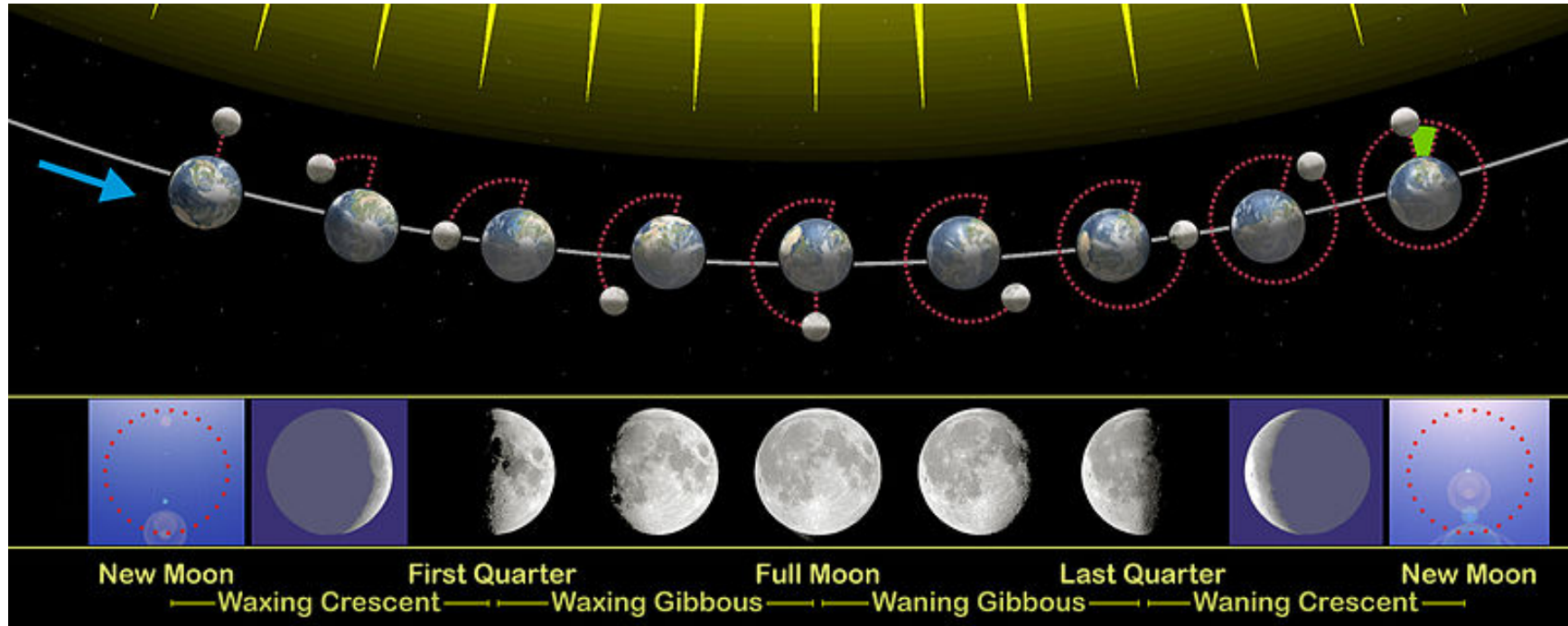


Lunar Reconnaissance Orbiter



Lunar Orbiter Laser Altimeter, (wys. n.p. sfery 1737.4 km)

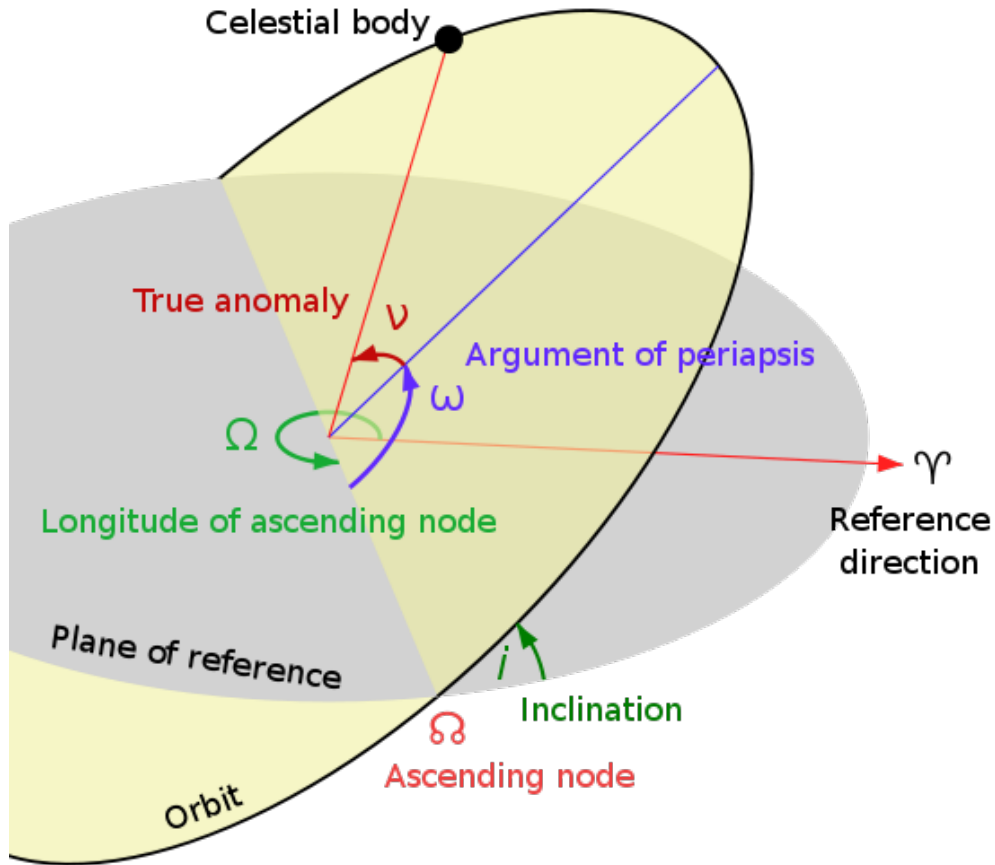
– fazy Księżyca:



– okres zmian – miesiąc synodyczny: 29.530589 d

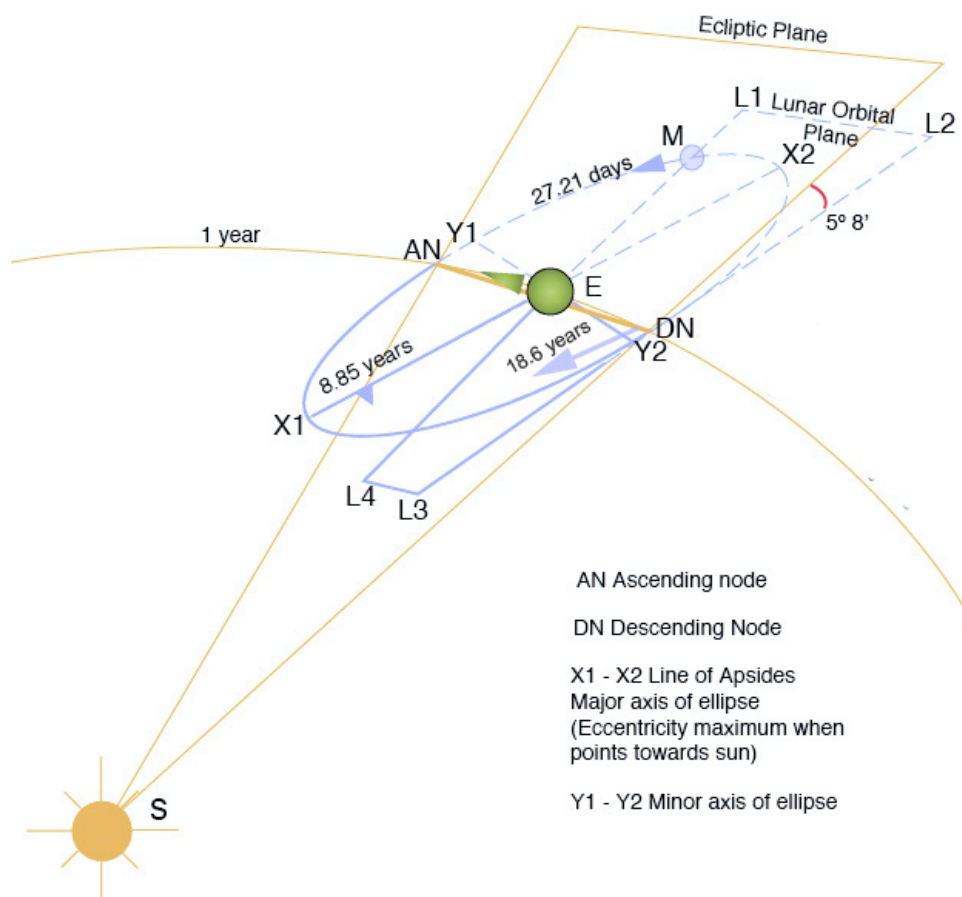
– miesiąc gwiazdowy: 27.321582 d

- orbita



a 384 748 km
e 0.0549006
(0.026 – 0.077)
i 5.14°
(4.99 – 5.30)

– orbita Księżyca



miesiąc	[d]
gwiazdowy	27.32166155
synodyczny	29.53058886
zwrotnikowy	27.321582
anomalistyczny	27.554550
smoczy	27.212220815

obrót lini apsyd: 8.8504 yr

obrót lini węzłów: 18.5996 yr

- libracje

- różna prędkość rotacja wokół Ziemi i wokół własnej osi – libracja w długości – 7.9°

- okres – miesiąc anomalistyczny

- nachylenie osi obrotu do płaszczyzny orbity + płaszczyzny orbity do ekliptyki – libracja w szerokości – $1.55^\circ + 5.15^\circ$

- okres – miesiąc smoczy

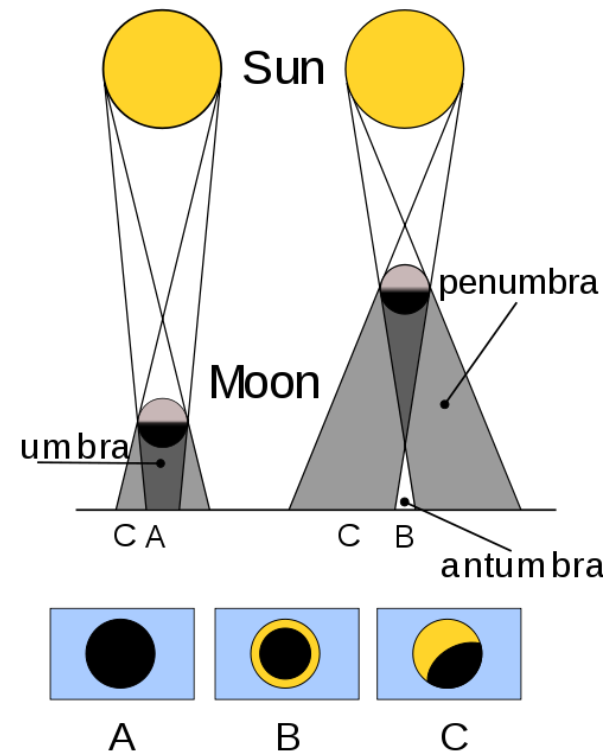
- libracja topocentryczna (dzienna) – ok. 1°

w sumie z Ziemi jest widoczne ok. 59% powierzchni Księżyca, 41% pozostaje niewidoczne

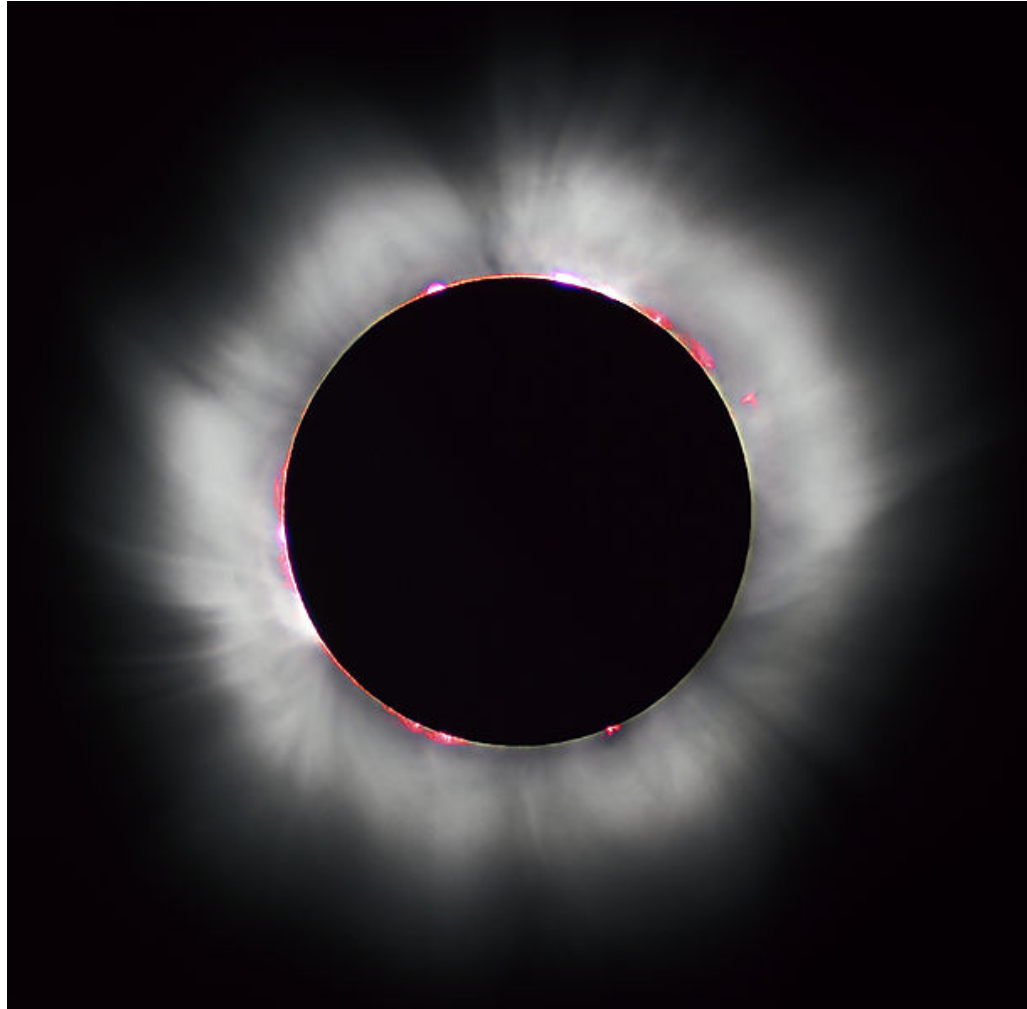
- zaćmienia (zakrycia) Słońca

– kątowny rozmiar Słońca:
32'32" – 31'28"

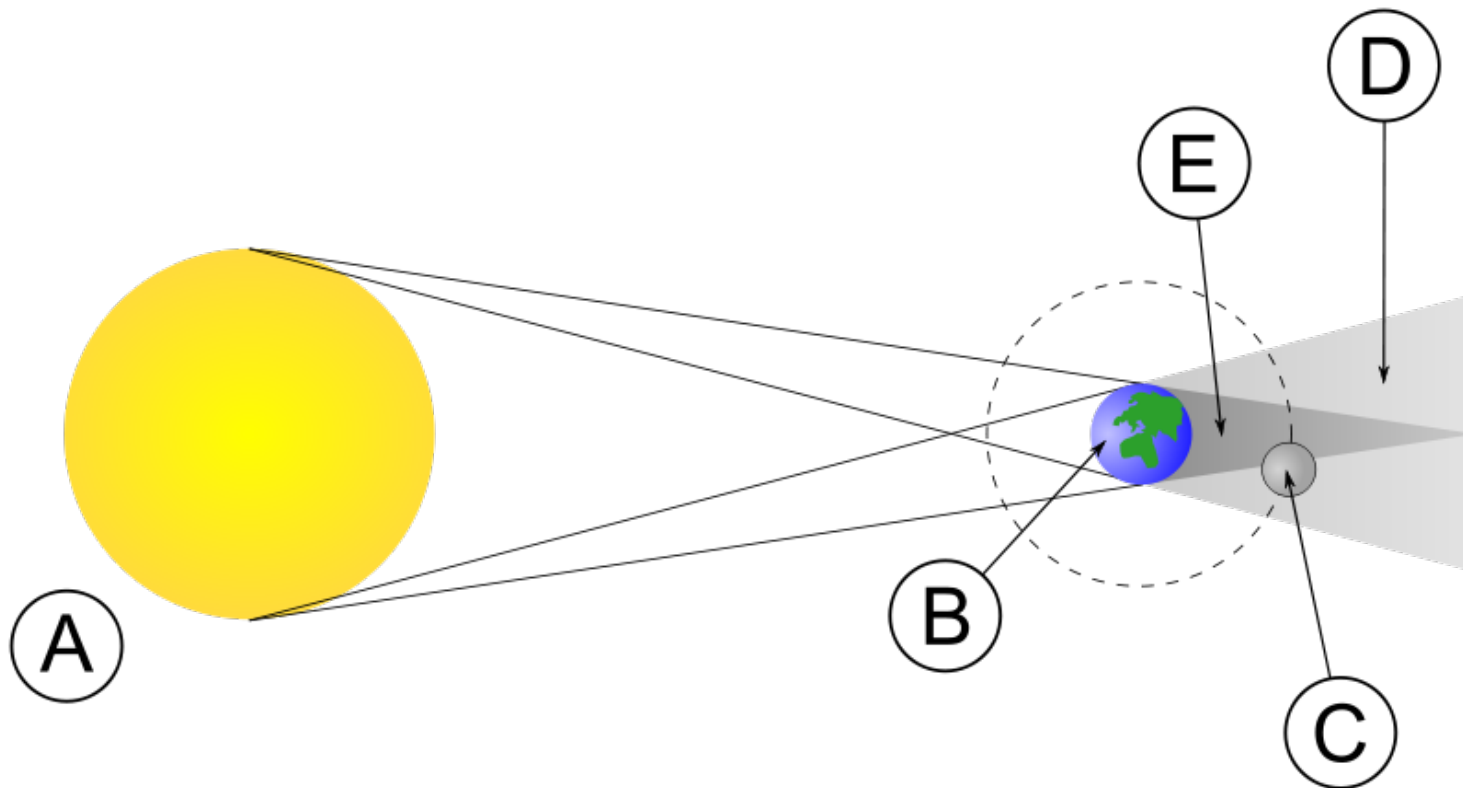
– kątowny rozmiar Księżyca:
32'54" – 29'26"



corocznie 2–5 zaćmień Słońca



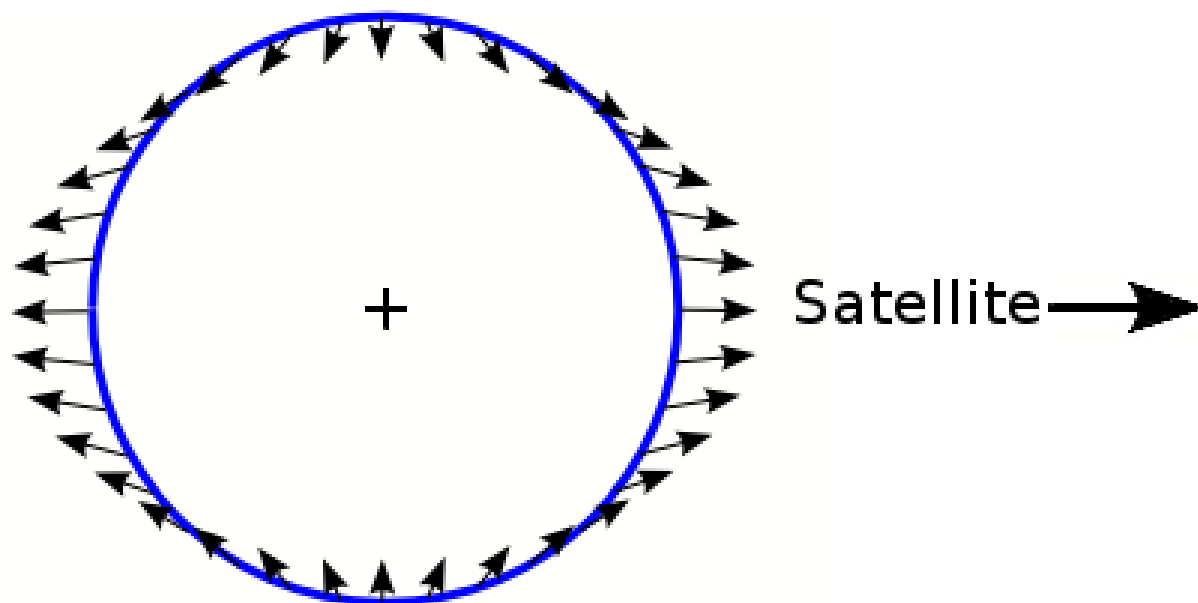
- zaćmienia Księżyca



średnica cienia Ziemi w odległości Księżyca – $1^{\circ}23'$
2–3 zaćmienia Księżyca corocznie



- pływy



- inne satelity

- planetoida 3753 Cruithne – kwazisatelita

- pyłowe Księżyce Kordylewskiego

- sztuczne satelity

- *Low Earth Orbit* 100 – 2 000 km

- Sputnik 1 (4.10.1957) (215 km)

- ISS (340 km)

- HST (595 km)

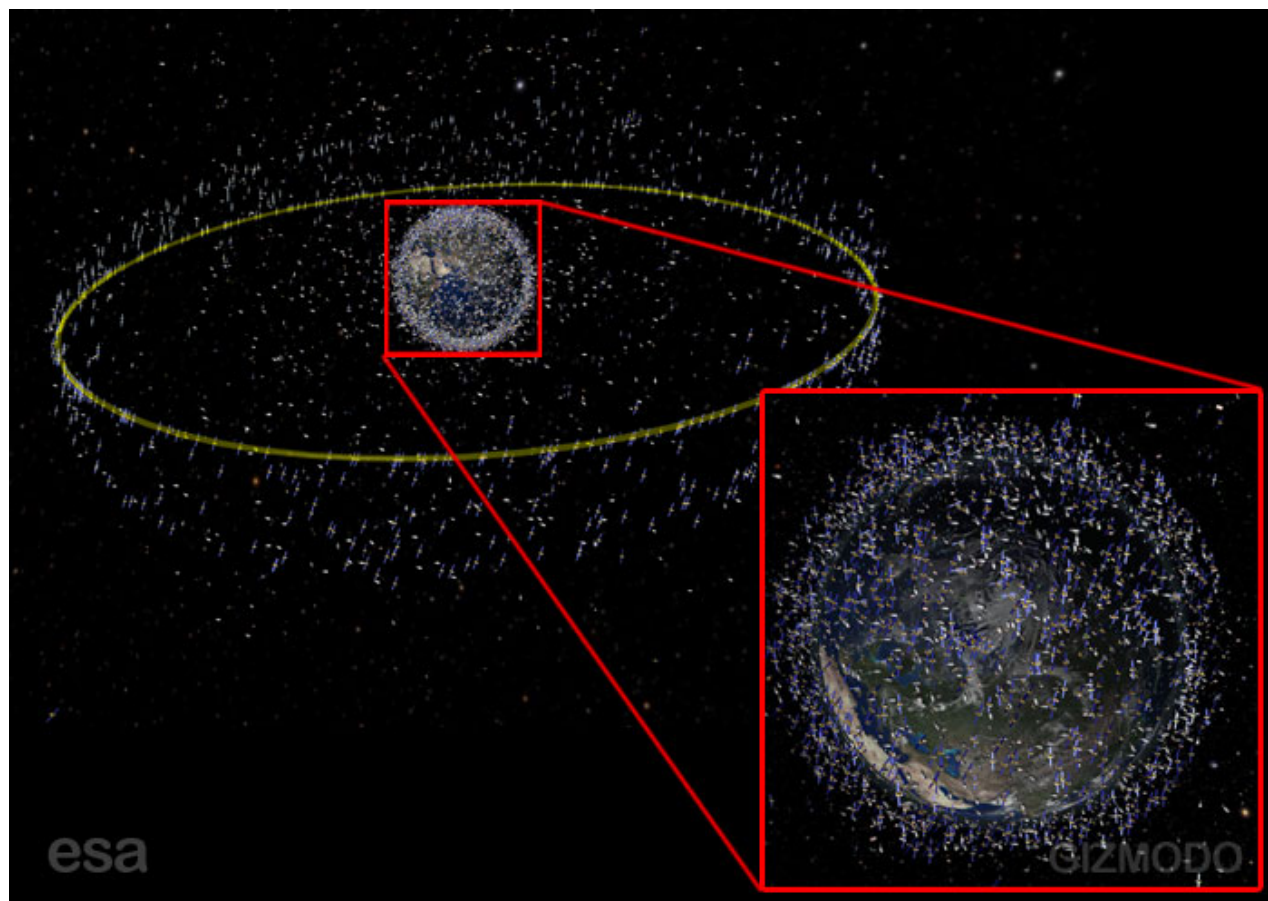
- *Medium Earth Orbit* 2 000 – 35 786 km

- GPS (20 350 km) – okres orbitalny 12h (SSO)

- orbity geostacjonarne(GSO) i geosynchroniczne(GEO)

- *High Earth Orbit* > 35 786 km

National Space Science Data Center Catalog – 6 578 satelitów
(31.10.2010)



Układ Planetarny

- planety (z księżycami, pierścieniami), planety karłowate
- mniejsze ciała – planetoidy, meteoroidy, komety
- gaz, pył międzyplanetarny
- wiatr gwiazdowy (słoneczny)

pozostające pod wpływem oddziaływania grawitacyjnego Słońca

Układ Planetarny + Słońce = Układ Słoneczny

- planety (IAU 2006):

- obiega gwiazdę centralną (Słońce)

- nie jest satelitą innego ciała

- ma wystarczająco dużą masę, żeby przybrać kulisty kształt

- jest wystarczająco duża, żeby oczyścić otoczenie swojej orbity i innych ciał

- planety karłowate
 - spełniają trzy pierwsze punkty definicji planety

- mniejsze ciała:
 - planetoidy
 - skaliste ciała o średnicy większej niż 50 m

 - komety
 - skalno-lodowe bryły ukazujące komę i warkocz przy zbliżeniu się do Słońca

 - meteoroidy
 - mniejsze niż 50 m

- trochę historii:

- starożytność (Ptolomeusz) – 7 sfer planetarnych

Księżyc ☾, Merkury ☿, Wenus ♀, Słońce ☉, Mars ♂, Jowisz ♃, Saturn ♄

- renesans (do 1781 r)

Merkury ☿, Wenus ♀, Ziemia ♁, Mars ♂, Jowisz ♃, Saturn ♄

- od 1846 r

Merkury ☿, Wenus ♀, Ziemia ♁, Mars ♂, Jowisz ♃, Saturn ♄,
Uran ♅, Neptun ♆

+ planetoidy (asteroidy)

- od 1930 r

+ Pluton ♇

– od 2006 r

· 8 planet:

Merkury ☿, Wenus ♀, Ziemia ♂, Mars ♂, Jowisz ♃, Saturn ♄,
Uran ♅, Neptun ♆

· 5 planet karłowatych:

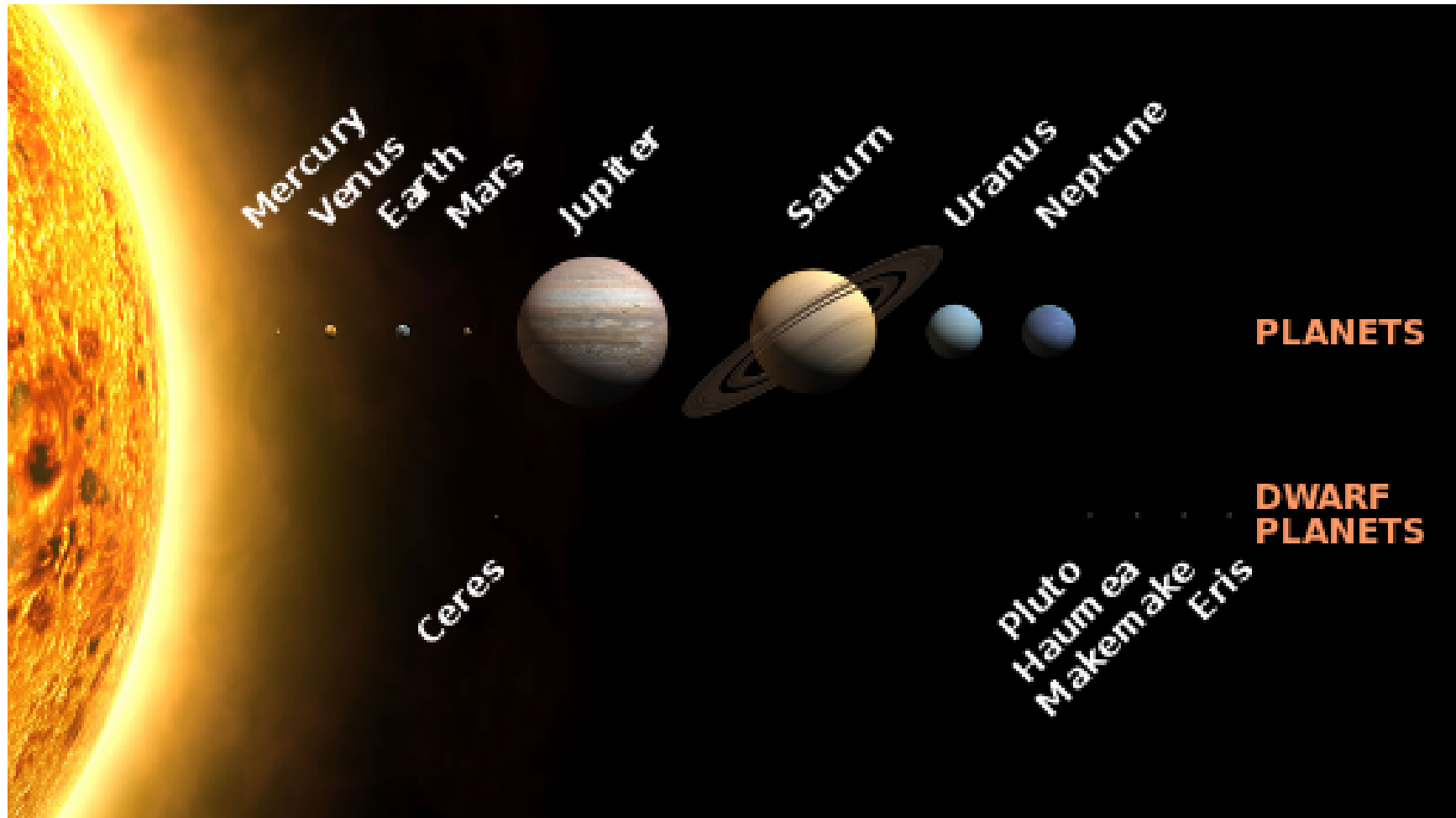
Ceres(1801), Pluton(1930), Eris(2003), Haumea(2004/08), Ma-
kemade(2005/08)

– reguła Titiusa-Bodego

$$a = 0.4 + 0.3 \times k$$

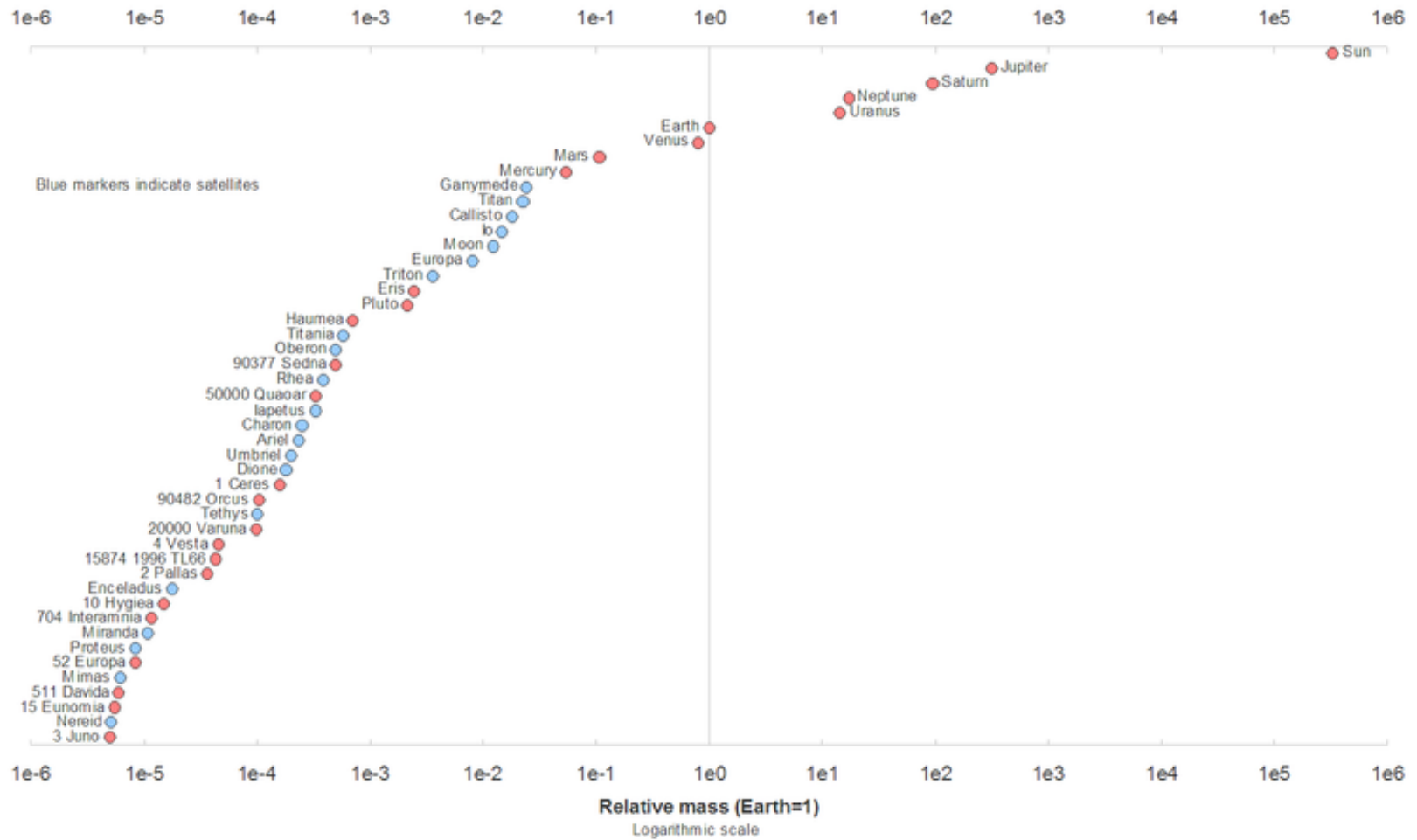
planeta	k	a_{T-B}	a [AU]
Merkury	0	0.4	0.39
Wenus	$1=2^0$	0.7	0.72
Ziemia	$2=2^1$	1.0	1.00
Mars	$4=2^2$	1.6	1.52
—	$8=2^3$	2.8	2.77
Jowisz	$16=2^4$	5.2	5.20
Saturn	$32=2^5$	10.0	9.54
Uran	$64=2^6$	19.6	19.19
Neptun	—	—	30.06
Pluton	$128=2^7$	38.8	39.40
Eris(?)	$256=2^8$	77.2	67.67

- rozmiary planet

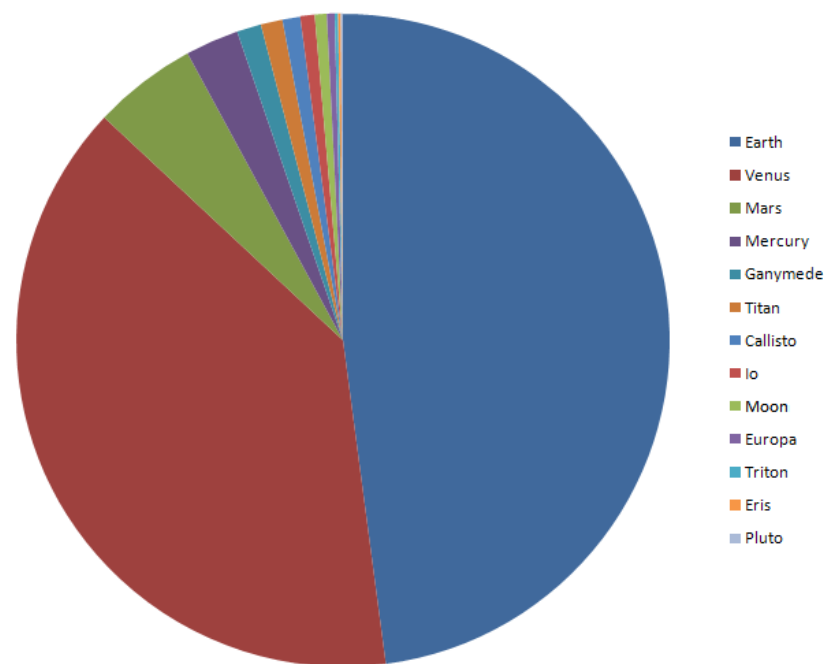
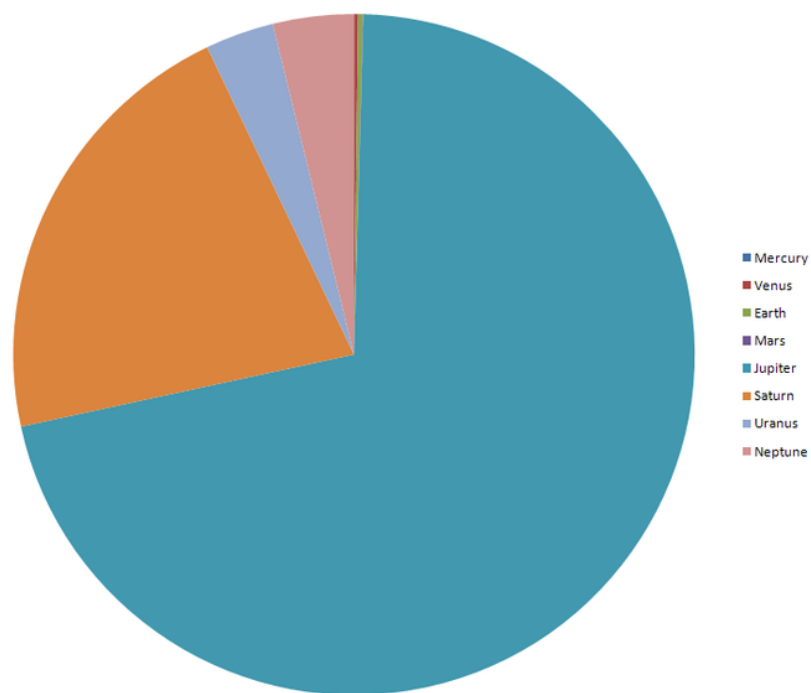


planeta	R [km]	$R [R_{\oplus}]$	m-ce	$M [M_{\oplus}]$	ρ [g/cm ³]
Merkury	2 440	0.383	10	0.0553	5.43
Wenus	6 052	0.950	6	0.815	5.24
Ziemia	6 371	1.000	5	1.000	5.52
Mars	3 390	0.532	7	0.107	3.94
Jowisz	69 911	10.97	1	317.83	1.33
Saturn	58 232	9.14	2	95.159	0.70
Uran	25 362	3.98	3	14.536	1.30
Neptun	24 622	3.86	4	17.147	1.76
Ksiezyc	1 737	0.273	13	0.0123	3.35
Eris	1 163	0.182	16	0.0027	2.25
Pluton	1 161	0.181	17	0.0022	~2
Makemake	750	0.118	22	0.00067	2.55
Haumea	718	0.117	28	0.00069	~2
Ceres	475	0.076	31	0.00016	2.08

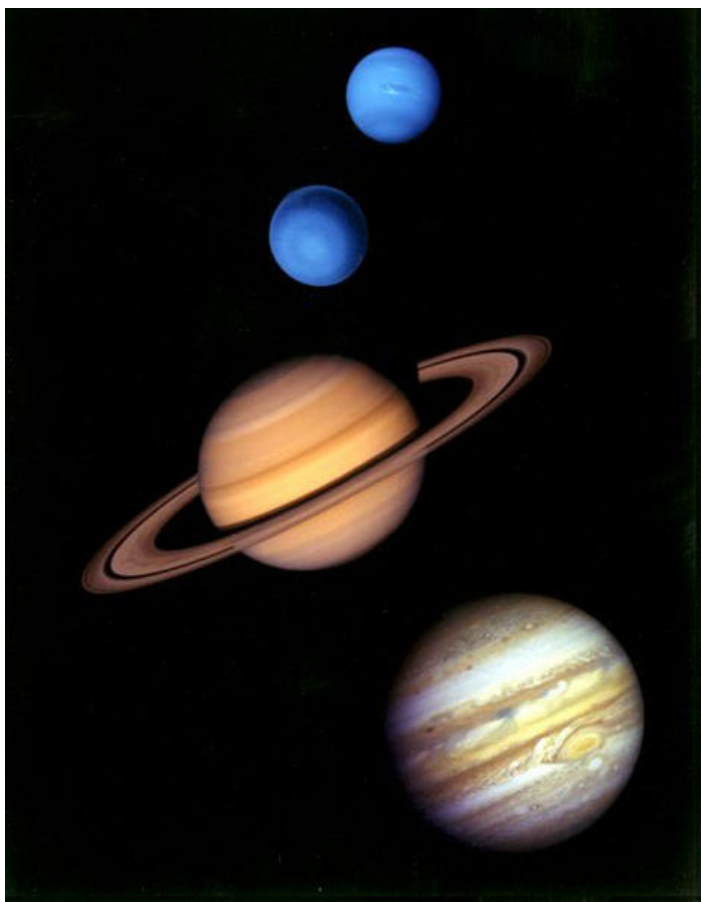
Relative masses of the heaviest solar system objects



– udział mas planet



- planety zewnętrzne – gazowe giganty



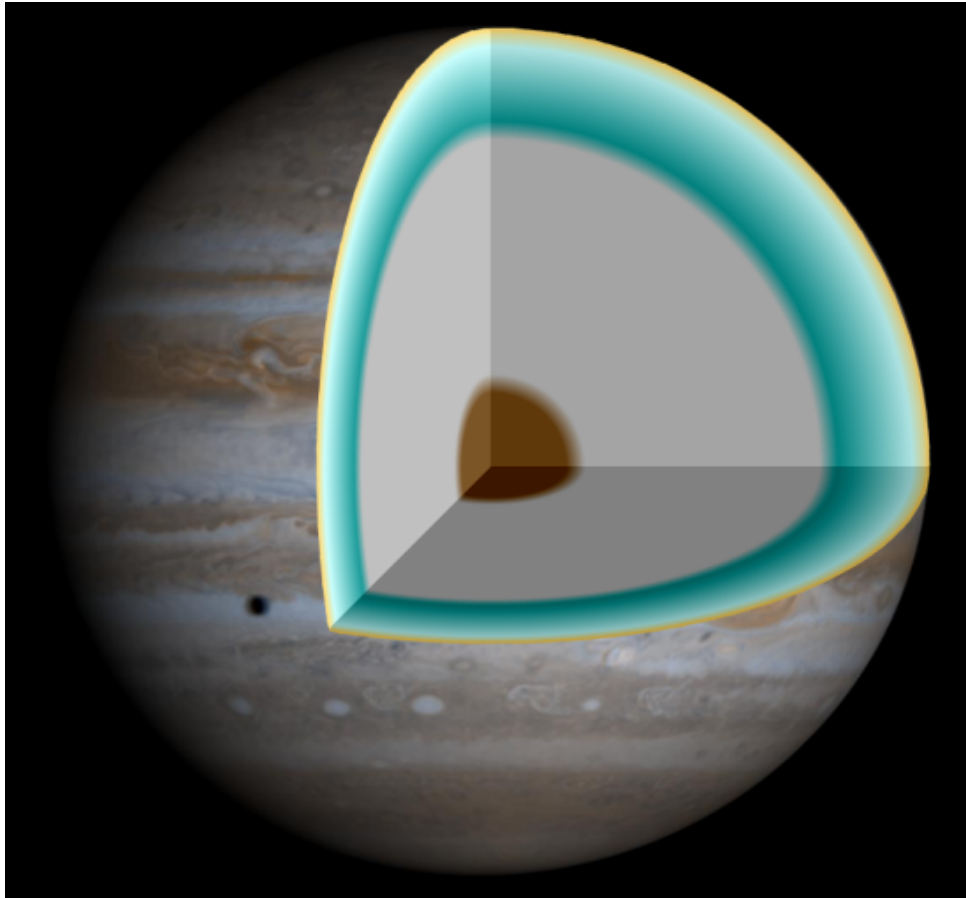
- zbudowane głównie z wodoru i helu z domieszką metanu, i innych gazów (i lodów)
- posiadają gęste atmosfery
- wszystkie posiadają pierścienie
- liczne satelity
- orbity blisko płaszczyzny ekliptyki
- emitują więcej energii niż otrzymują ze Słońca
- silne dipolowe magnetosfery

- Jowisz

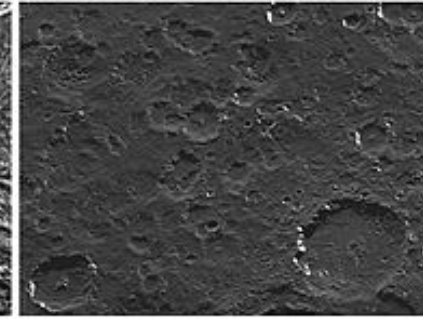
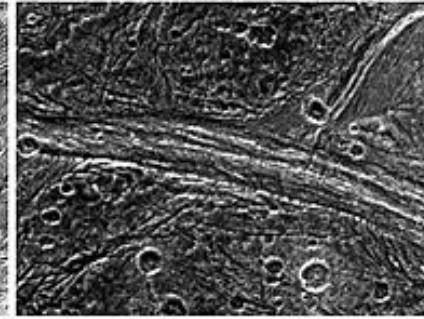
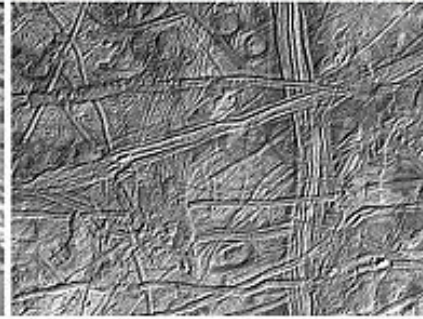
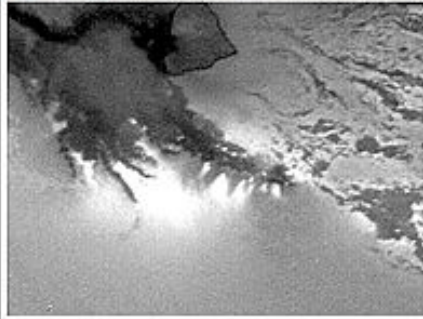
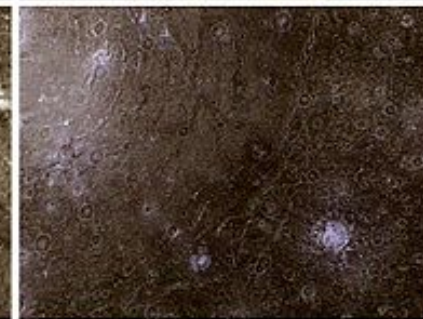
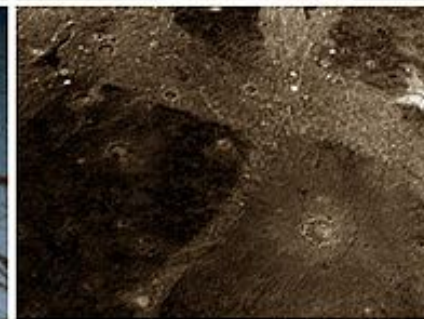
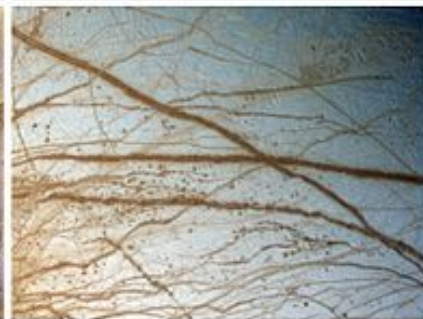


- wielka półoś orbity: 5.20 AU
- mimośród: 0.048775
- nachylenie orbity: 1.305°
- okres obiegu: 11.8618 lat
- okres rotacji: 9.925 h
- nachylenie osi obrotu: 3.13°
- jasność: -1.6^m – -2.94^m
- 64 księżyce (2008)
- pole magn. ok. 0.42 mT

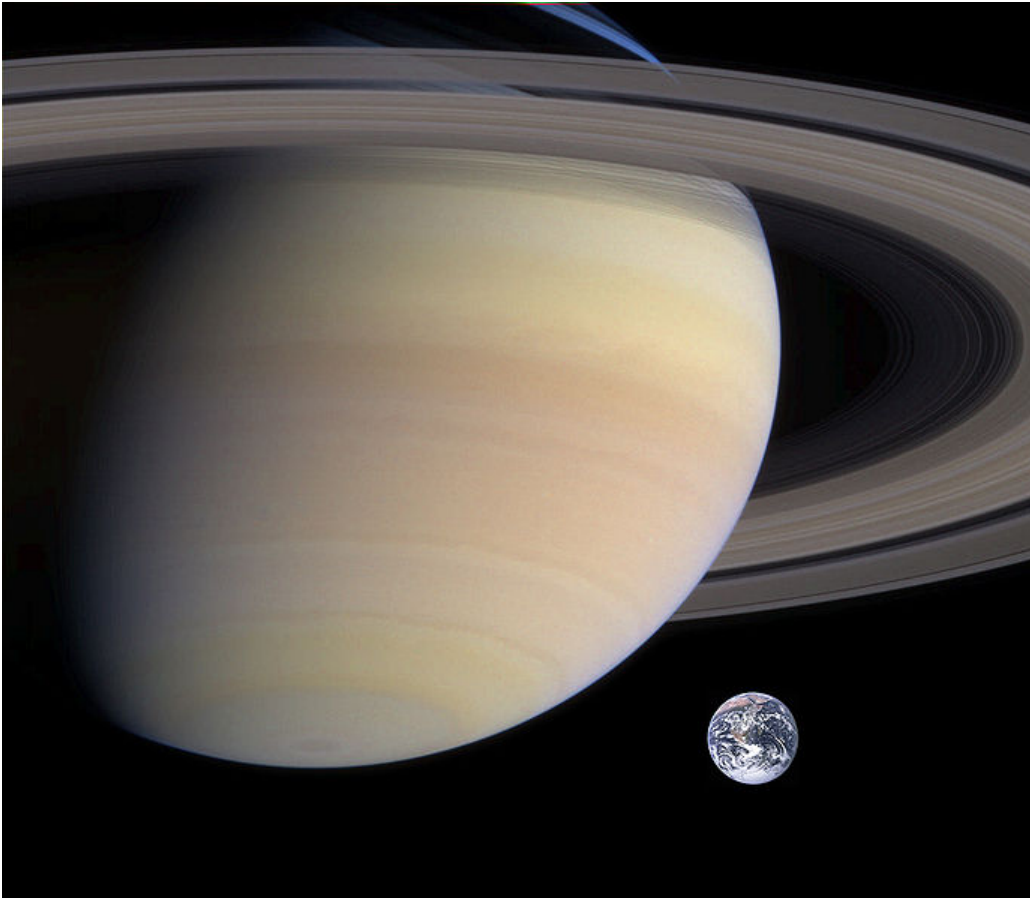
- budowa wewnętrzna



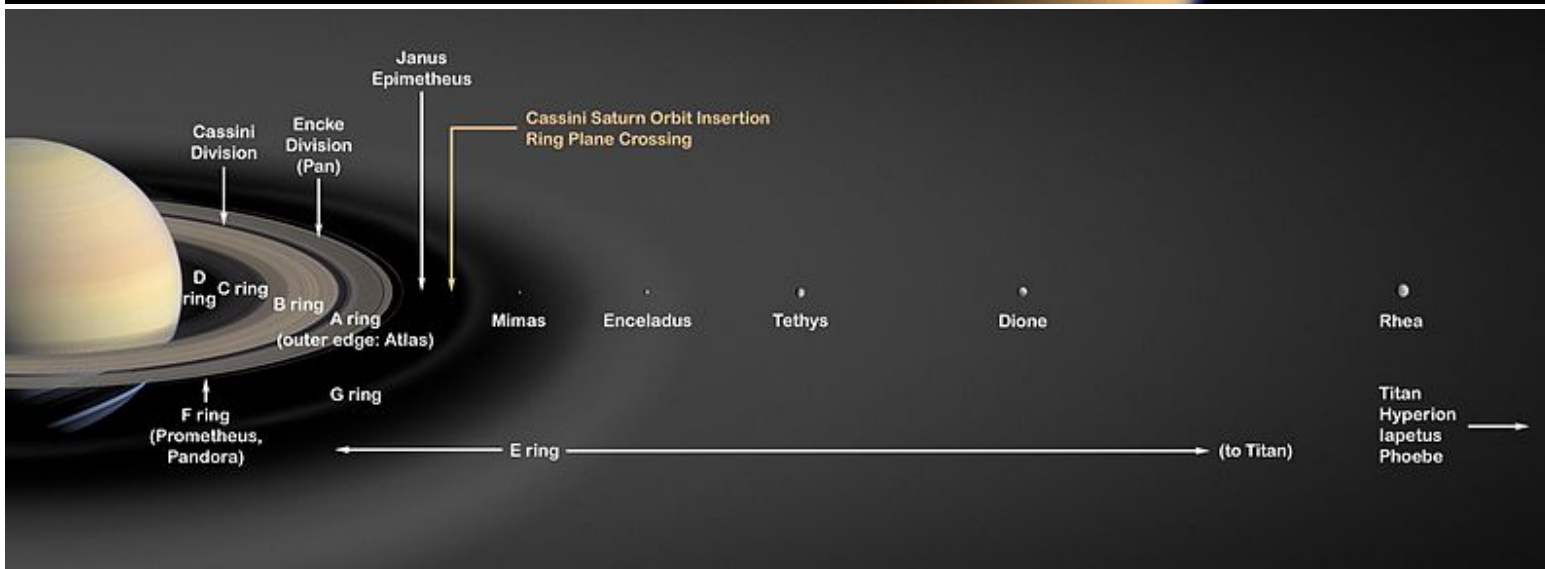
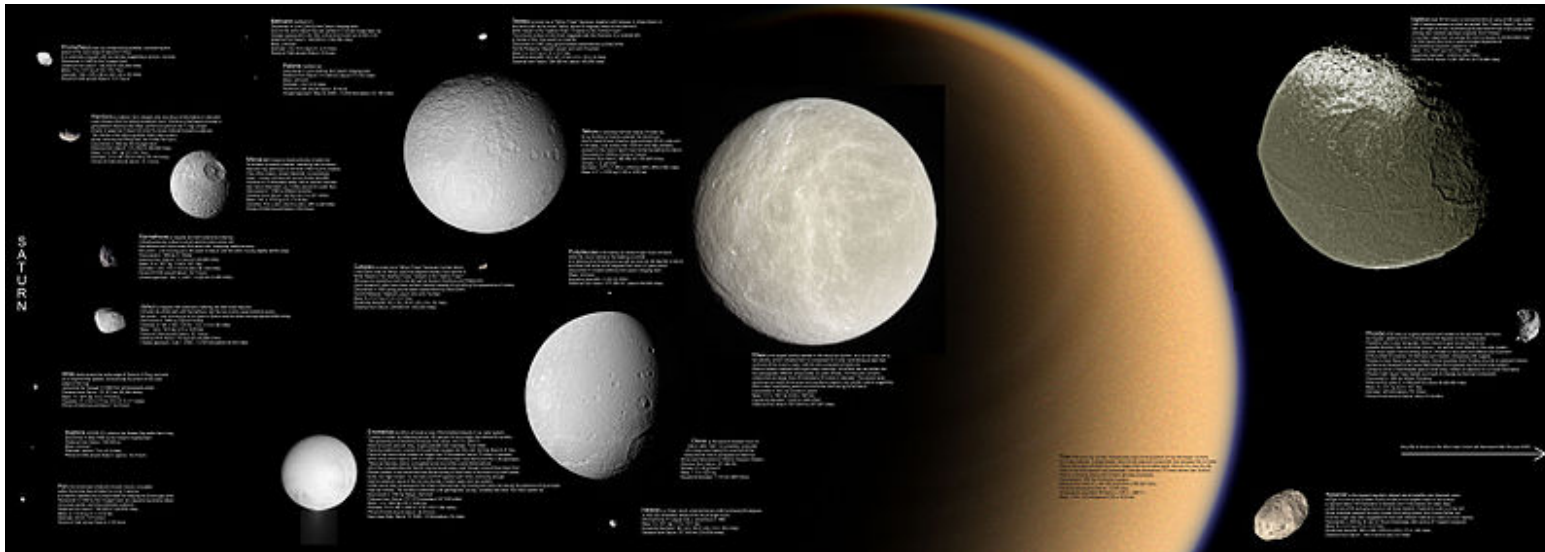
- skaliste jądro
- metaliczny wodór
- (nad)ciekły i gazowy wodór i inne gazy (hel, metan)



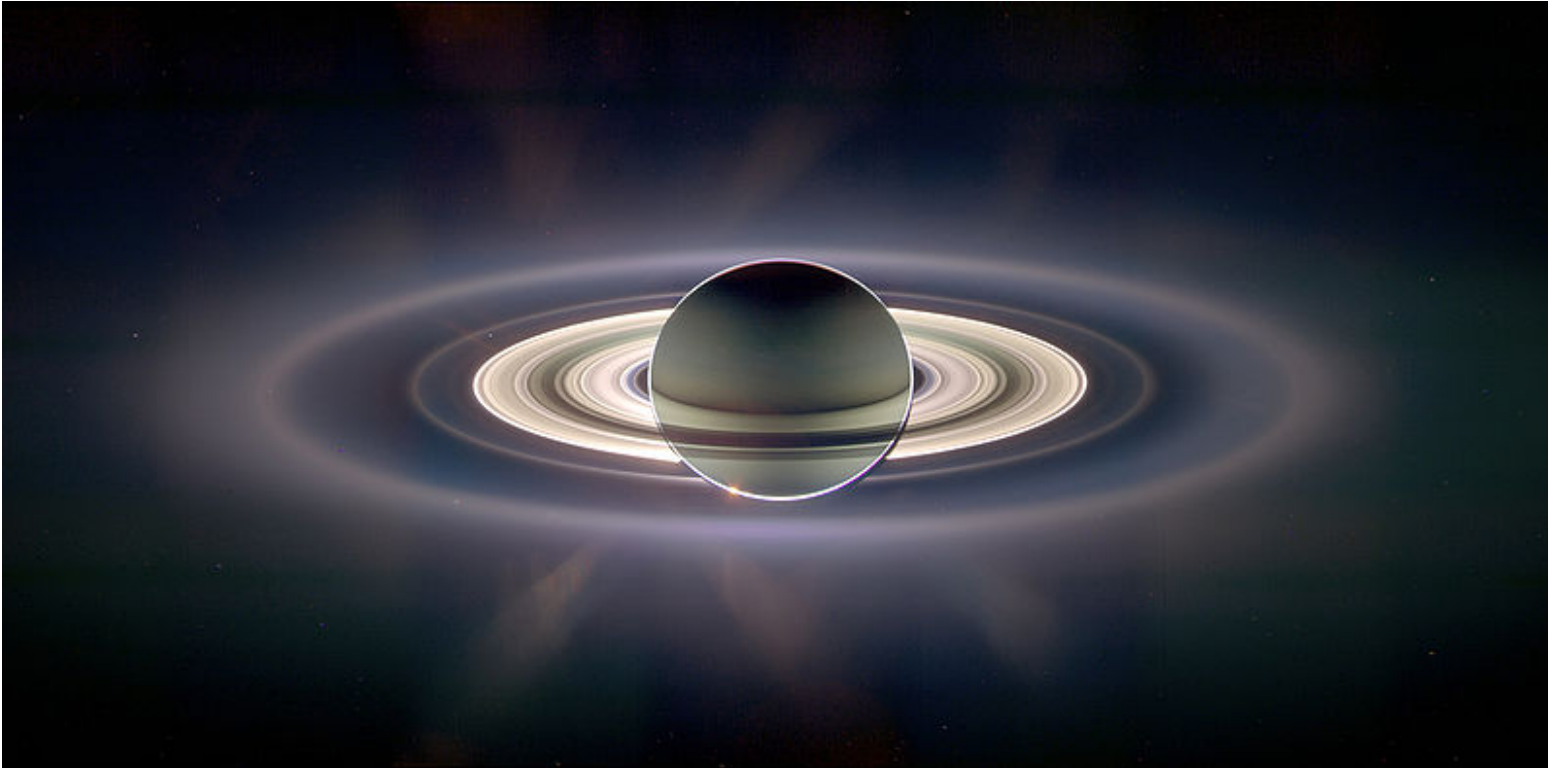
- Saturn



- wielka półoś orbity: 9.58 AU
- mimośród: 0.055723
- nachylenie orbity: 2.485°
- okres obiegu: 29.4571 lat
- okres rotacji: 10.57 h
- nachylenie osi obrotu: 26.73°
- jasność: 1.5^m – -0.24^m
- 62 księżyce (2008)
- pole magn. ok. 0.02 mT
- budowa wewnętrzna podobna do Jowisza

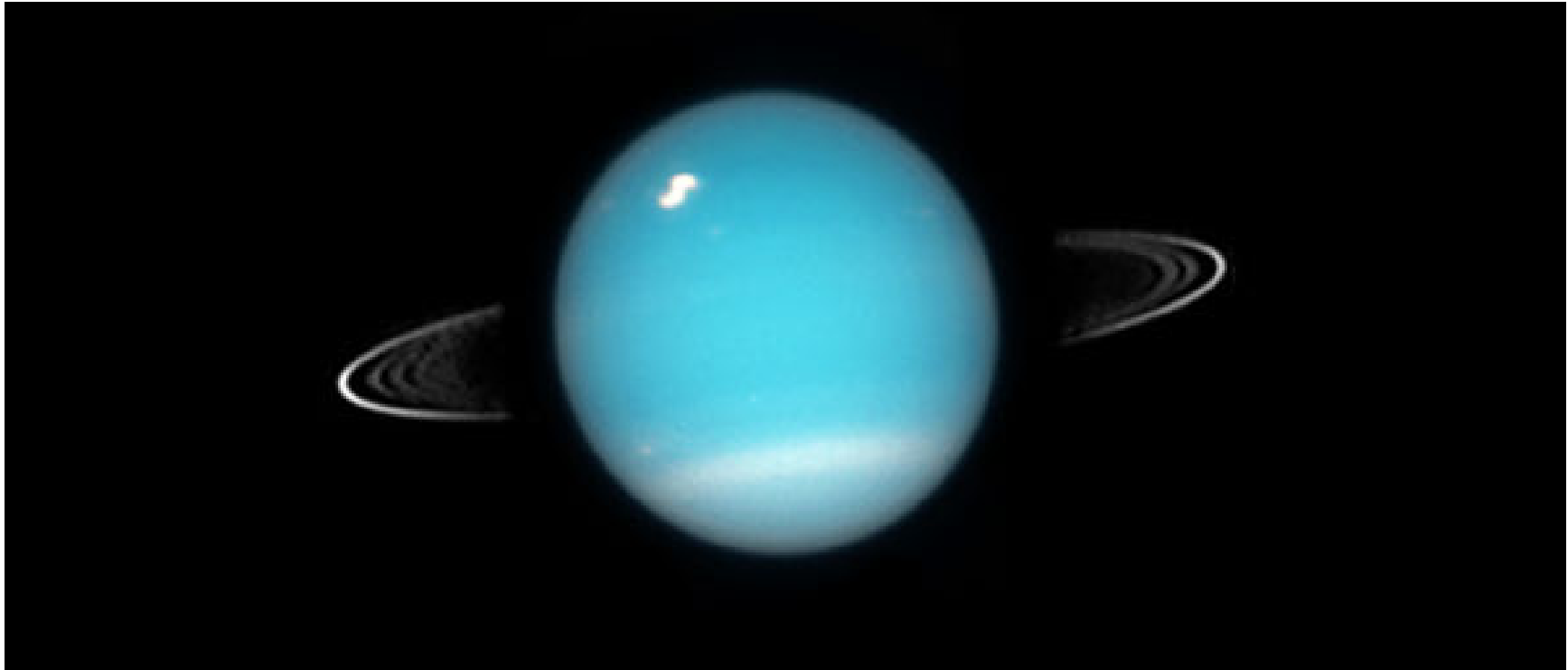


– pierścienie Saturna



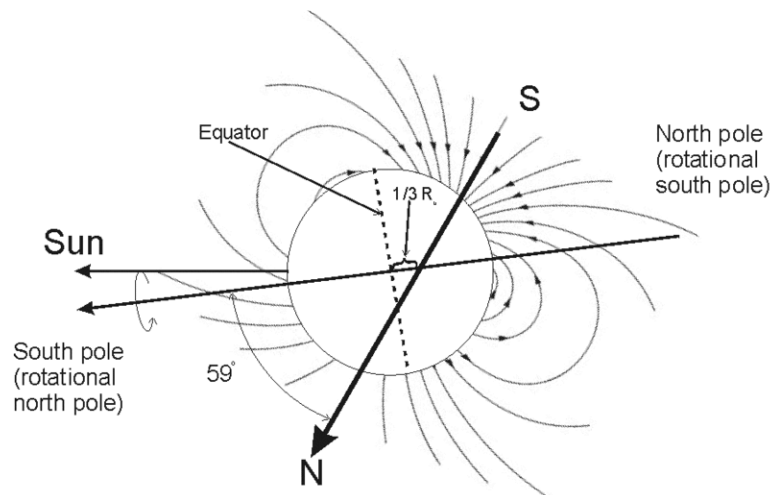
- 7 000 – 80 000 km od powierzchni, ok. 10 m grubości(?)
- skład 99.9% bryły lodu (1 cm – 10 m)

- Uran

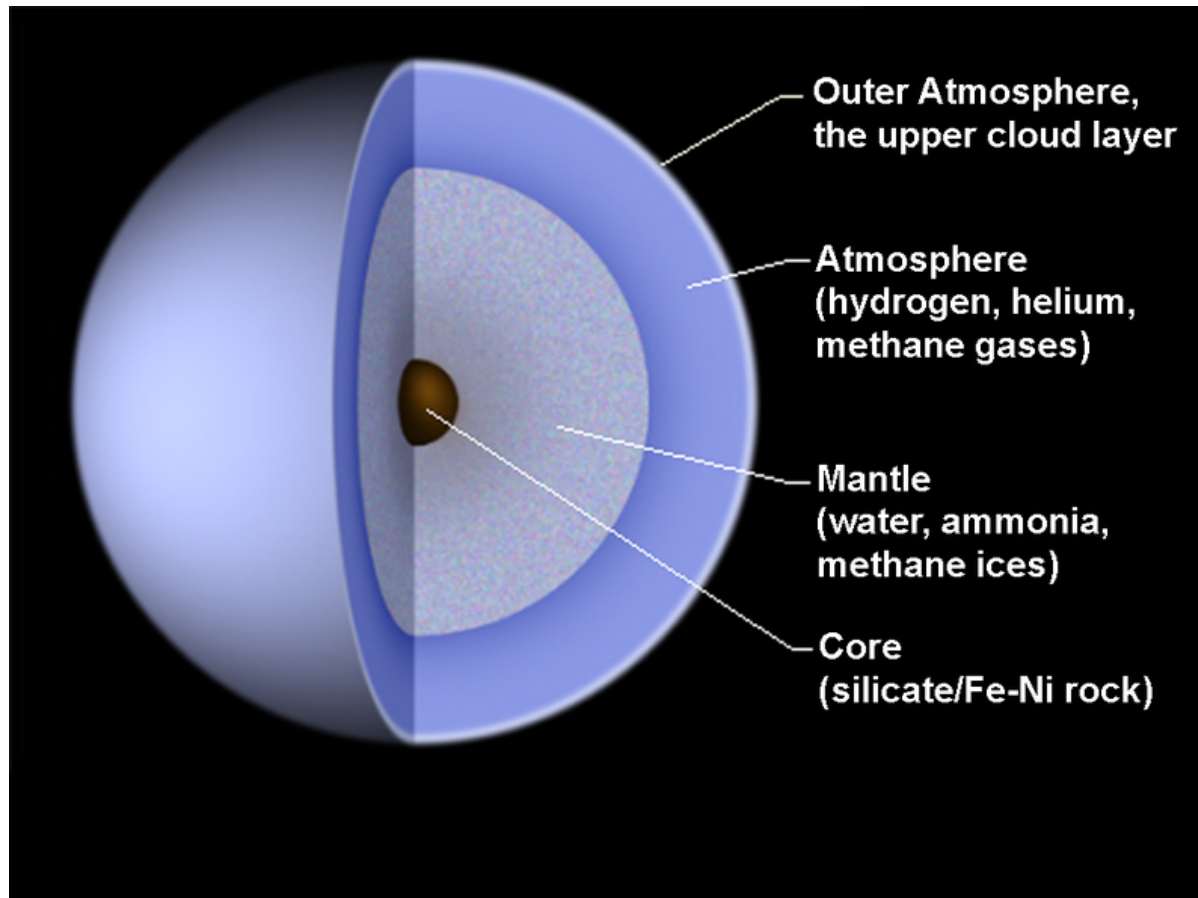


- wielka półoś orbity: 19.229 AU
- mimośród: 0.044406

- nachylenie orbity: 0.773°
- okres obiegu: 84.3233 lat
- okres rotacji: –17.24 h
- nachylenie osi obrotu: 97.77°
- jasność: 5.9^m – 5.32^m
- 27 księżyców (2008)
- pole magn. ok. 0.024 mT



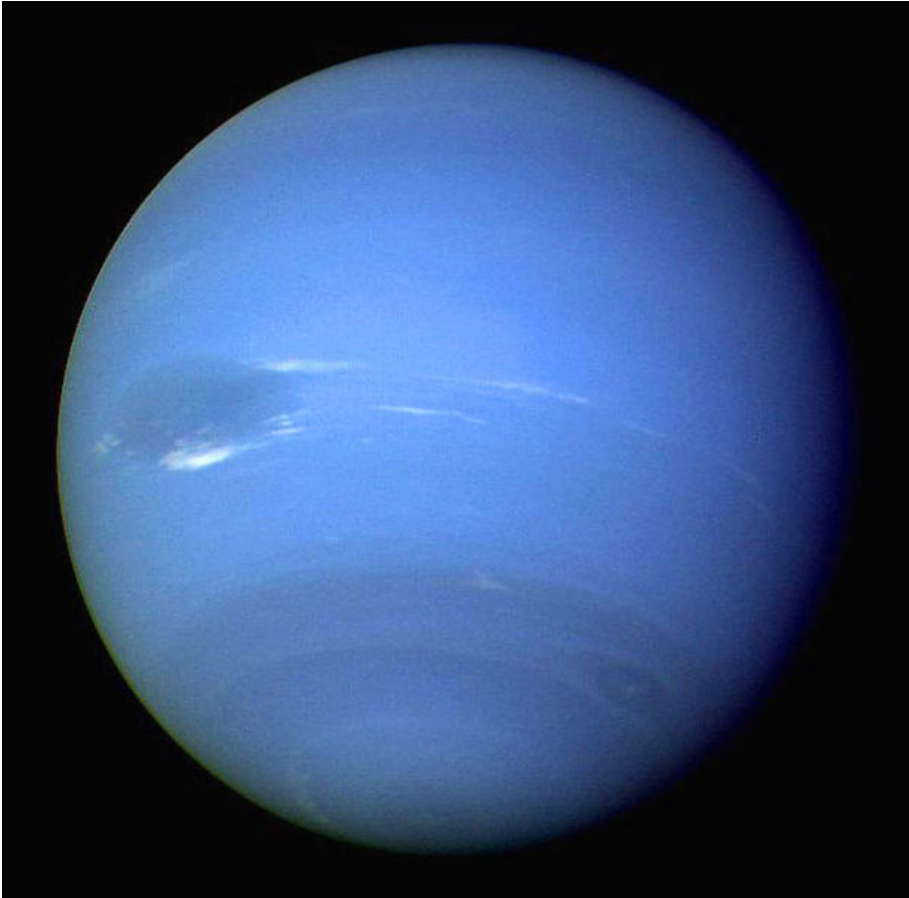
– budowa wewnętrzna





(Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Oberon)

- Neptun



- wielka półoś orbity: 30.103 AU
- mimośród: 0.011214
- nachylenie orbity: 1.768°
- okres obiegu: 164.79 lat
- okres rotacji: 16.11 h
- nachylenie osi obrotu: 28.32°
- jasność: 8.02^m – 7.78^m
- 13 księżyców (2008)
- pole magn. ok. 0.015 mT, (47° do osi obrotu), duży udział składowej kwadrupolowej,
- budowa wewnętrzna – podobna do Urana



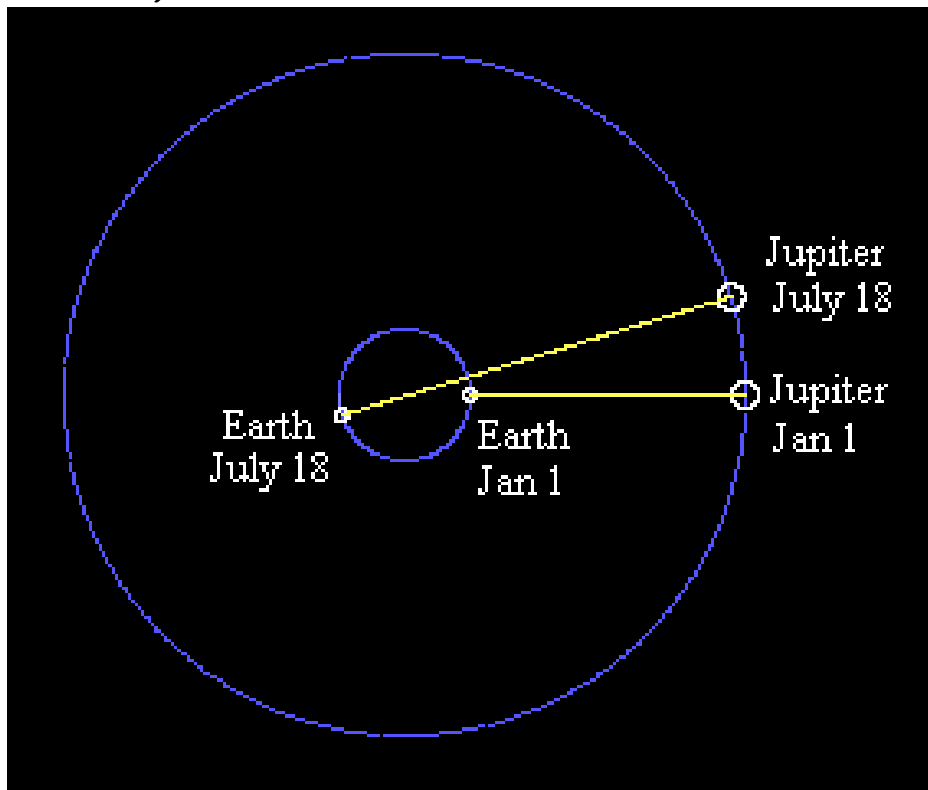
Neptun i Tryton

– misje międzyplanetarne

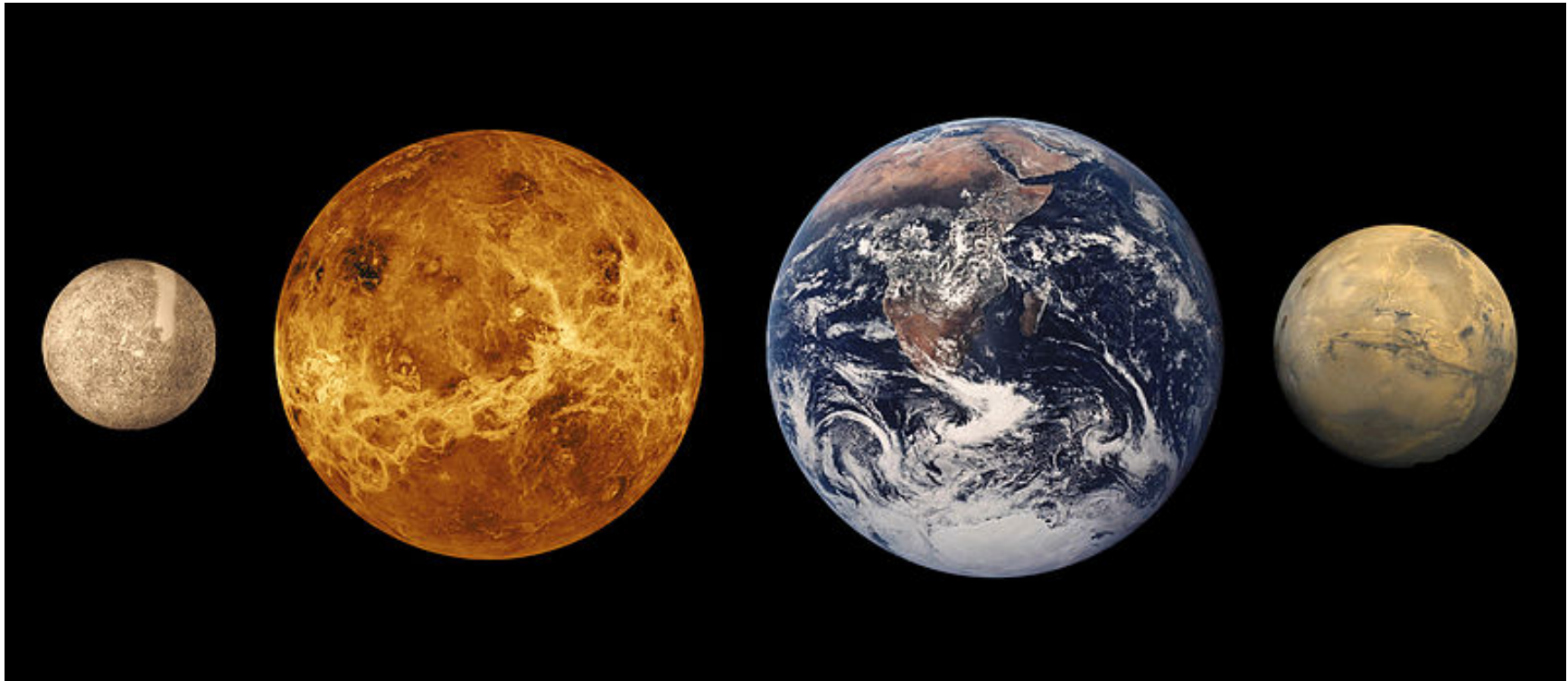
- Pioneer 10 (1972) – Jowisz ,i 11 (1973) – Jowisz i Saturn
- Voyager (1977) 1 – Jowisz, Saturn i 2 – wszystkie giganty
- Galileo (1989) – Jowisz(!)
- Cassini (1997) – Saturn, Jowisz
- New Horizons (2006) - Pluton (w drodze), Jowisz

- pomiar prędkości światła

1675r – Ole Rømer – wyjaśnienie opóźnienia (ok. 17 min) w obserwacjach zakryć w układzie Jowisza (względem tablic Cassiniego).

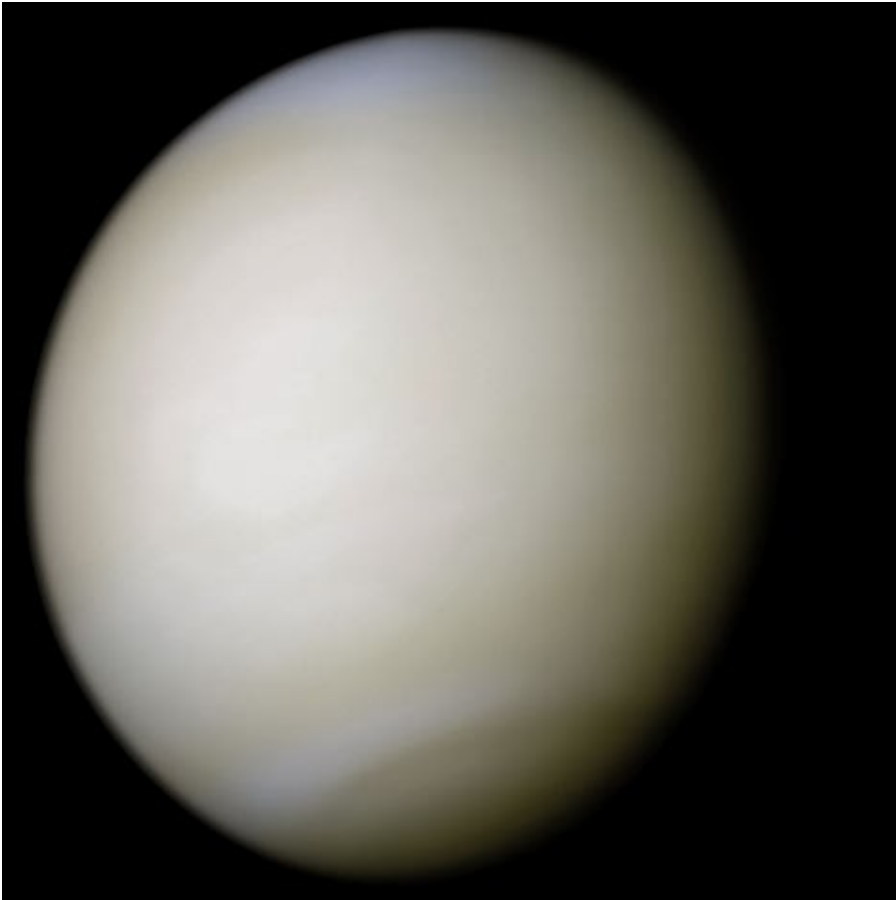


- planety wewnętrzne



– zbliżona budowa wewnętrzna, skład (gęstość), rozmiary

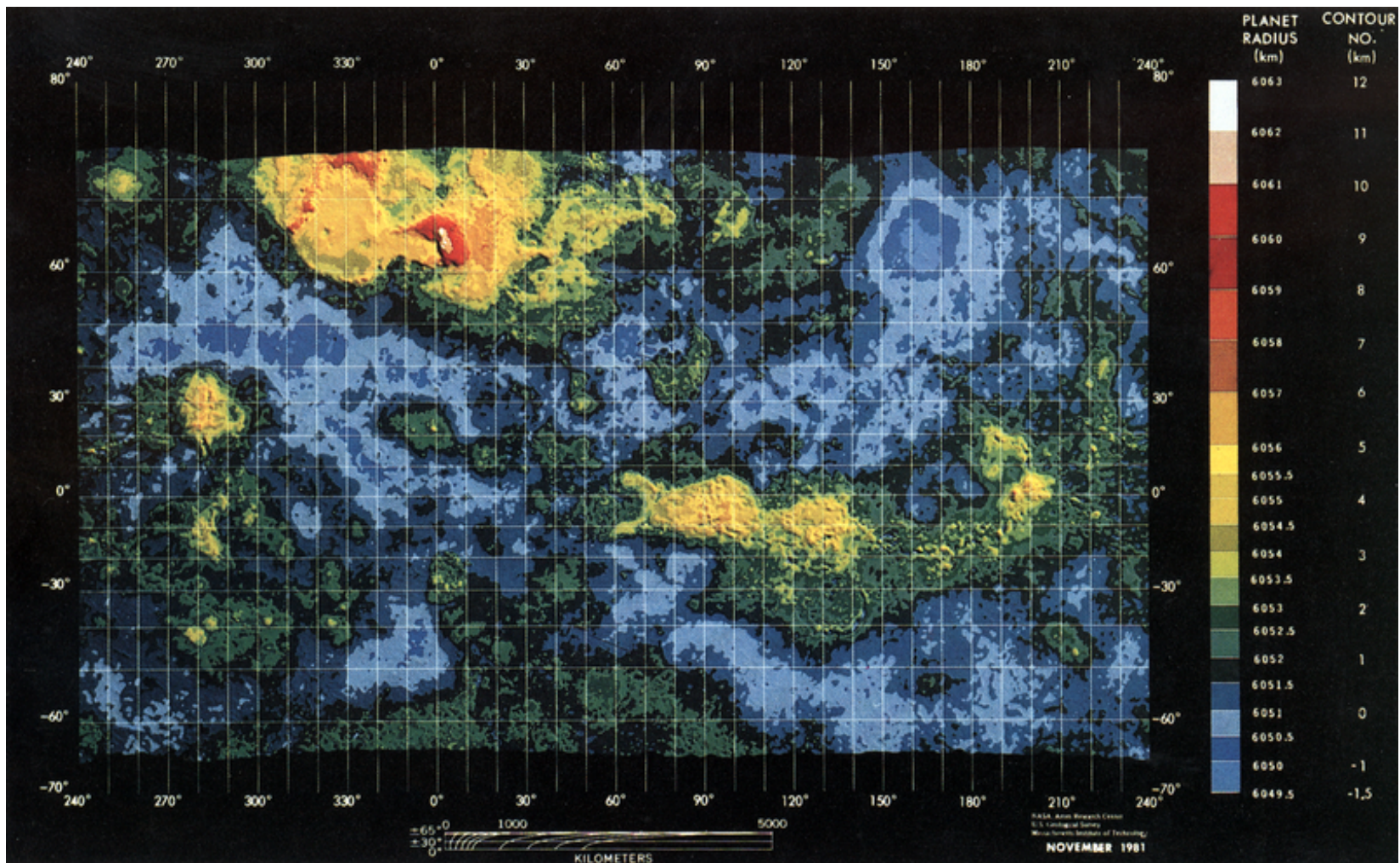
- Venus

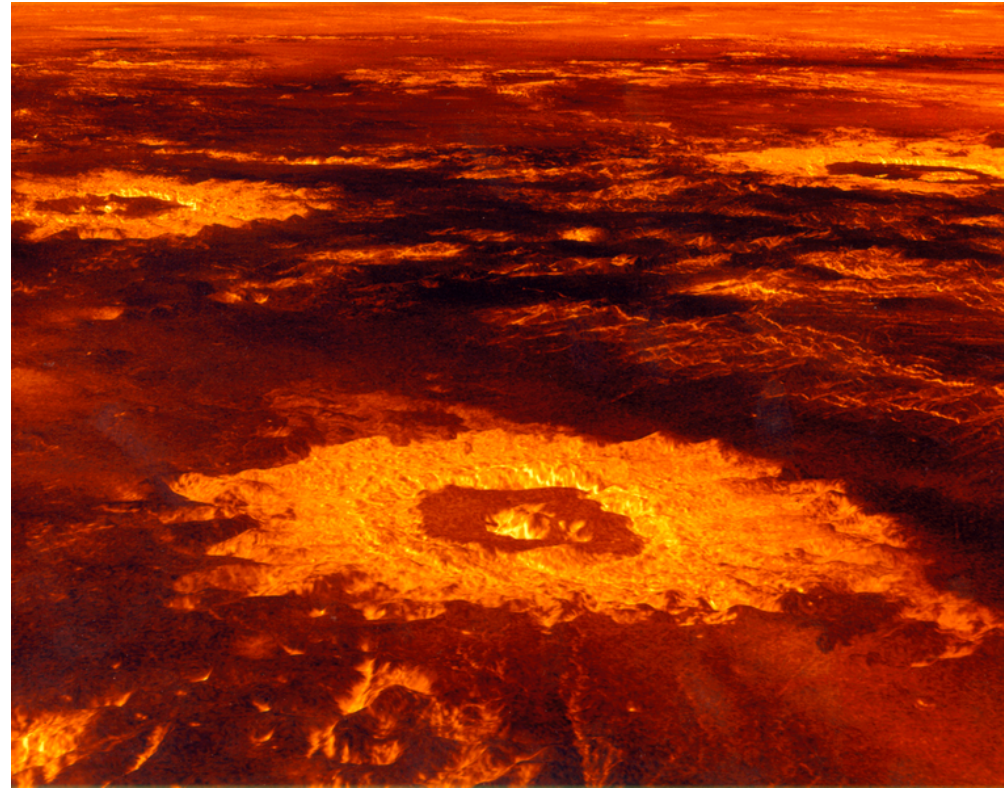


- wielka półoś orbity: 0.723 AU
- mimośród: 0.0068
- nachylenie orbity: 3.394°
- okres obiegu: 0.615 lat (224.7 dni)
- okres rotacji: –243.0185 dnia
- nachylenie osi obrotu: 177.3°
- jasność: -4.9^m – -3.8^m
- max. elongacja: 47°
- brak księżyców
- pole magn.: – b. słabe (indukowane wiatrem słonecznym)
- atmosfera: – 9.3 Mpa (CO_2 96.5%, N_2 3.5%, SO_2 , Ar, H_2O , CO, He, Ne), częste burze
- temperatura: 460°C
- wulkanizm

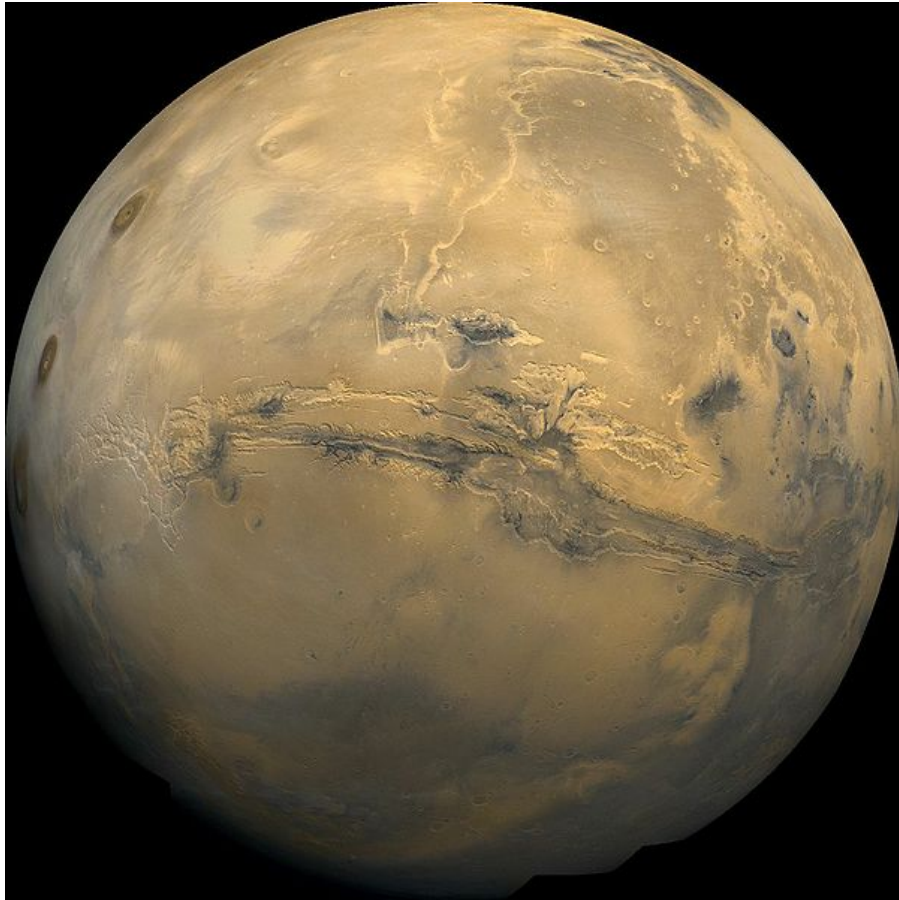
-- fazy Venus:







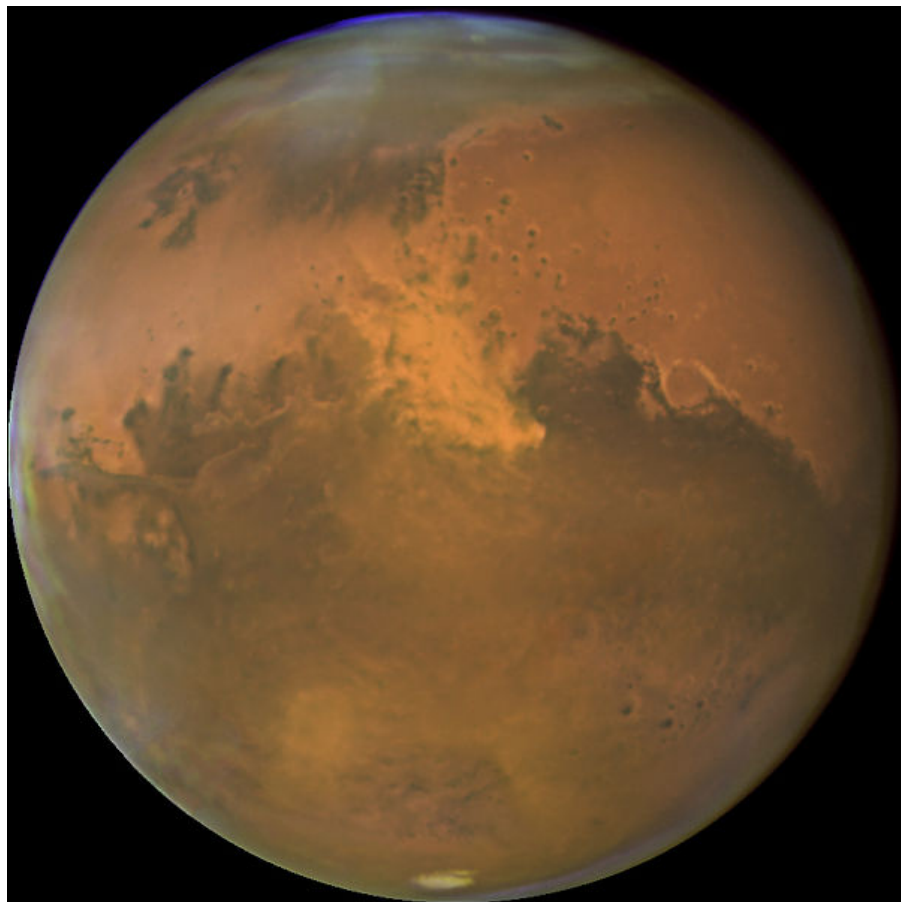
- Mars

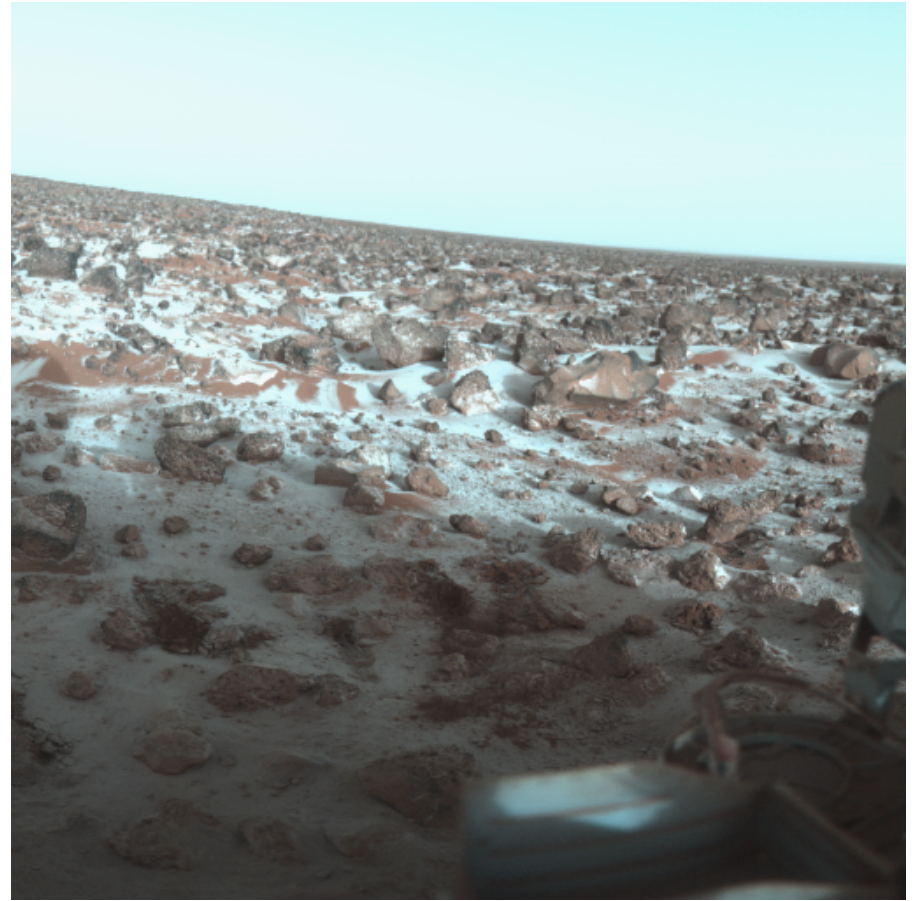
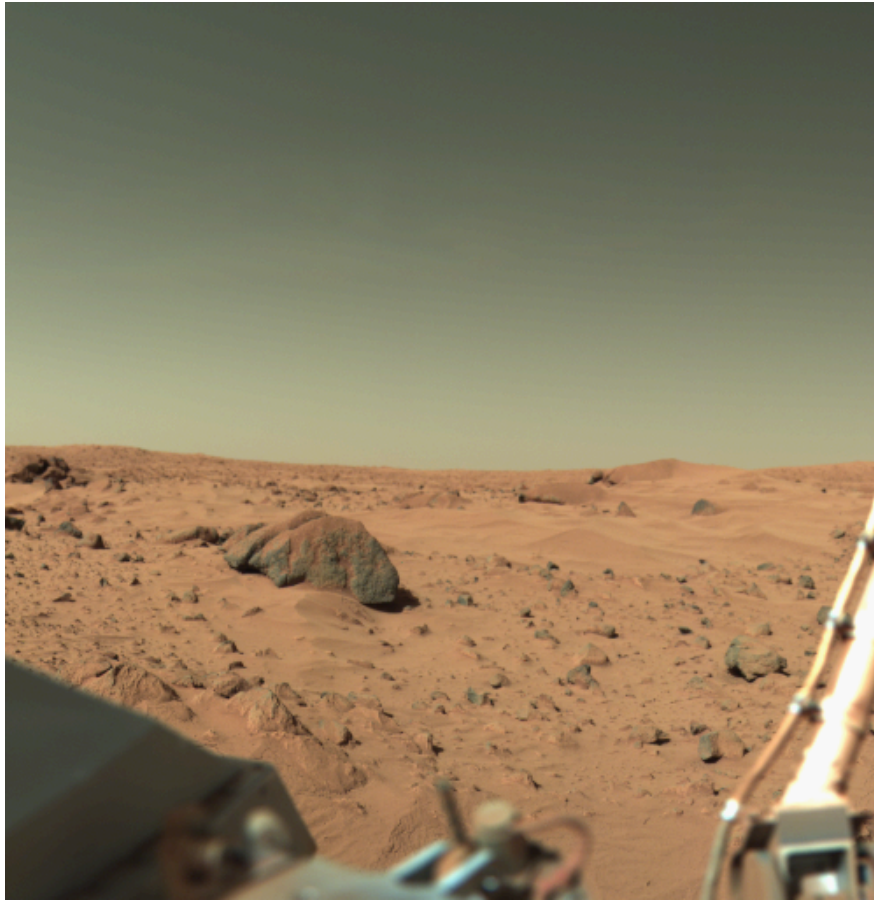


- wielka półoś orbity: 1.524 AU
- mimośród: 0.0933
- nachylenie orbity: 1.850°
- okres obiegu: 1.881 lat (686.9 dni)
- okres rotacji: 24.6229 h
- nachylenie osi obrotu: 25.19°
- jasność: 1.6^m – -3.0^m
- 2 księżyce
- pole magn. – b. słabe, nieregularne
- atmosfera: – ~ 0.64 kpa (CO_2 95.3%, N_2 2.7%, Ar 1.6%, O_2 , CO, H_2O , Ne), burze pyłowe
- temperatura: -87 – 20°C

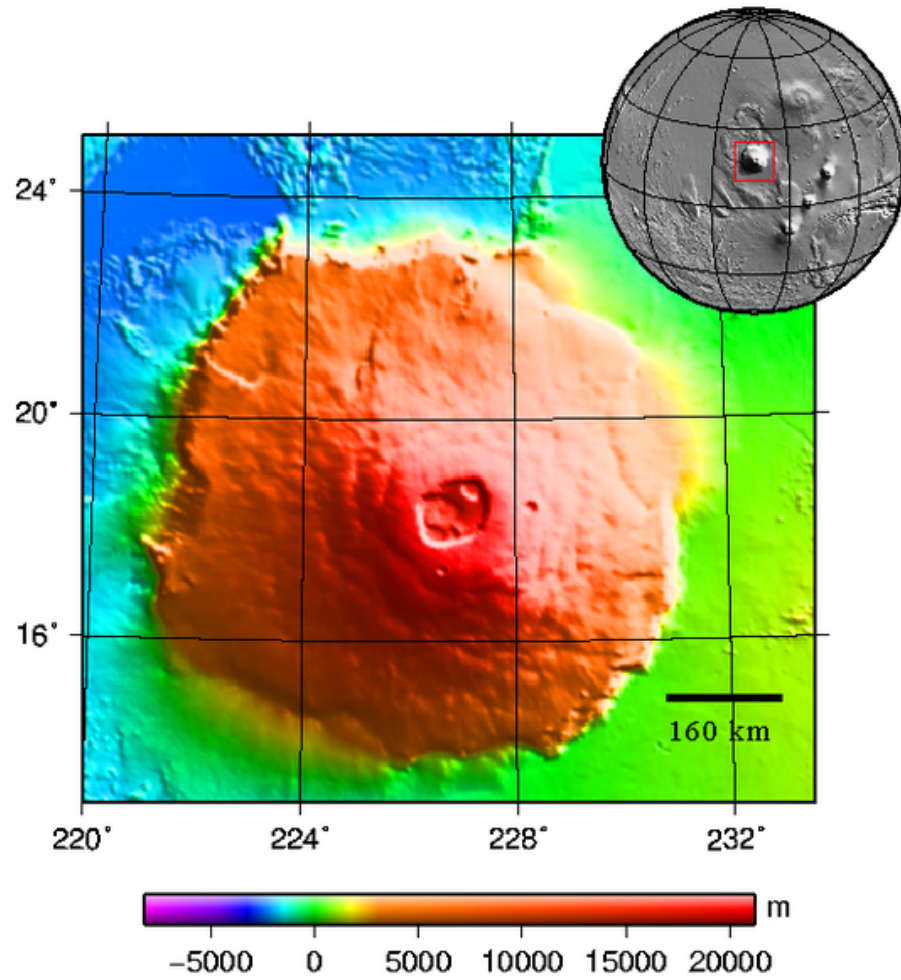


– Mars z Ziemi





– Gora Olimp (Olympus Mons)



– księżyce Marsa



Phobos

średnica: 22.2 km

półoś orbity: 9 337 km

okres: 7.66 h



Deimos

średnica: 12.6 km

półoś orbity: 23 460 km

okres: 30.35 h

- Merkury

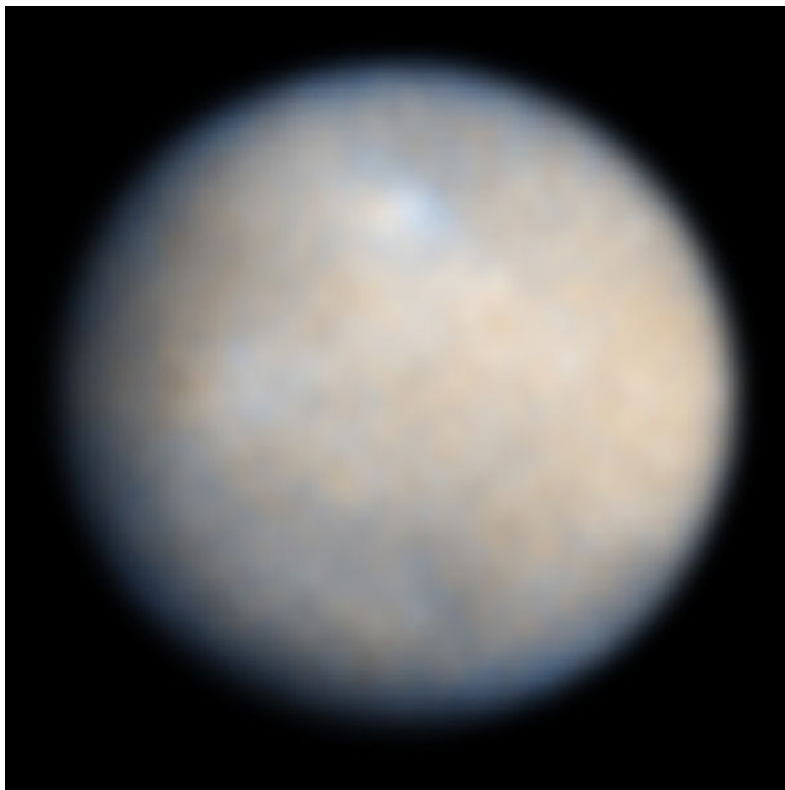


- wielka półoś orbity: 0.387 AU
- mimośród: 0.2056
- nachylenie orbity: 7.005°
- okres obiegu: 0.241 lat (87.97 dni)
- okres rotacji: 58.646 dni (2/3 obiegu)
- nachylenie osi obrotu: $2.11'$
- jasność: 5.7^m – -2.6^m
- max. elongacja: 18° – 28°
- brak księżyców
- pole magn.: – 300 nT – dipolowe
- atmosfera (egzosfera): – śladowa (1 nPa) (O_2 42%, Na 29%, H_2 22%, He 6%, K, Ar, N_2 , CO_2 , H_2O)
- temperatura: 100 – 700 K

- ruch lini apsyd:
- obserwowane: 56000'' na 100 lat
- z teorii Newtona 5557''
- 42.98'' – poprawka relatywistyczna

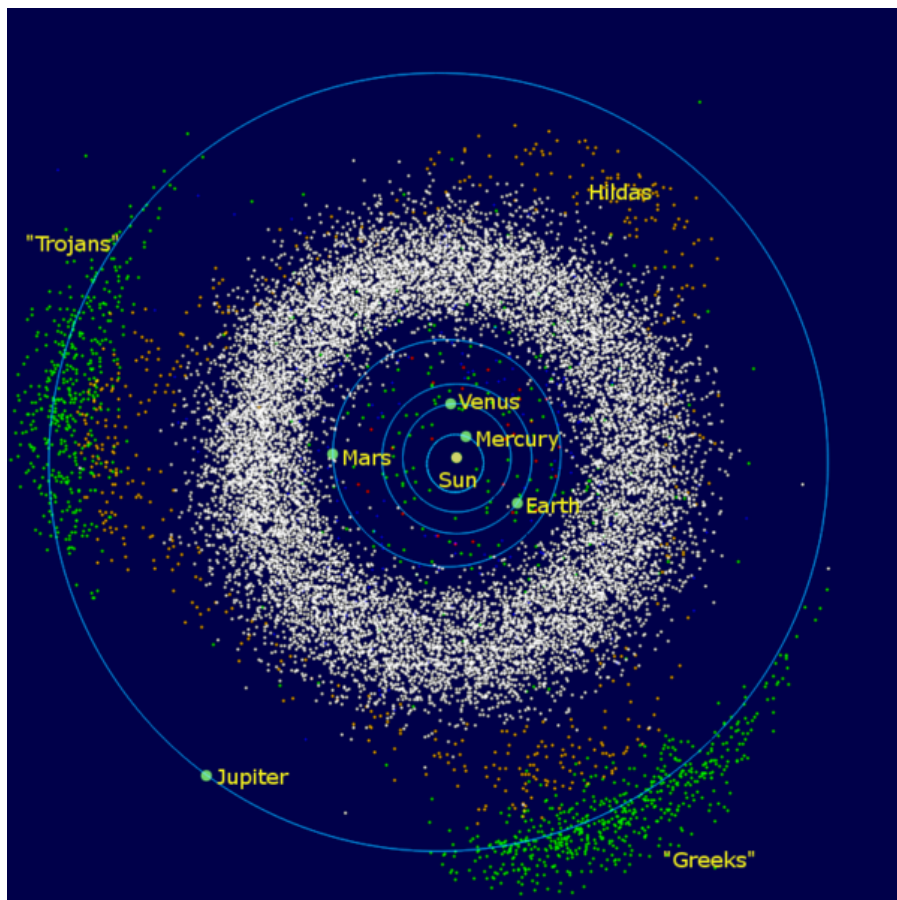
- planety karłowate i małe ciała Układu Słonecznego

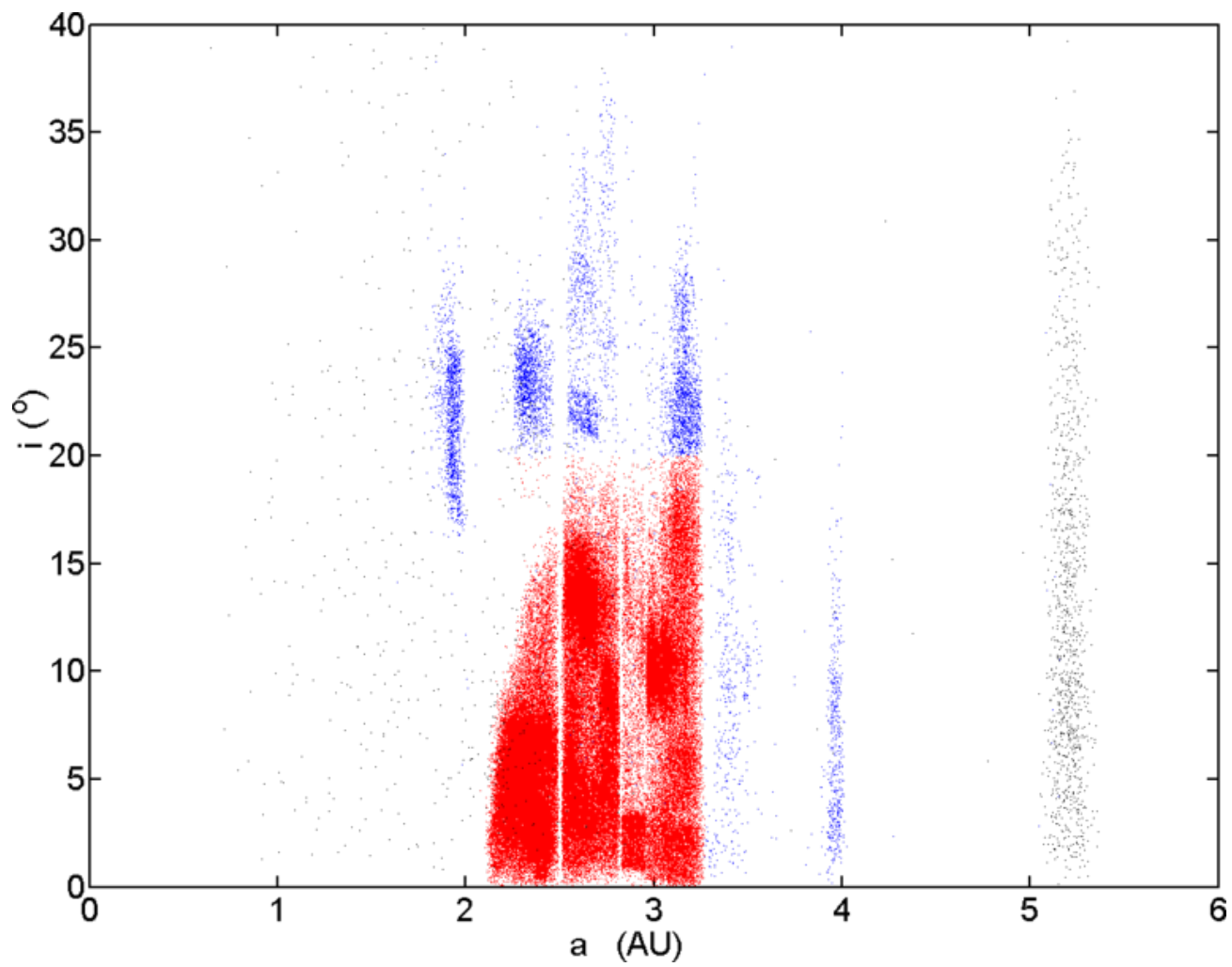
- Ceres

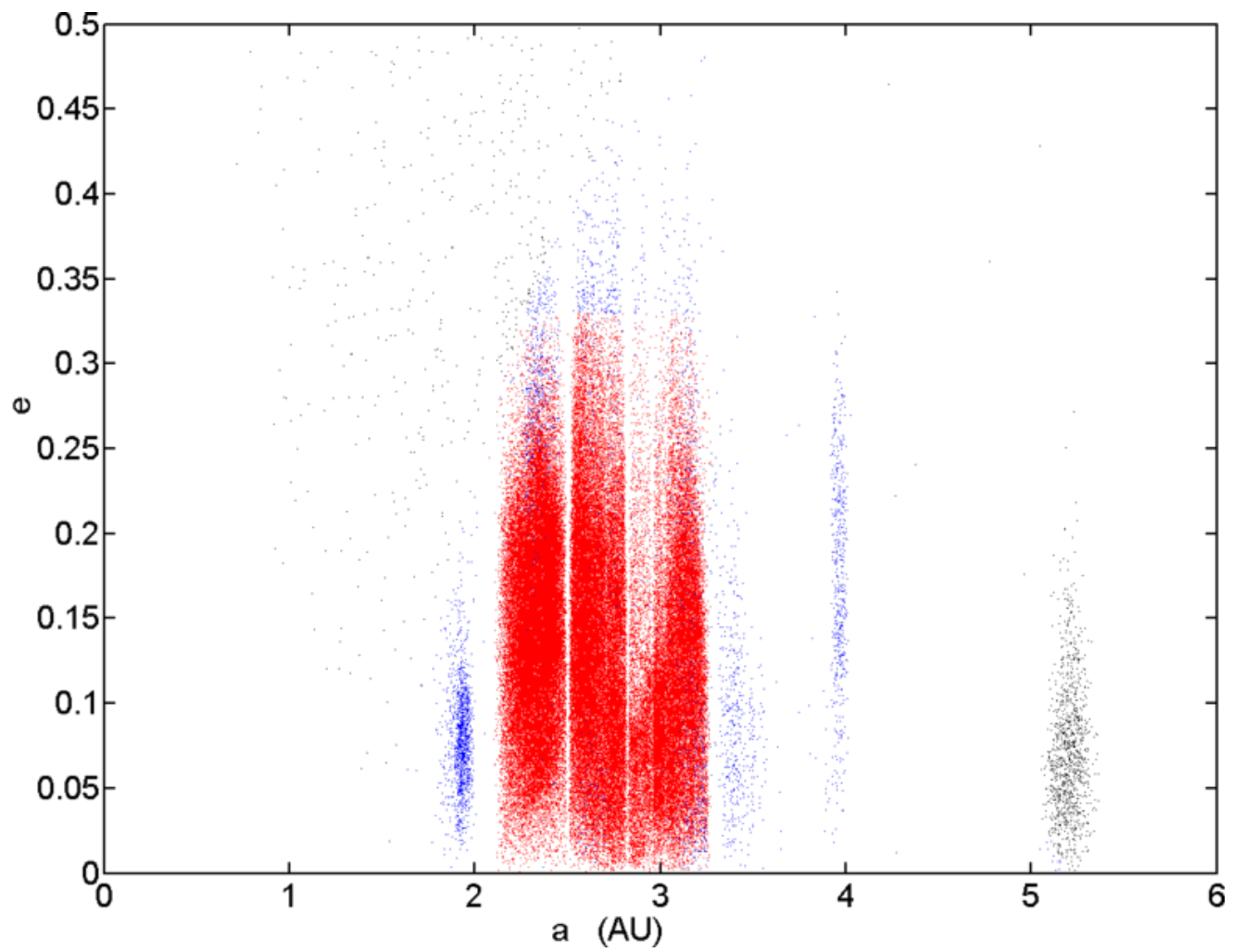


- wielka półoś orbity: 2.7663 AU
- mimośród: 0.07934
- nachylenie orbity: 10.585°
- okres obiegu: 4.60 lat
- okres rotacji: 9.07 h
- nachylenie osi obrotu: 3°
- jasność: $6.7^m - 9.3^m$

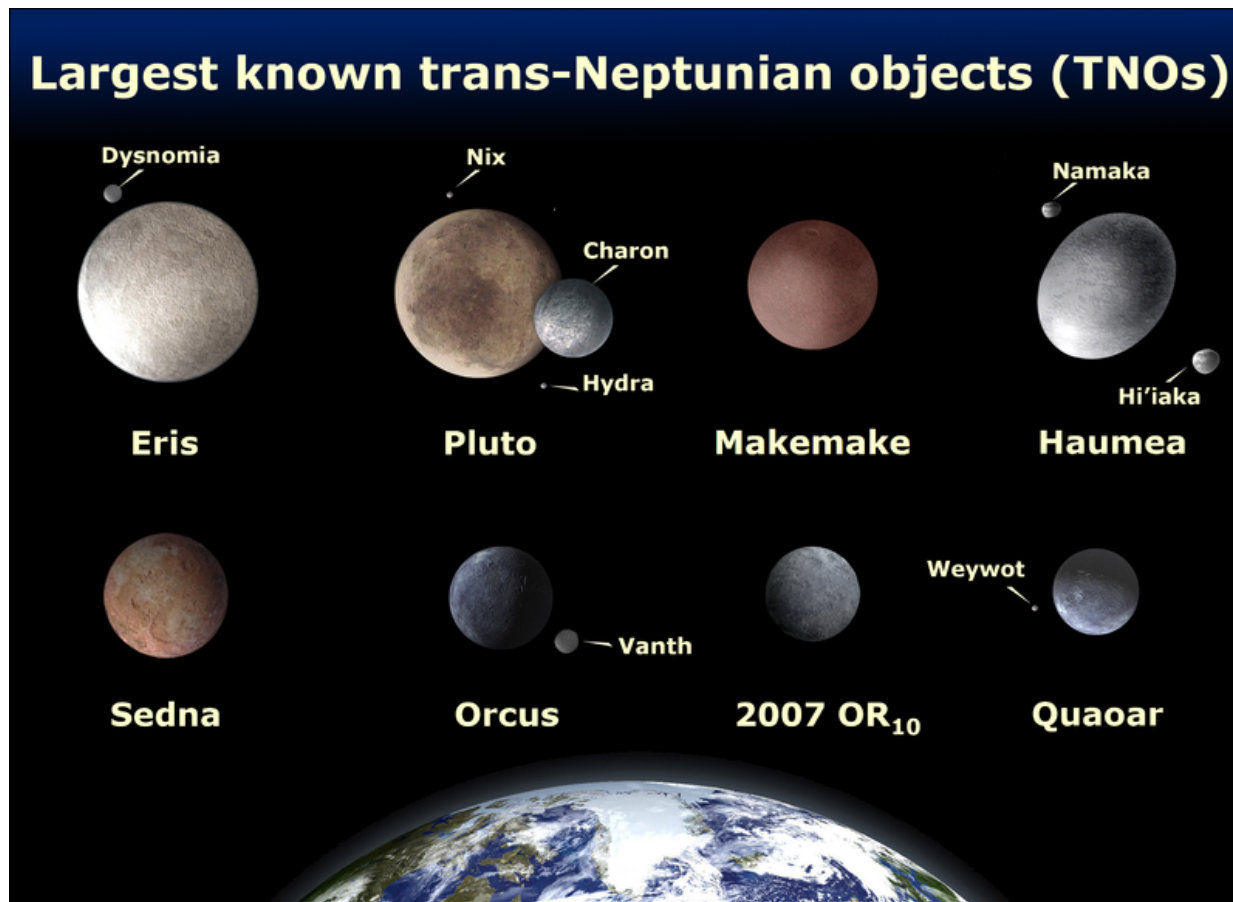
– Główny pas planetoid



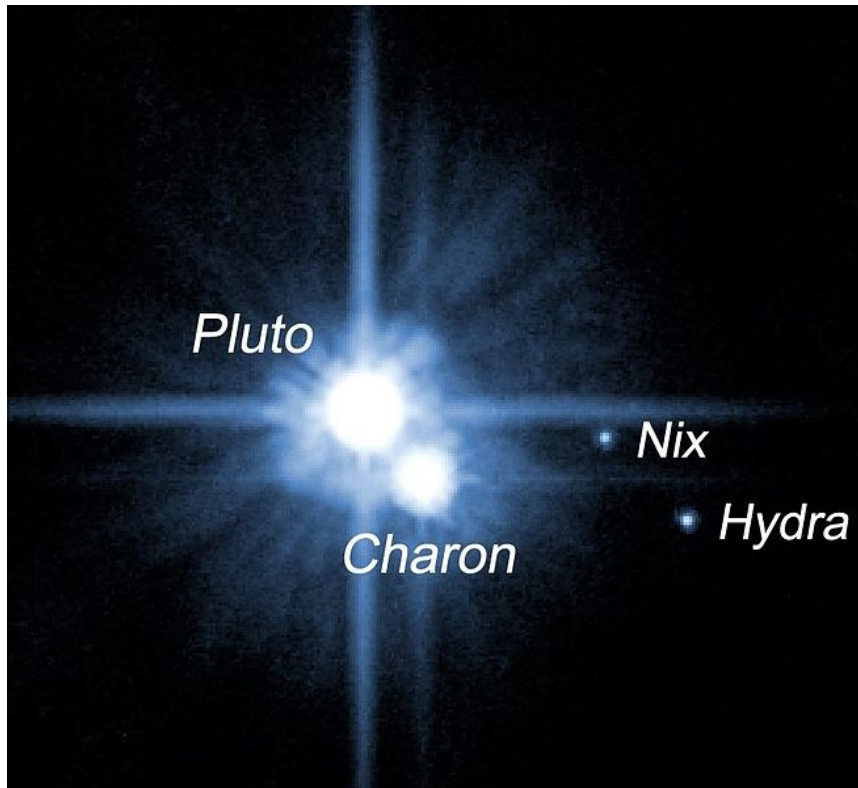




– Obiekty pozaneptunowe

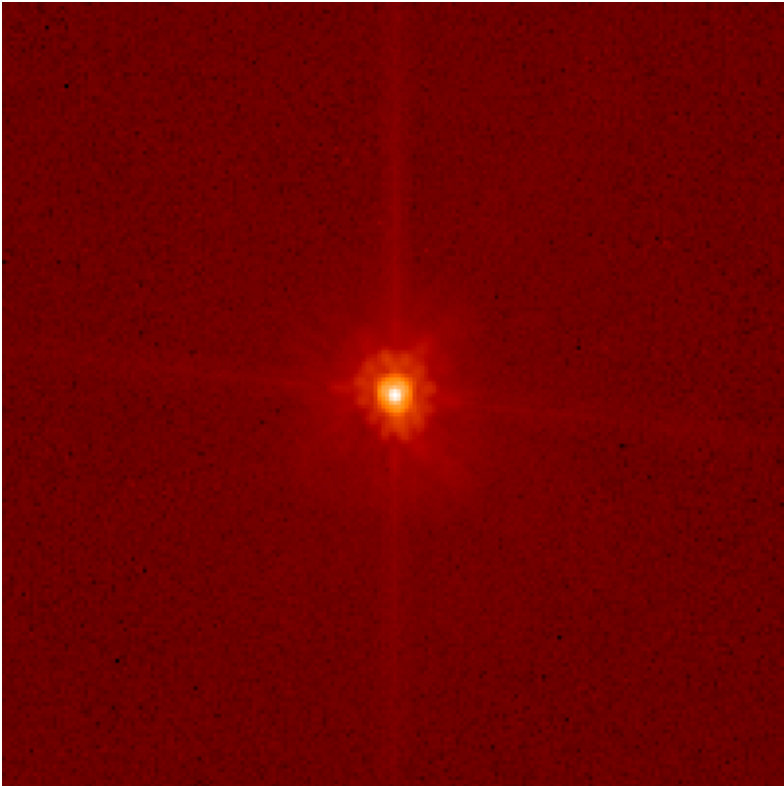


– Pluton



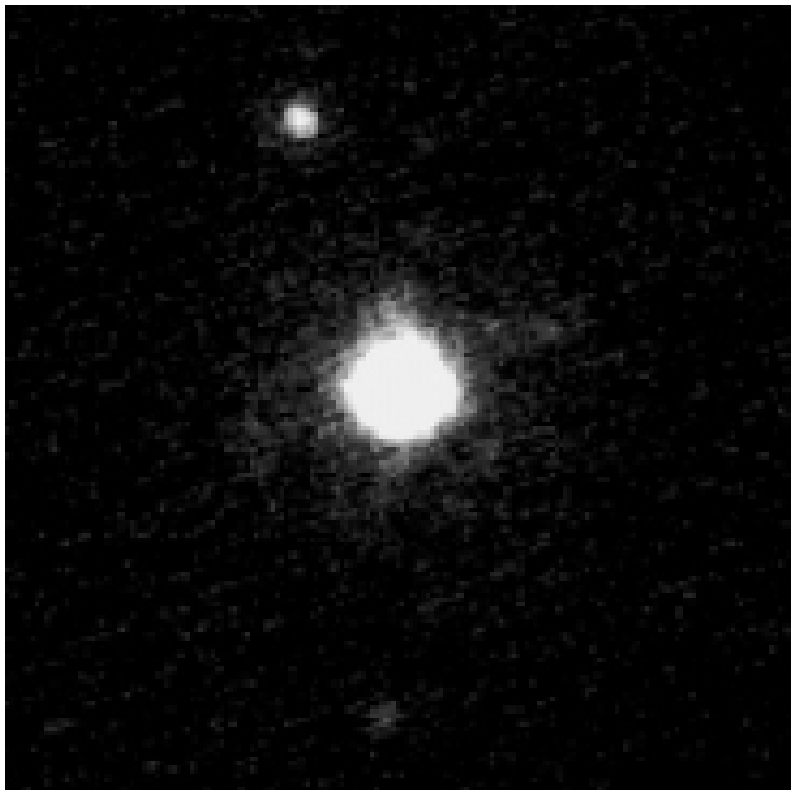
- wielka półość orbity: 39.264 AU
- mimośród: 0.2488
- nachylenie orbity: 17.142°
- okres obiegu: 248.1 lat (3:2 rezonans z Neptunem)
- okres rotacji: -6.387 d
- nachylenie osi obrotu: 119.6°
- jasność: $13.7^m - 16.3^m$
- atmosfera: 0.3 Pa (N_2 , CH_4 , CO)
- 4 księżyce (Charon, Nix, Hydra, P4)

– Makemake

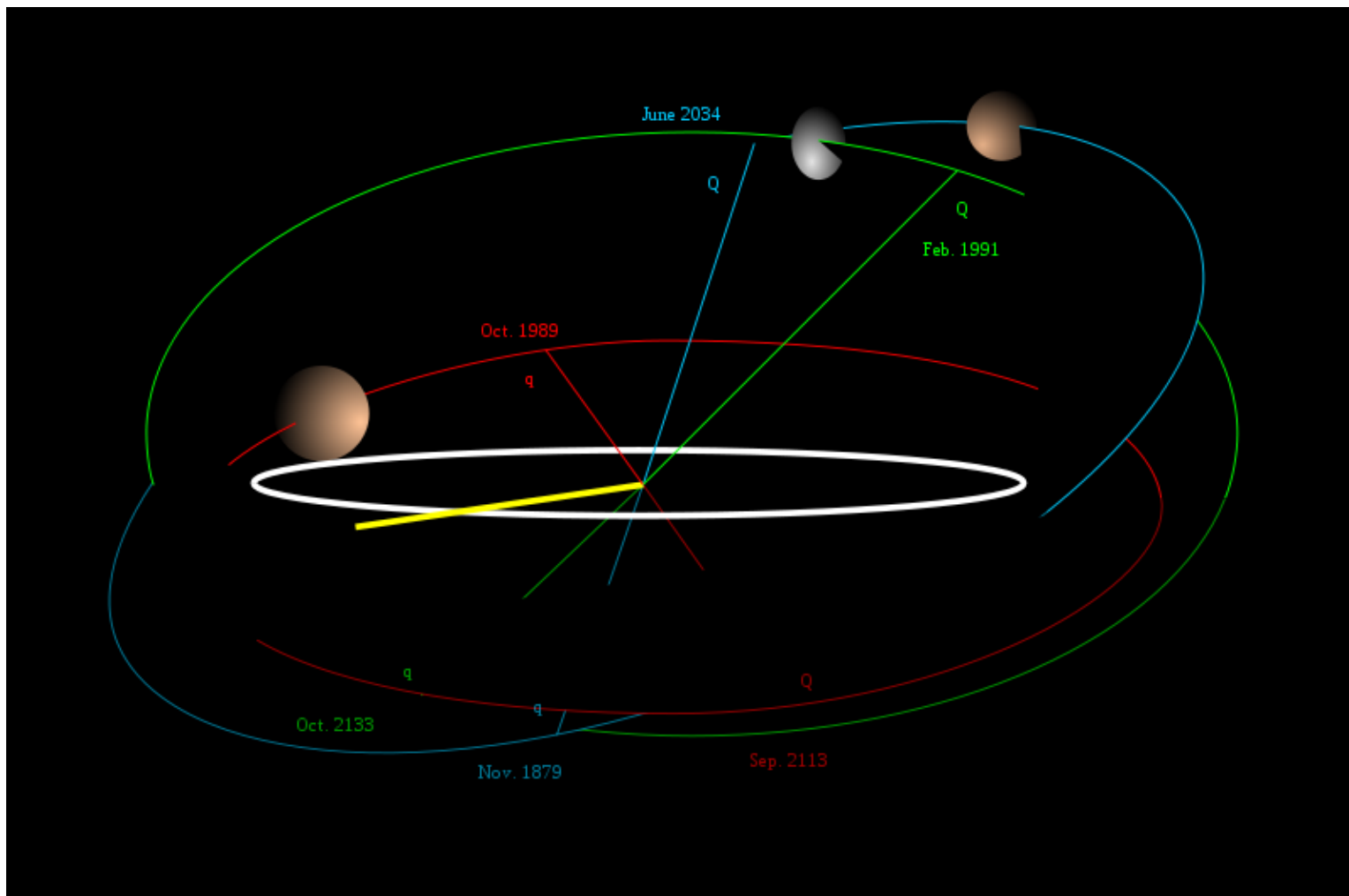


- wielka półoś orbity: 45.791 AU
- mimośród: 0.159
- nachylenie orbity: 28.96°
- okres obiegu: 309.88 lat
- okres rotacji: 7.771 h
- nachylenie osi obrotu: ?
- jasność: 16.7^m
- brak księżyców

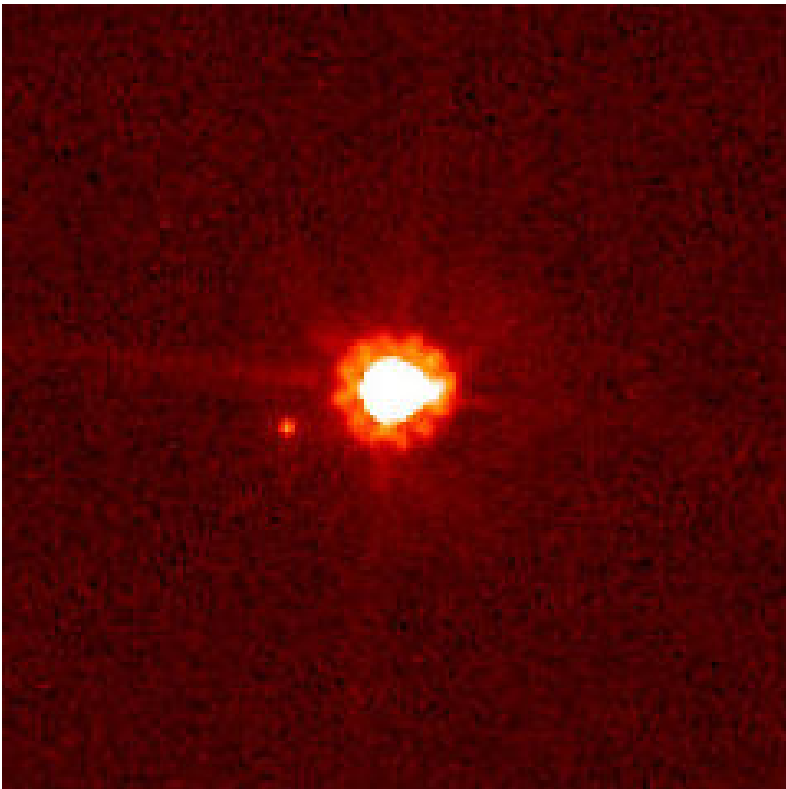
– Haumea



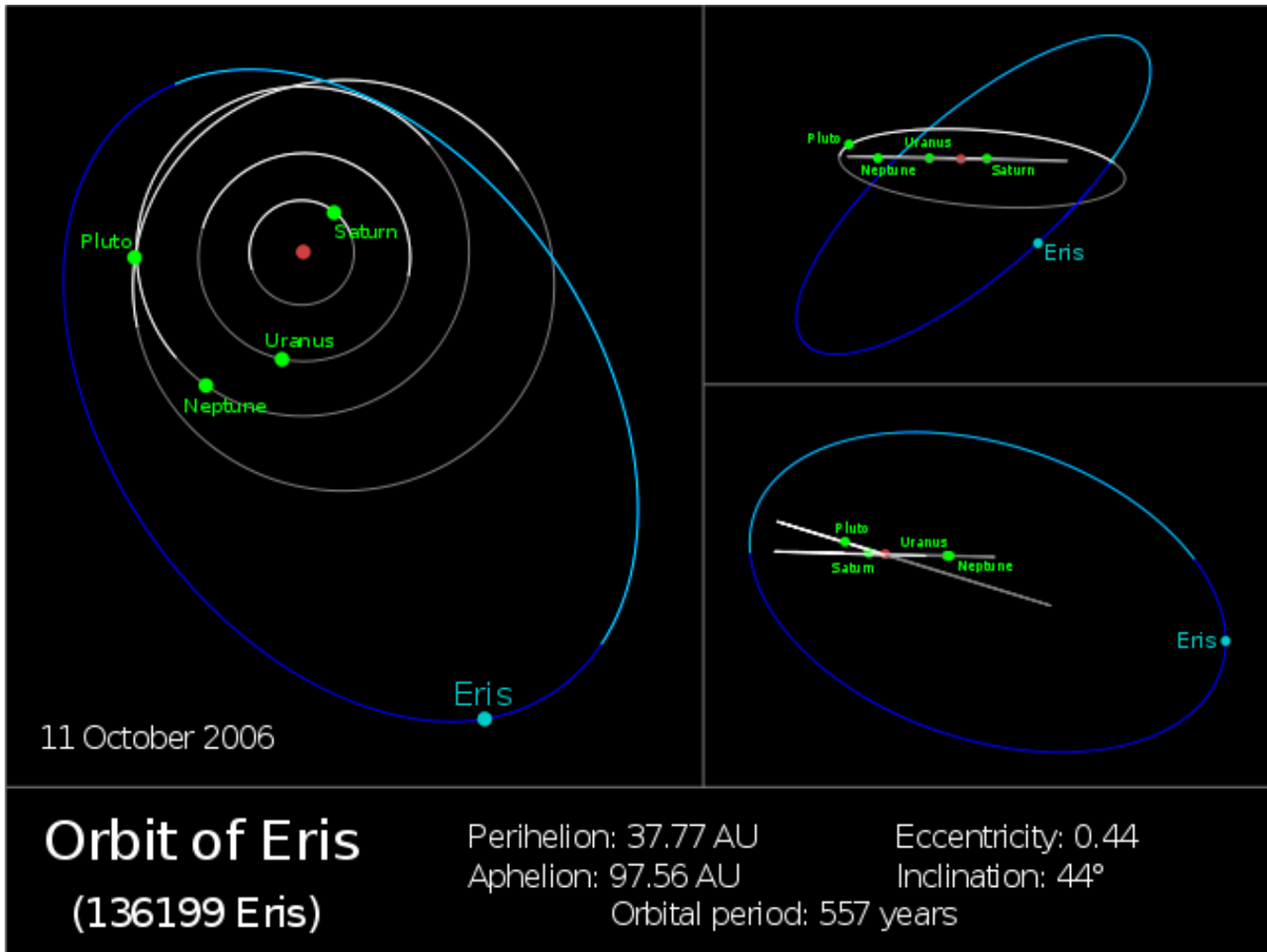
- wielka półość orbity: 43.132 AU
- mimośród: 0.195
- nachylenie orbity: 28.22°
- okres obiegu: 283.28 lat
- okres rotacji: 3.915 h
- nachylenie osi obrotu: ?
- jasność: 17.3^m
- 2 księżyce (Hi'iaka, Namaka)



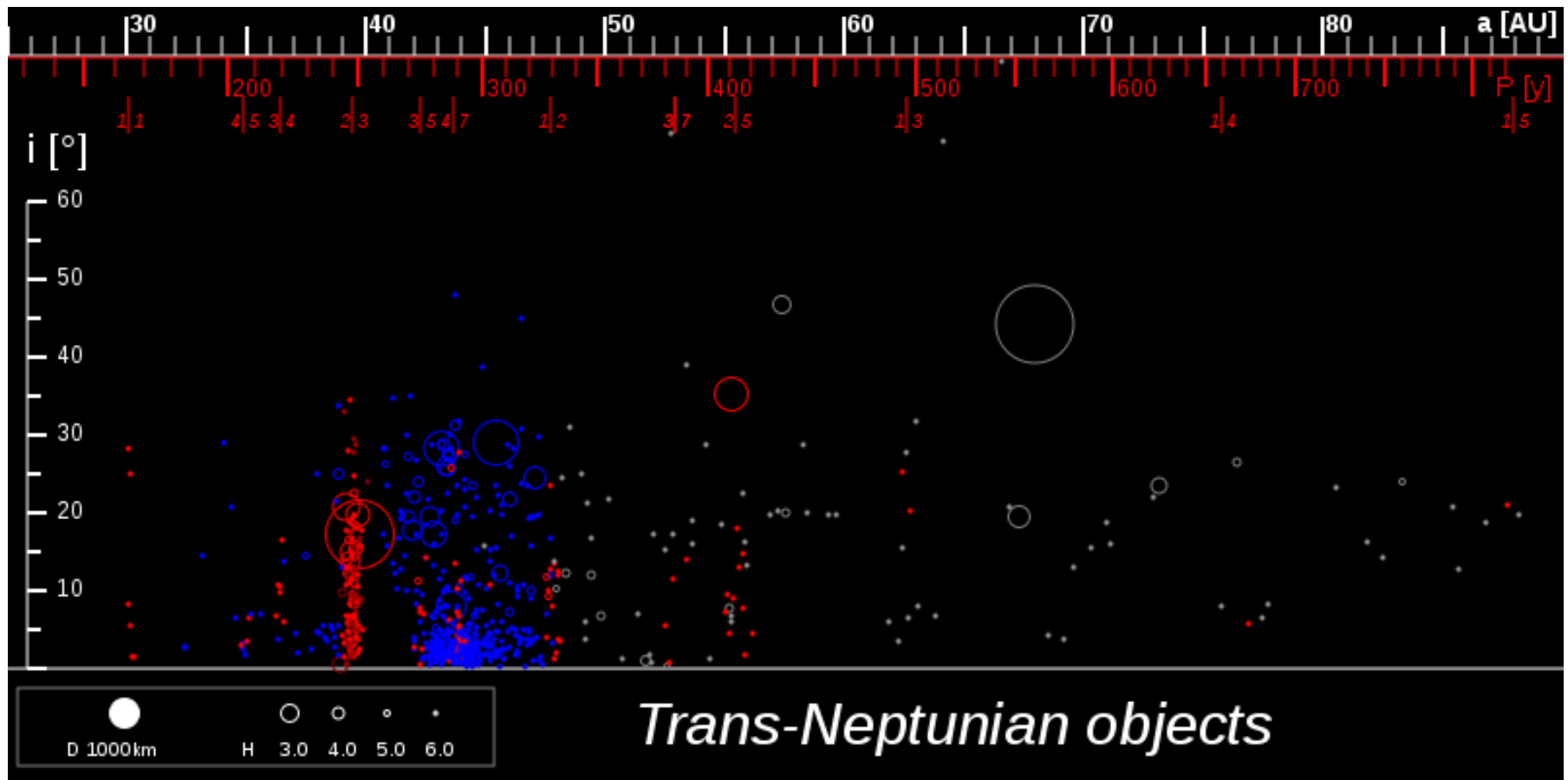
– Eris (Xena)

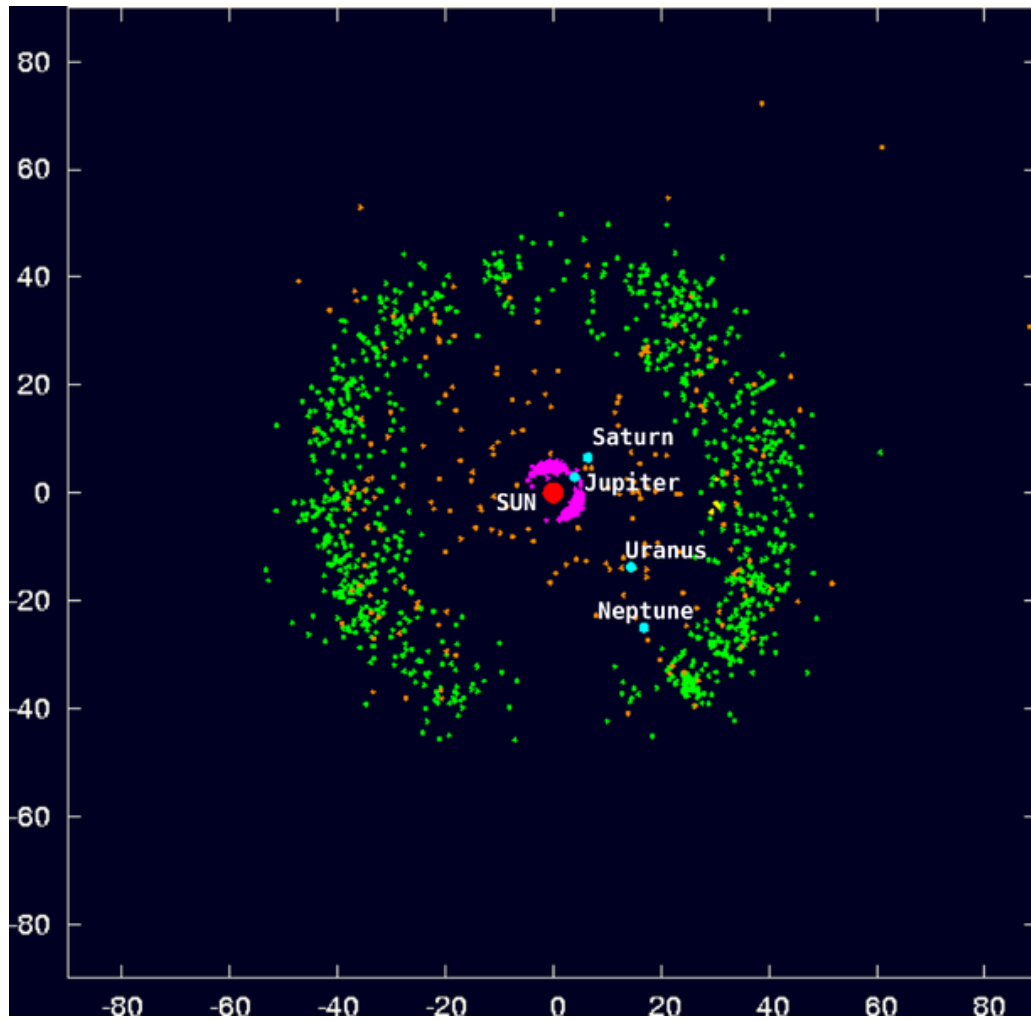


- wielka półoś orbity: 67.67 AU
- mimośród: 0.44177
- nachylenie orbity: 44.187°
- okres obiegu: 557 lat
- okres rotacji: 26 h
- nachylenie osi obrotu: ?
- jasność: 18.7^m
- 1 księżyc (Dysnomia)

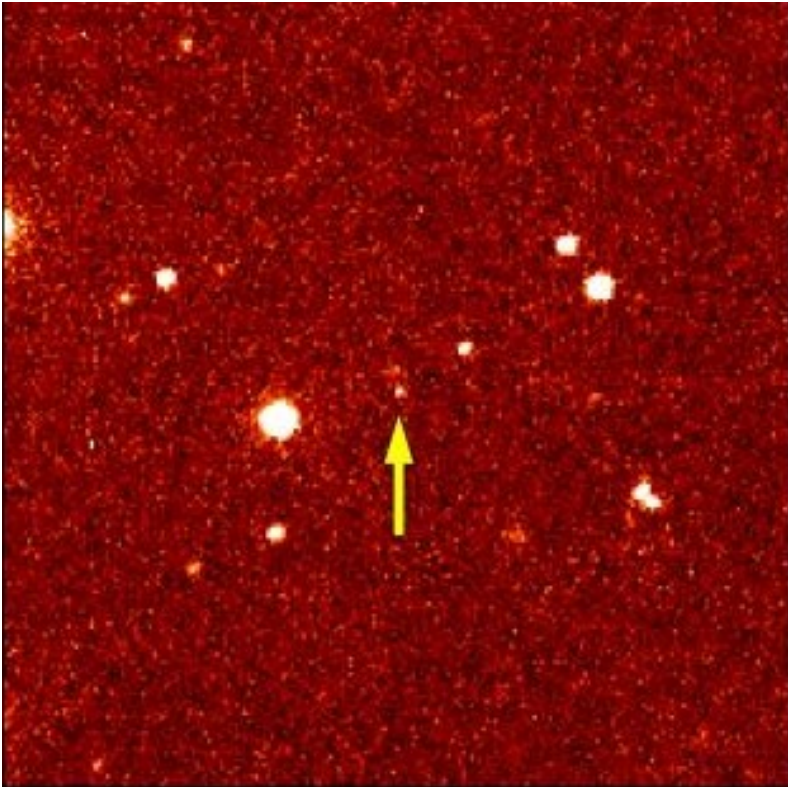


– Pas Kuipera



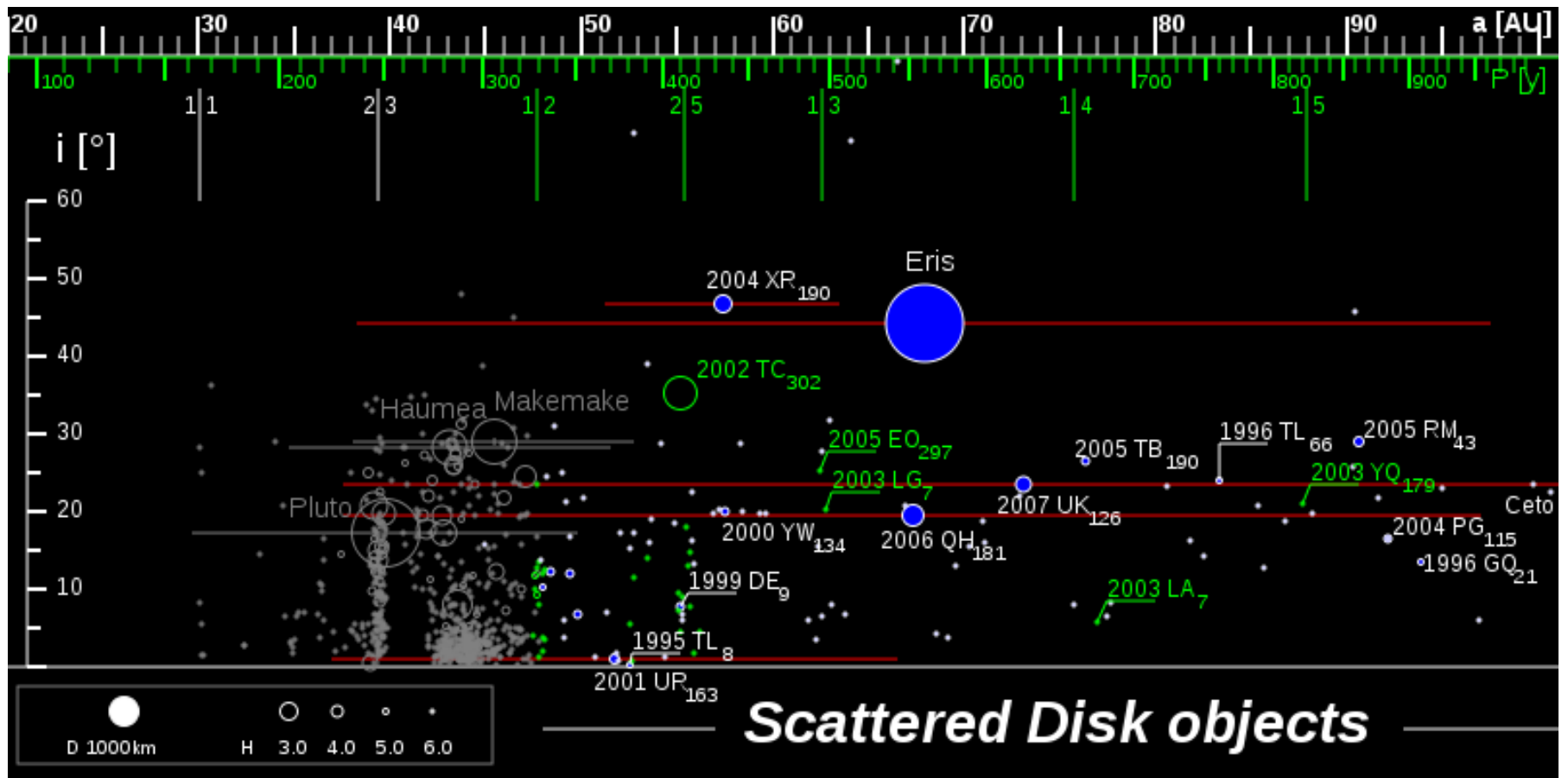


– 90377 Sedna

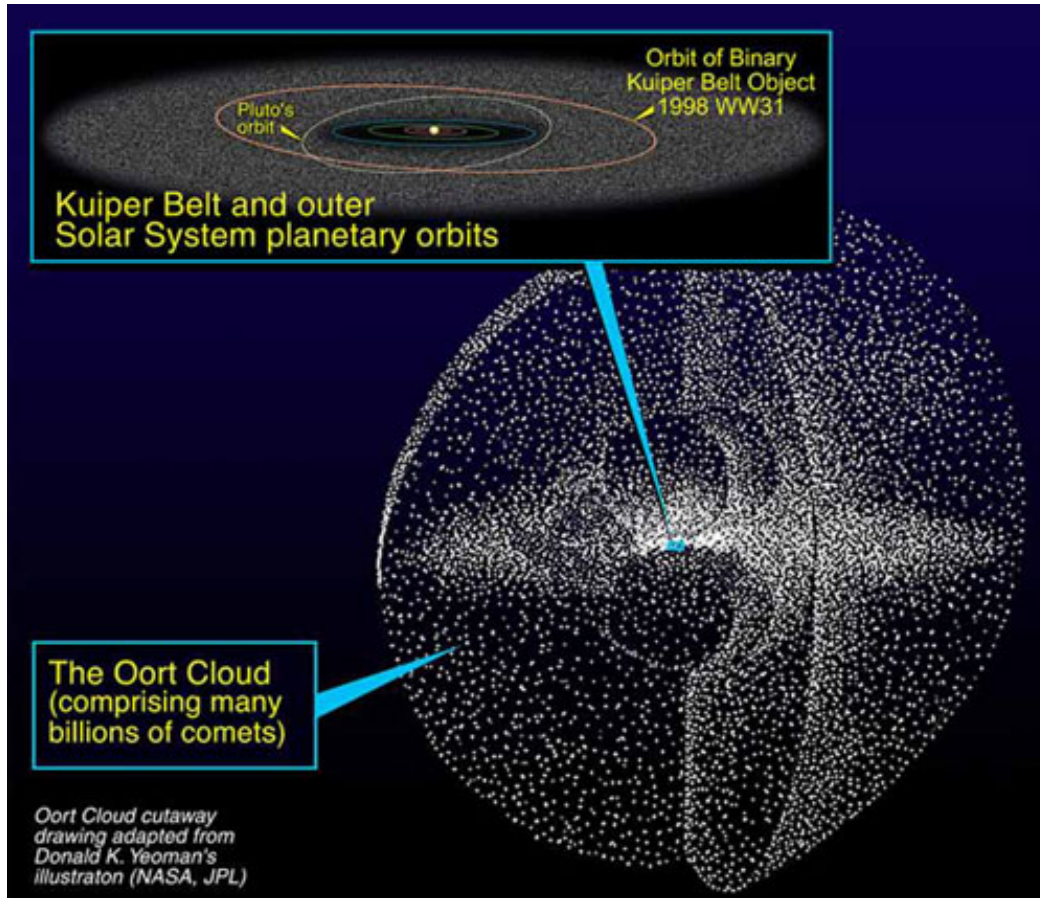


- wielka półoś orbity: 518.57 AU (76–937 AU)
- mimośród: 0.8527
- nachylenie orbity: 11.927°
- okres obiegu: 11400 lat
- okres rotacji: 10 h
- jasność: 21.5^m

– Dysk rozproszony



- Obłok Oorta
- $\sim 50\,000$ AU



– Komety

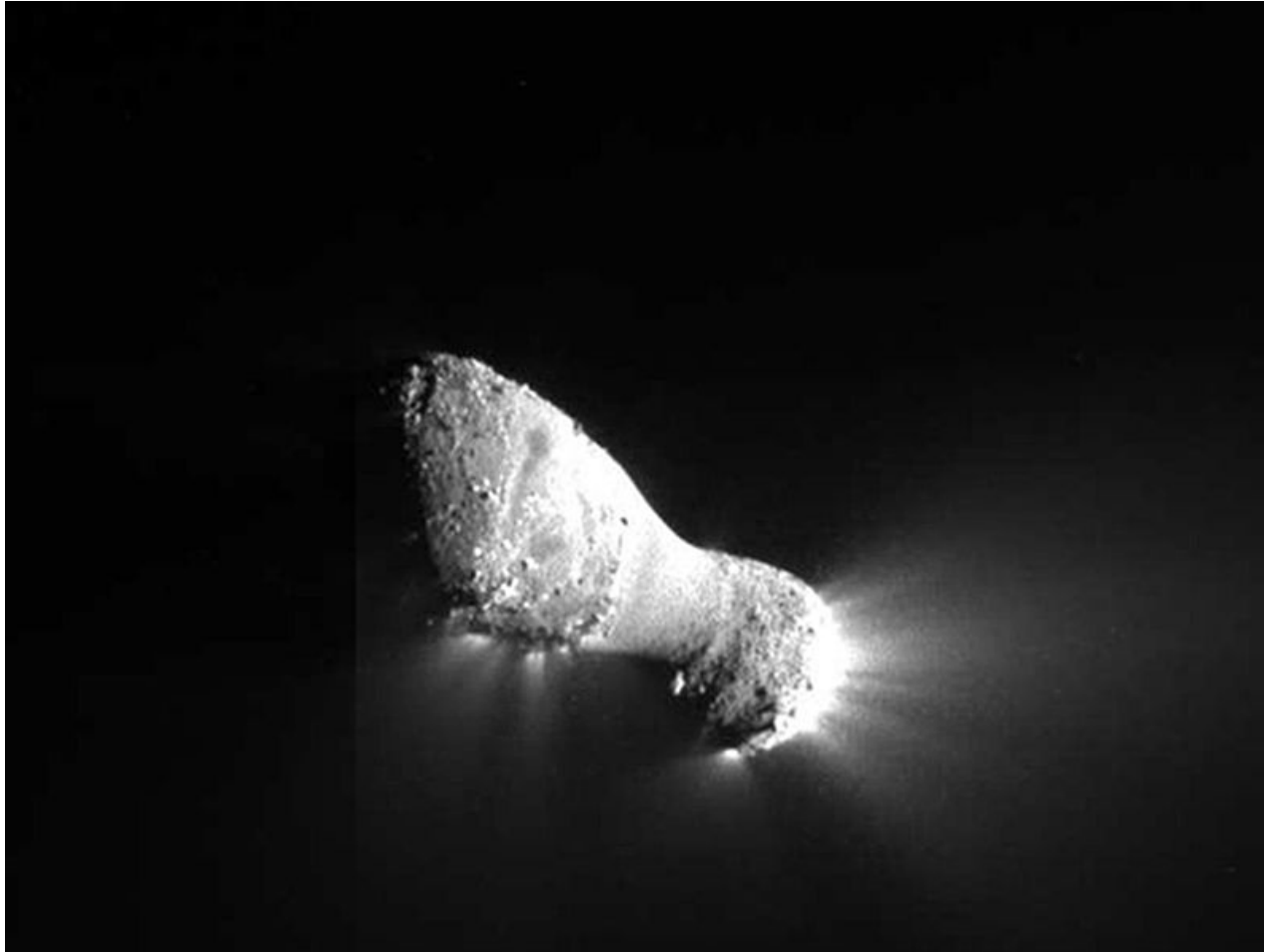


C/1995 O1 (Hale-Bopp)

- skalno-lodowe jądro (100 m – 40 km)
- gazowo-pyłowa koma i warkocz



17P/Holmes



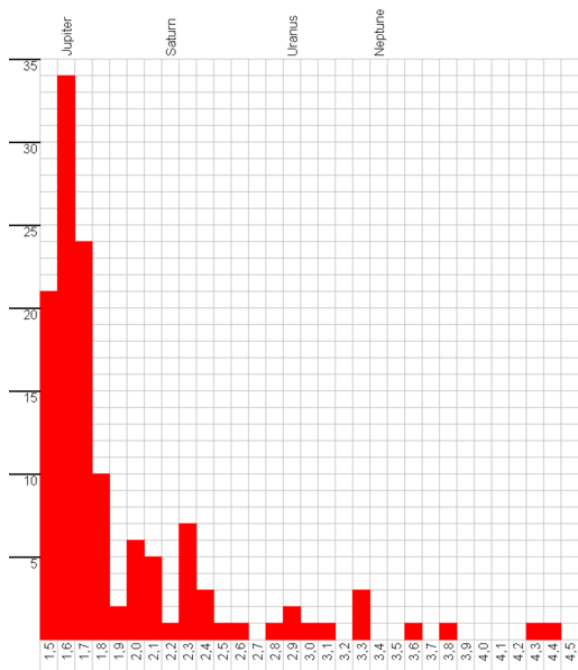
103P/Hartley

– orbity komet

· eliptyczne

- komety krótkookresowe – do 200 lat

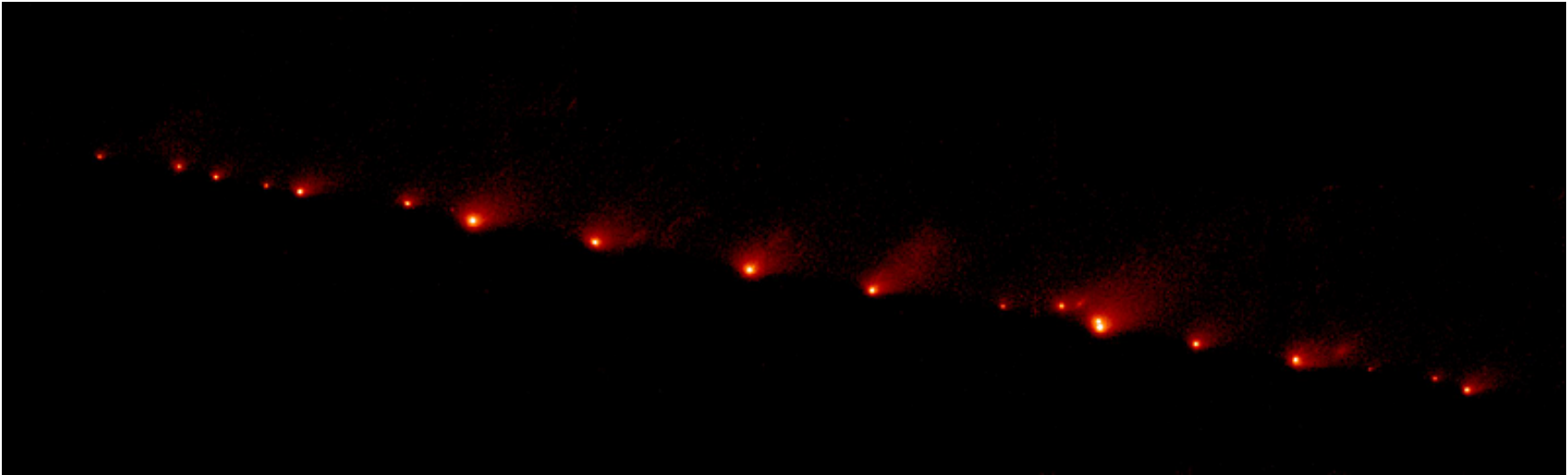
- komety długookresowe



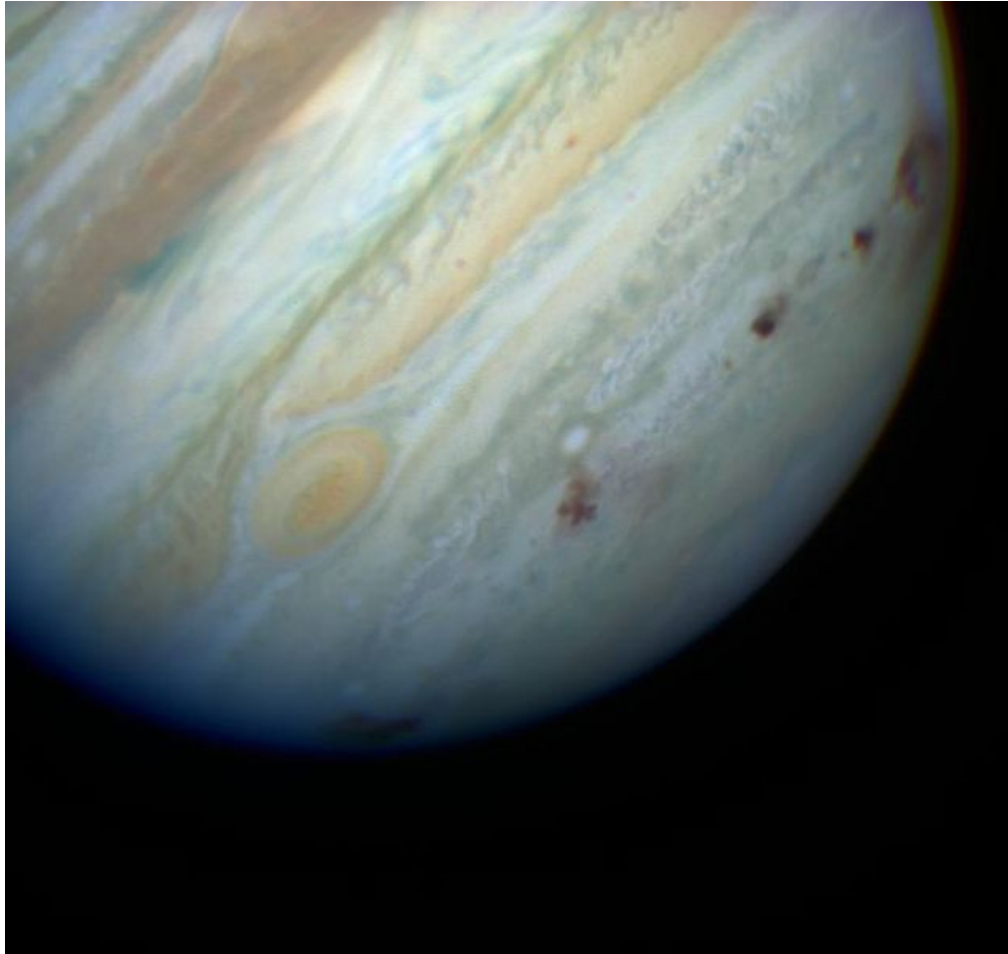
- paraboliczne, hiperboliczne
- komety jednopojawieniowe

- zaburzenia orbit od innych ciał

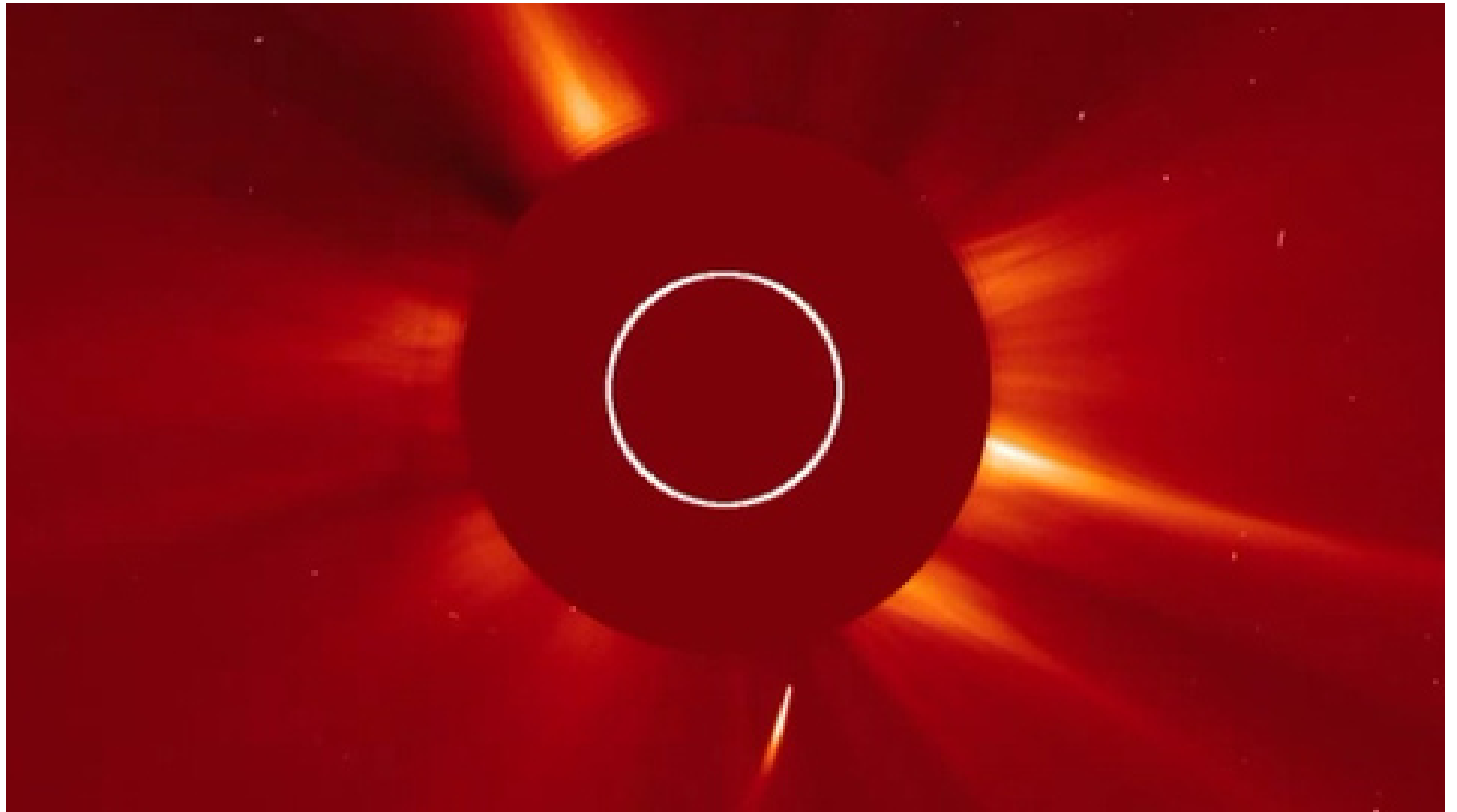
- oddziaływania pływowe mogą rozerwać jądro

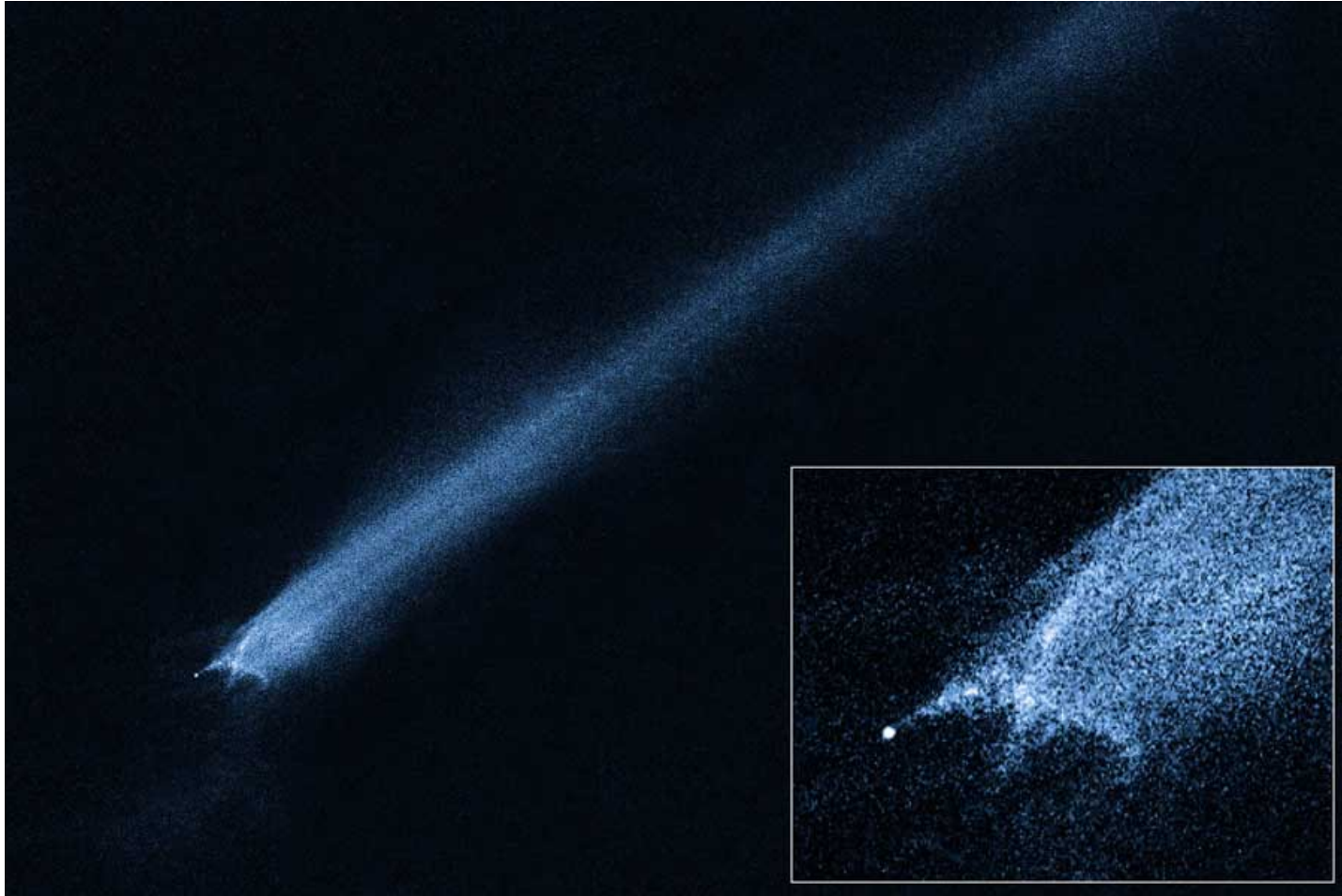


D/1993 F2 Shoemaker-Levy 9



D/1993 F2 Shoemaker-Levy 9





P/2010 A2

– Meteory

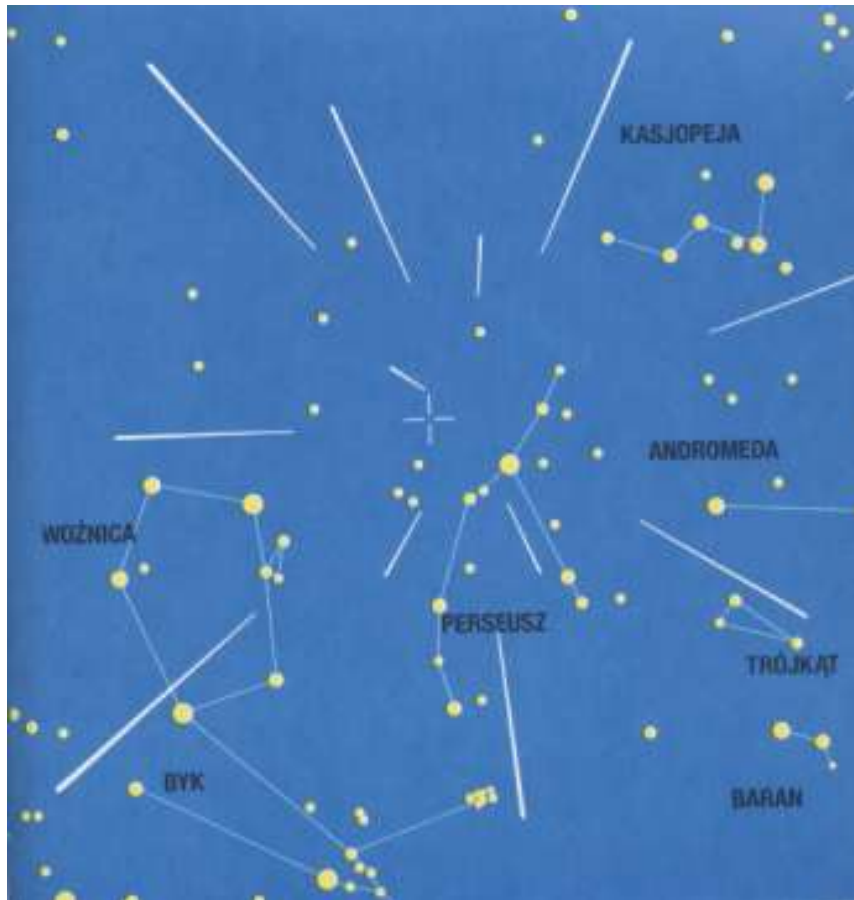
- meteoroid – ciało o rozmiarze $10\text{ m} - 10^{-4}\text{ m}$
- meteor – ślad meteoroidu w atmosferze
- meteoryt – pozostałość po meteoroidzie, który spadł na powierzchnię



· roje meteorów



· radiant



– pył międzyplanetarny

· światło zodiakalne, i przeciwblask



Słońce



średnia odległość: 1.496×10^8 km
promień równikowy: 6.955×10^5 km
spłaszczenie: 9×10^{-6}
masa: 1.9891×10^{30} kg
gęstość: 1.408 kg/dm³
nachylenie osi rotacji: 7.25°
okres obrotu:
– na równiku: 25.05 d
– na biegunie: 34.4 d
jasność: -26.74^m
temperatura: 5 778 K (efektywna)
moc: 3.846×10^{26} W
średnia jasność: 2.009×10^7 W/m²sr
metaliczność: 0.0122

- skład fotosfery:
H: 73.46%
He: 24.85%
O: 0.77%
C: 0.29%
Fe: 0.16%
Ne: 0.12%
N: 0.09%
Si: 0.07%
Mg: 0.05%
S: 0.04%

- Stała słoneczna

– moc promieniowania Słońca, przechodząca przez 1 m^2 w odległości 1 AU

$$S = 1361 \text{ W/m}^2$$

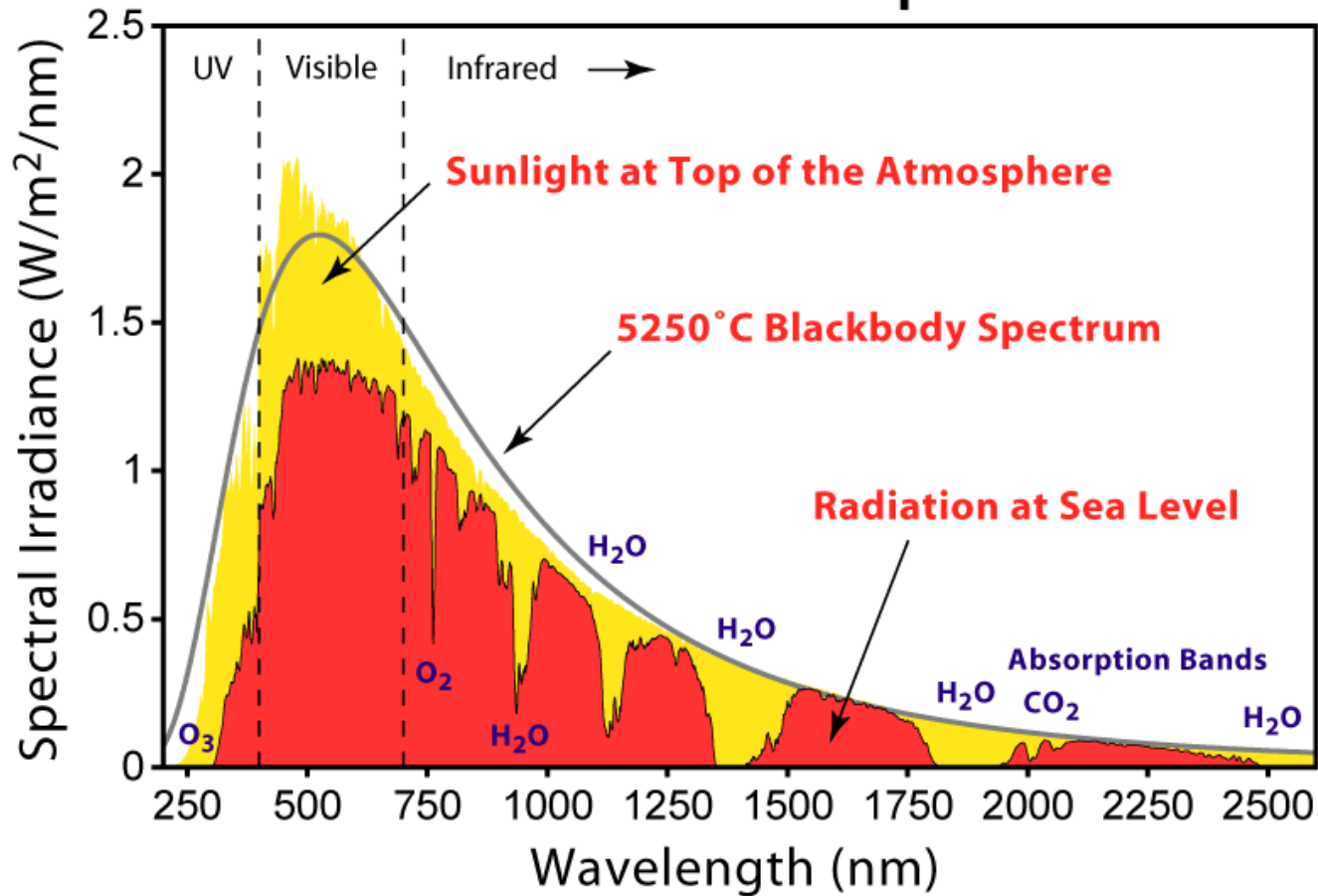
moc emitowana:

$$P = S \cdot 4\pi(1 \text{ AU})^2$$

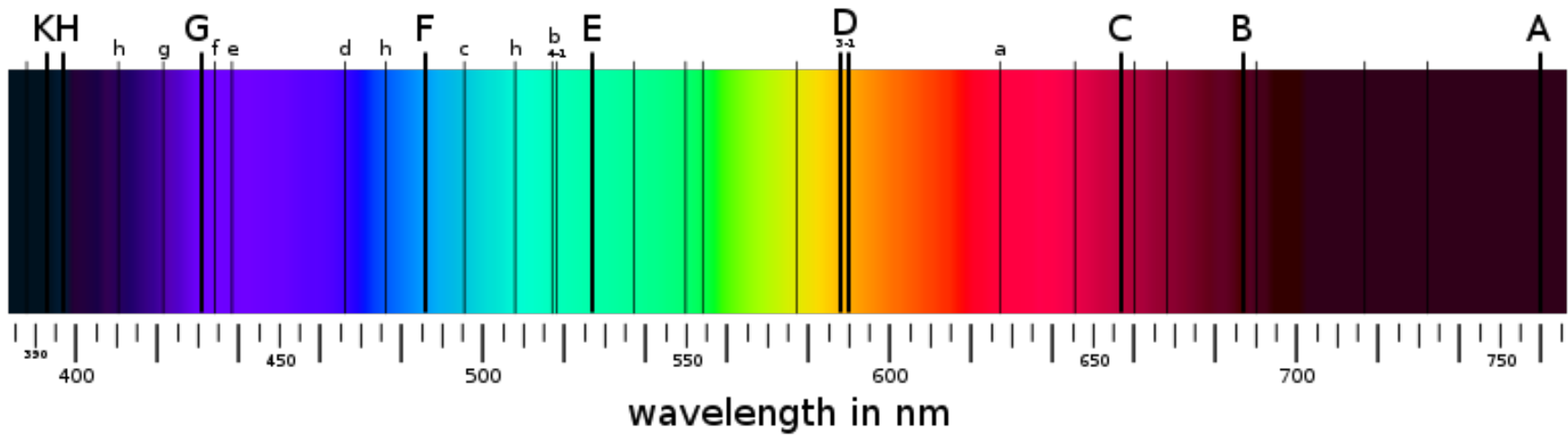
temperatura (efektywna):

$$P = \sigma T_{eff}^4$$

Solar Radiation Spectrum



- Linie Fraunhofer

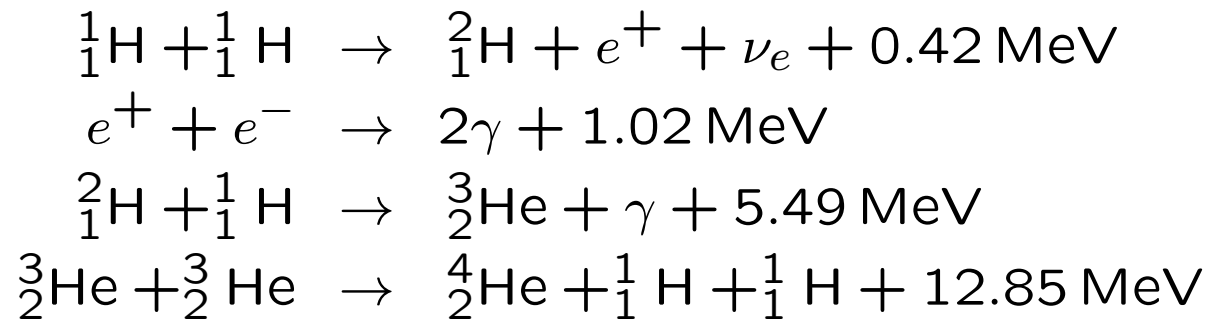


- Źródła energii

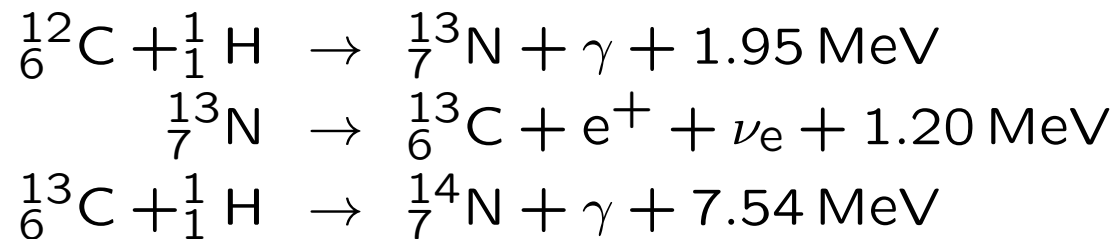
– przed XX w. – kontrakcja grawitacyjna, uderzenia meteoroidów, komet

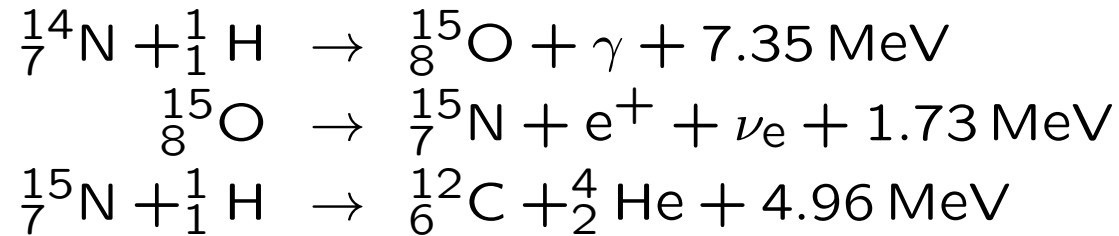
– reakcje termojądrowe:

• cykl $p - p$:

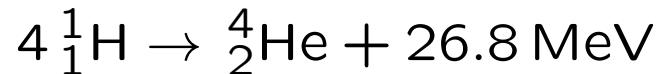


• cykl CNO:





w sumie



$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

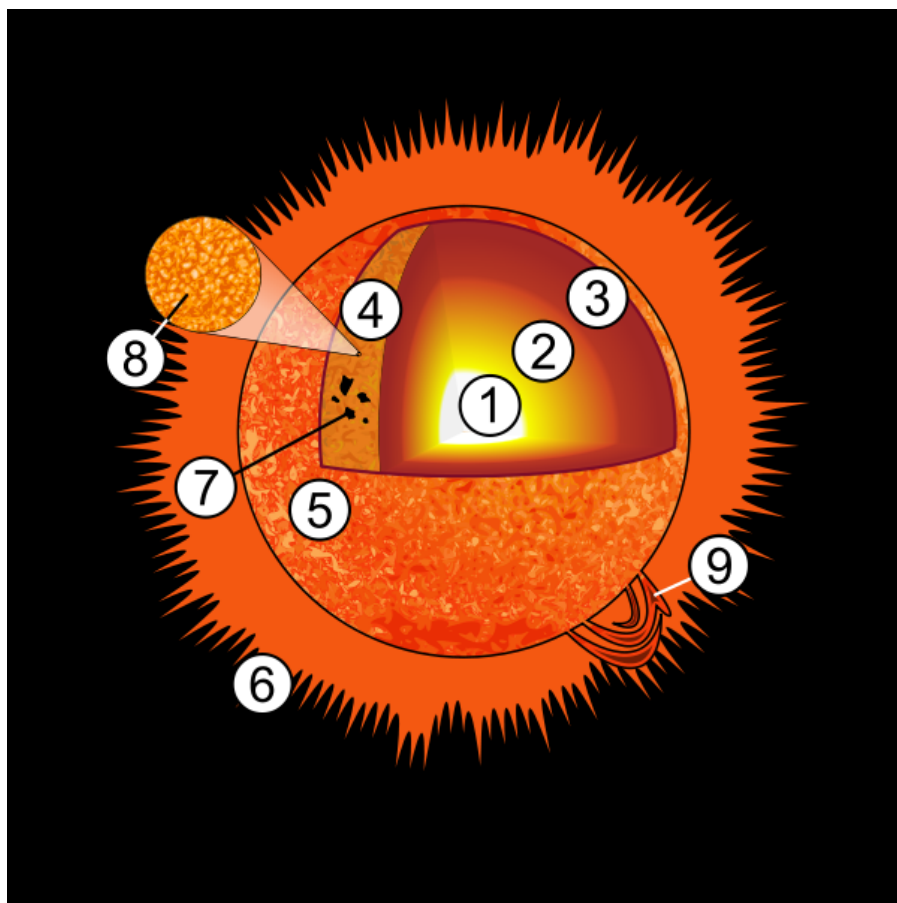
moc: $3.846 \times 10^{26} \text{ W}$,

w jednostkach masy – $4.24 \times 10^9 \text{ kg/s}$

na rok: $1.34 \times 10^{17} \text{ kg}$

w całym „życiu” (ok. 4.5 mld. lat) – ok. 0.03% masy

- Budowa



jądro ($\sim 0.25 R_{\odot}$):

$T: 15.7 \times 10^6 \text{ K}$

$\rho: 150 \text{ kg/dm}^3$

ok. 99% produkcji energii

strefa radiacyjna ($0.25\text{--}0.7 R_{\odot}$):

$T: 7\text{--}2 \text{ mln. K}$

$\rho: 20\text{--}0.2 \text{ kg/dm}^3$

strefa konwektywna ($>0.7 R_{\odot}$):

$T: 2 \text{ mln.} - 5700 \text{ K}$

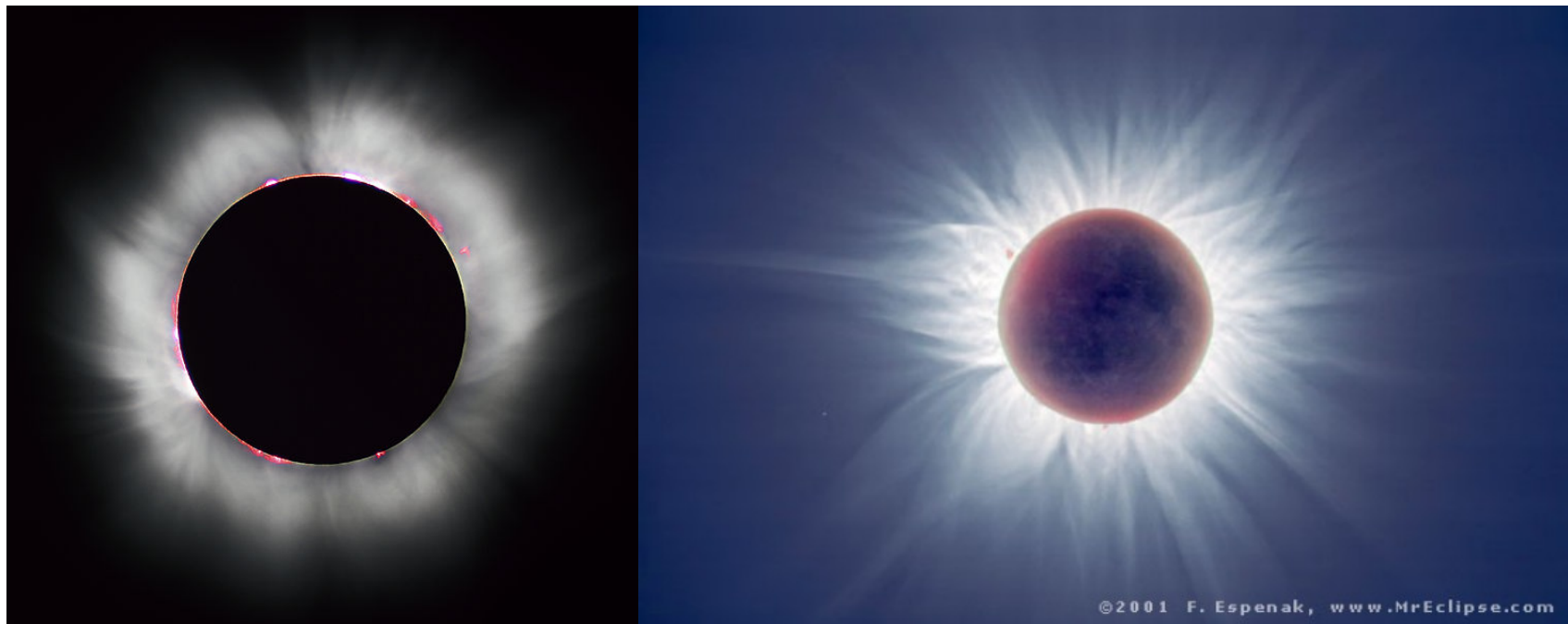
$\rho: 0.2 \text{ kg/dm}^3 - 0.2 \text{ g/m}^3$

fotosfera – 5700 K

chromosfera – 4100 K

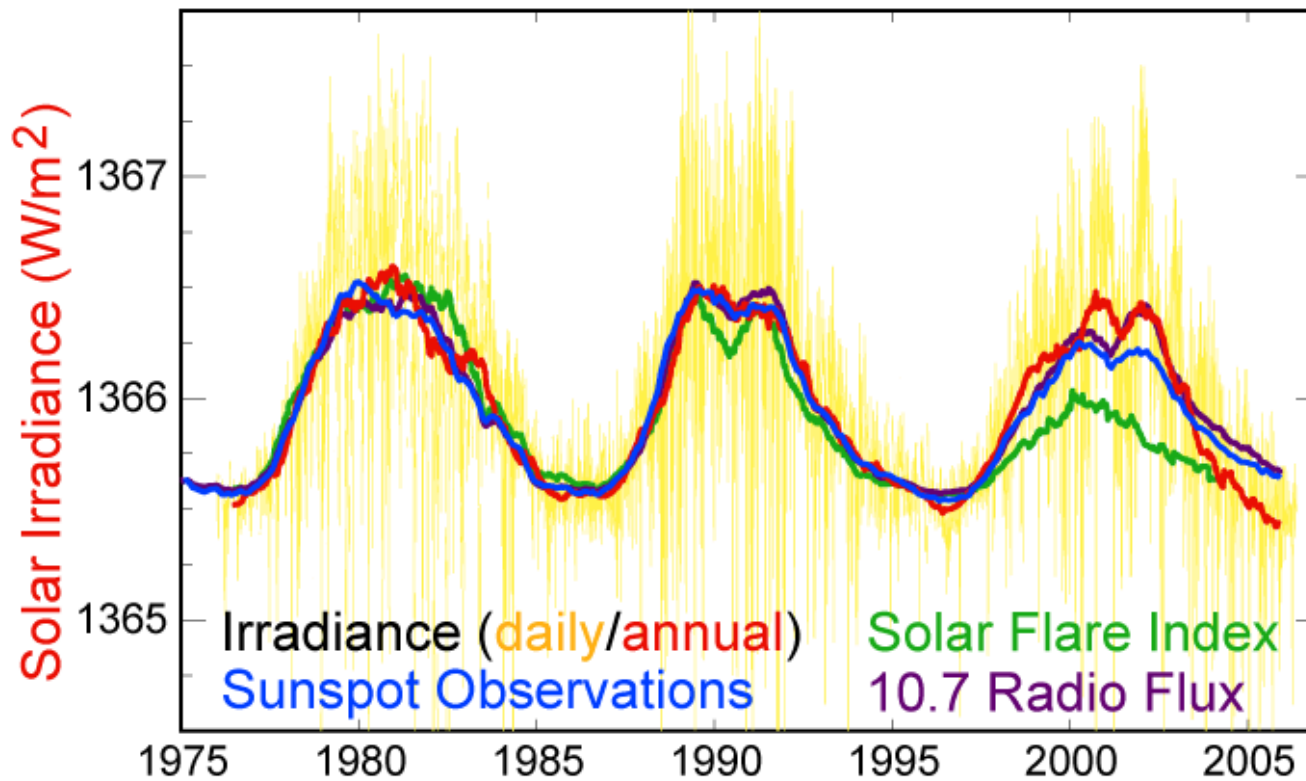
korona – do 20 mln. K

– chromosfera i korona:



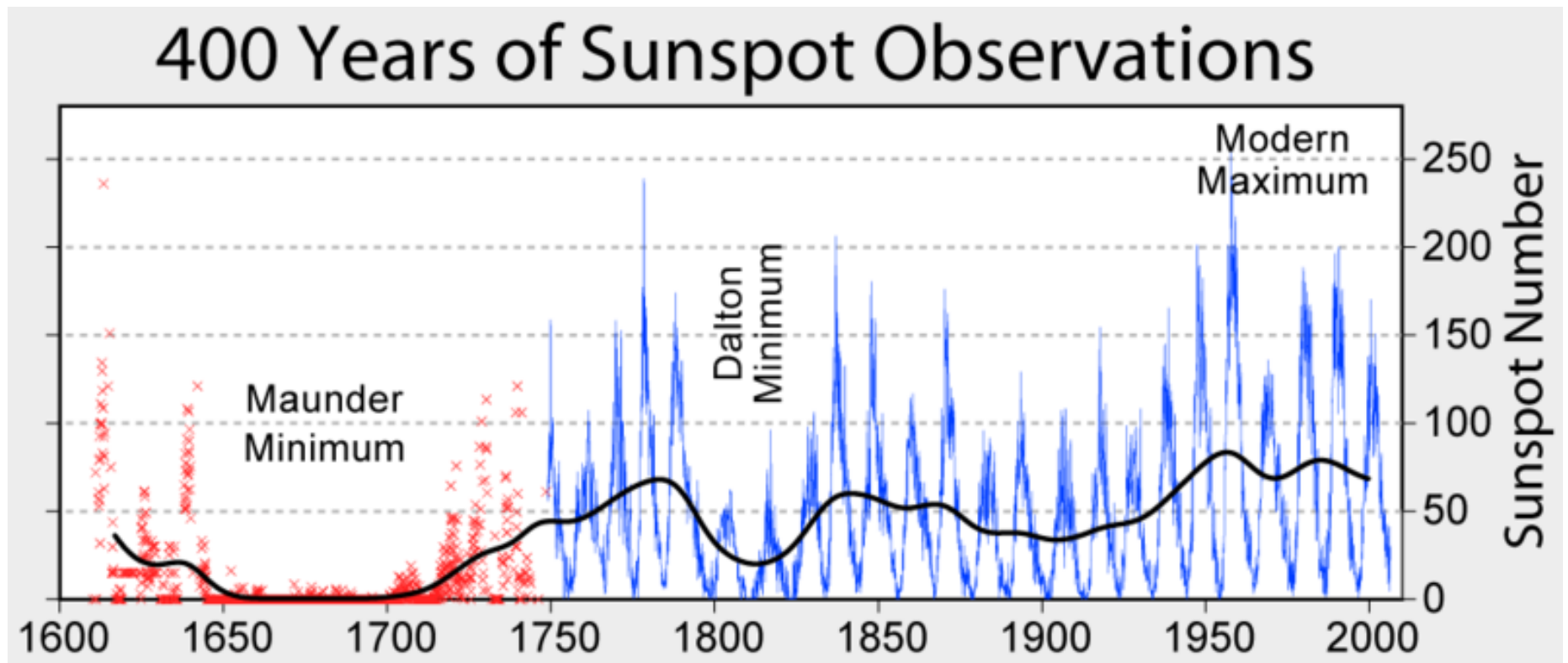
- Aktywność

Solar Cycle Variations

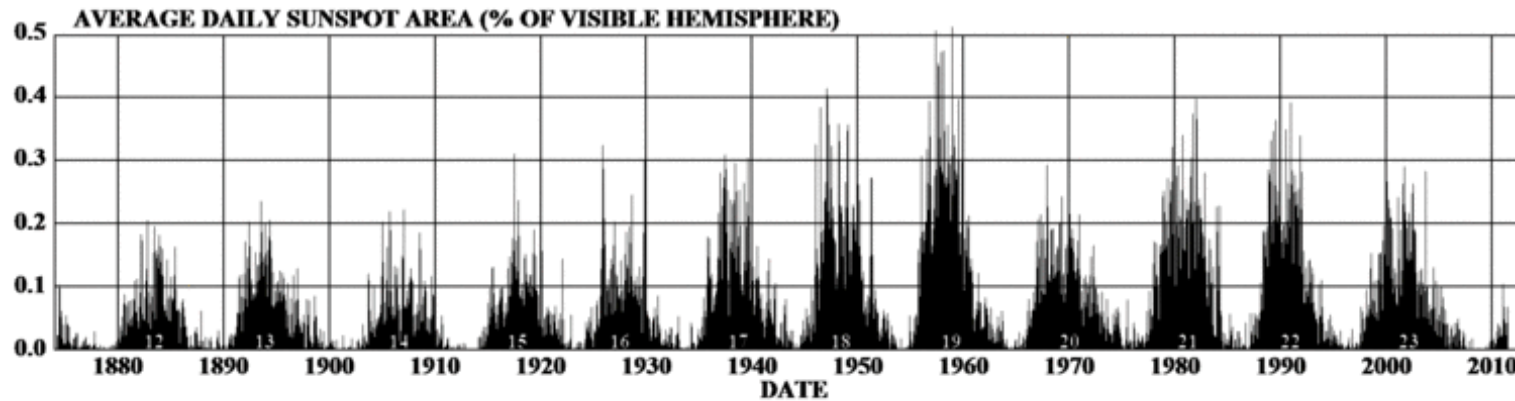
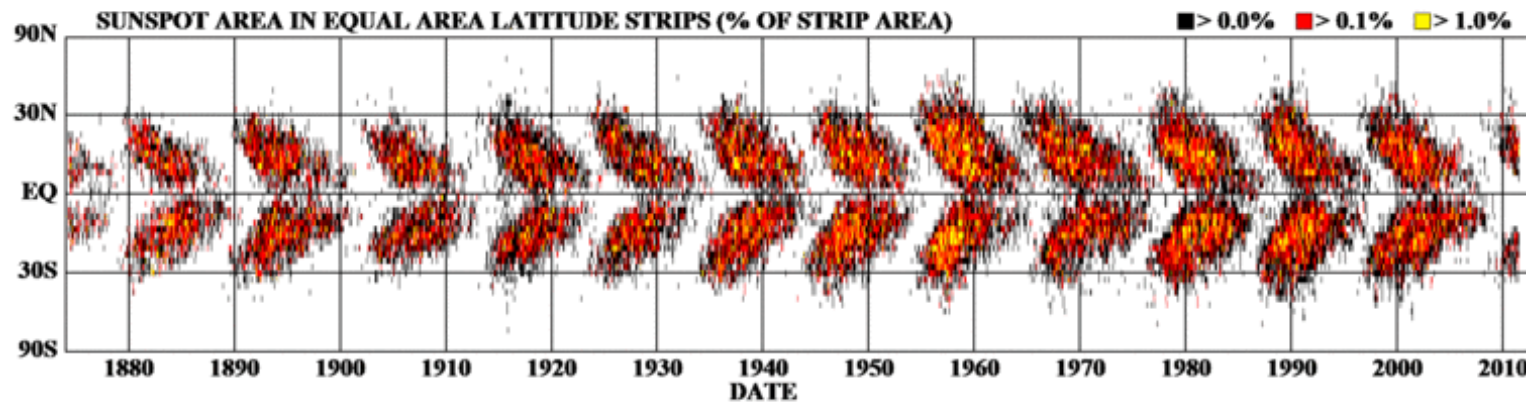


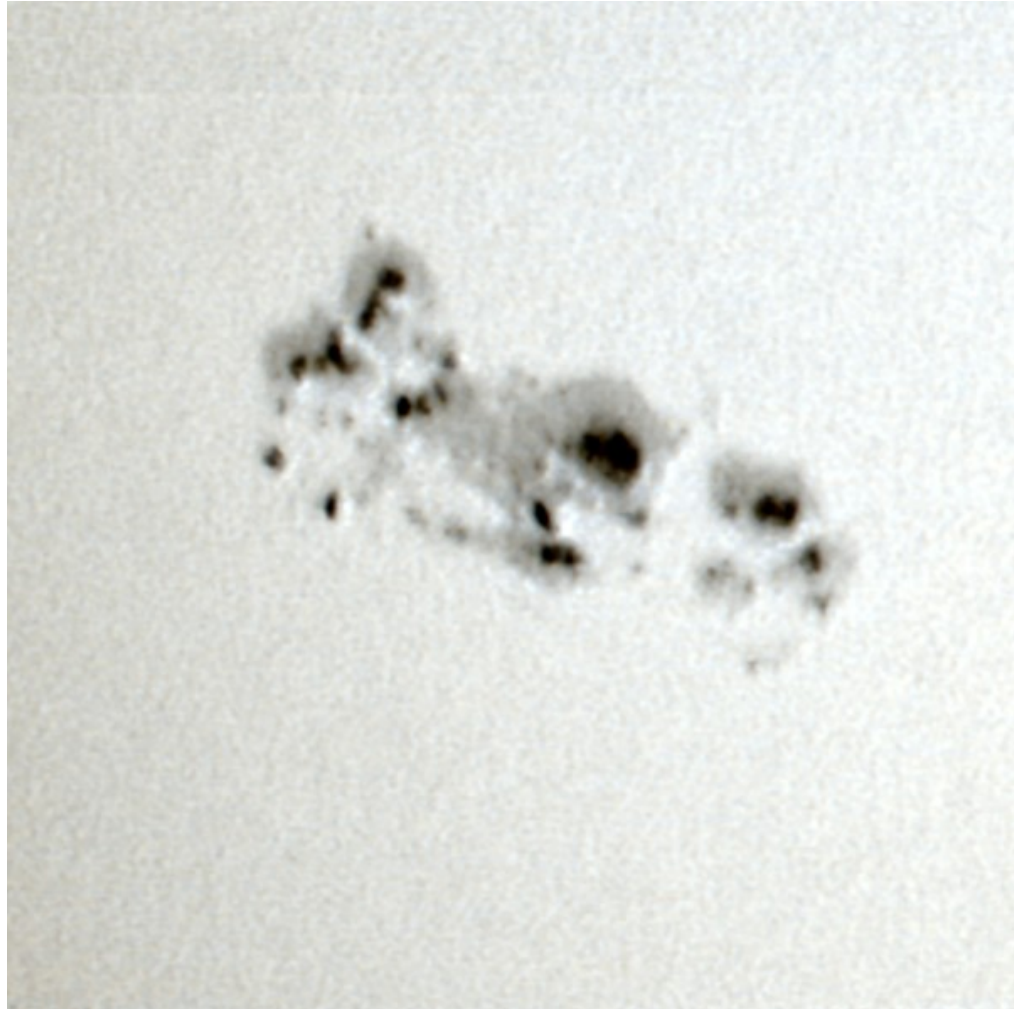
– plamy słoneczne – liczba Wolfa:

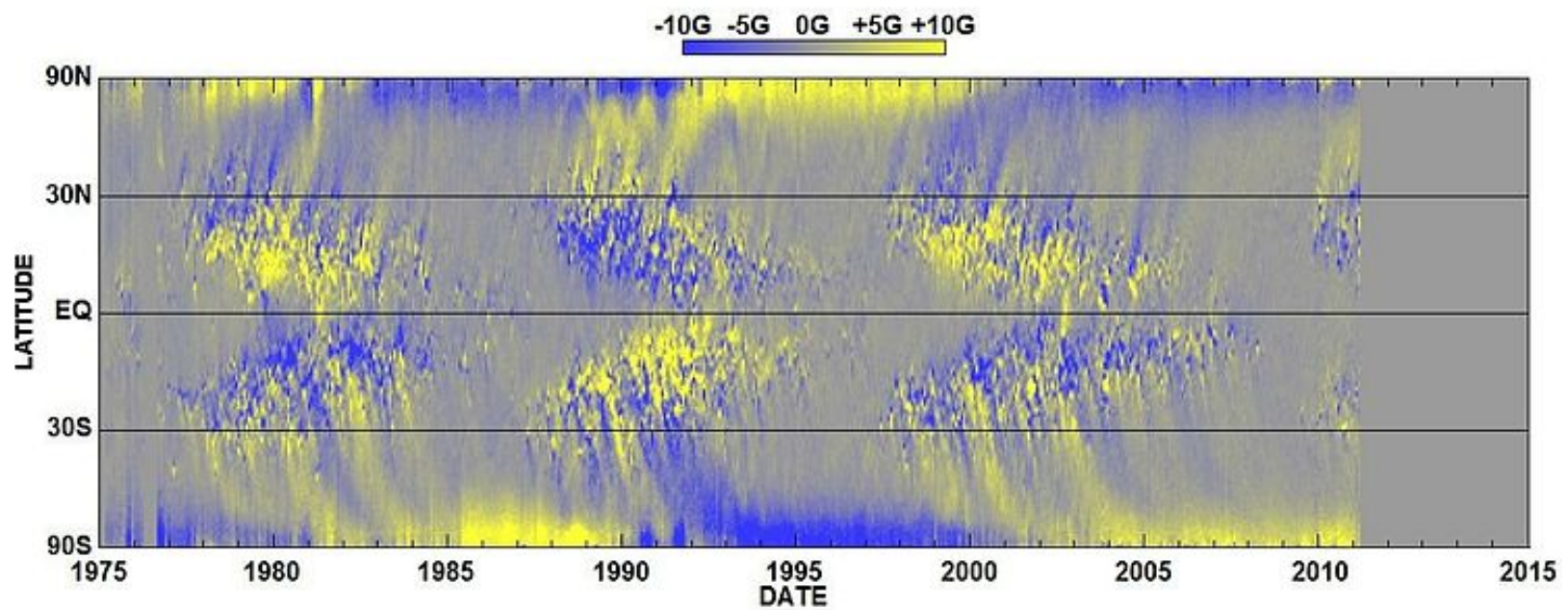
$$R = k(10g + s)$$



DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS

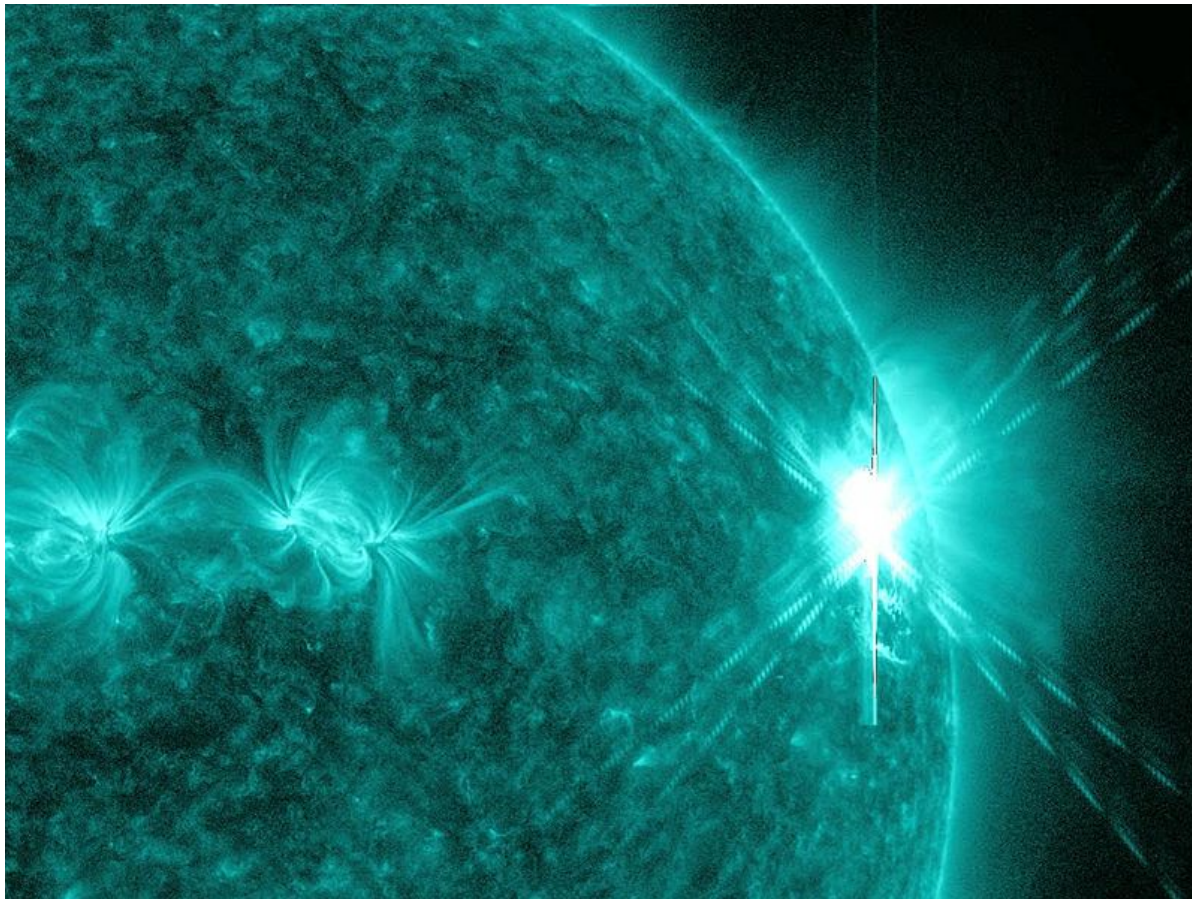




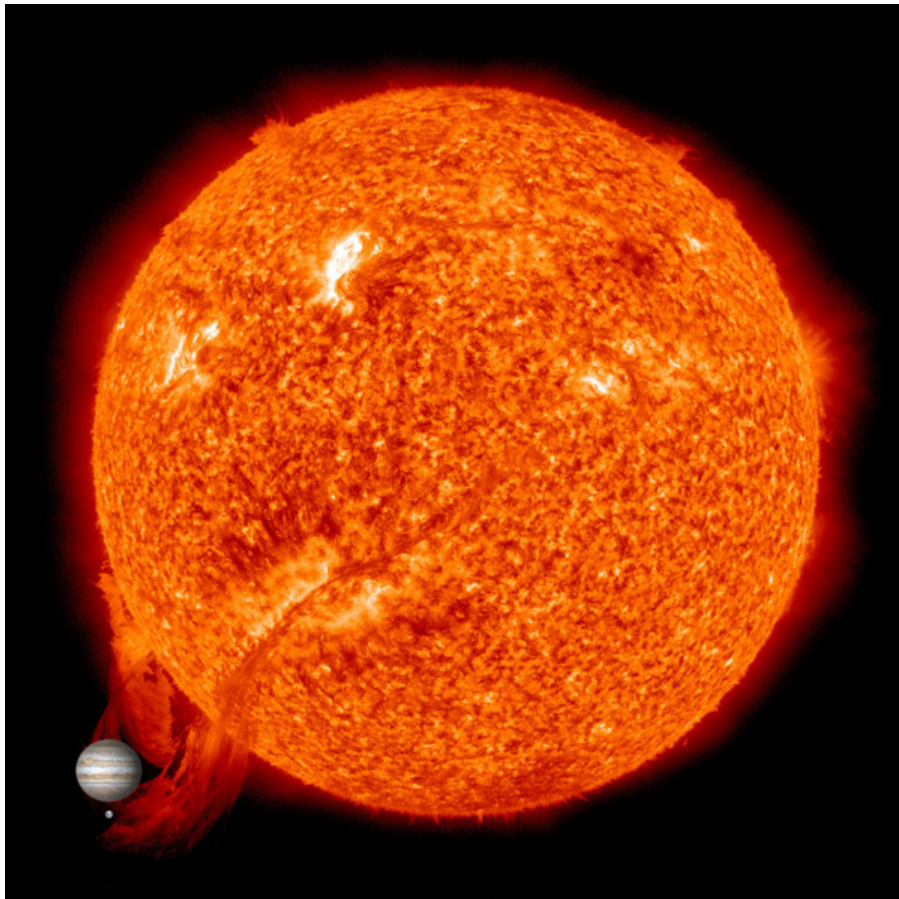


Hathaway/NASA/MSFC 2011/04

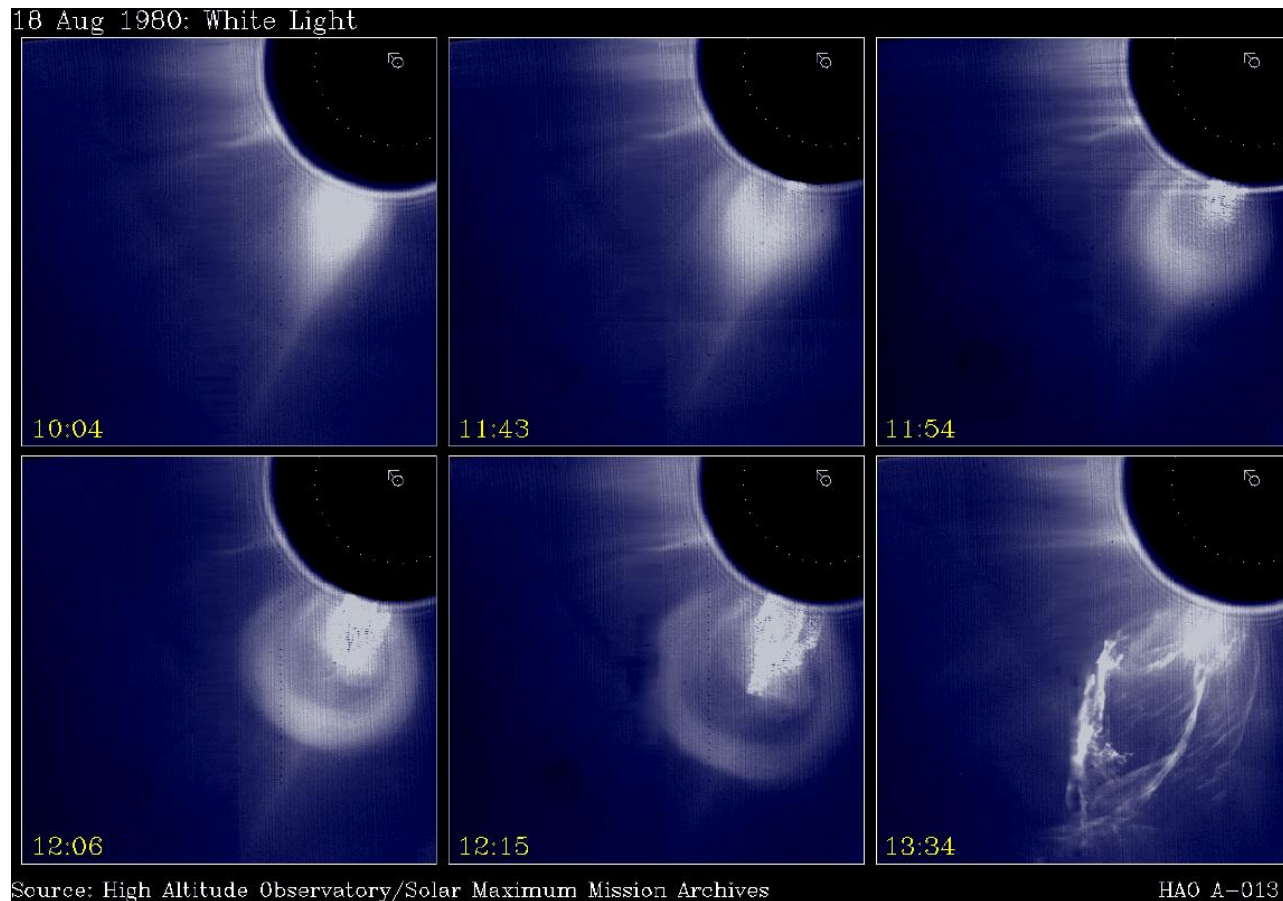
– pochodnie

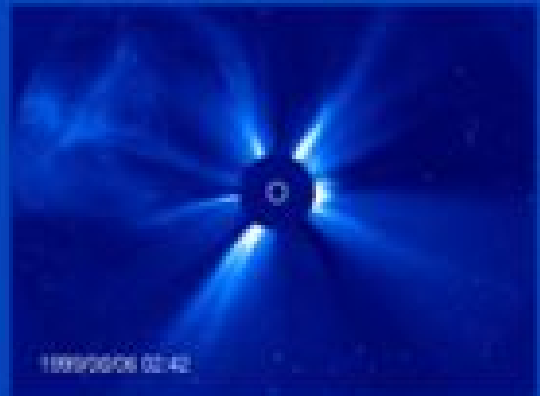
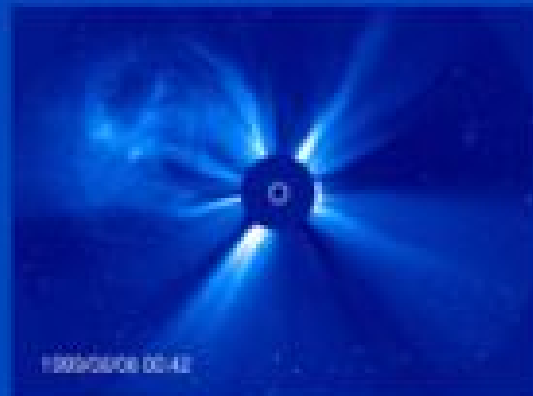
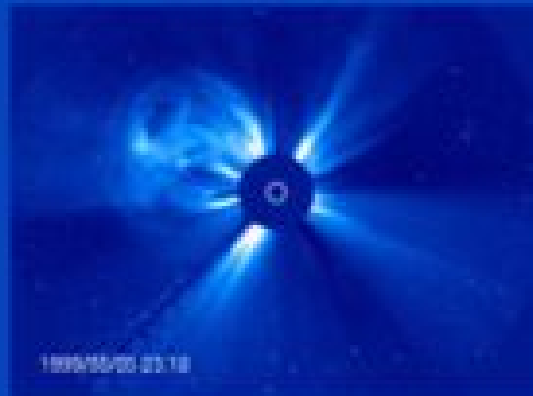


– protuberancje



– koronalne wyrzuty masy (CME)





- Wiatr słoneczny

- unosi ok. 10^9 kg/s masy Słońca

- prędkość w okolicach Ziemi $\sim 200 - 900$ km/s

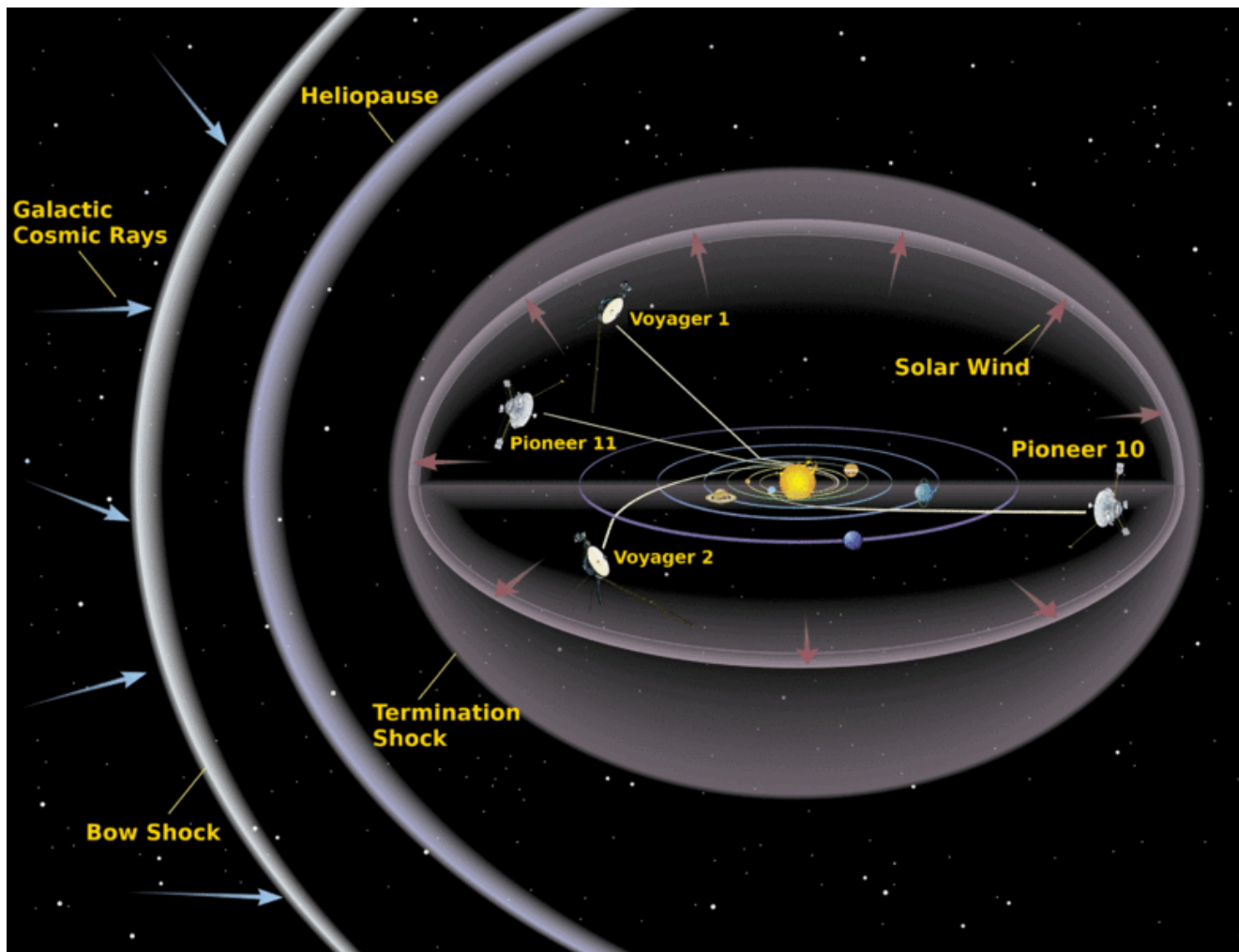
- oddziaływanie z magnetosferami planet (i powierzchniami)

- 75–90 AU : szok końcowy – stojąca fala uderzeniowa

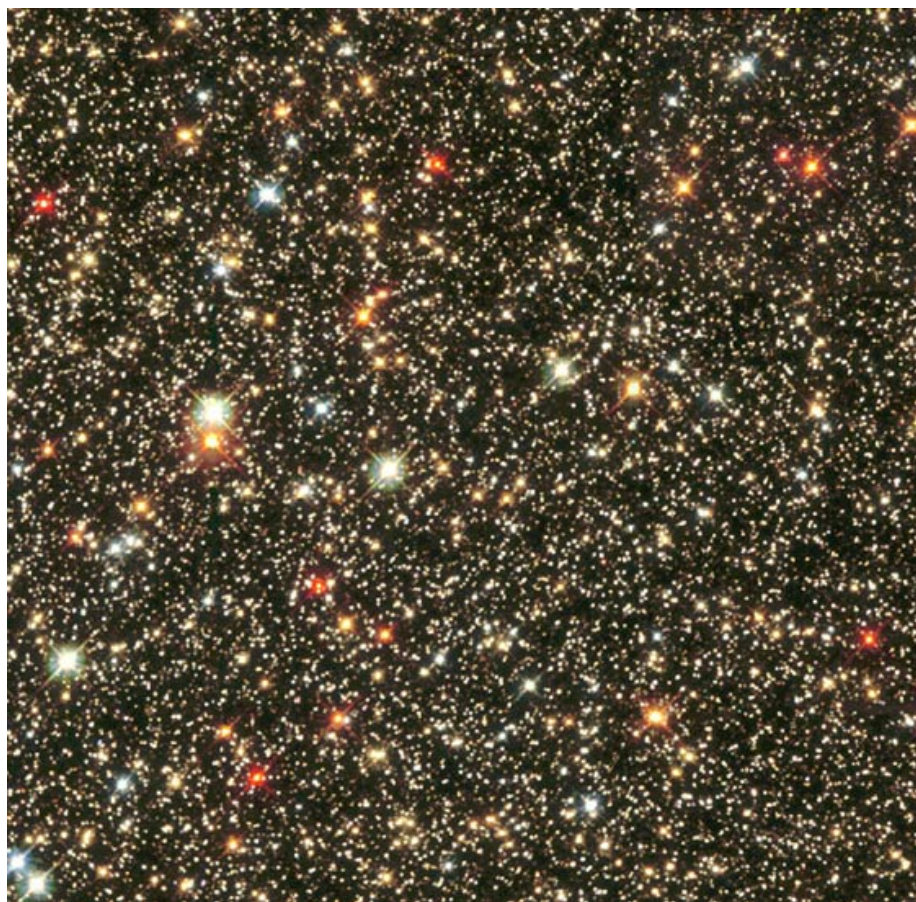
- 80–100 AU : płaszcz Układu Słonecznego (*heliosheath*)

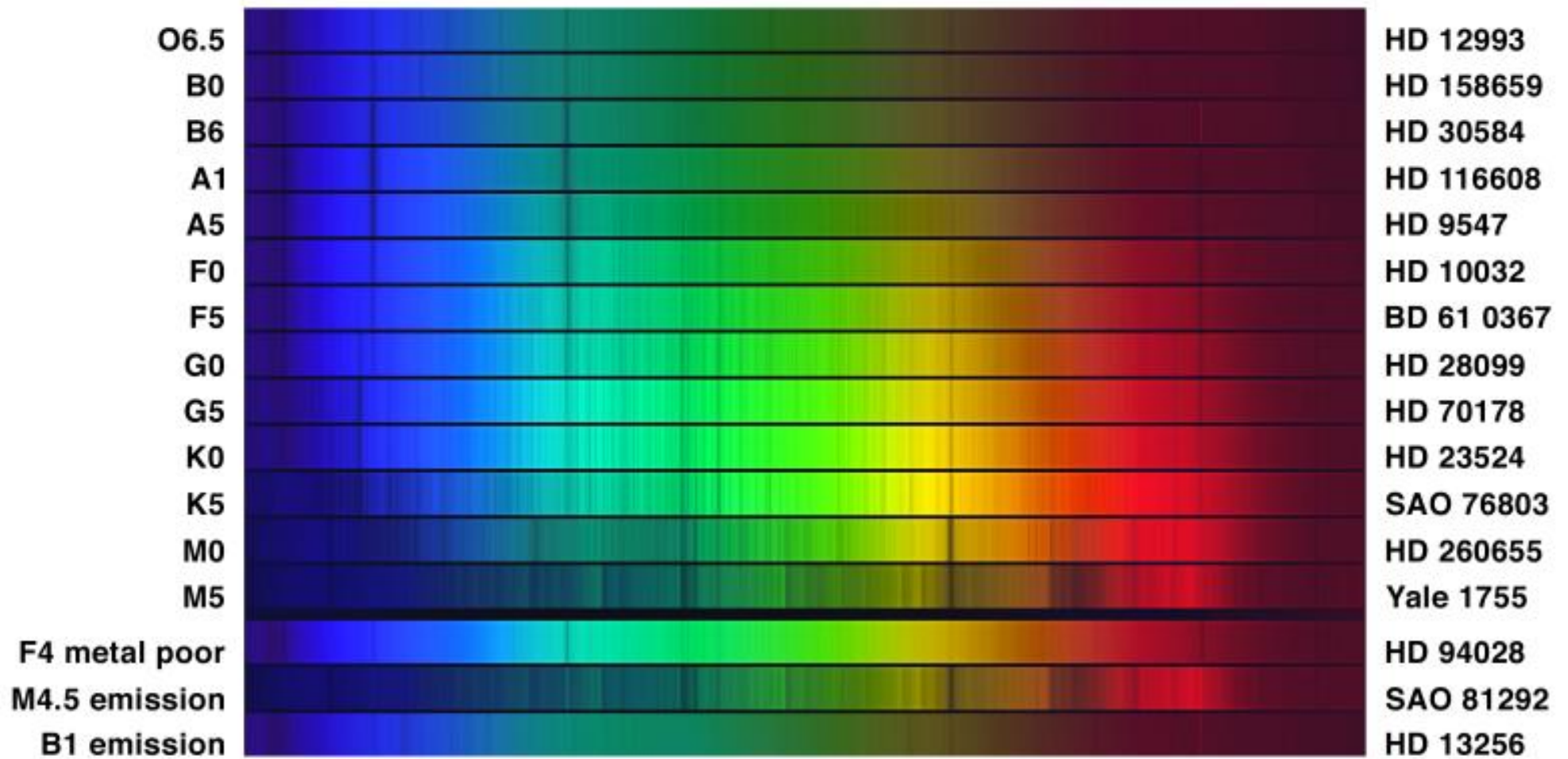
- heliopauza – zrównanie się ciśnień wiatru i ośrodka międzygwiazdowego

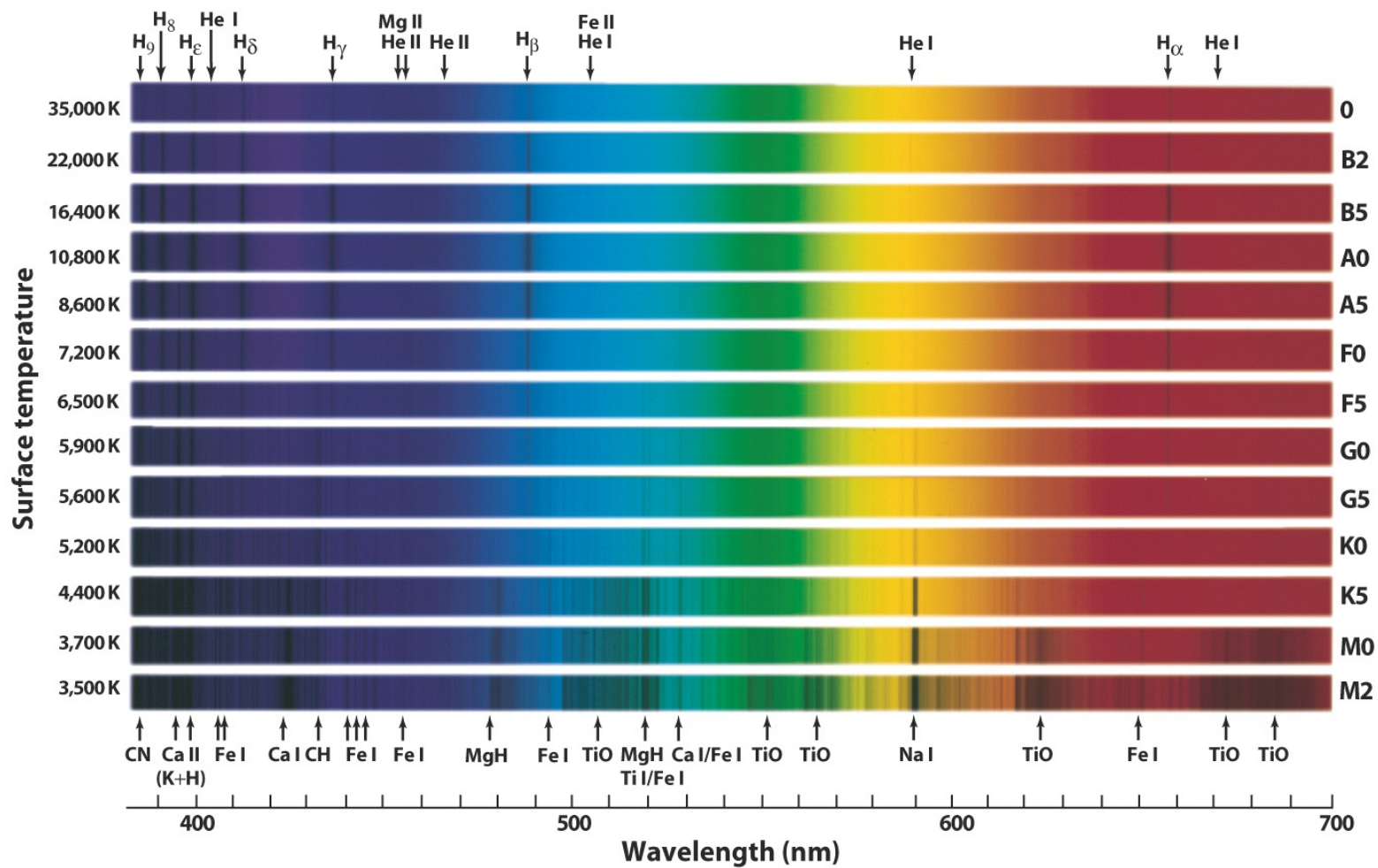
- ok. 230 AU : łukowa fala uderzeniowa (*bow shock*)



Gwiazdy







– klasyfikacja widmowa

klasa	T [K]	kolor	M [M_{\odot}]	R [R_{\odot}]	L [L_{\odot}]	Linie abs.	
O	28 000–50 000	c.nieb.	16–150	15	<1 400 000	N,C,He,O	ζ Oph
B	9 600–28 000	b.nieb.	3.1-16	7	20 000	He,H	β Ori
A	7 100–9 600	biały	1.7–3.1	2.1	80	H	α Cyg
F	5 700–7 100	b.-żółty	1.2–1.7	1.3	6	Fe,Ti,Ca,Sr,Mg	α CMi A
G	4 600–5 700	żółty	0.9–1.2	1.1	1.2	Ca,He,H i in.	Słońce
K	3 200–4 600	pomar.	0.4–0.8	0.9	0.4	metale+TiO ₂	ϵ Ind
M	1 700–3 200	czerw.	0.08–0.4	0.4	0.04	j.w.	Proxima Cen

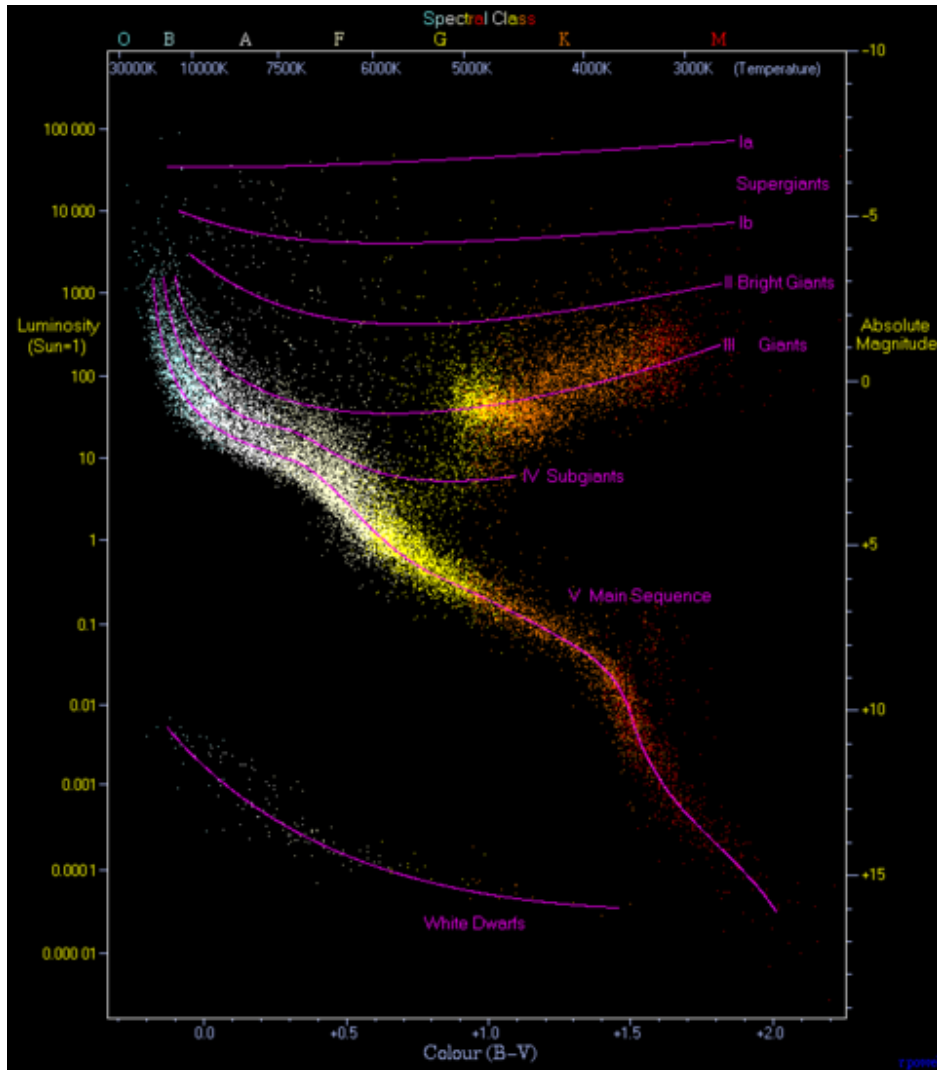
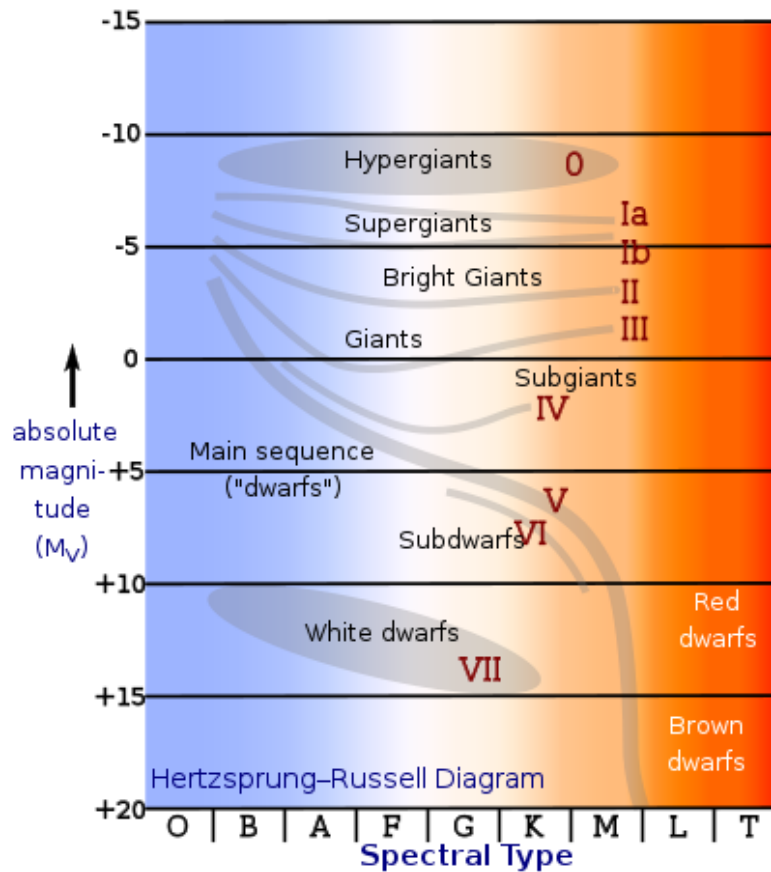
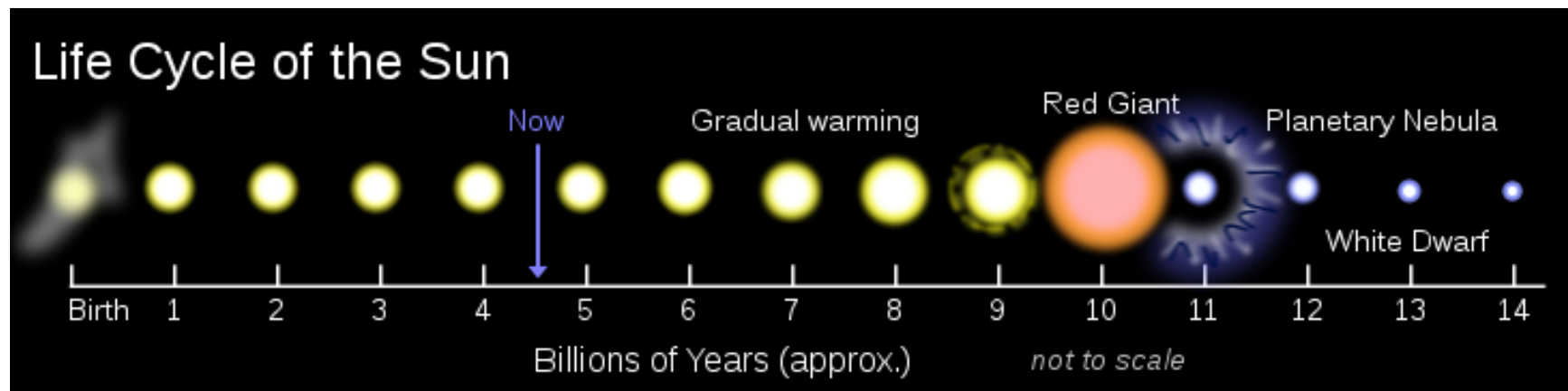


diagram Herzsprunga-Russella

– klasyfikacja Morgana-Keenana-Kellmana



- Ewolucja gwiazdy typu Słońca



– obłoki molekularne





– gwiazda ciągu głównego

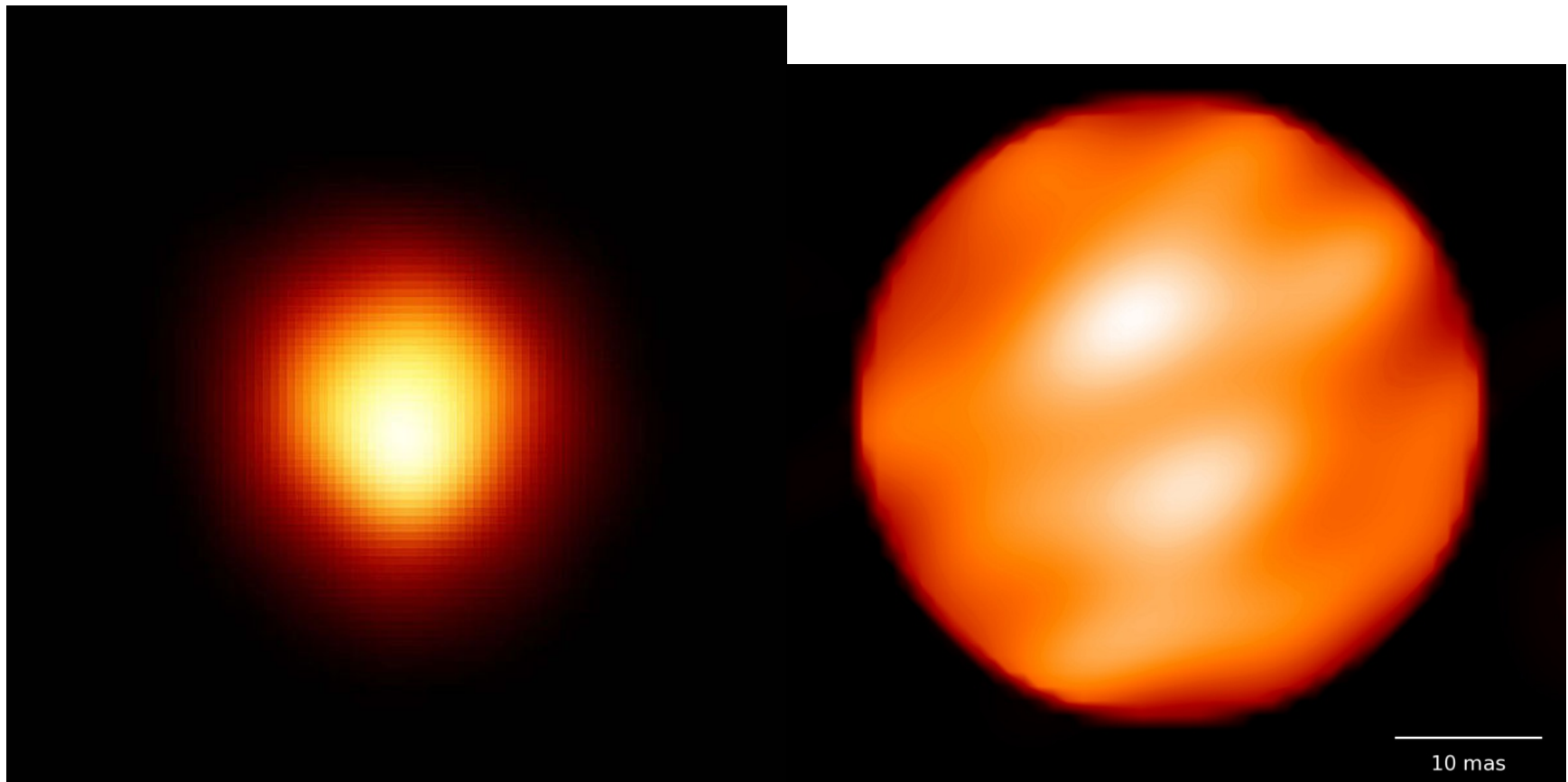


$$\rho \sim 10^3 \text{ kg/m}^3$$

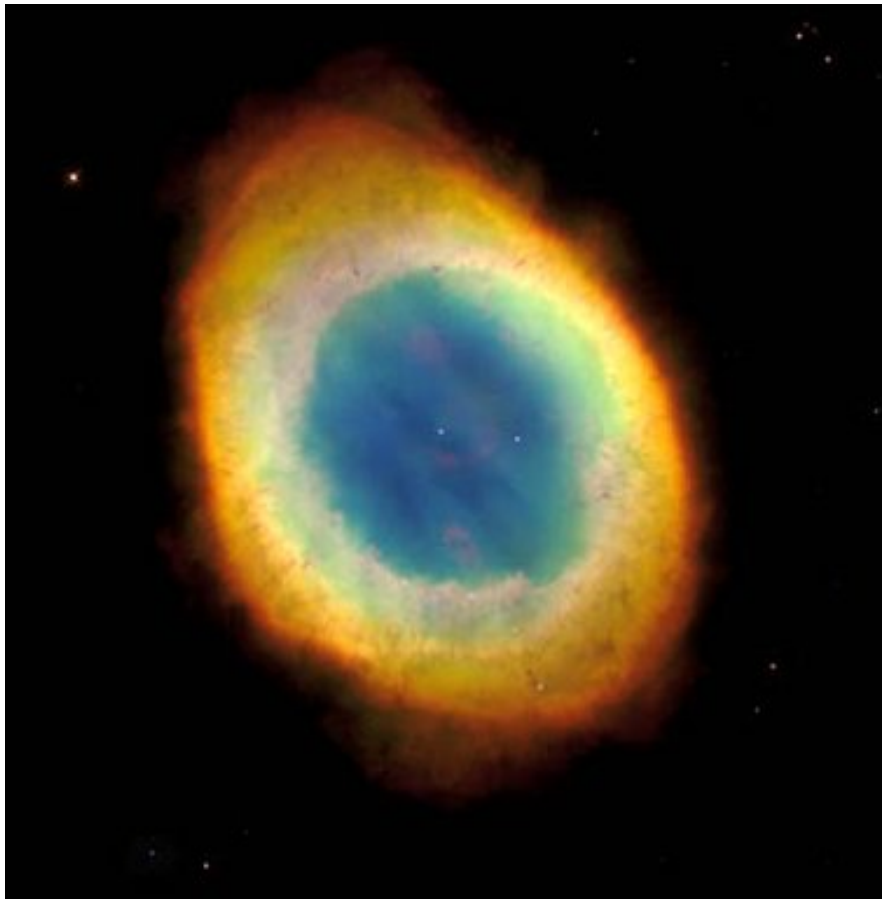
$$0.1M_{\odot} < M < 100M_{\odot}$$

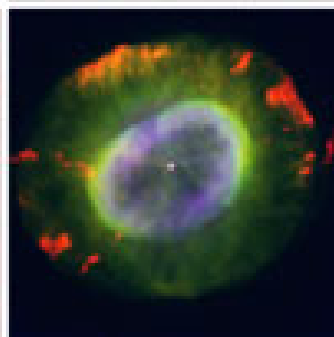
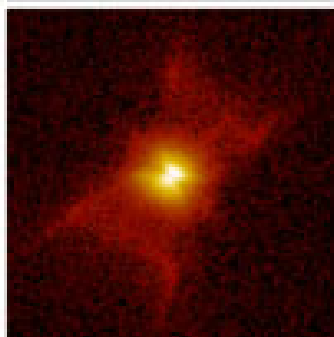
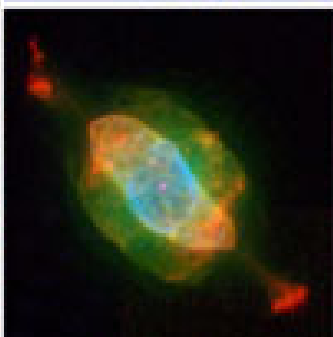
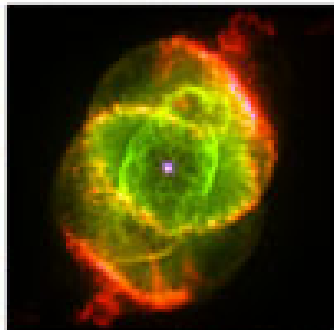
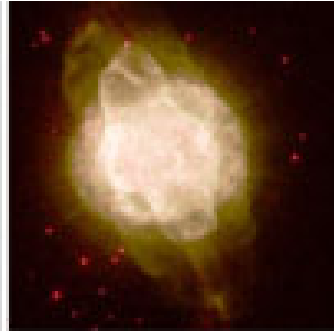
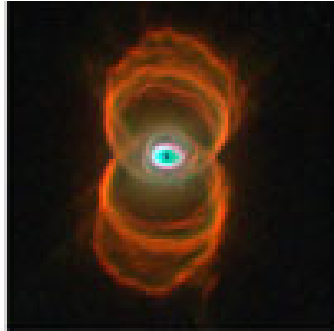
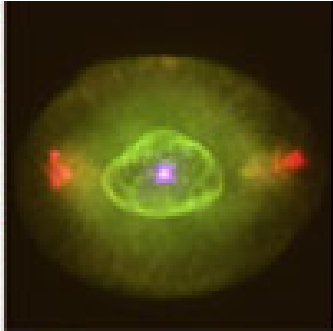
grawitacja \sim ciśnienie promieniowania

– czerwony olbrzym

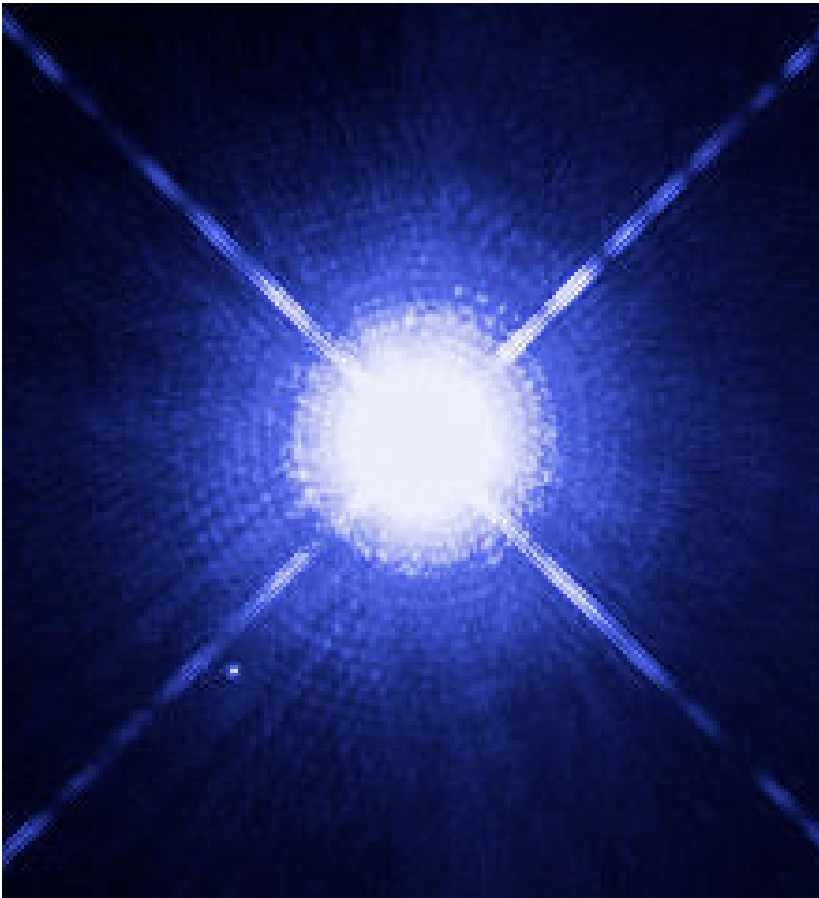


– mgławica planetarna





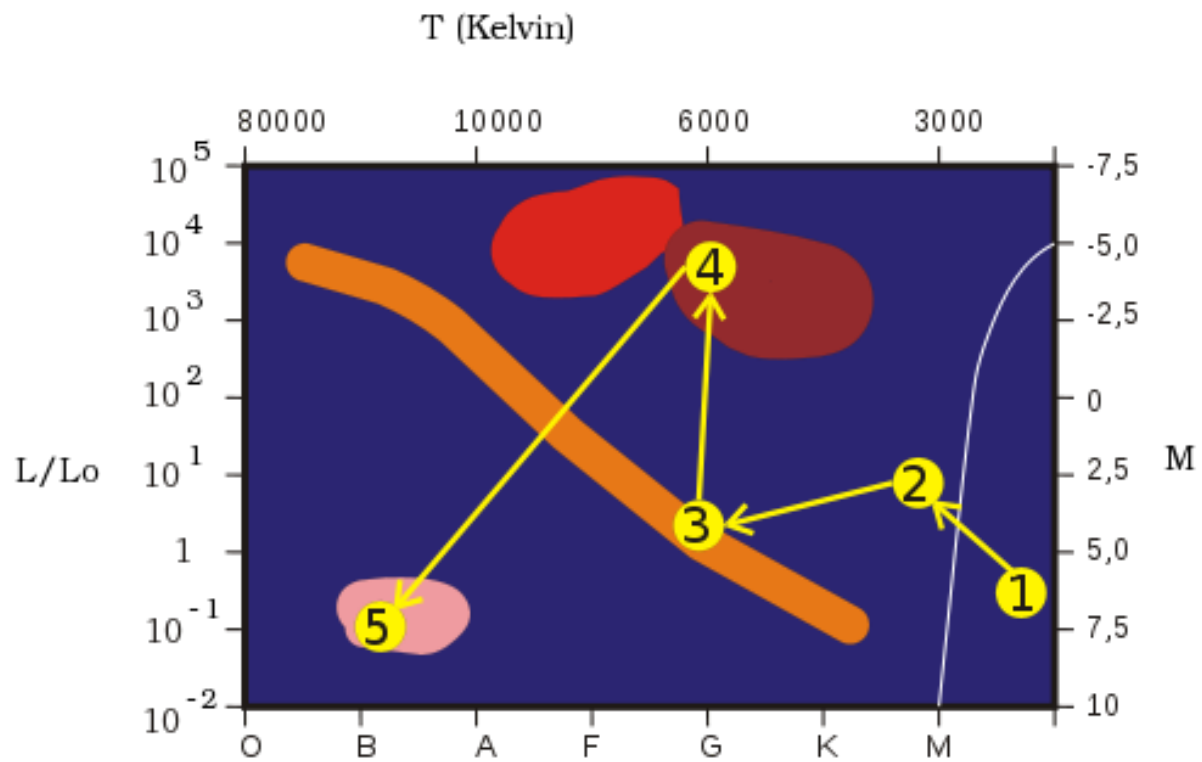
– biały karzeł







$$\rho \sim 10^9 \text{ kg/m}^3$$

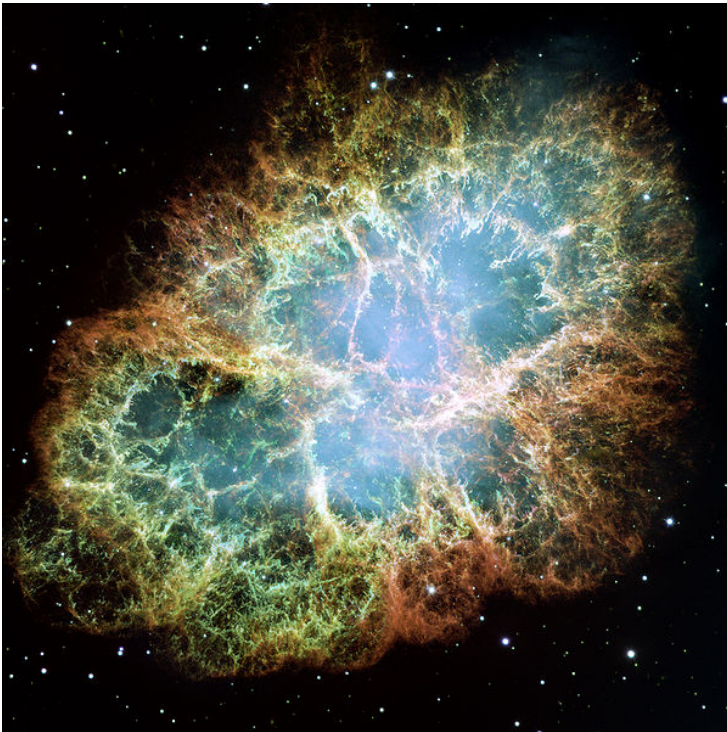
$$M < 1.44 M_{\odot}$$

grawitacja \sim ciśnienie elektronów



- | | |
|---|---|
|  Main sequence |  Red giants |
|  White dwarfs |  Supergiants |

- cięższe gwiazdy ($> 8 M_{\odot}$) wybuchają jako supernowe
- pozostałość po supernowej
- gwiazda neutronowa (pulsar), czarna dziura



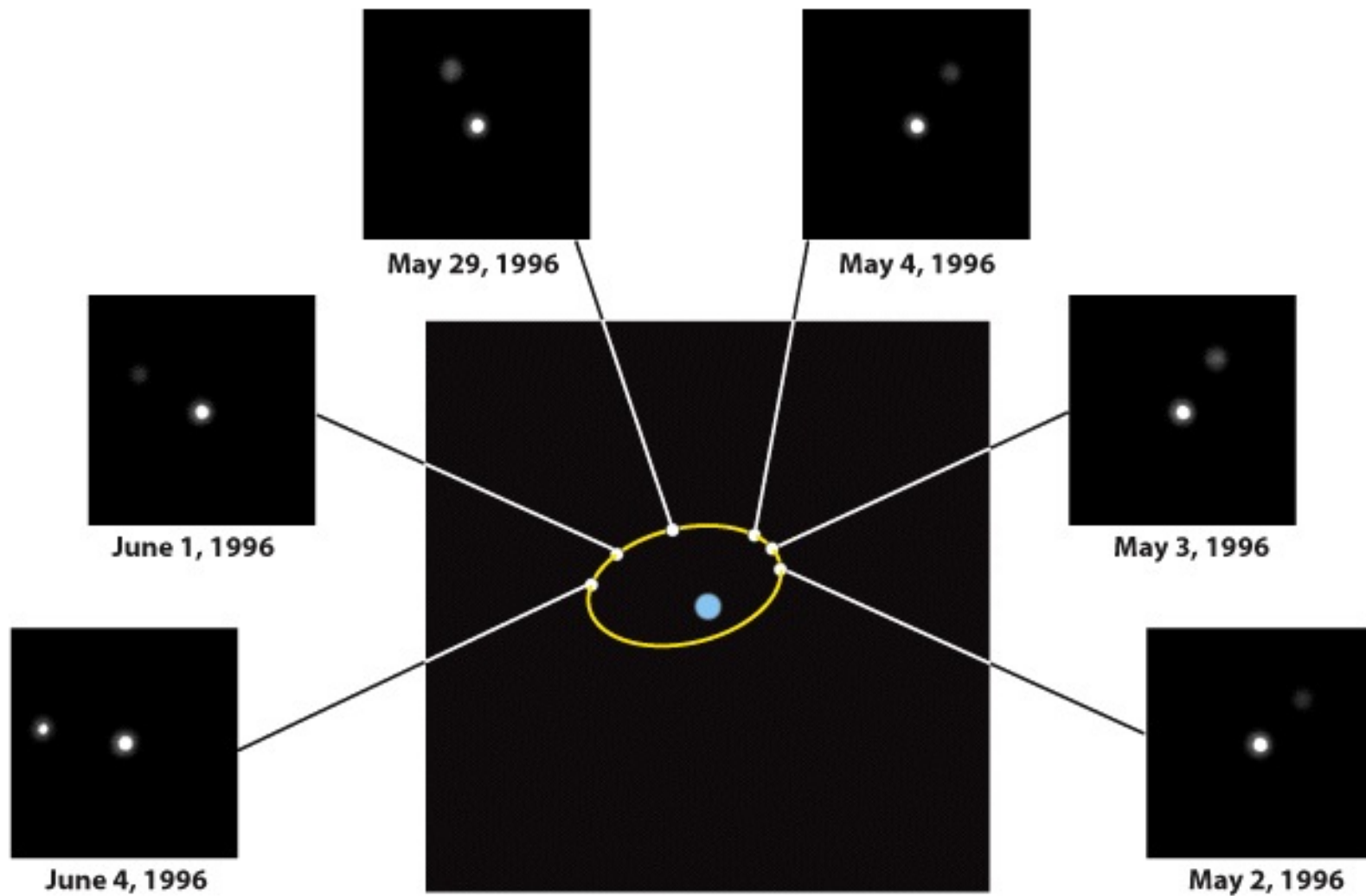
$$\rho \sim 10^{18} \text{ kg/m}^3$$

$$1.4M_{\odot} < M < 3M_{\odot}$$

gravitacja \sim ciśnienie neutronów

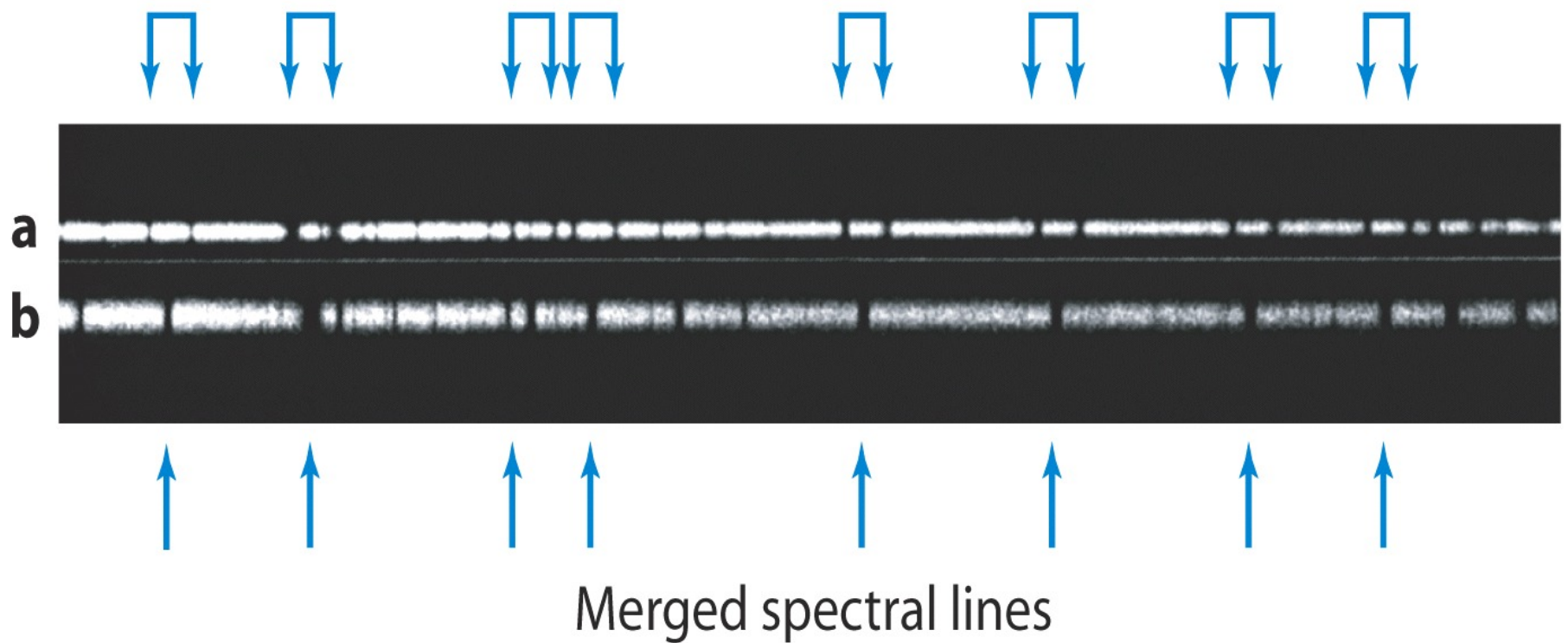
– gwiazdy powstają w grupach



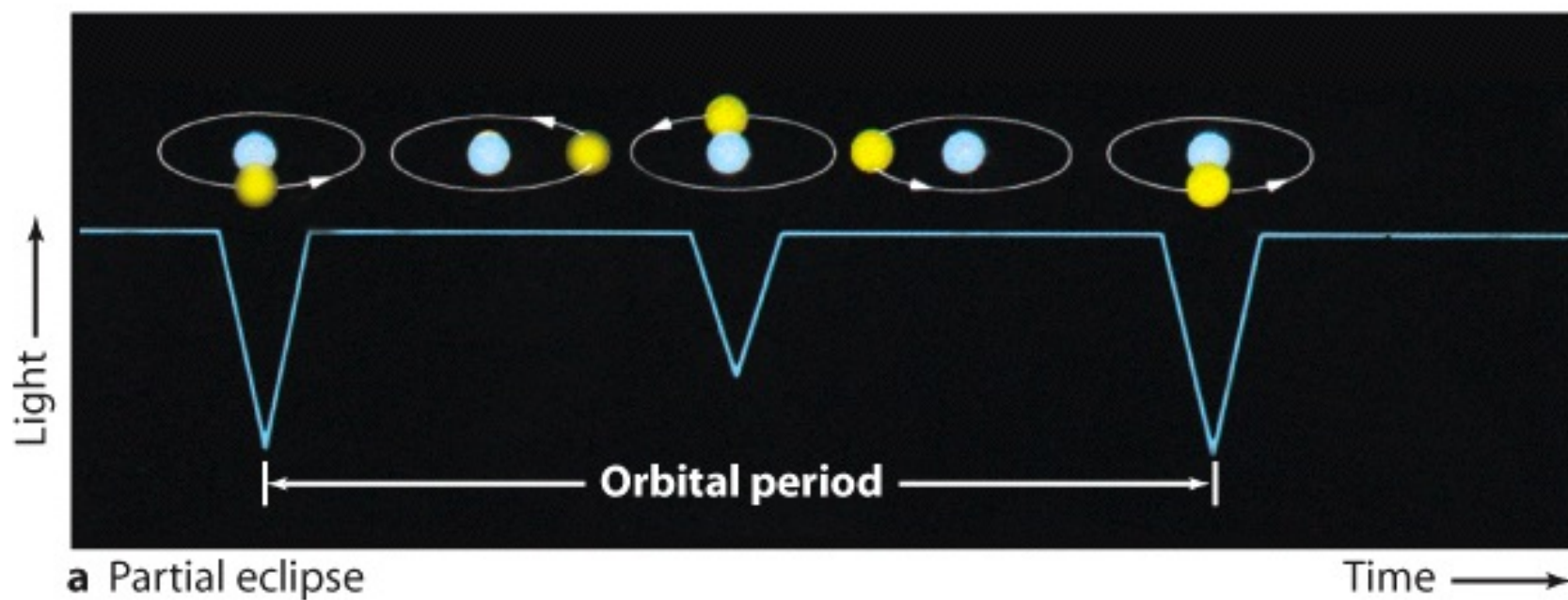


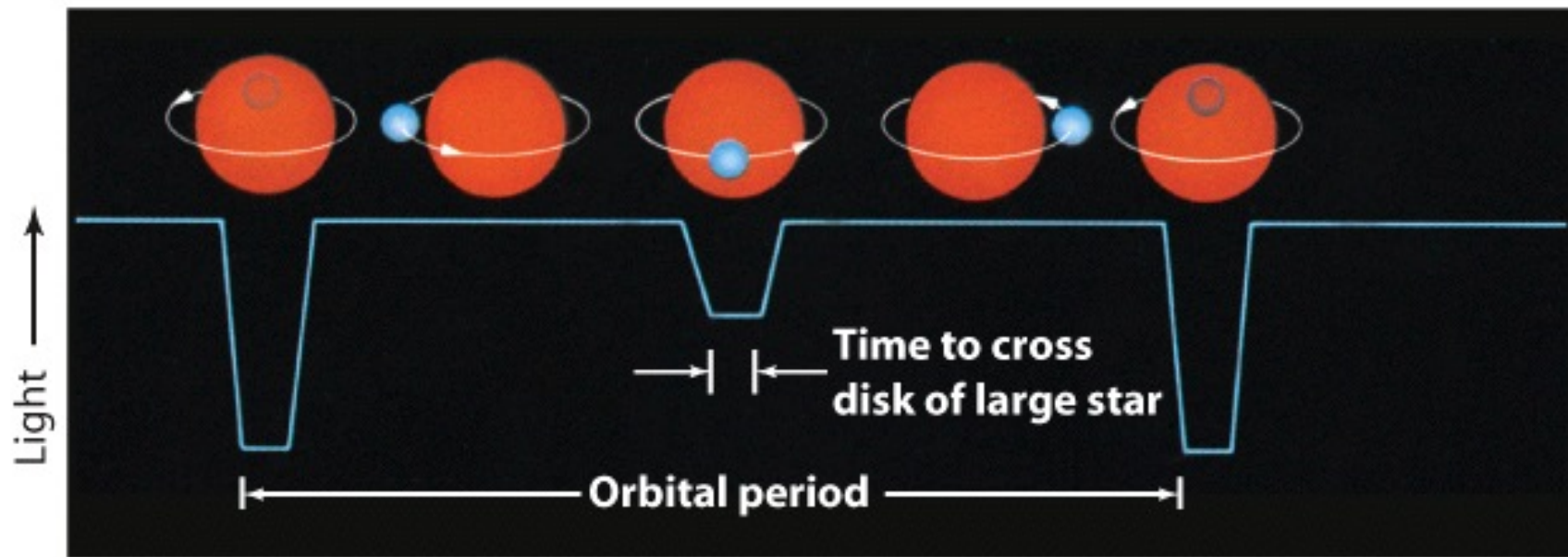
– gwiazdy spektralnie podwójne

Spectral lines of stars split by Doppler effect

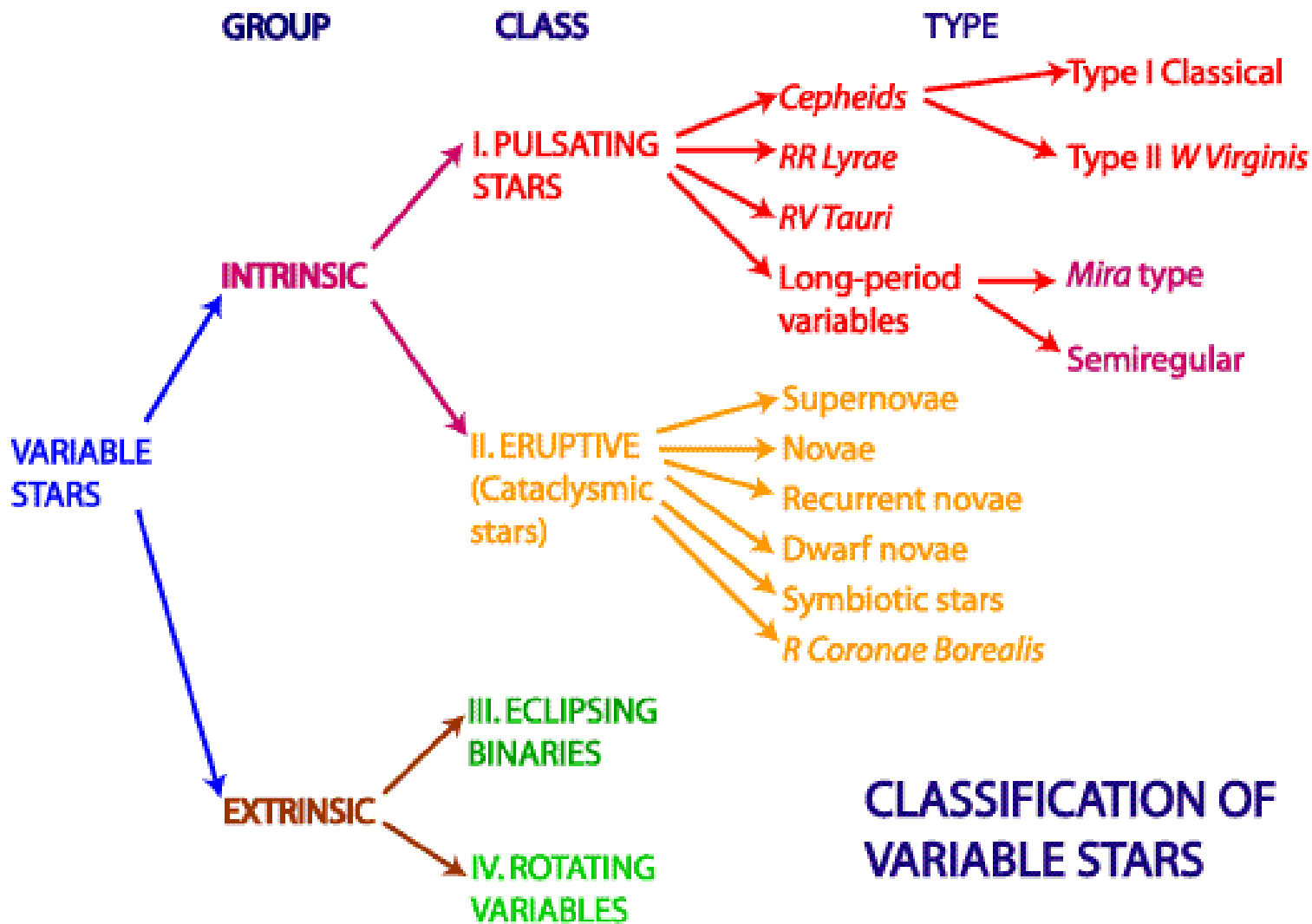


– gwiazdy zmienne zaćmieniowe



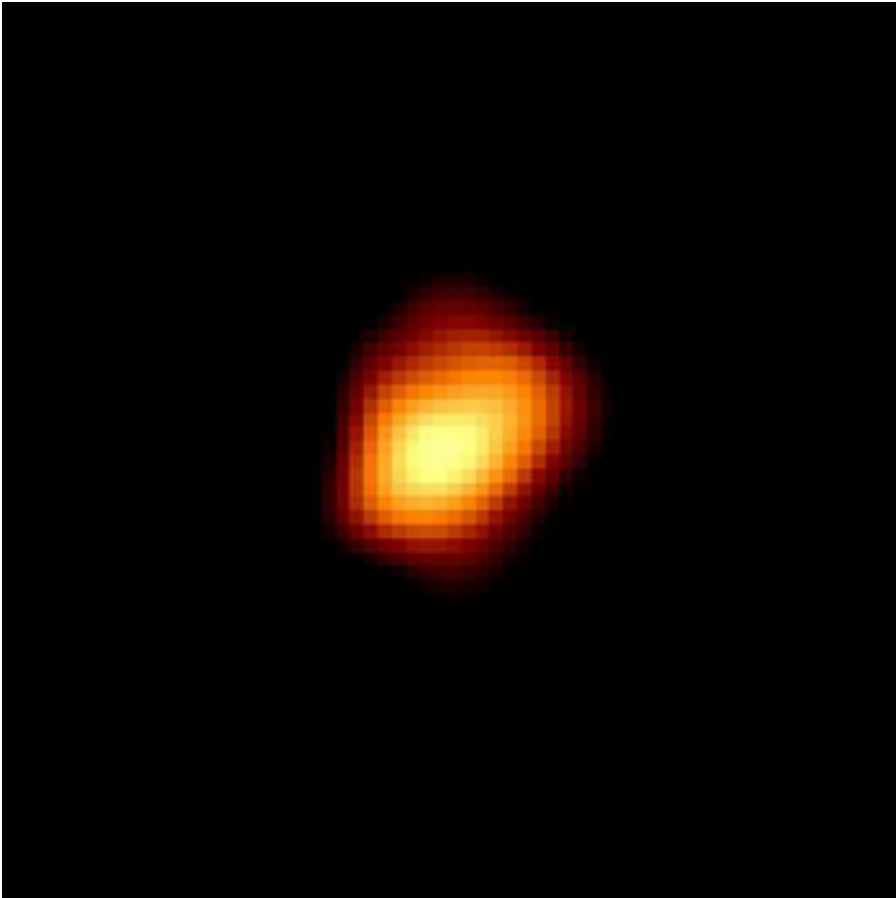


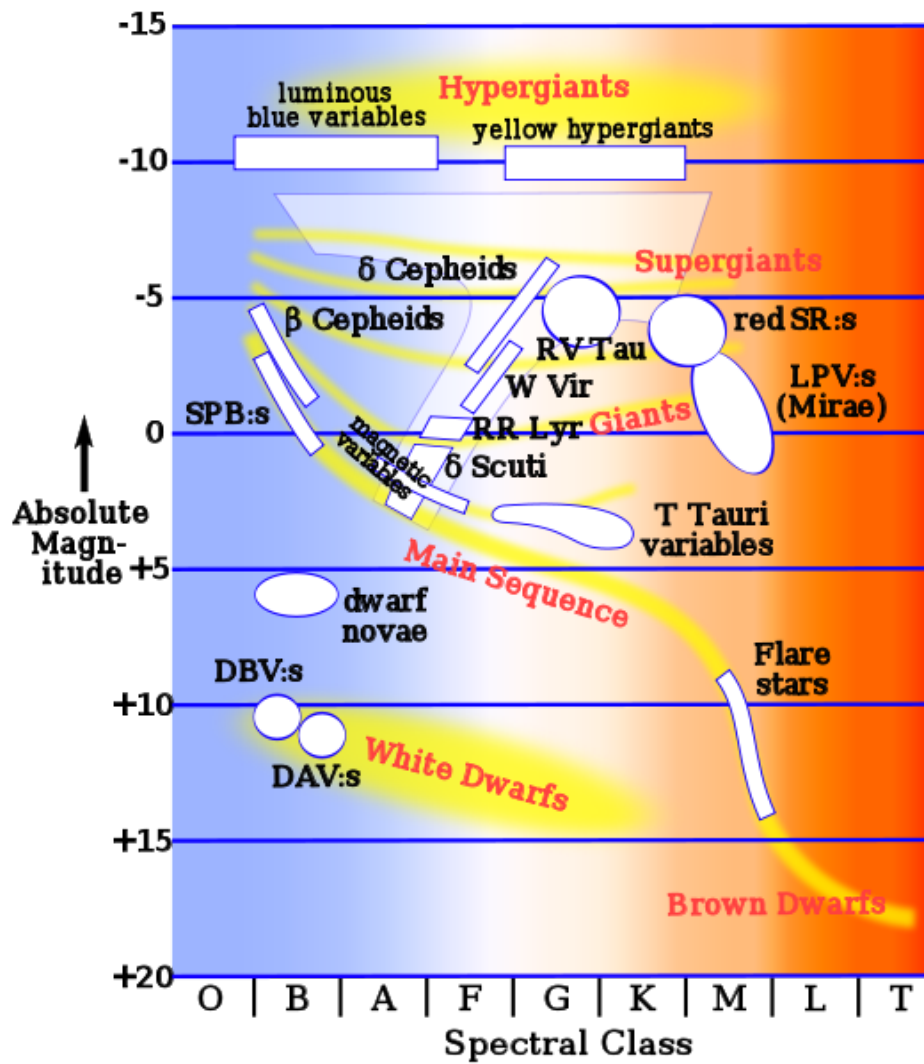
b Total eclipse



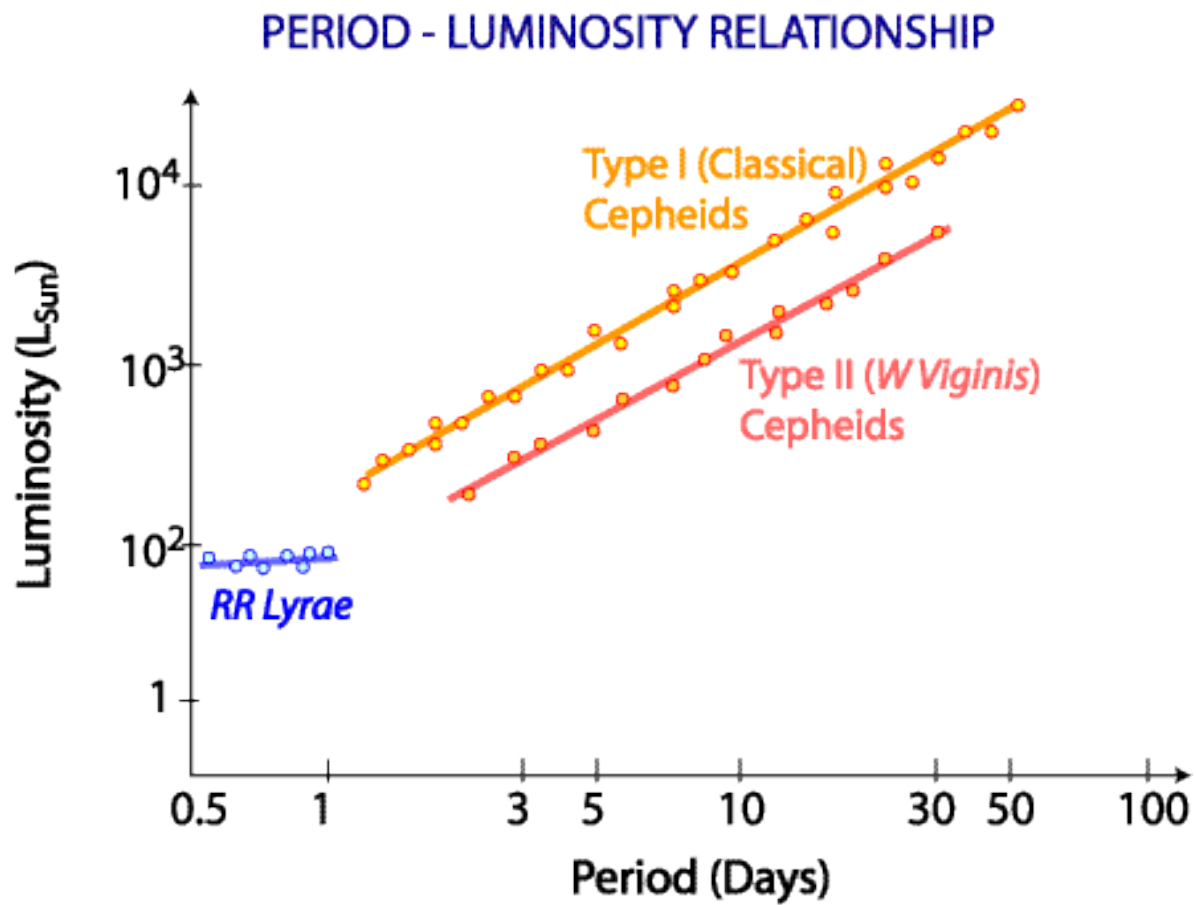
CLASSIFICATION OF VARIABLE STARS

– Mira Ceti

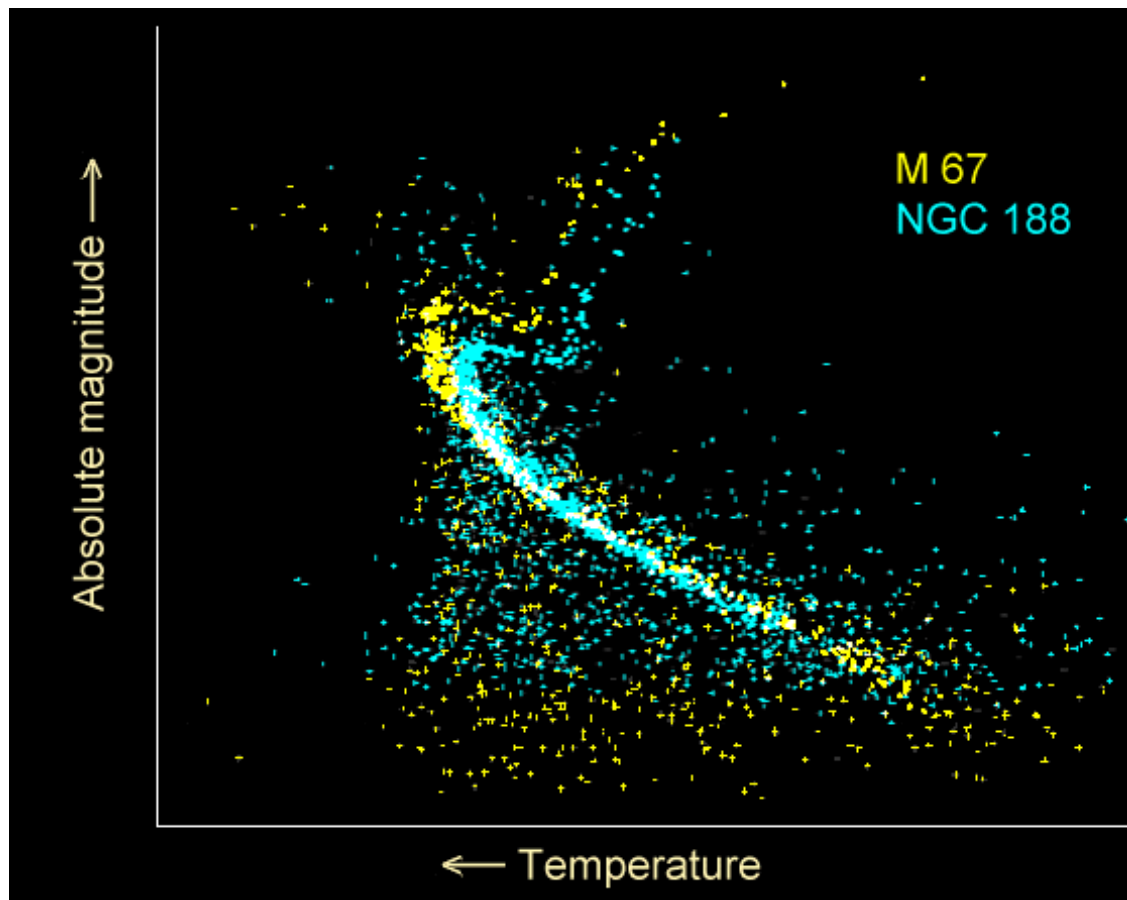




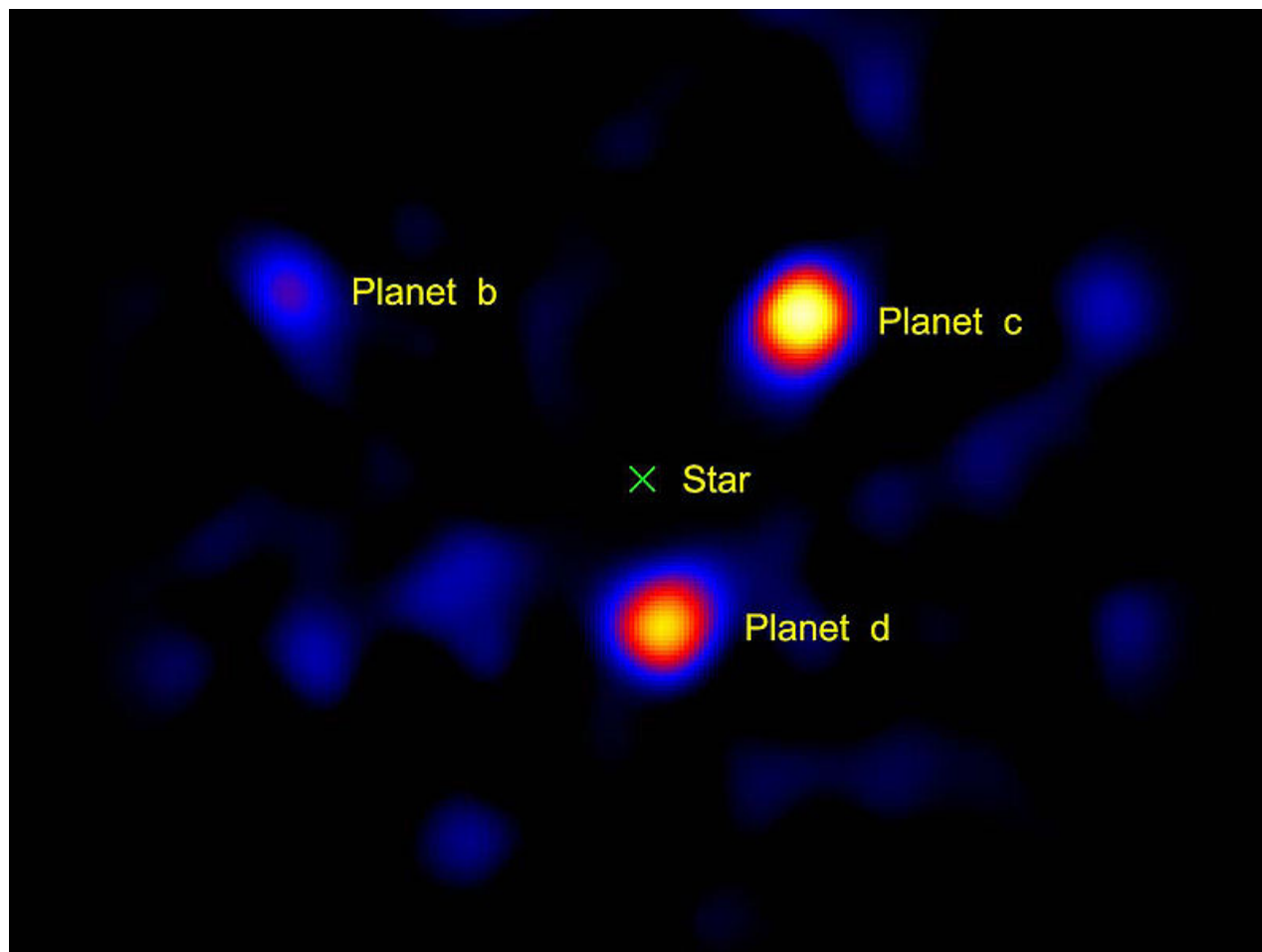
– cefeidy



– gromady otwarte



Pozasłoneczne układy planetarne



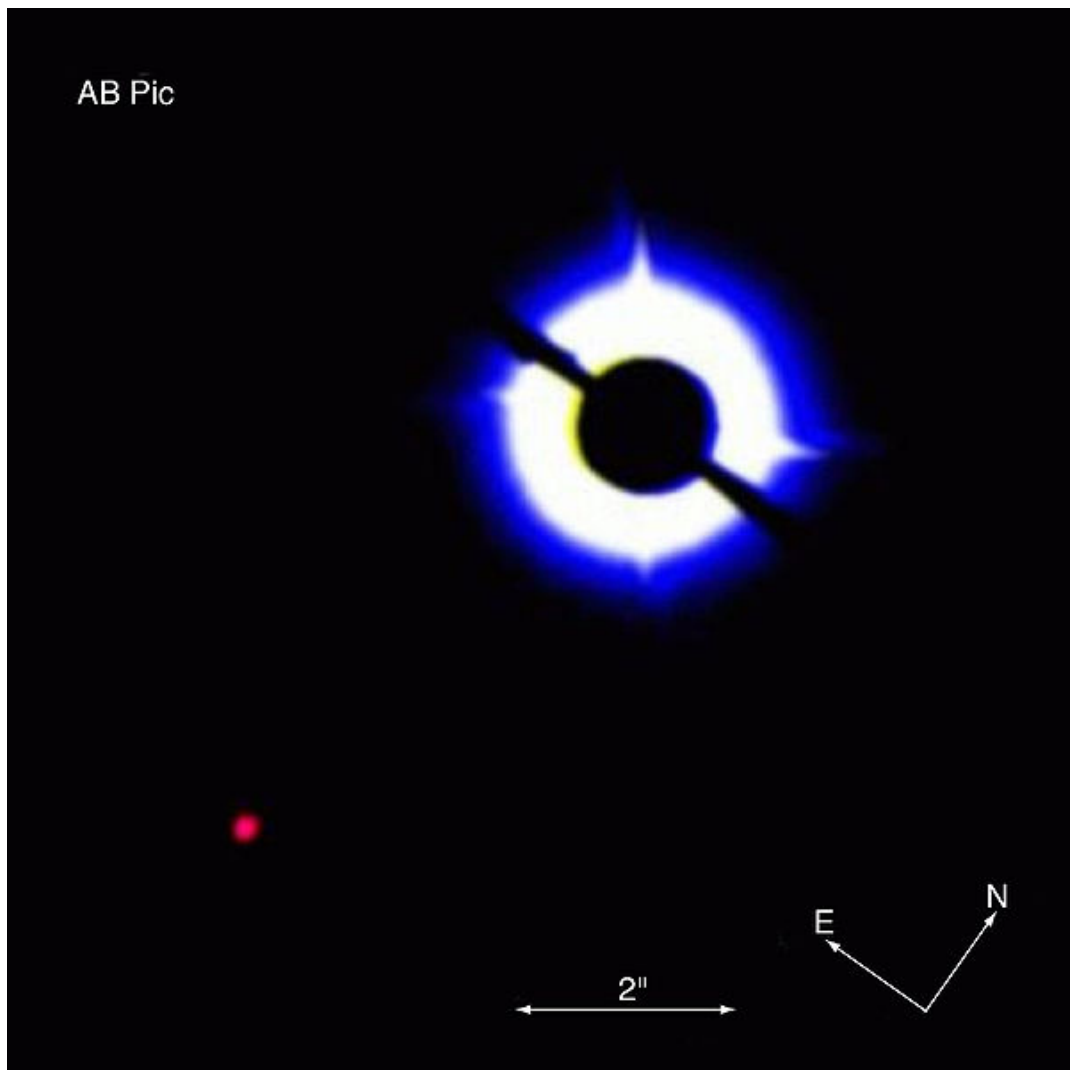
- metody detekcji

- pomiar prędkości radialnej
- obserwacje tranzytów
- mikrosoczewkowanie grawitacyjne (projekt OGLE)
- astrometria
- chronometria pulsarów (PSR B1257+12 – Wolszczan & Frail 1992)

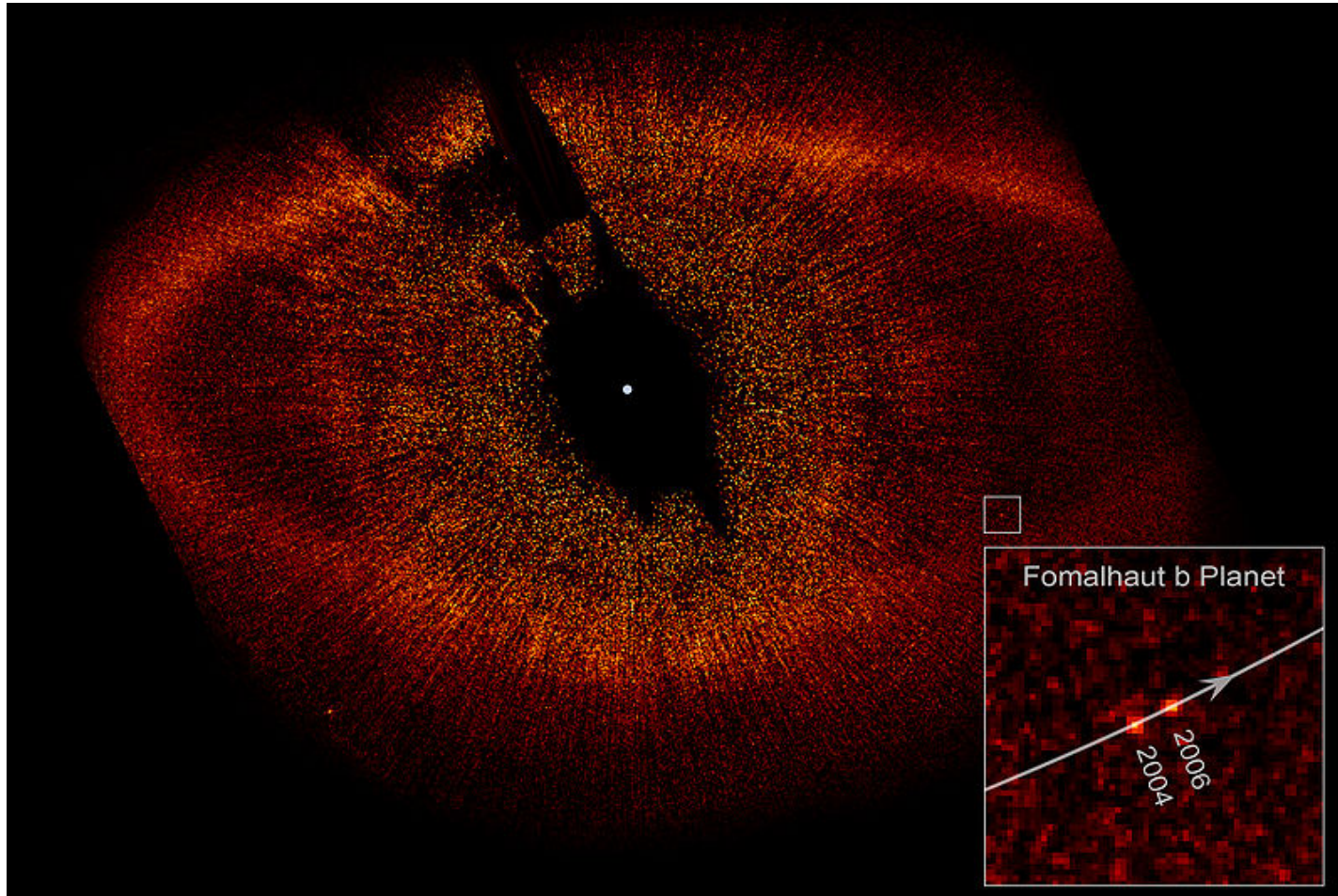
· obecnie (16.12.2011) – 708 potwierdzonych planet (ok. 5% bezpośrednia detekcja)

<http://exoplanet.eu/>

AB Pic



α PsA



Galaktyka



– masa: $1.0\text{--}1.5 \times 10^{12} M_{\odot}$ ($2\text{--}3 \times 10^{42}$ kg)

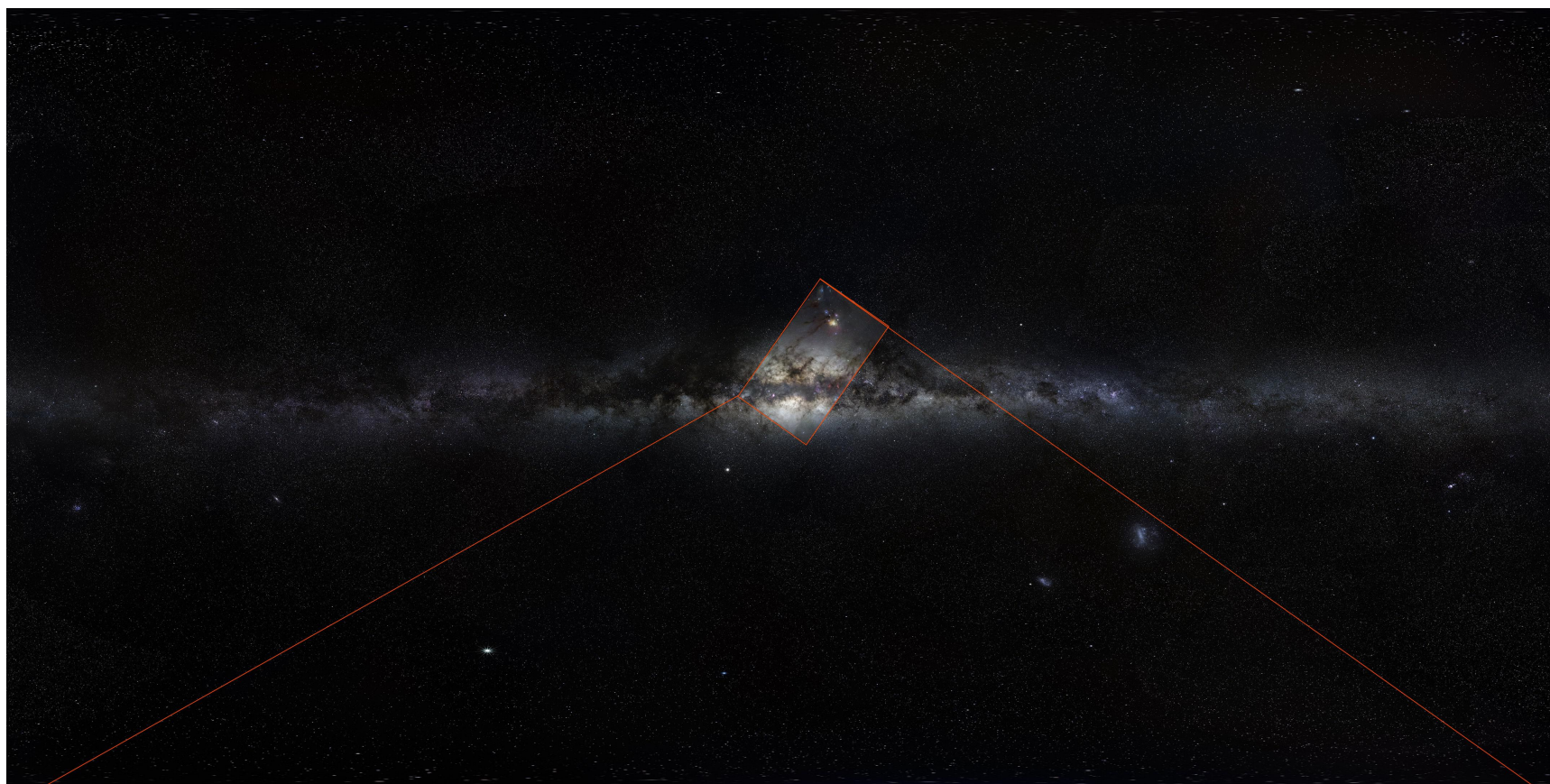
– rozmiar: ~ 30 kpc (10^{20} m)

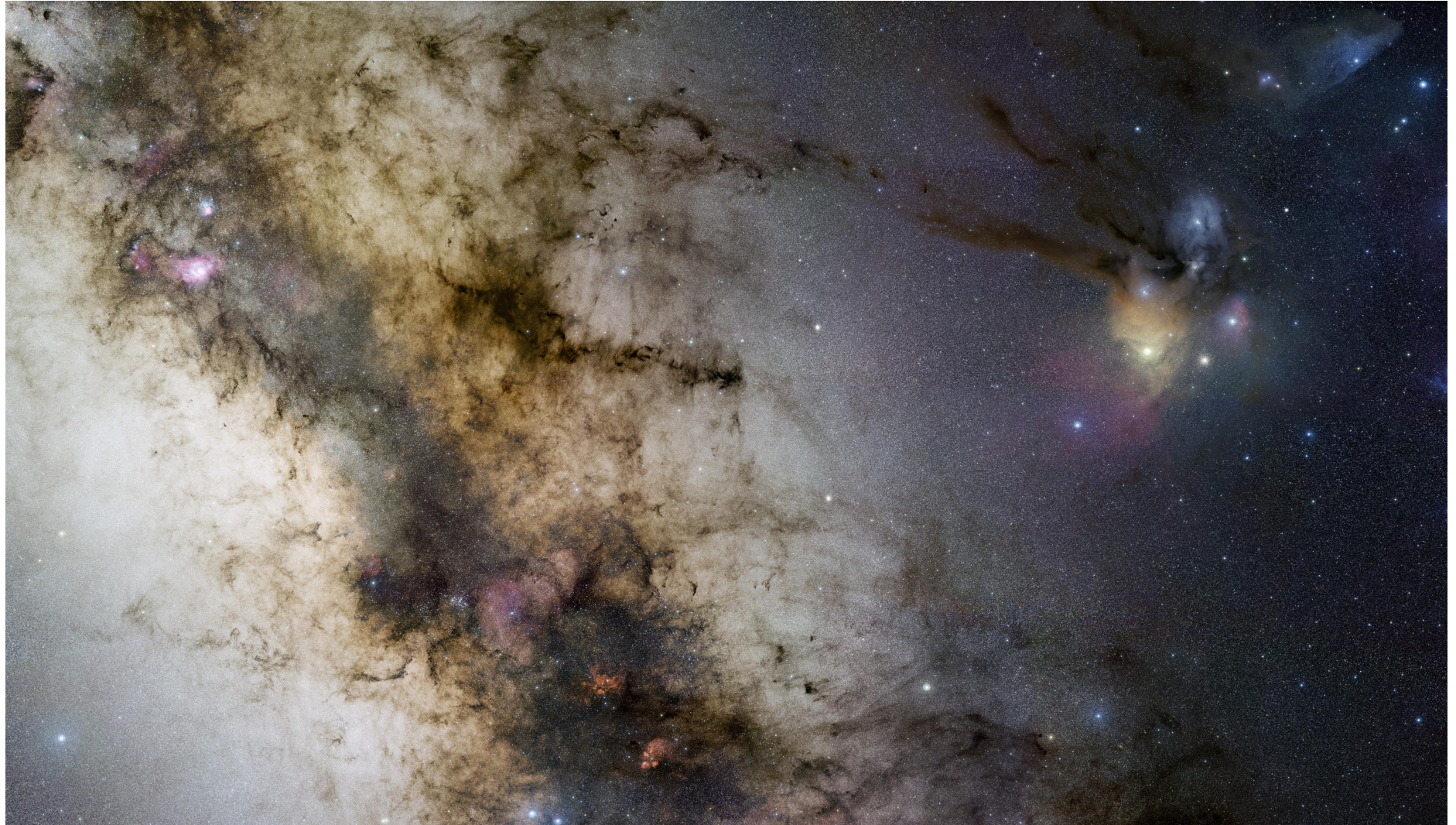
– wiek: < 16 mld. lat (M4 – 12.7 ± 0.7)

– ok. 10^8 gwiazd

– skład:

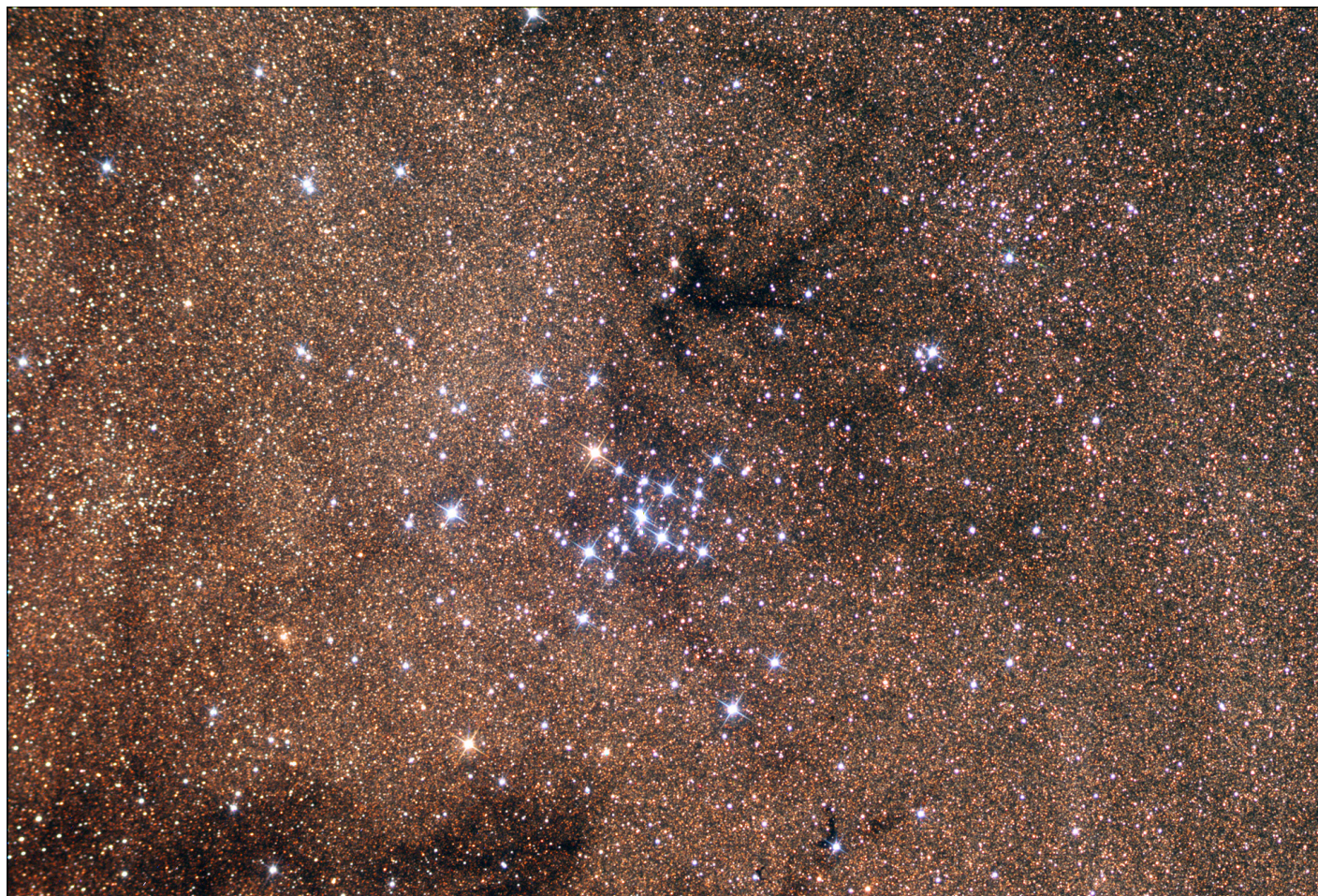
	H	He	O	C	Ne	Fe	N	Si	Mg	S
%:	73.90	24.00	1.04	0.46	0.13	0.11	0.10	0.07	0.06	0.04

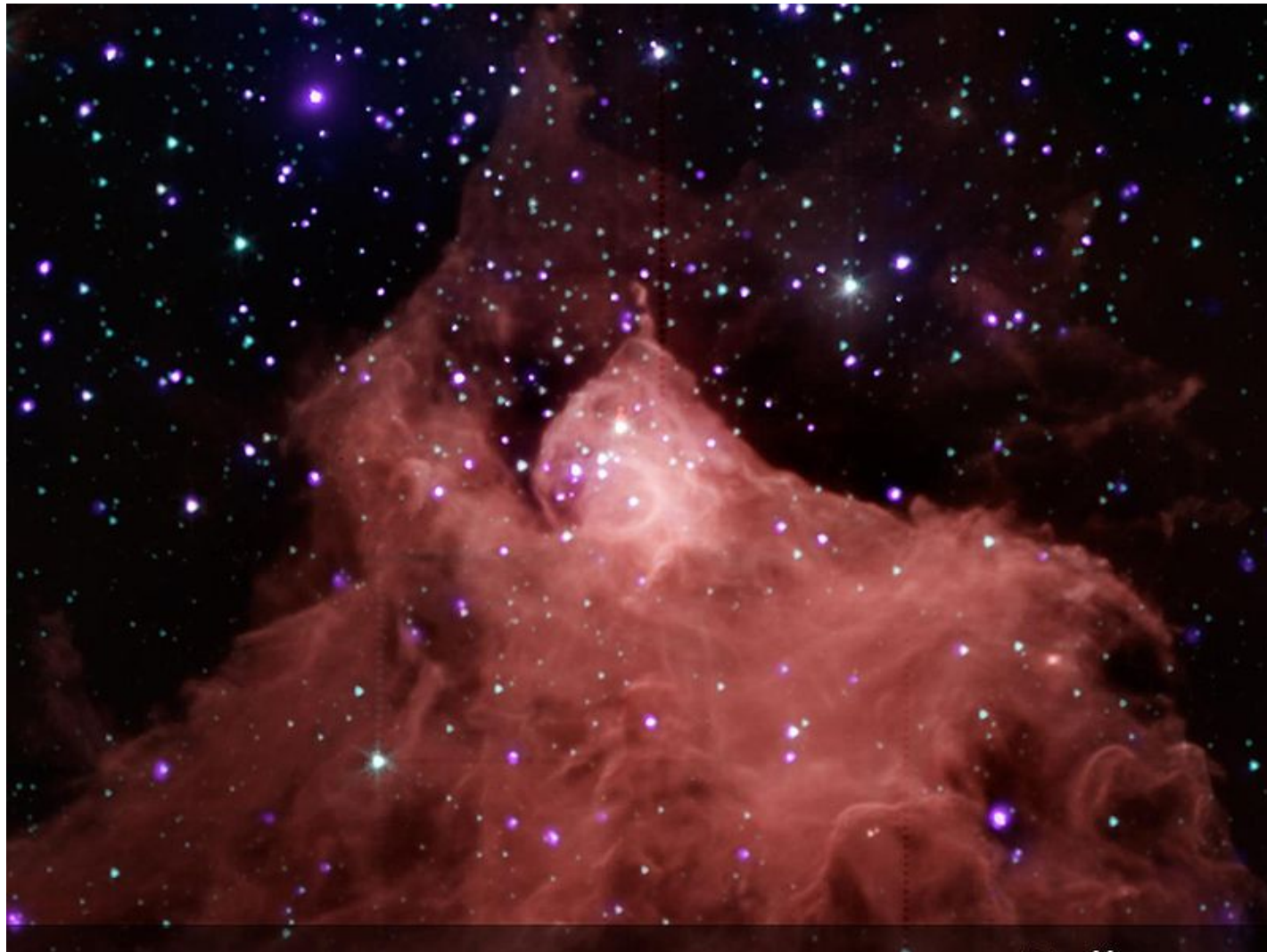






- gromady otwarte



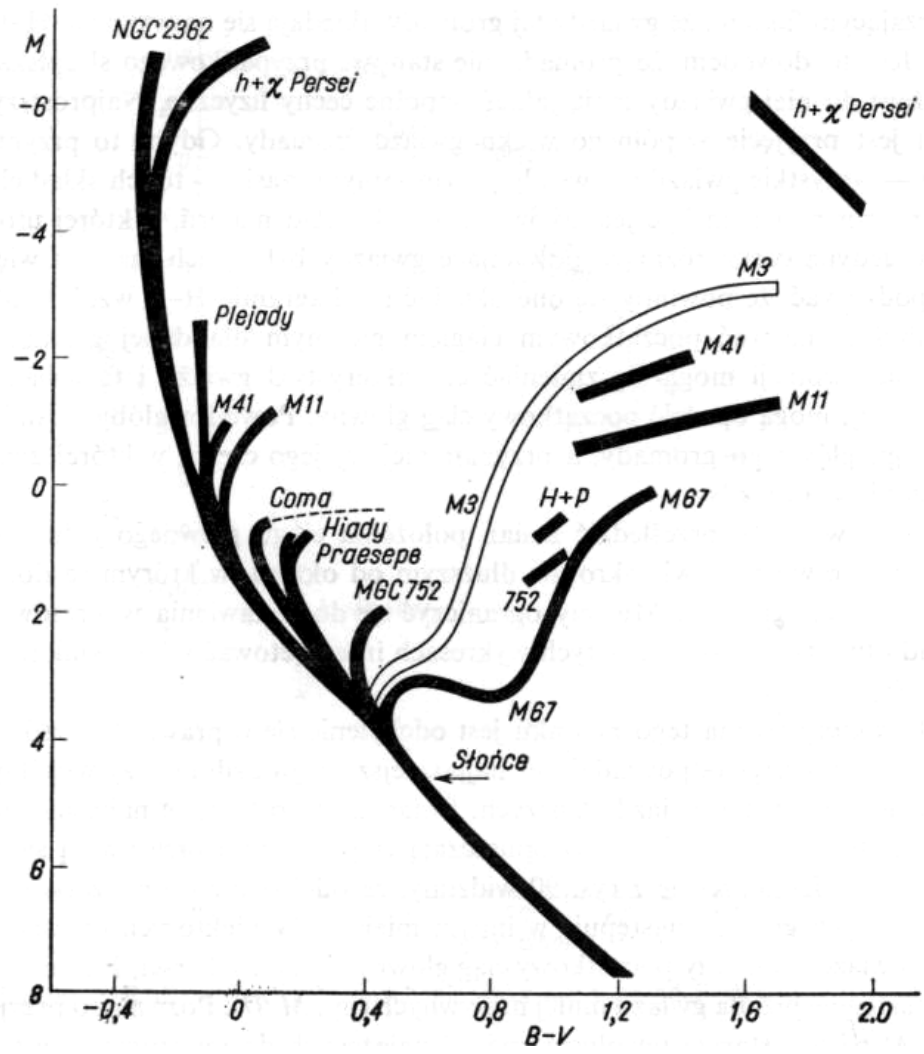






- gromady kuliste





– gromady otwarte:

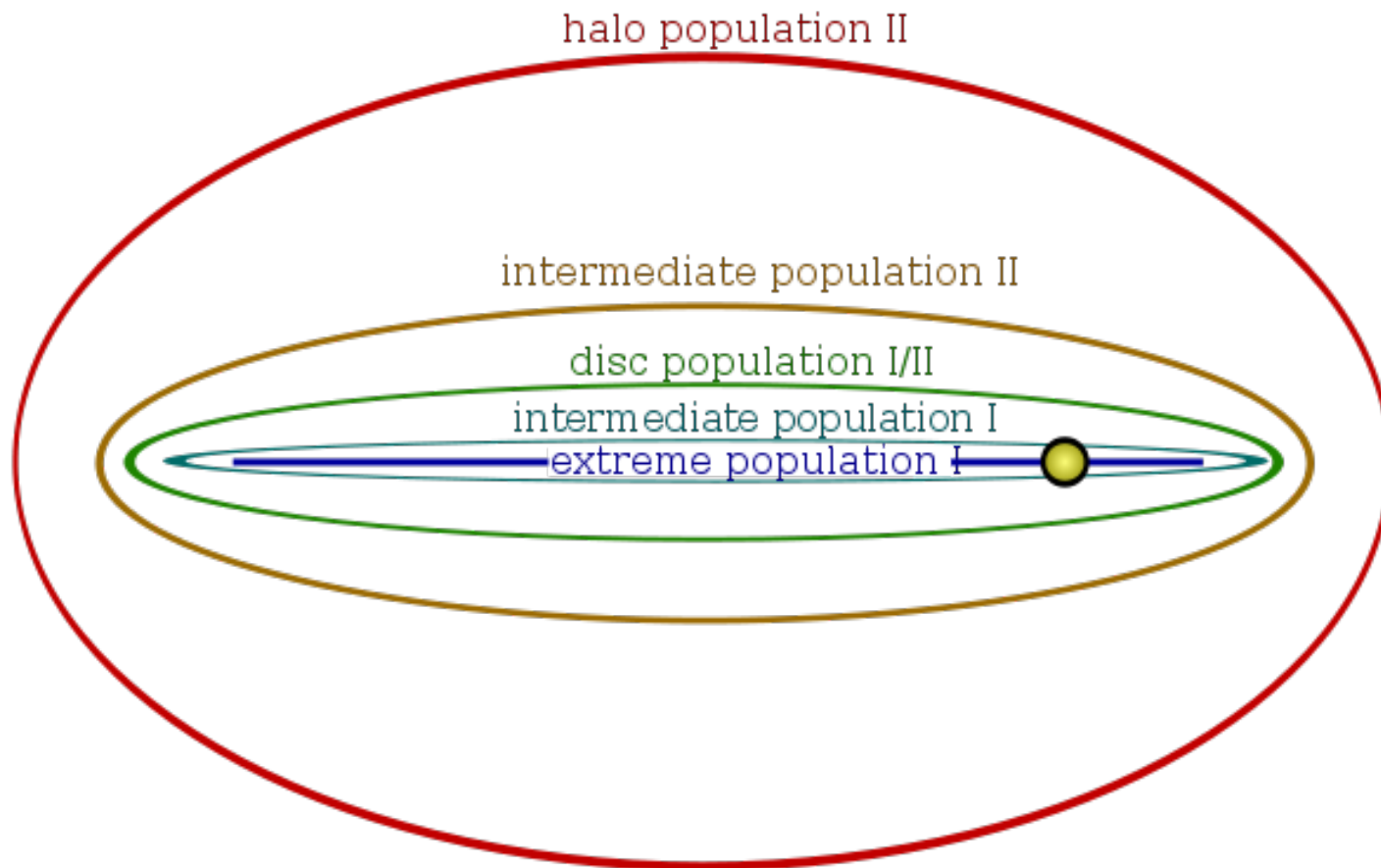
- młode gwiazdy, wysoka metaliczność
- zwykle towarzyszą obłoki gazu
- skoncentrowane w okolicy płaszczyzny Galaktyki

– gromady kuliste:

- stare gwiazdy, mała metaliczność, koncentracja do centrum
- brak gazu
- rozmieszczone z dala od płaszczyzny Galaktyki

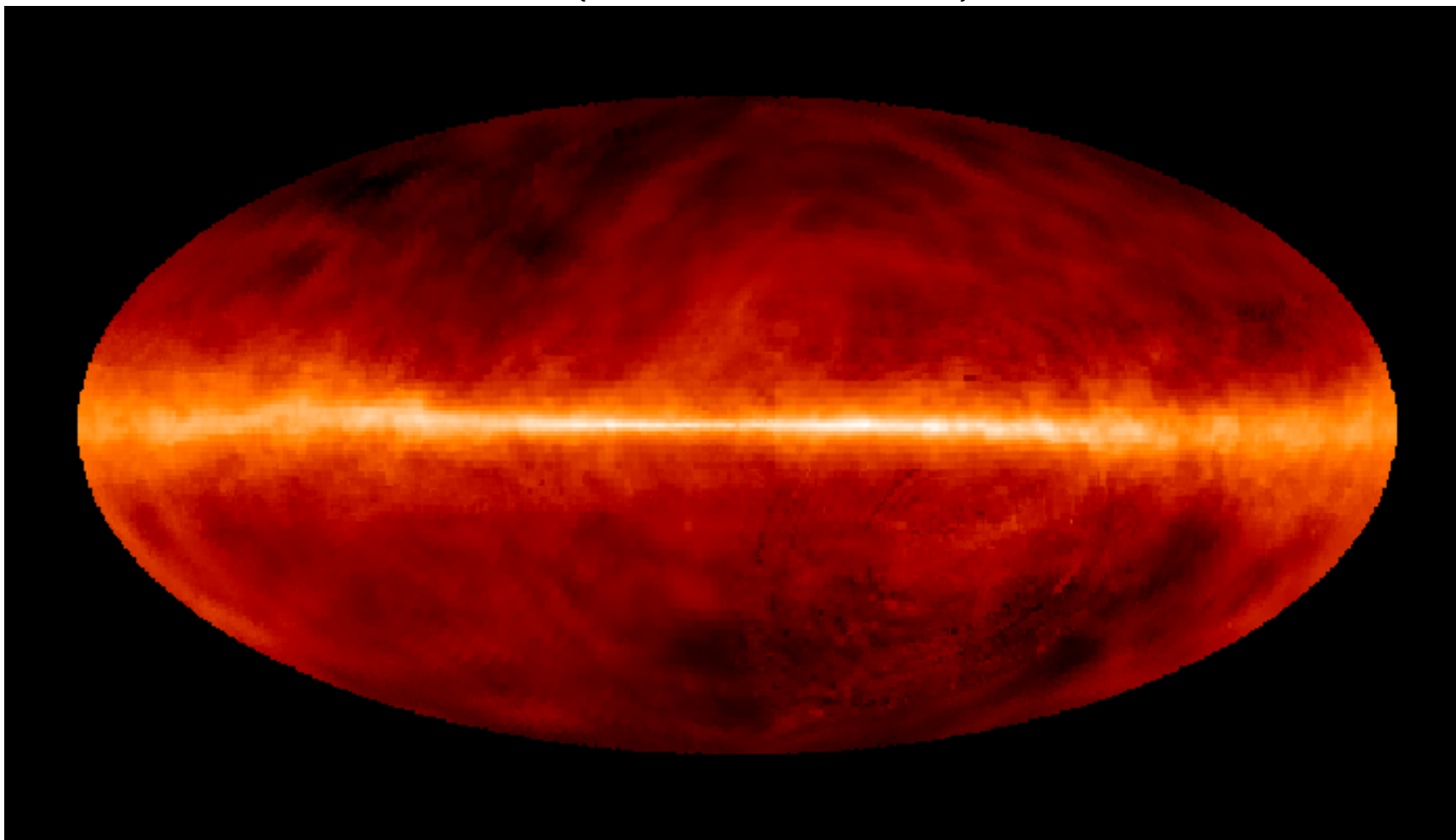
– populacje gwiazdowe

populacja	składniki	metaliczność
młoda I	młode gromady otwarte, gwizdy O, B, materia międzygwiadowa	4%
pośrednia I	gwiazdy A, F, gromady otwarte, czerwone nadolbrzymy	3%
stara I	gwiazdy ciągu głównego, olbrzymy G, K	2%
II	białe karły, liczne klasy gwiazd zmiennych	1%
skrajna II	gromady kuliste, podkarły	0.3%

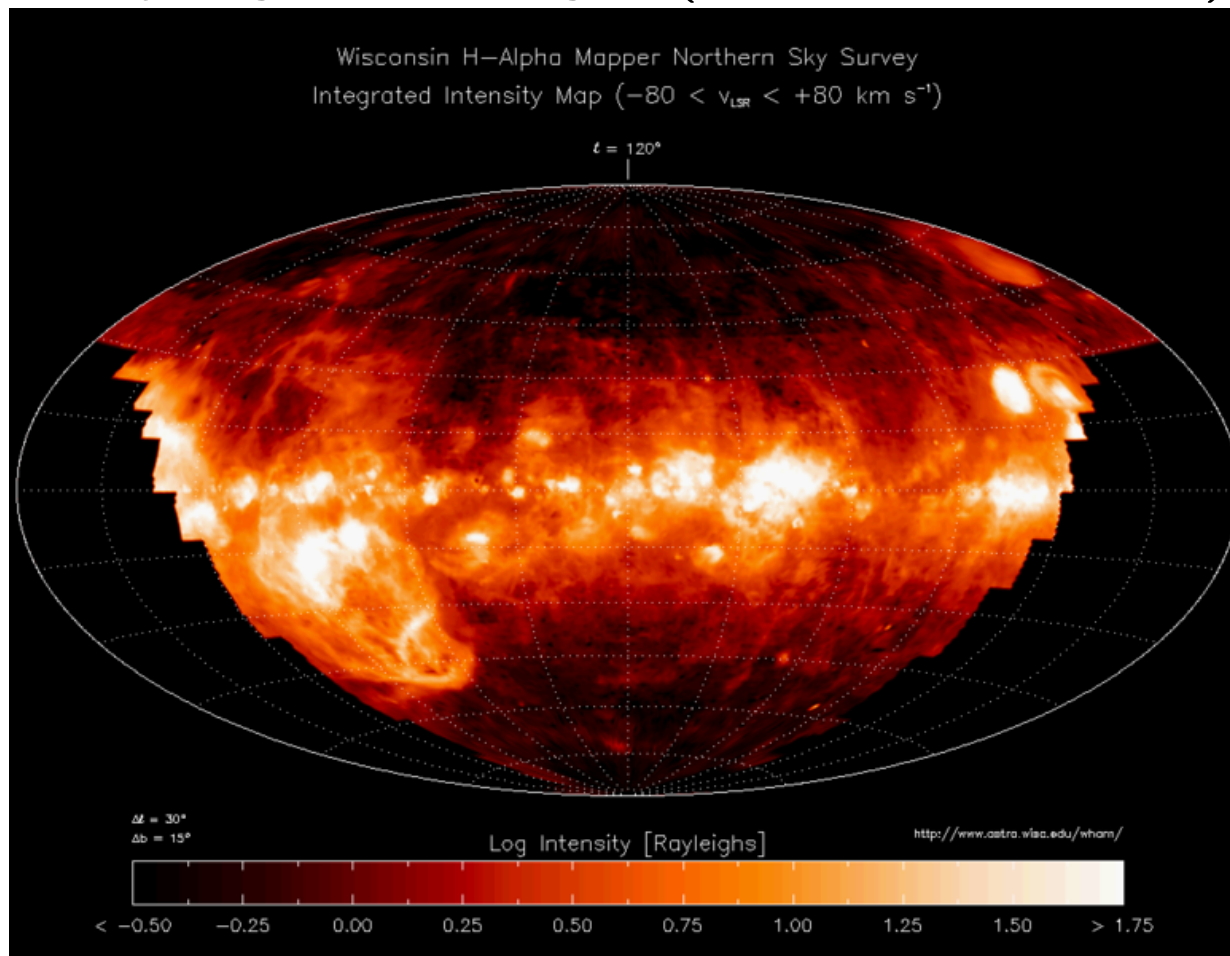


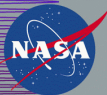
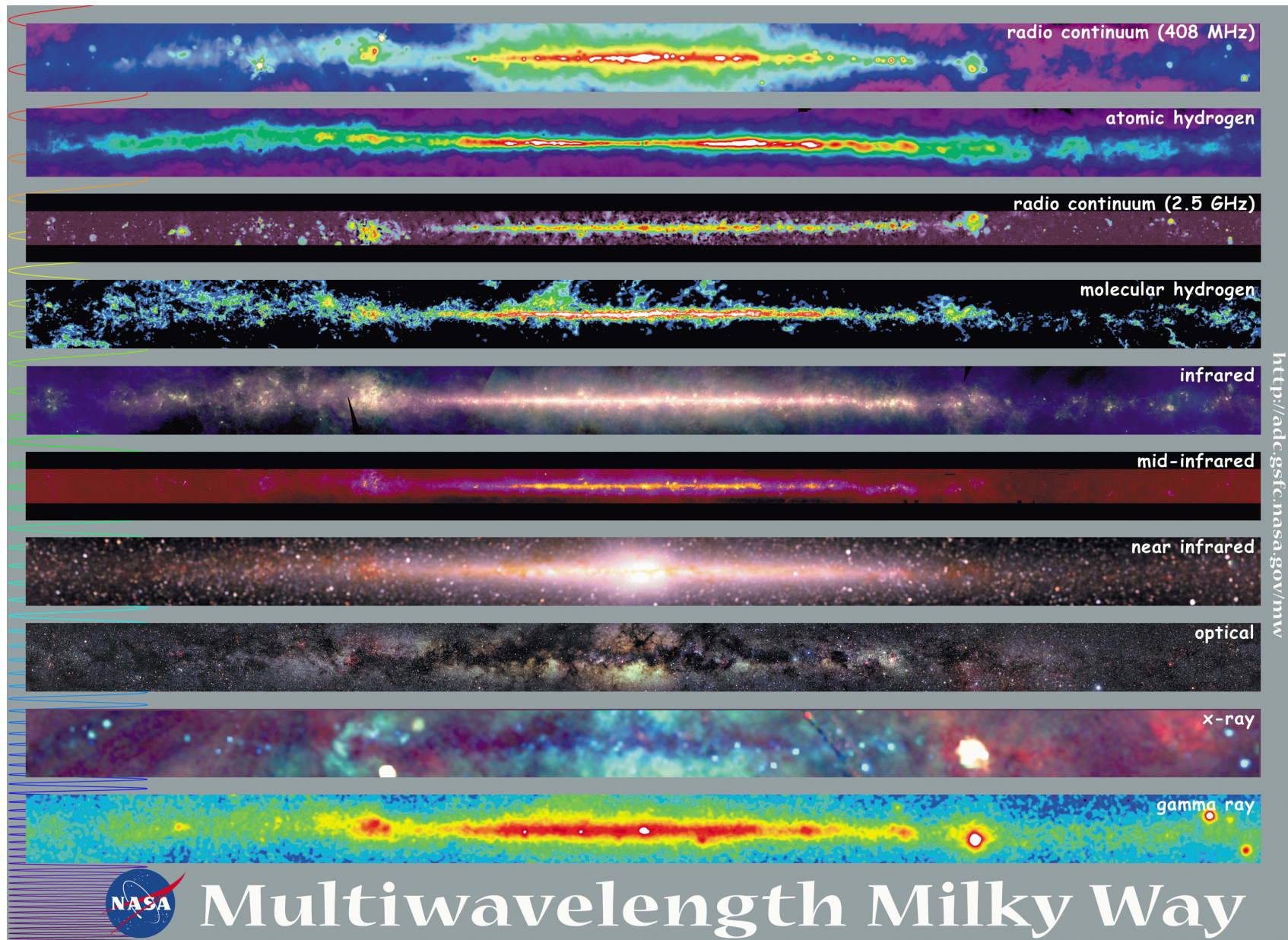
Distribution of Star Populations
in Milky Way

- międzygwiazdowy gaz (neutralny wodór)

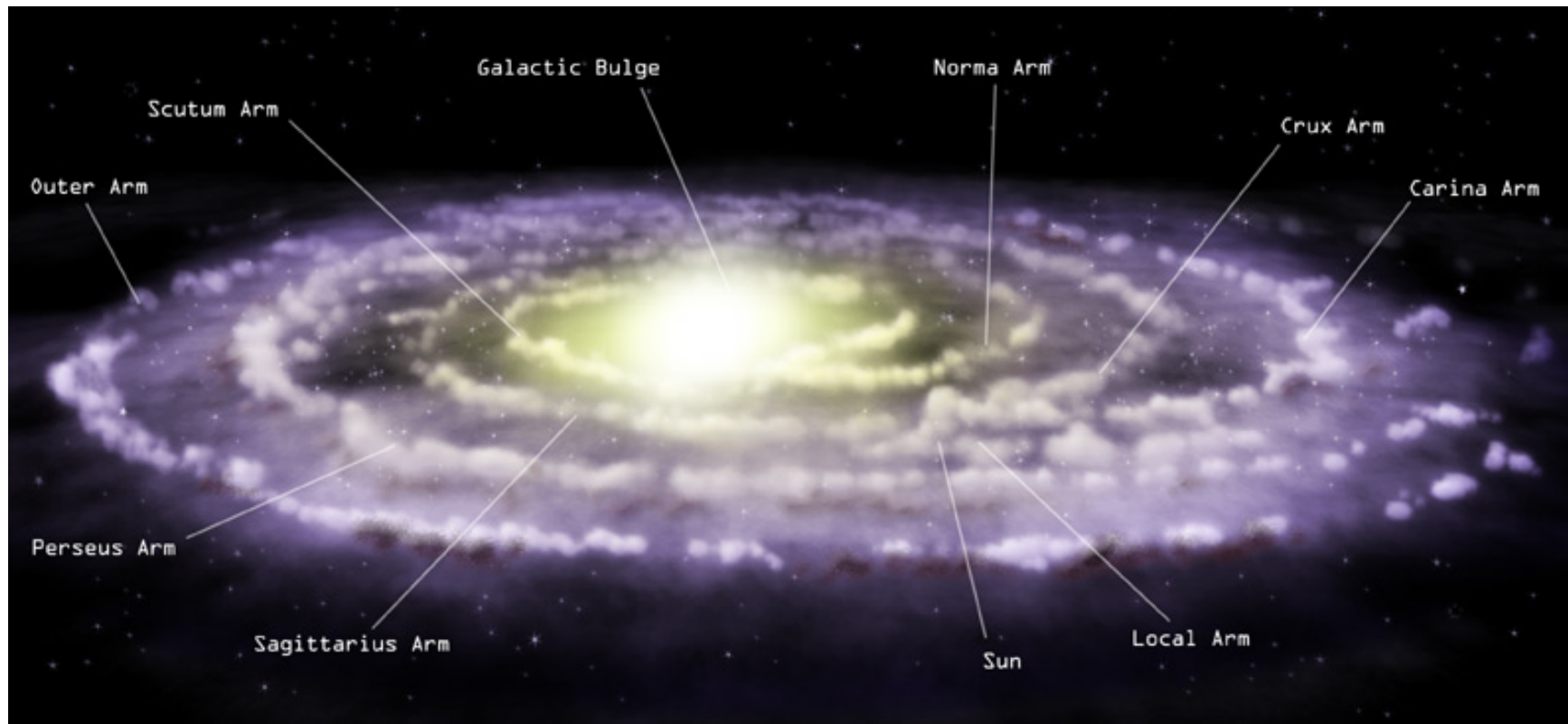


- międzygwiazdowy gaz (zjonizowany wodór)

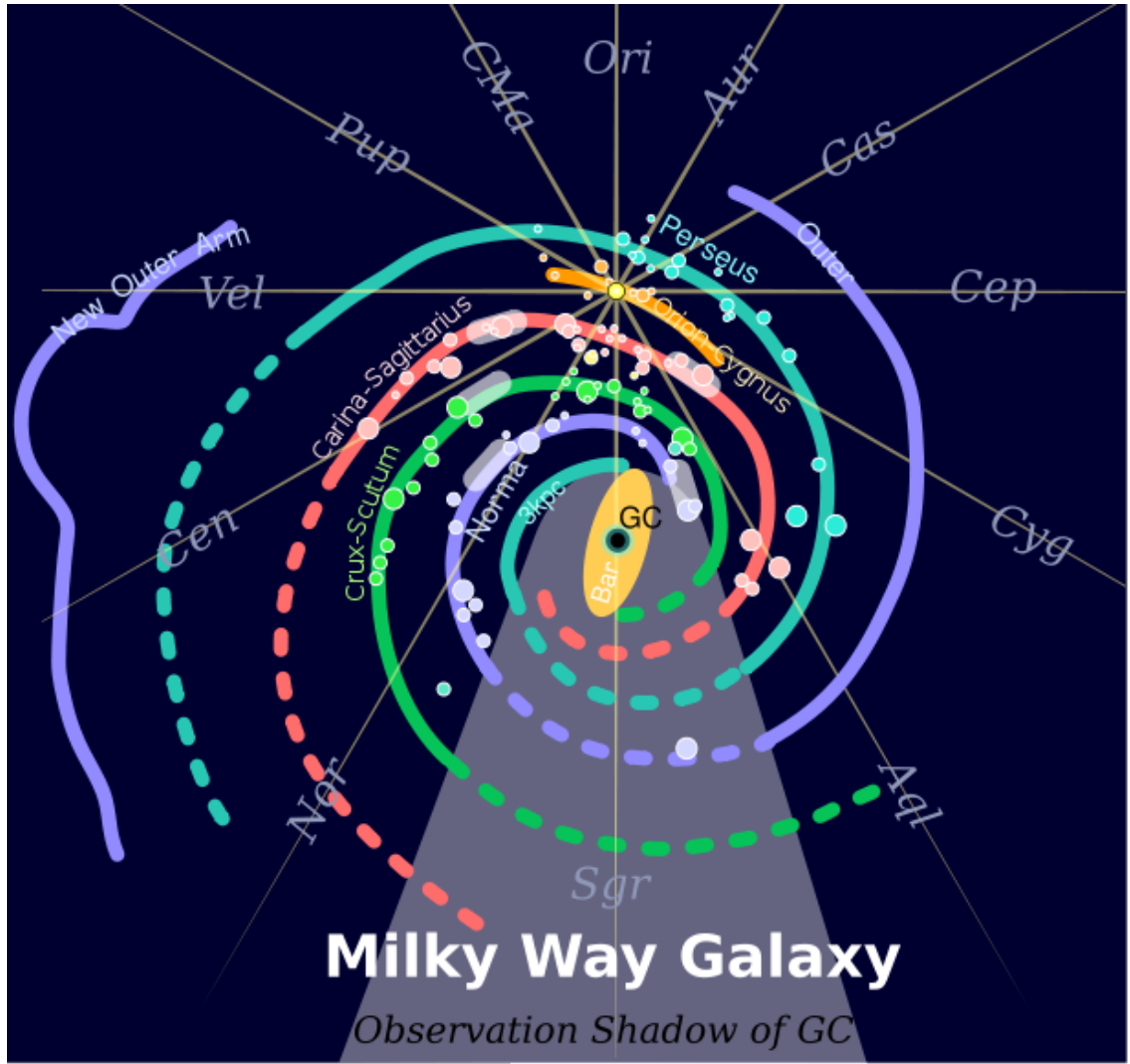


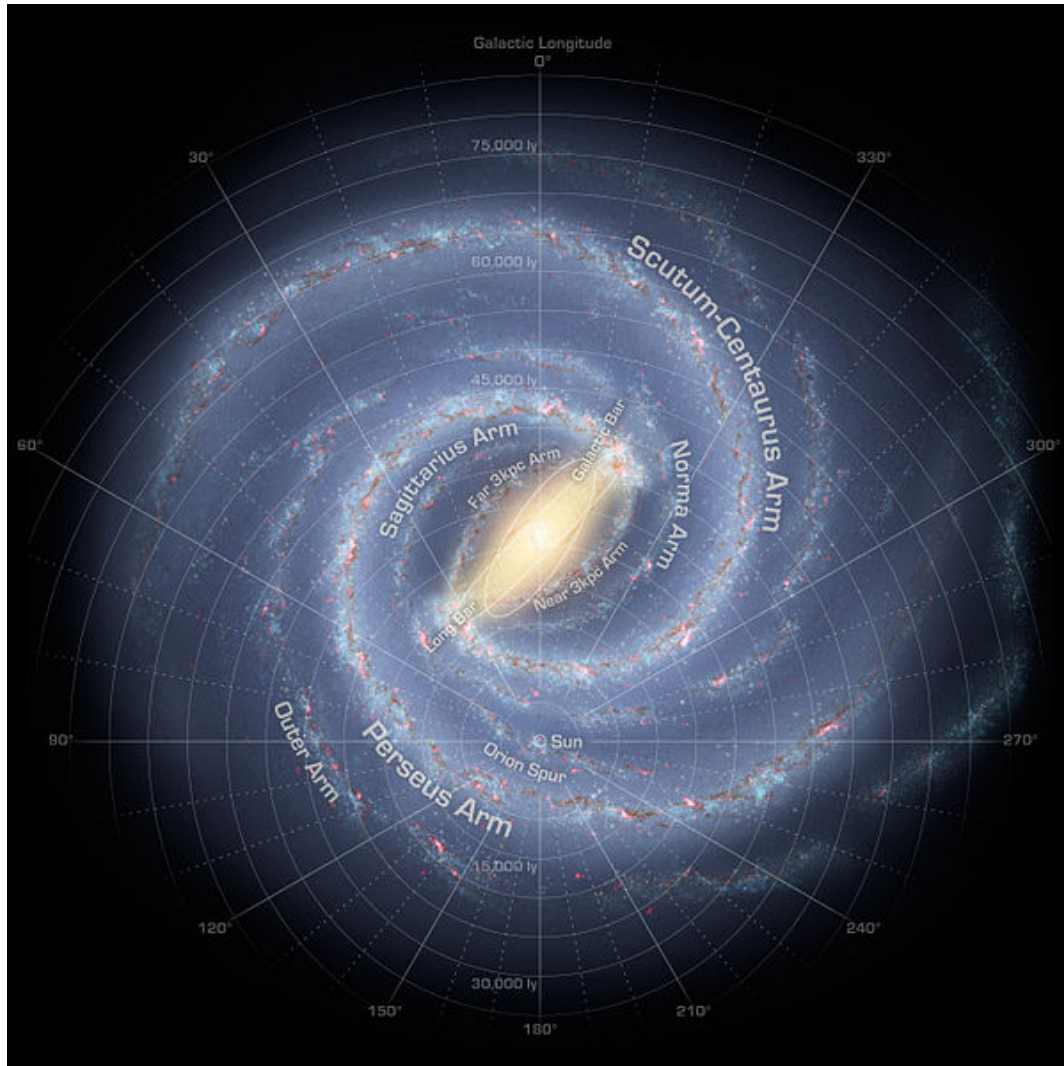


Multiwavelength Milky Way



- dysk: – gaz, pył, młode gwiazdy (populacja I) – ramiona spiralne, poprzeczka
- halo – stare gwiazdy (populacja II), gromady kuliste
- centralne zgrubienie (bulge) – stare gwiazdy
- centralna czarna dziura



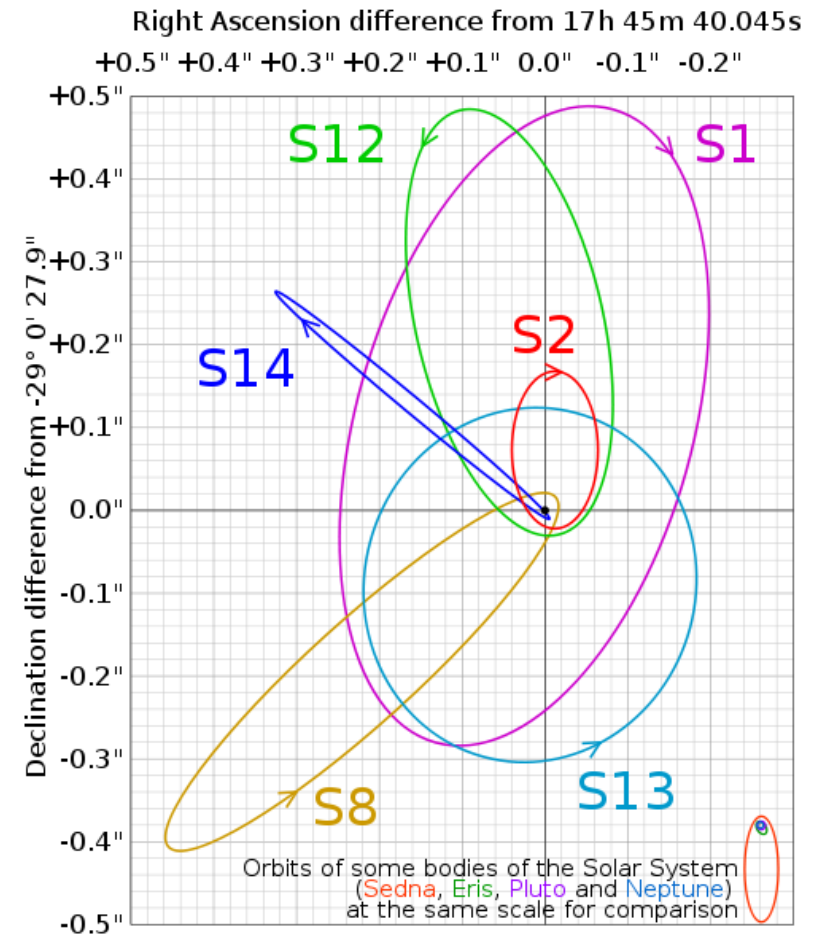
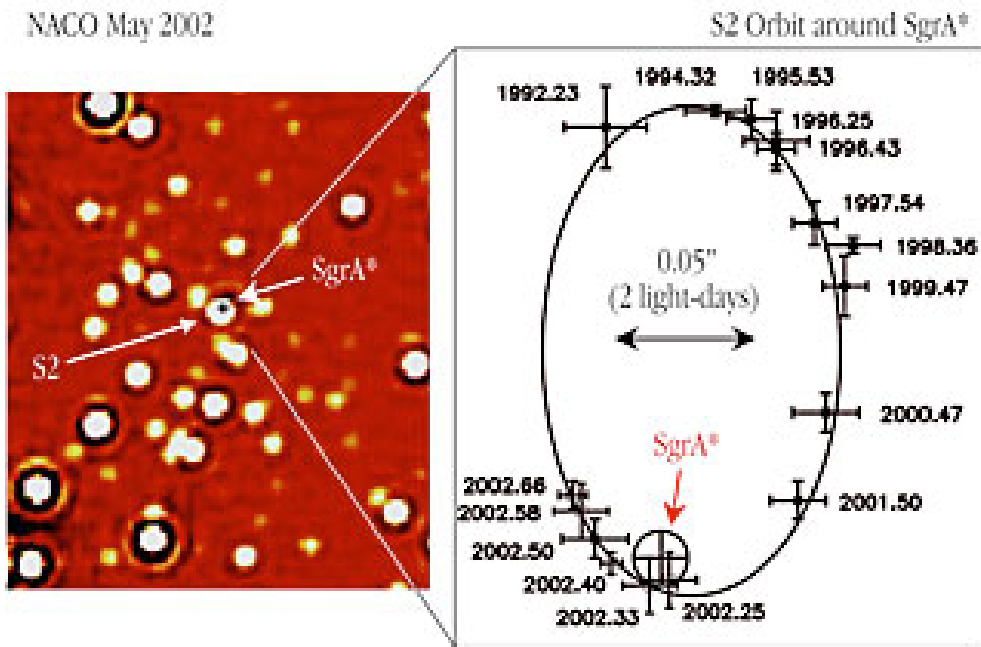


- skład środowiska międzygwiazdowego

składnik	wypełnienie	temp. [K]	gęstość [cm^{-3}]
obłoki molekularne chłodny, neutralny (CNM)	< 1% 1–5%	10–20 50–100	10^2 – 10^6 20–50
ciepły, neutralny (WNM)	10–20%	6 000–10 000	0.2–0.5
ciepły, zjonizowany (WIM)	20–50%	8 000	0.2–0.5
obszary HII gorący, zjonizowany (HIM)	< 1% 30–70%	8 000 10^6 – 10^7	10^2 – 10^4 10^{-4} – 10^{-2}

– centrum Galaktyki

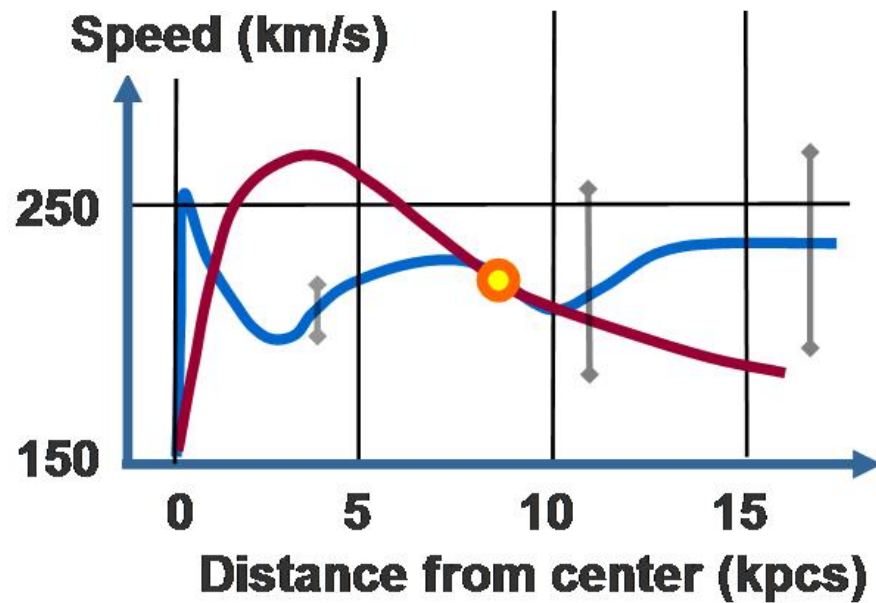
NACO May 2002



$$M_{\text{Sgr A}^*} \simeq 4 \times 10^6 M_{\odot} \text{ (zawarta w ok. 100 AU)}$$

- rotacja Galaktyki

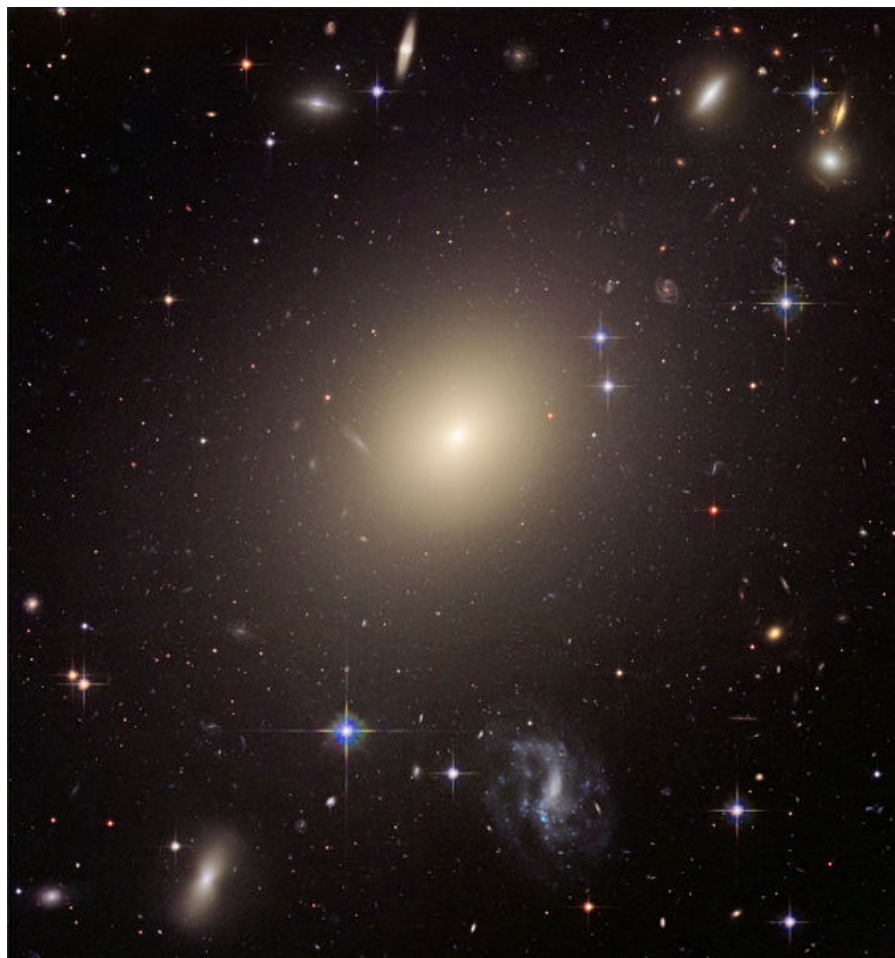
- położenie Słońca - ok. 8.5 kpc od centrum
- prędkość Słońca - ok. 220 km/s w kierunku α Lyr (okres 225–250 mln. lat)
- rotacja różnicowa



Galaktyki



- galaktyki eliptyczne



ESO 325-G004

- galaktyki spiralne





- galaktyki spiralne z poprzeczką



NGC 1300

- galaktyki soczewkowate



NGC 5866

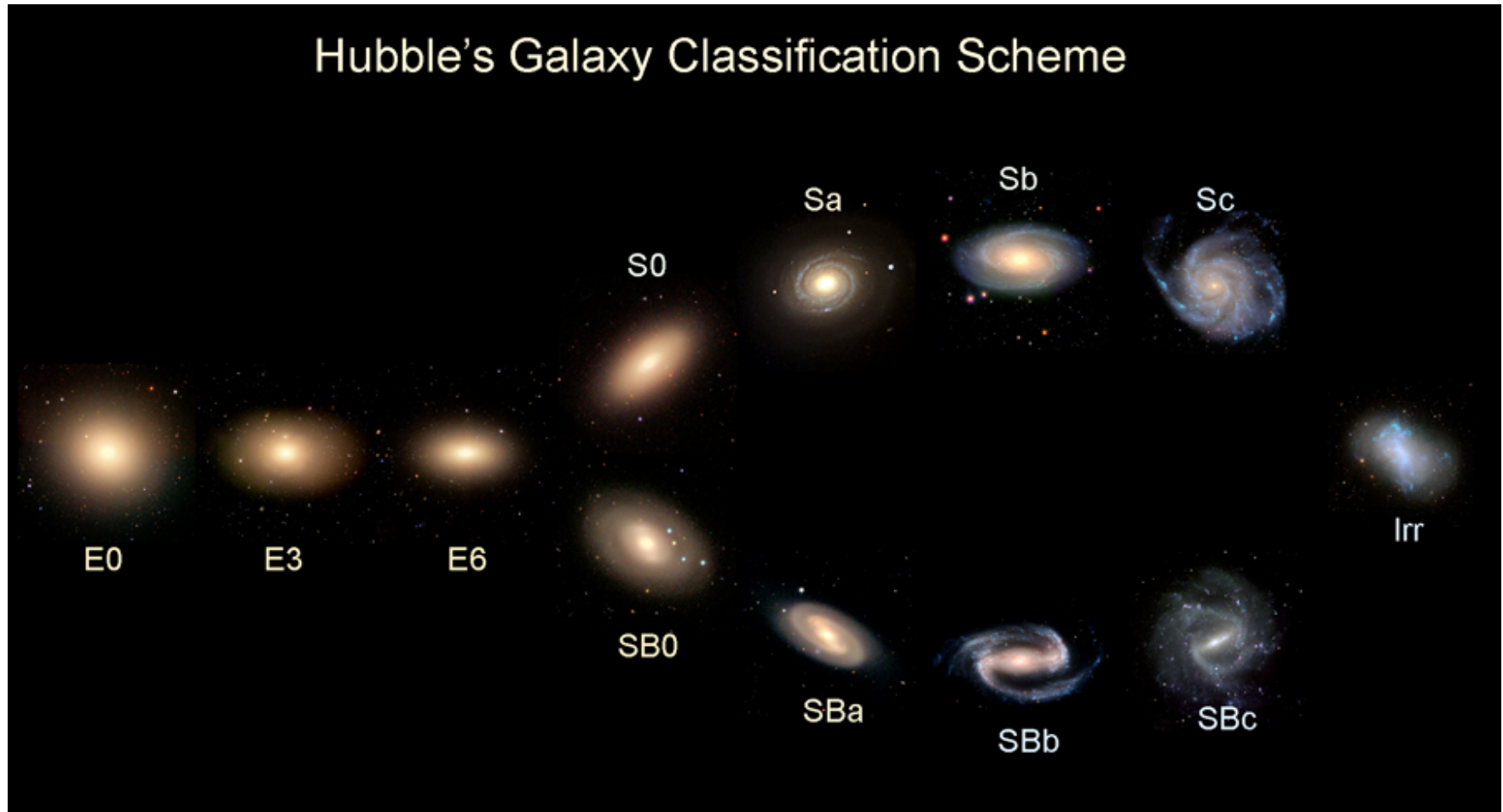
- galaktyki nieregularne



NGC 1427A, LMC



- klasyfikacja Hubbla



eliptyczne

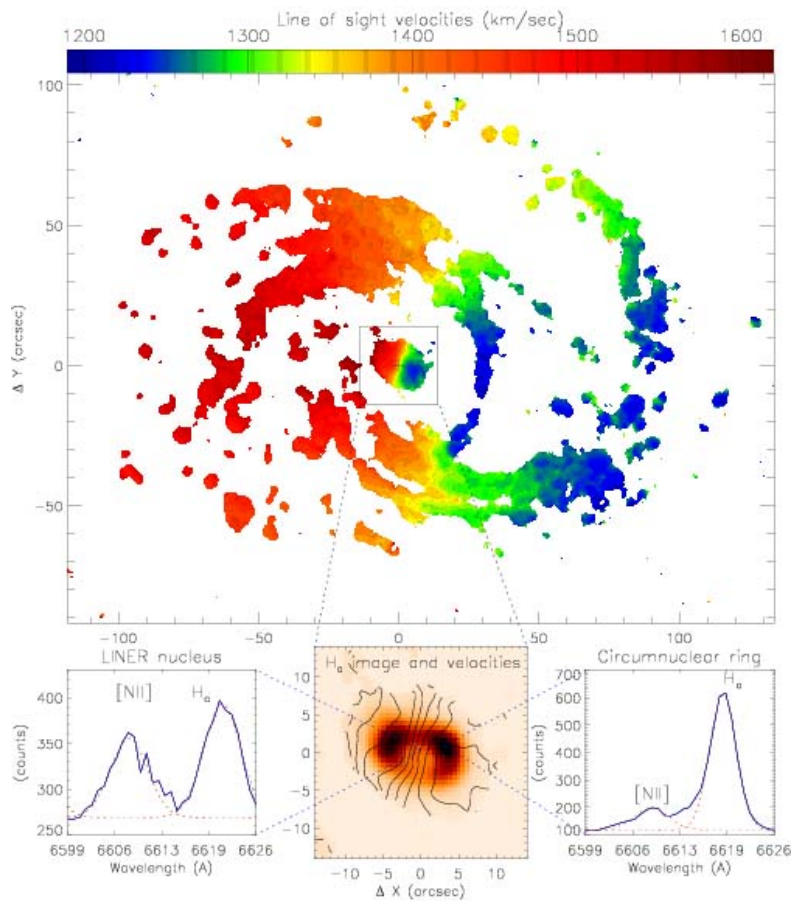
spiralne

- brak struktury
- koncentracja jasności do centrum
- ruch gwiazd głównie radialny
- brak gazu i pyłu
- brak formacji gwiazdowych
- masy: $10^7 - 10^{13} M_{\odot}$
- rozmary: 0.1 – 100 kpc

- można wyróżnić dysk, ramiona, zgrubienie, halo
- w ruchu gwiazd dominuje rotacja wokół osi
- bogate w gaz i pył
- liczne formacje gwiazdowe (w ramionach)
- masy: typowo $\sim 10^{11} M_{\odot}$
- rozmary: kilka(naście) kpc

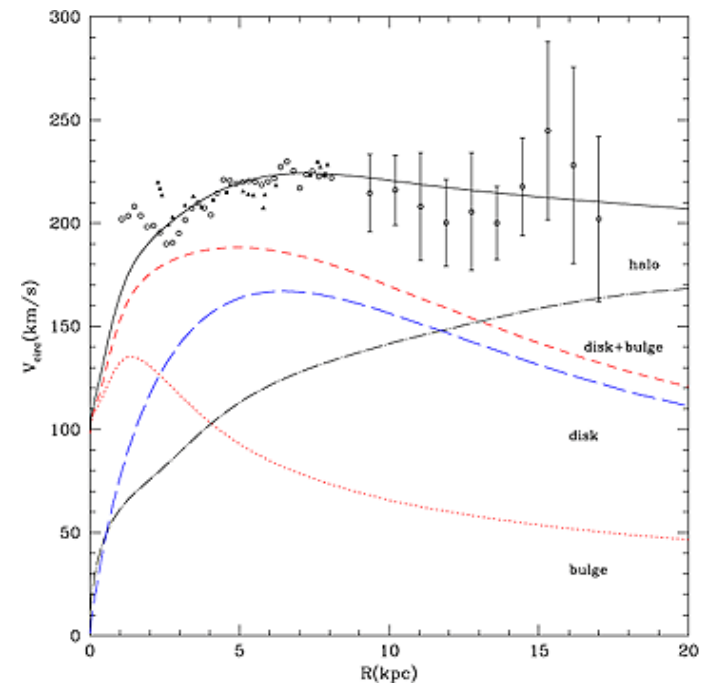
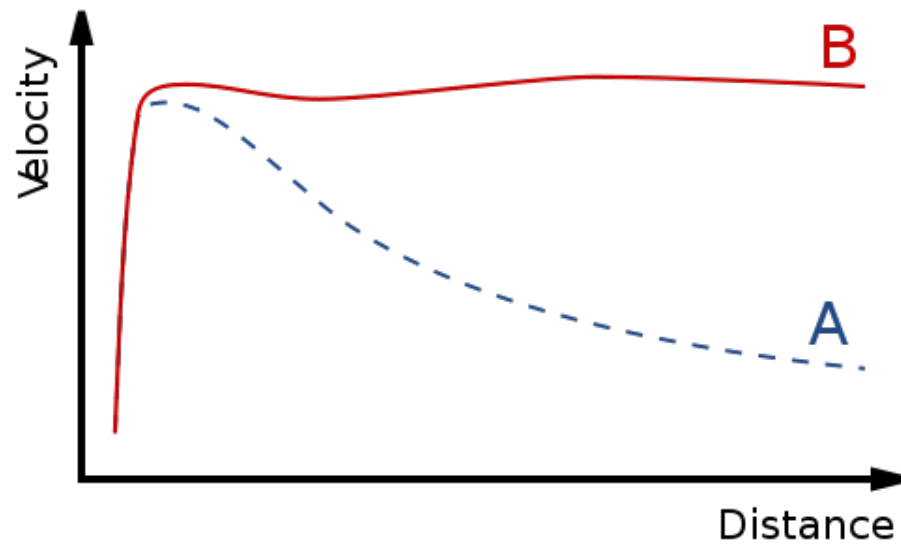
rotacja gwiazd i ramion

– rotacja dysku galaktyki spiralnej



NGC 6951

– krzywa rotacji



- grupy galaktyk

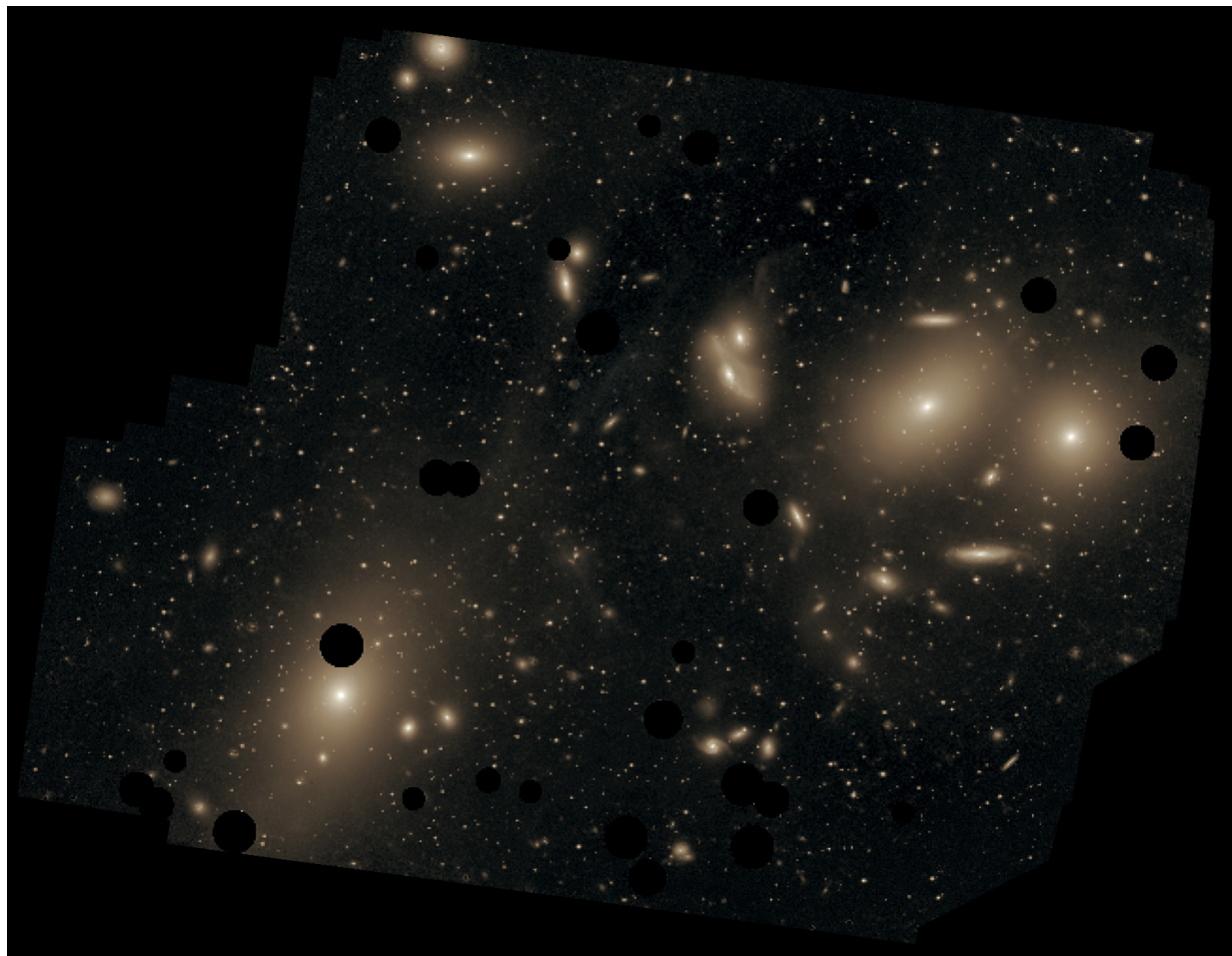


NGC 4038/39



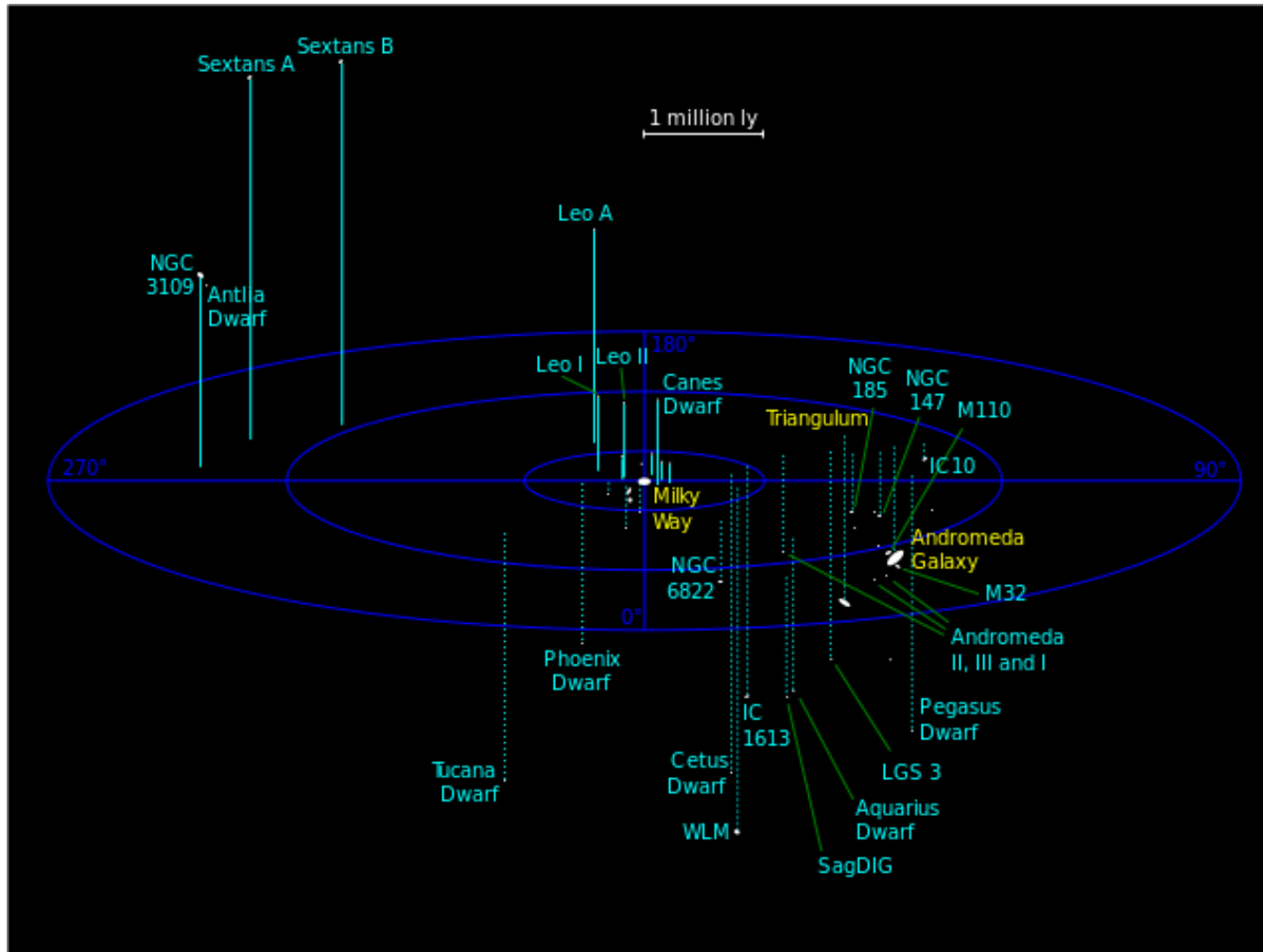
HCG 92

- gromady galaktyk

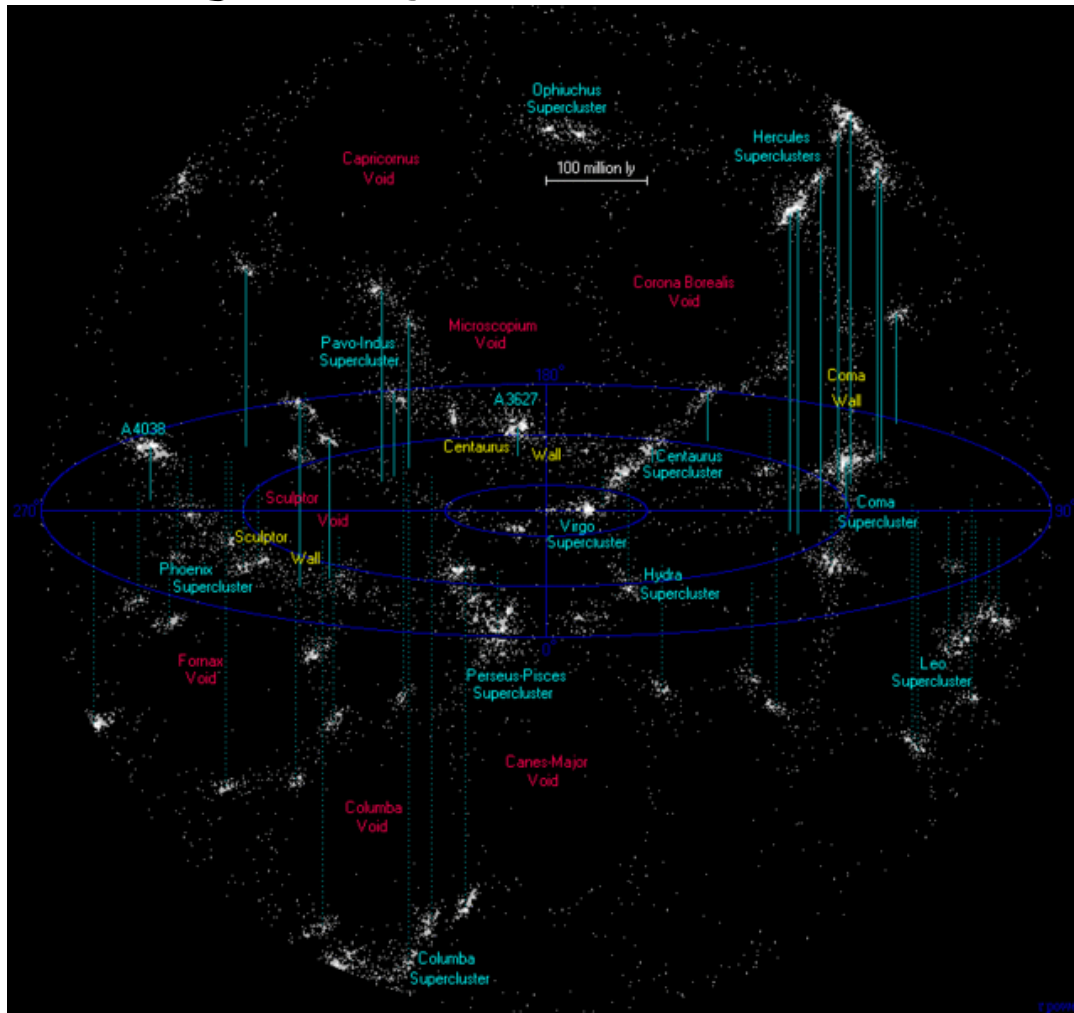


Virgo

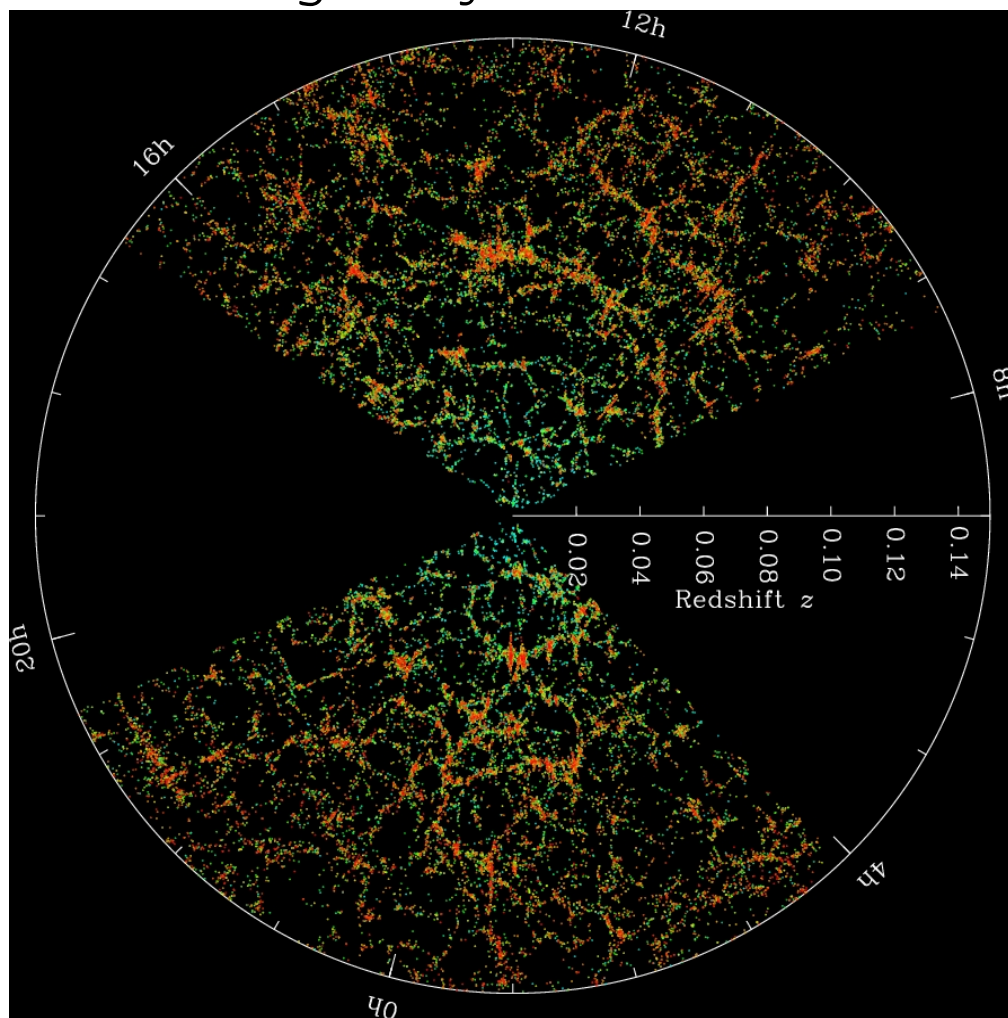
- Lokalna Grupa Galaktyk



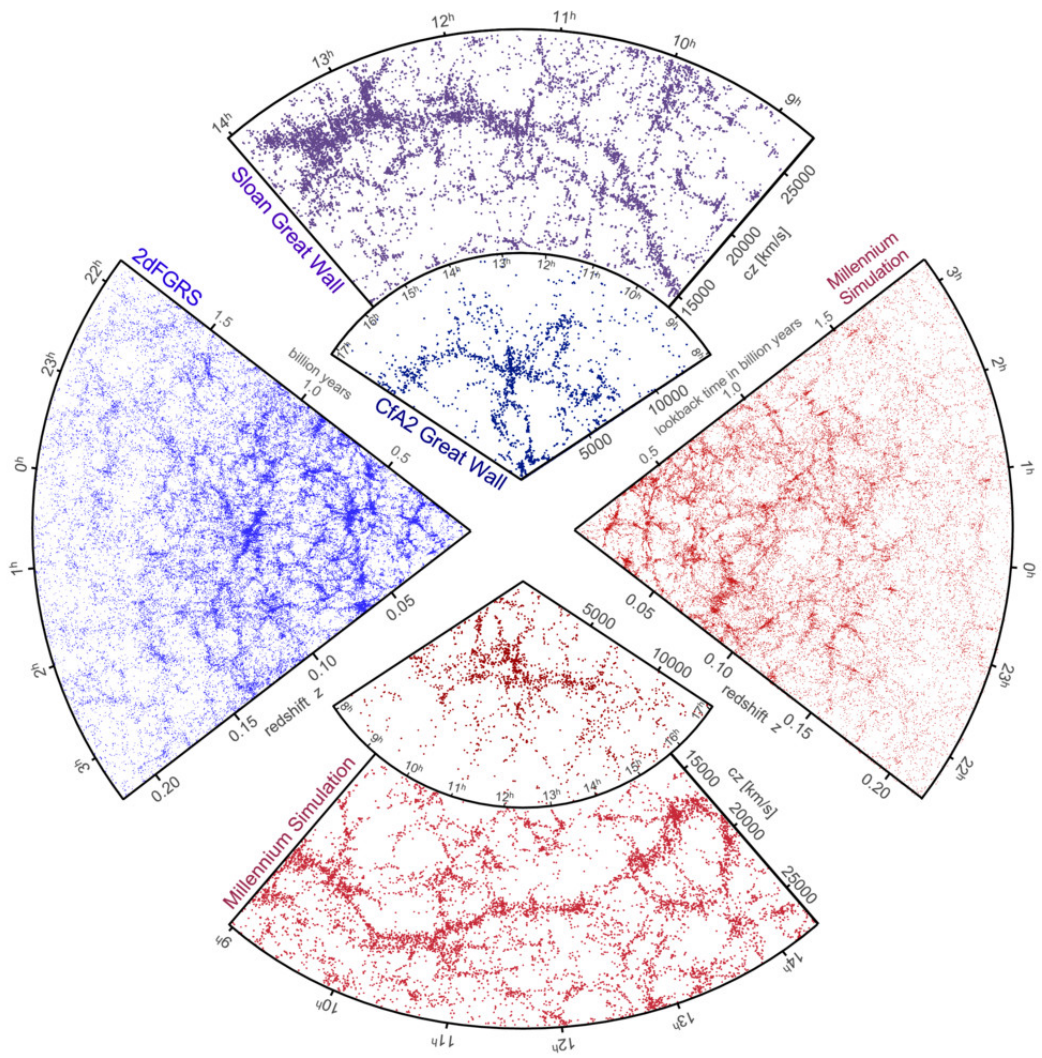
- supergromady



– rozkład galaktyk we Wszechświecie



SDSS

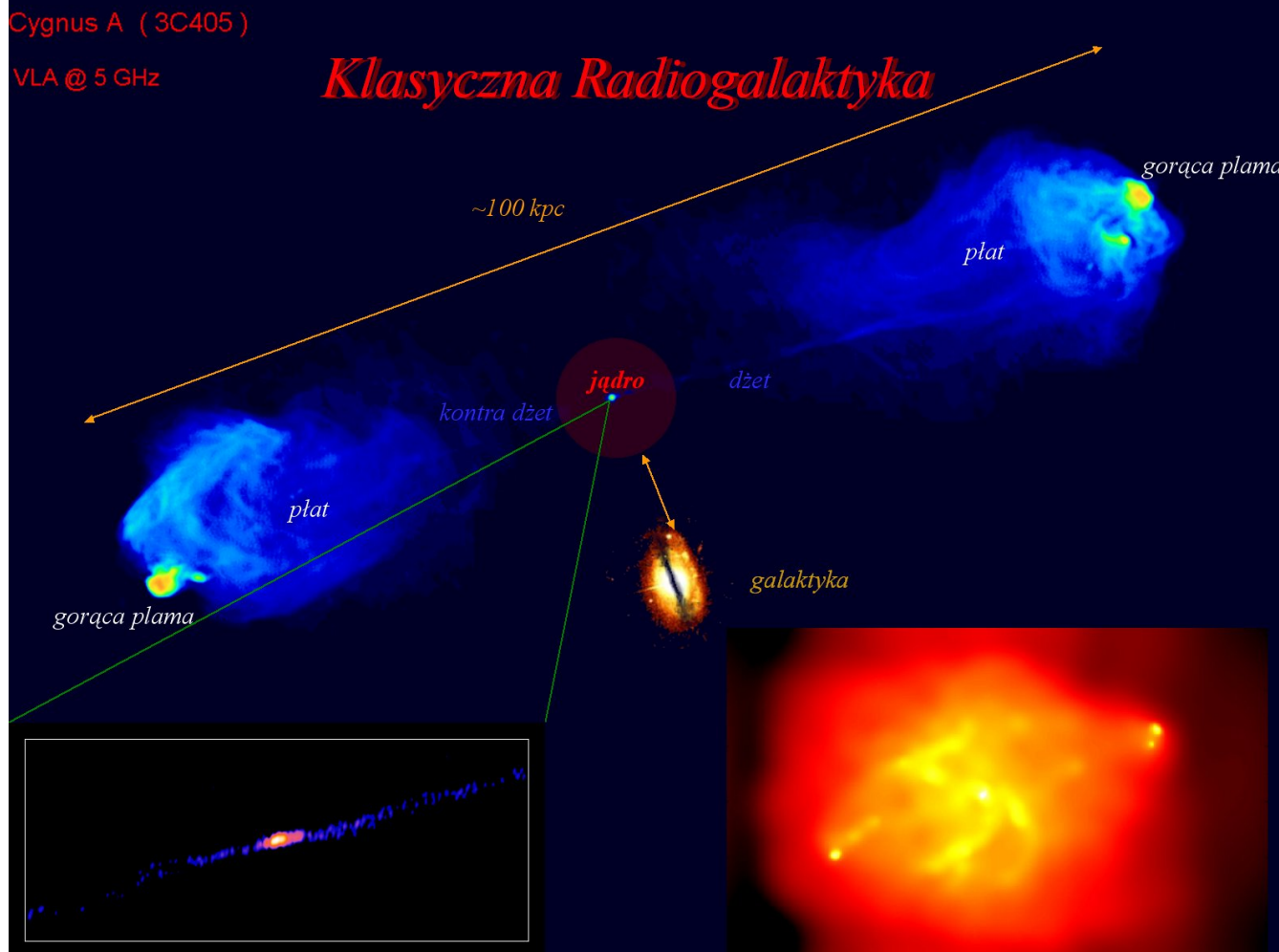


- krańce Wszechświata

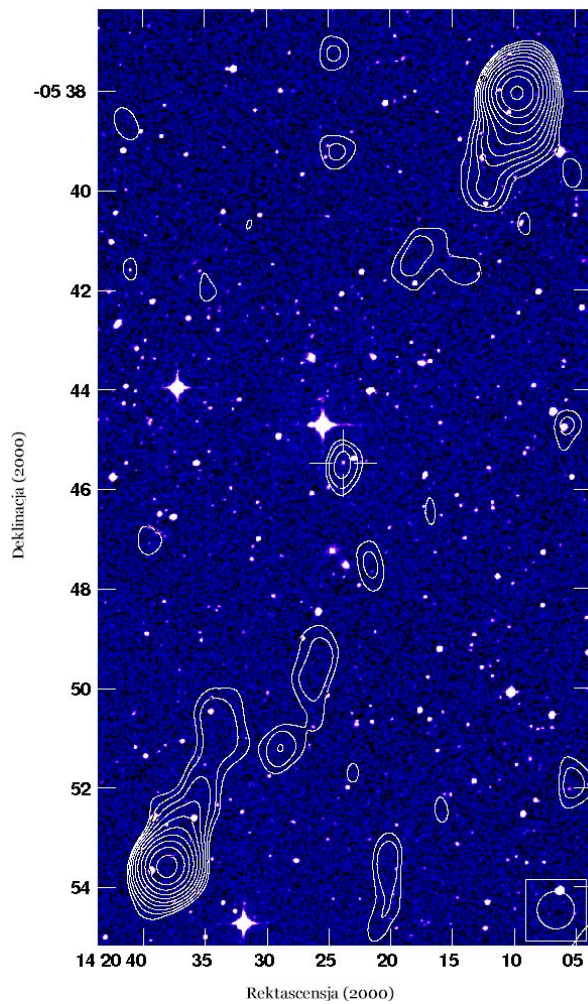


HUDF

– radiogalaktyki

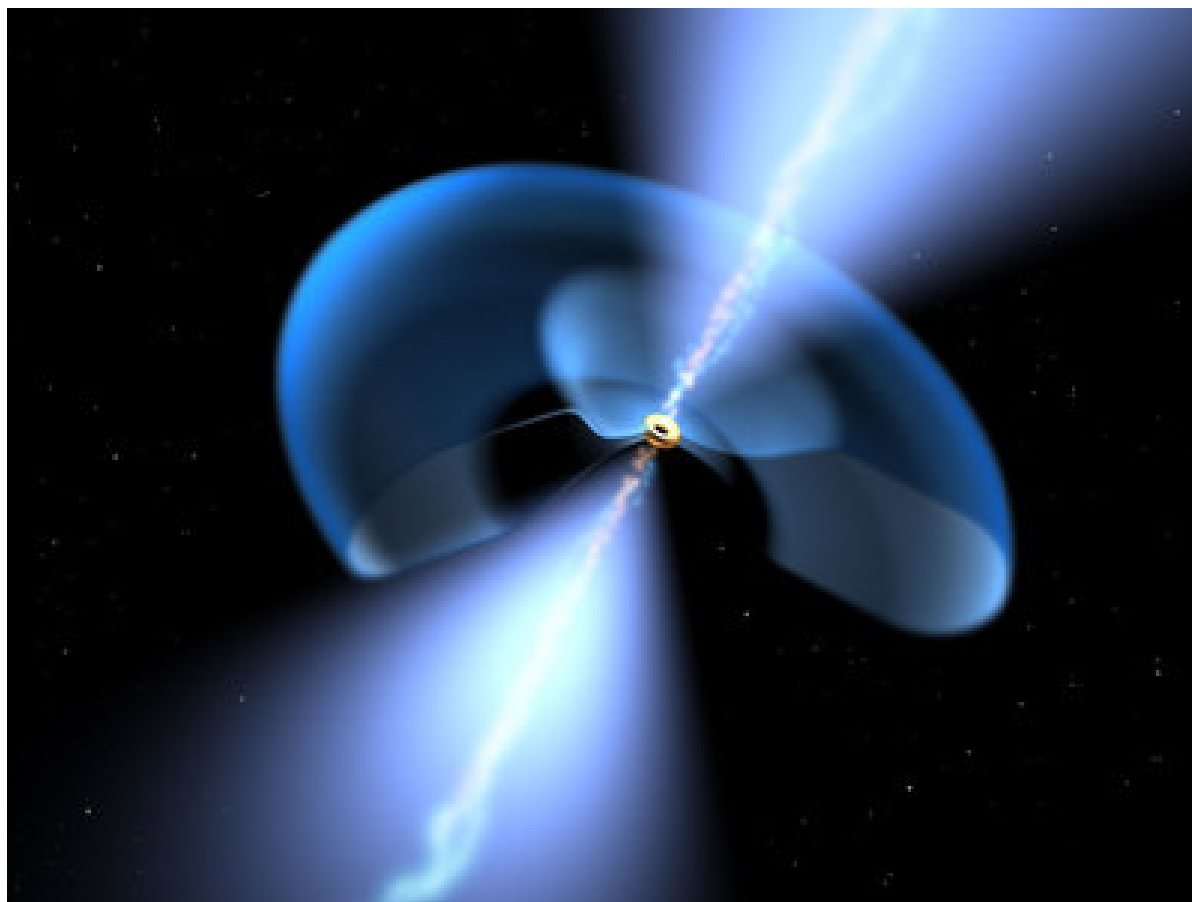


– radiogalaktyki gigantyczne



nazwa	z	rozmiar [kpc]
J1420-0545	0.3067	4690
3C236	0.09883	4380
B2146+822	0.145	2740
J1343+3758	0.2267	2427

– kwazary

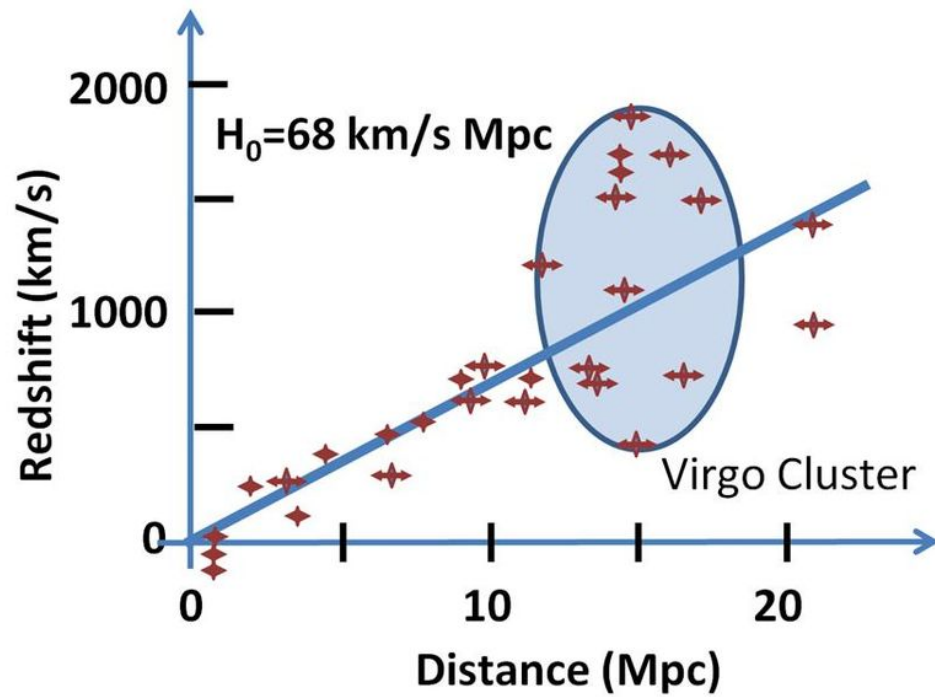


jasność absolutna:

3c273: -26.7^m

APM08279+5255: -32.2^m

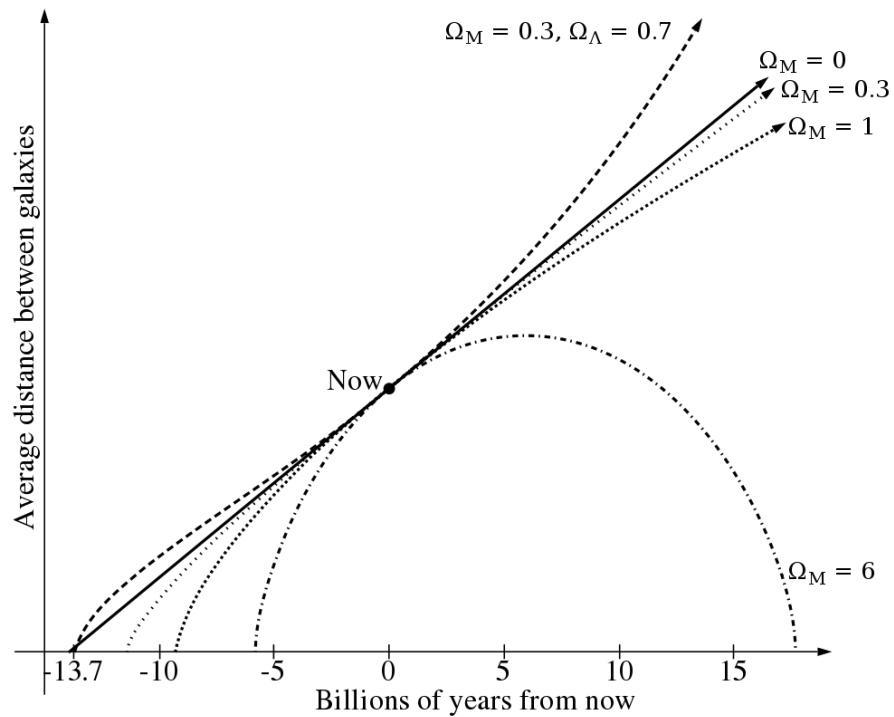
- odległości galaktyk – prawo Hubble’a



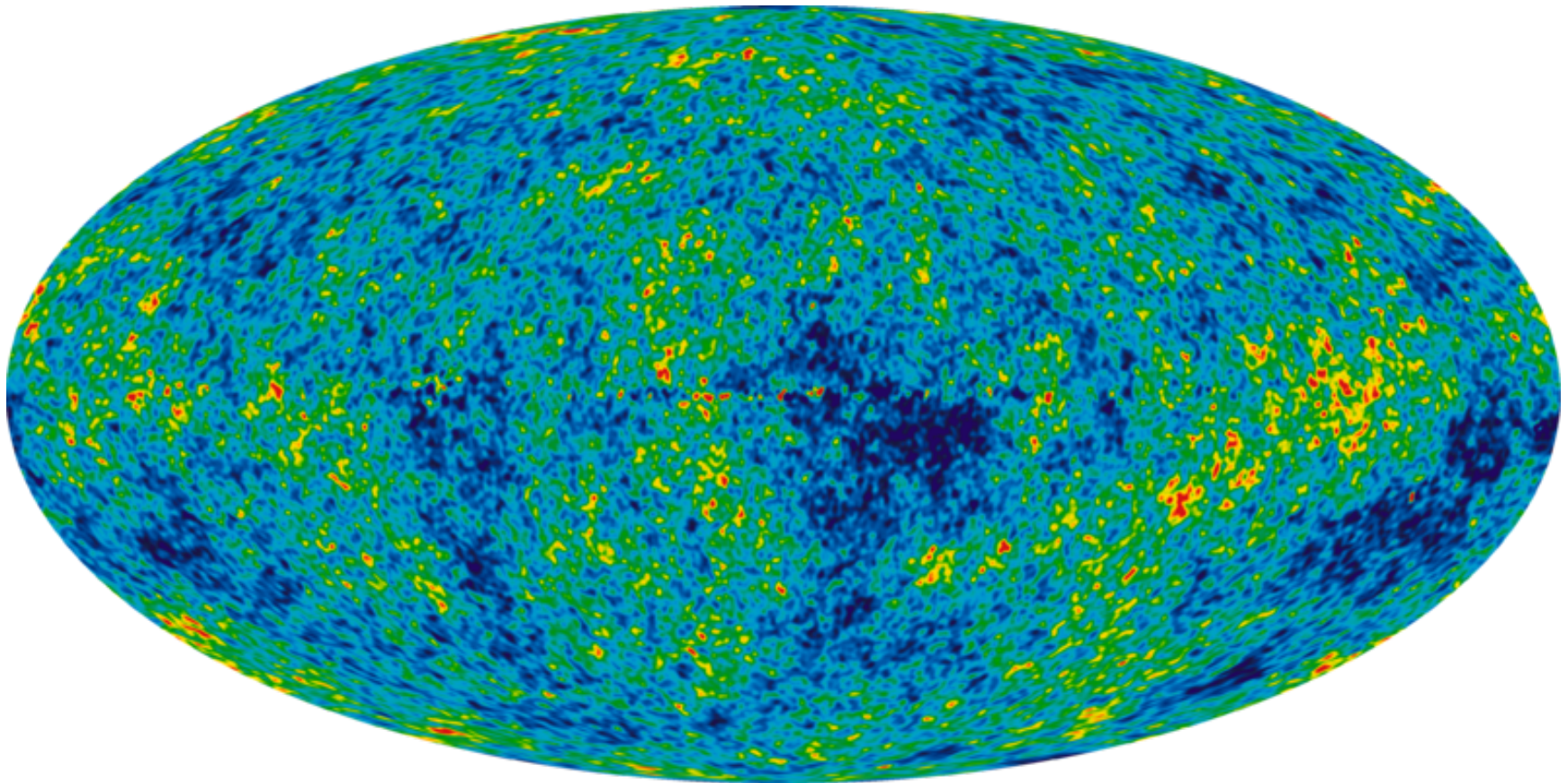
$$v = H_0 D$$

- modele Friedmanna

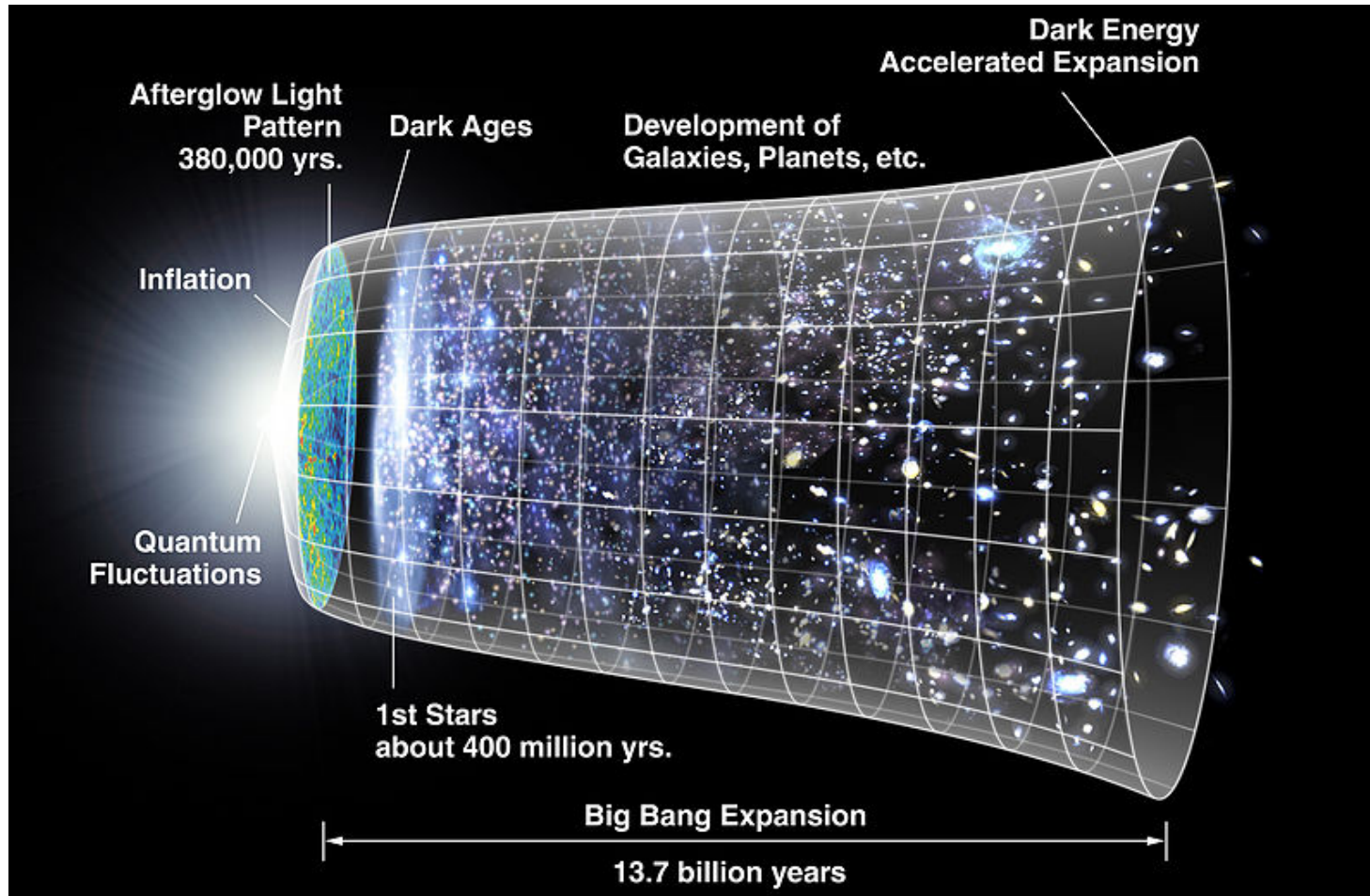
– zasada kosmologiczna – w dużej skali Wszechświat jest jednorodny i izotropowy



- tło mikrofalowe (WMAP)



- historia Wszechświata



- model Λ CDM

wiek	$13.75 \pm 0.11 \times 10^9$ lat
materia barionowa	0.0456 ± 0.0016
ciemna materia	0.227 ± 0.014
ciemna energia	$0.728^{+0.015}_{-0.016}$
stała Hubble'a	$70.4^{+1.3}_{-1.4}$ km/s/Mpc

