



Podstawy Astronomii 1

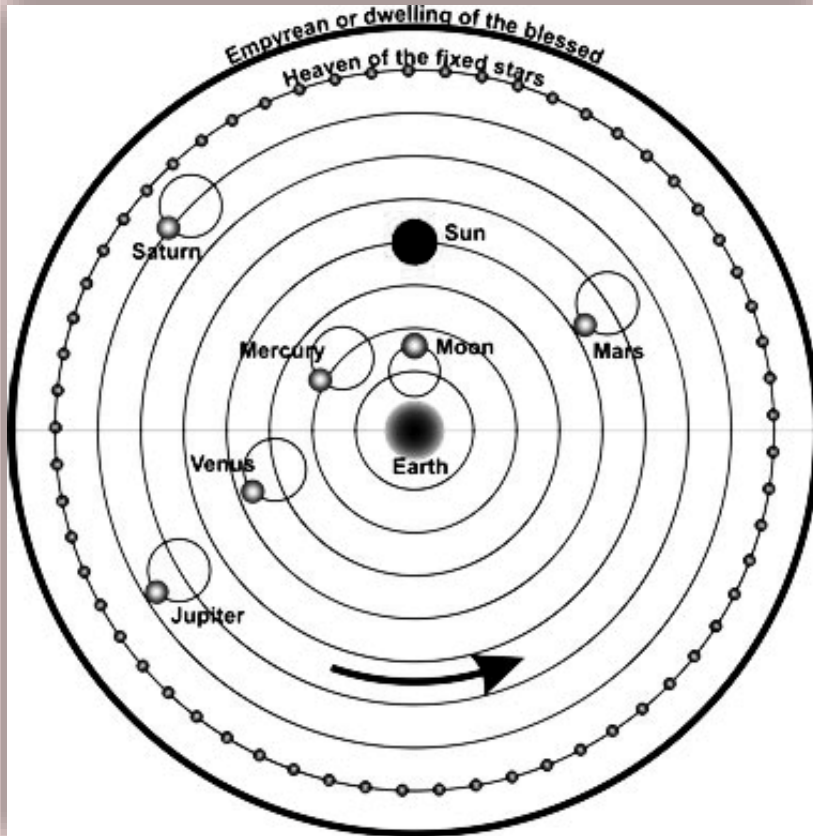
gwiazdy

gwiazdy

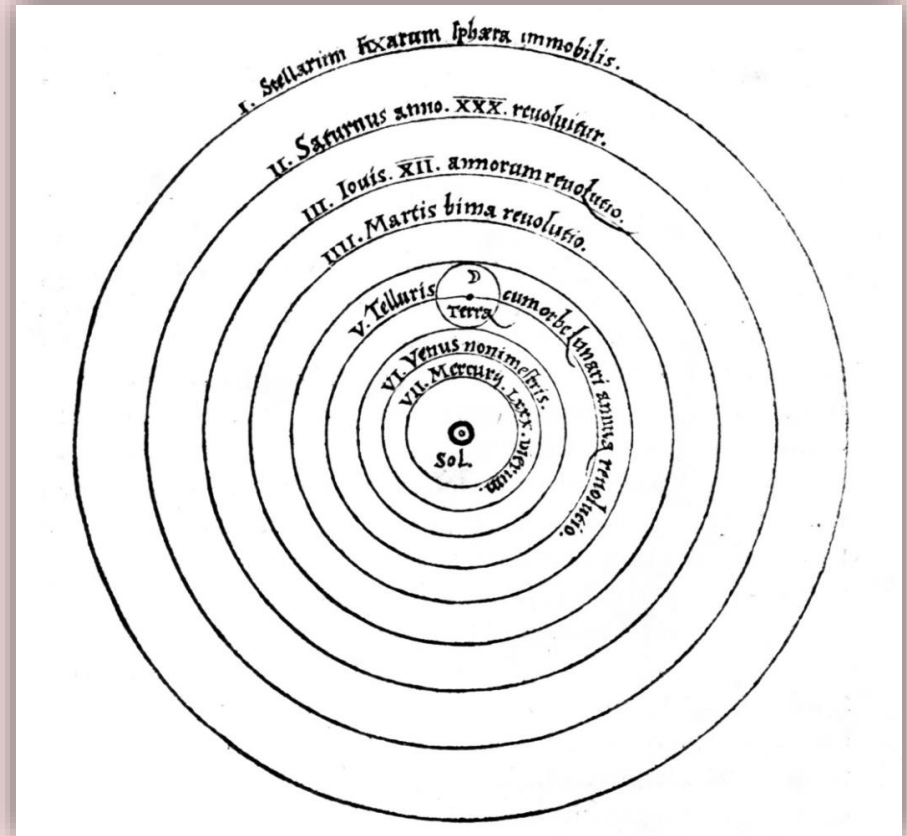
modele budowy Wszechświata (Układu Słonecznego)

Jak obserwacyjnie zweryfikować, który z modeli Układu Słonecznego (geocentryczny czy heliocentryczny) jest prawdziwy?

Jeśli Ziemia porusza się wokół Słońca, to powinniśmy zaobserwować pewne efekty tego ruchu – takie, których nie przewiduje model geocentryczny.



model geocentryczny



model heliocentryczny

gwiazdy

aberracja światła i paralaksa heliocentryczna

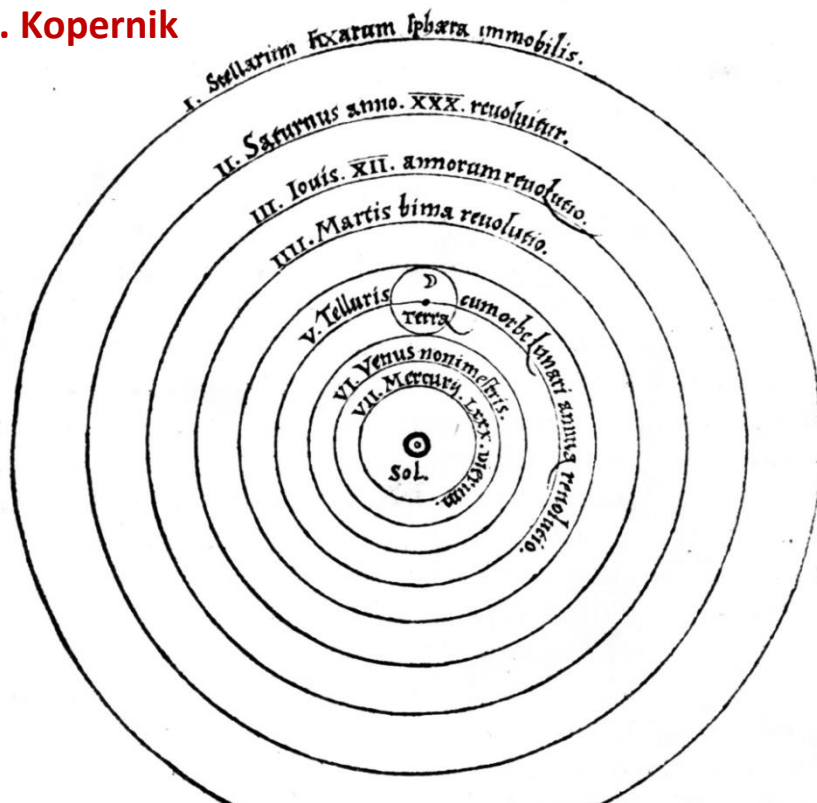
Ruch orbitalny Ziemi powoduje dwa efekty obserwacyjne:

- przesunięcie paralaktyczne (gwiazd)
- aberrację światła (roczną)

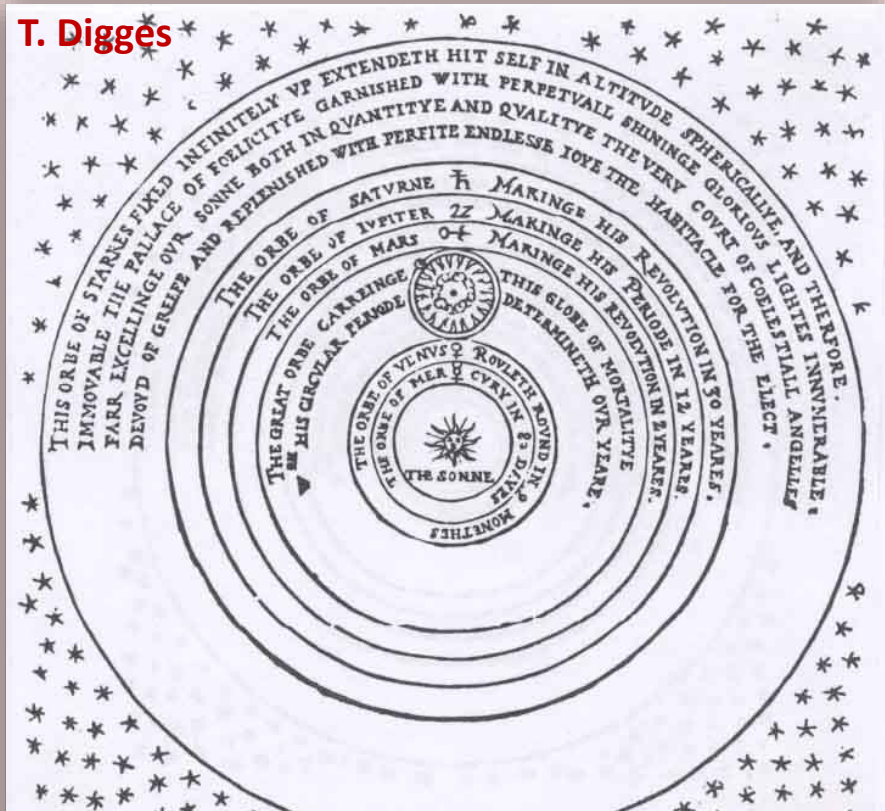
Zaobserwowanie tych efektów stanowi dowód ruchu orbitalnego Ziemi. Pierwszy z nich był przewidziany już przez Kopernika, ale potwierdzenie obserwacyjne nastąpiło dopiero w XIX w. Drugi został odkryty przypadkowo, przy próbie zaobserwowania pierwszego (James Bradley, 1729).

Pierwszy efekt obserwacyjny jest ważnym narzędziem do pomiaru odległości do gwiazd.

M. Kopernik



T. Digges



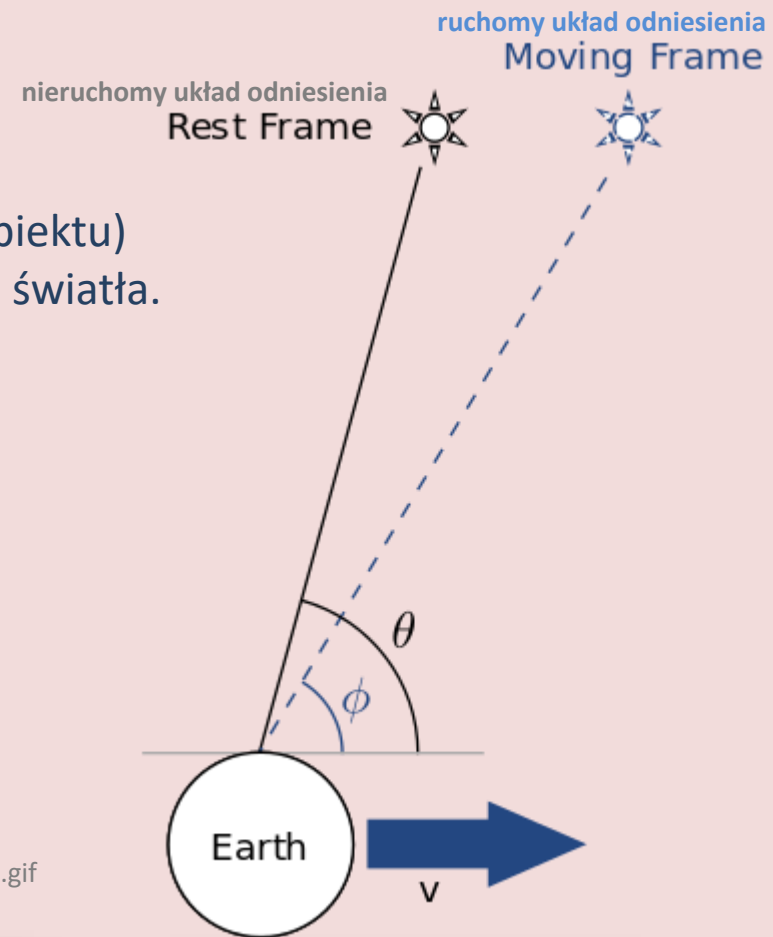
gwiazdy

aberracja światła

Zjawisko powodujące pozorne przesunięcie gwiazdy (obiektu) wynikające z ruchu obserwatora i skończonej prędkości światła.



animacja: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aberrationlighttimebeaming.gif>



gwiazdy

aberracja światła

kąt θ – rzeczywisty kierunek do gwiazdy względem wektora prędkości obserwatora

kąt φ – pozorny kierunek do gwiazdy względem wektora prędkości obserwatora

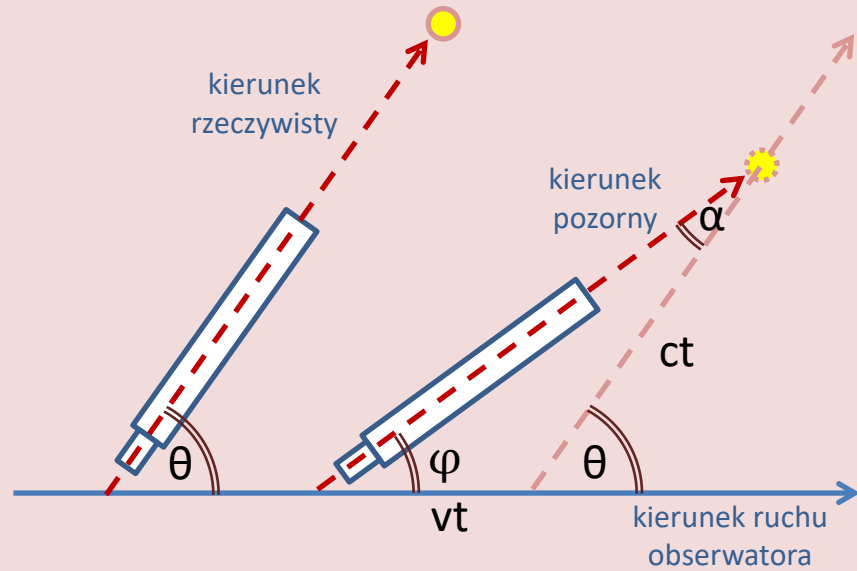
kąt aberracji:

$$\alpha = \theta - \varphi$$

Z tw. sinusów

$$\frac{\sin \alpha}{vt} = \frac{\sin \varphi}{ct}$$

$$\sin \alpha = \frac{v}{c} \sin \varphi$$



v – prędkość obserwatora, c – prędkość światła, t – czas w jakim światło pokonuje długość teleskopu. Maksymalny kąt aberracji wystąpi dla gwiazd położonych 90° od kierunku ruchu obserwatora:

$$\sin \alpha = \frac{v}{c}$$

Dla ruchu orbitalnego Ziemi $v=30$ km/s, $\alpha=20''.5$ (aberracja roczna).

Dla obrotu dobowego Ziemi, na równiku $v=0.46$ km/s, $\alpha=0''.32$ (aberracja dobową).

Kąt α jest bardzo mały ($v/c \ll 1$), więc kąty $\varphi \approx \theta$.

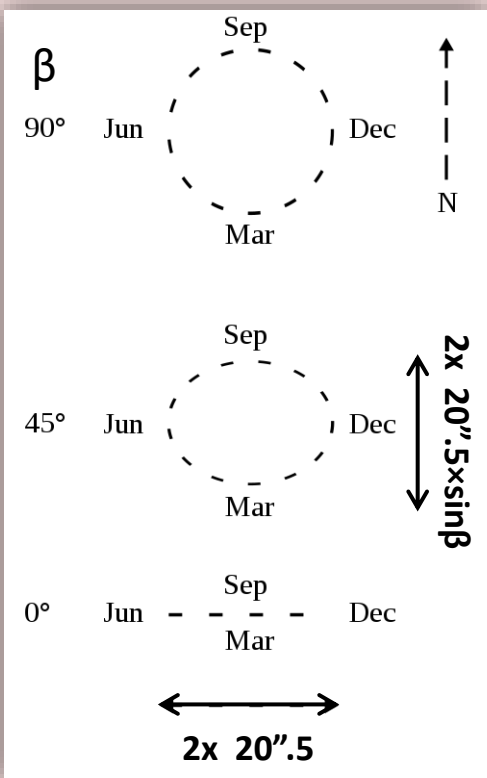
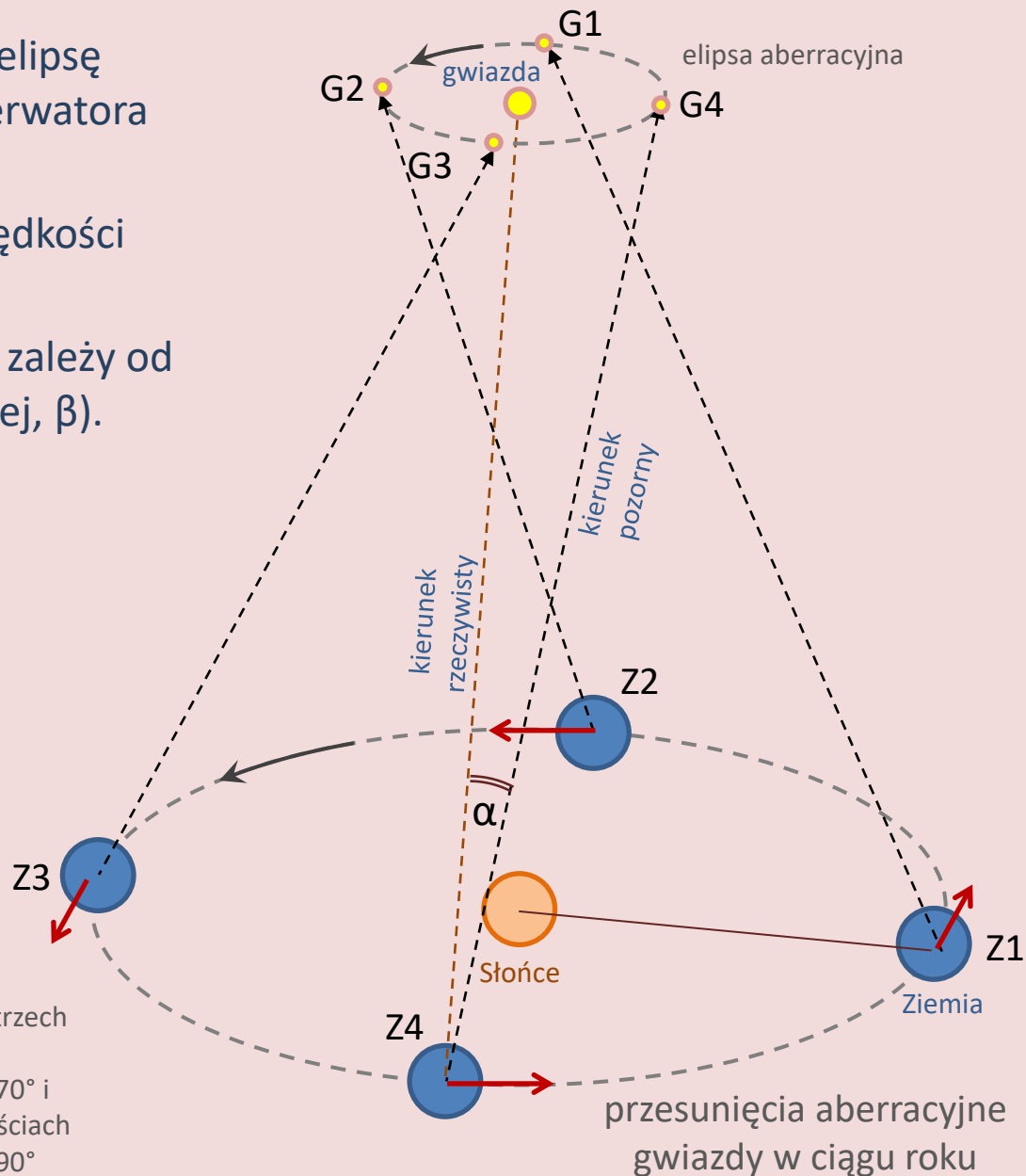
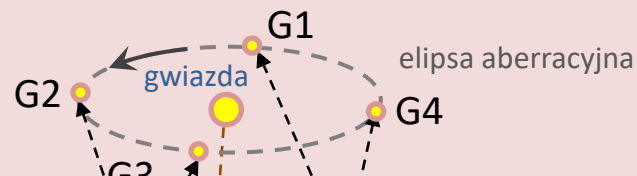
gwiazdy

roczna aberracja światła

W ciągu roku gwiazda zakreśli na niebie elipsę aberracyjną odzwierciedlającą ruch obserwatora dookoła Słońca.

Rozmiar elipsy aberracyjnej zależy od prędkości orbitalnej Ziemi.

Kształt (spłaszczenie) elipsy aberracyjnej zależy od położenia gwiazdy (szerokości ekliptycznej, β).



elipsy aberracyjne dla trzech gwiazd położonych na długości ekliptycznej 270° i trzech różnych szerokościach ekliptycznych: 0°, 45°, 90°

gwiazdy

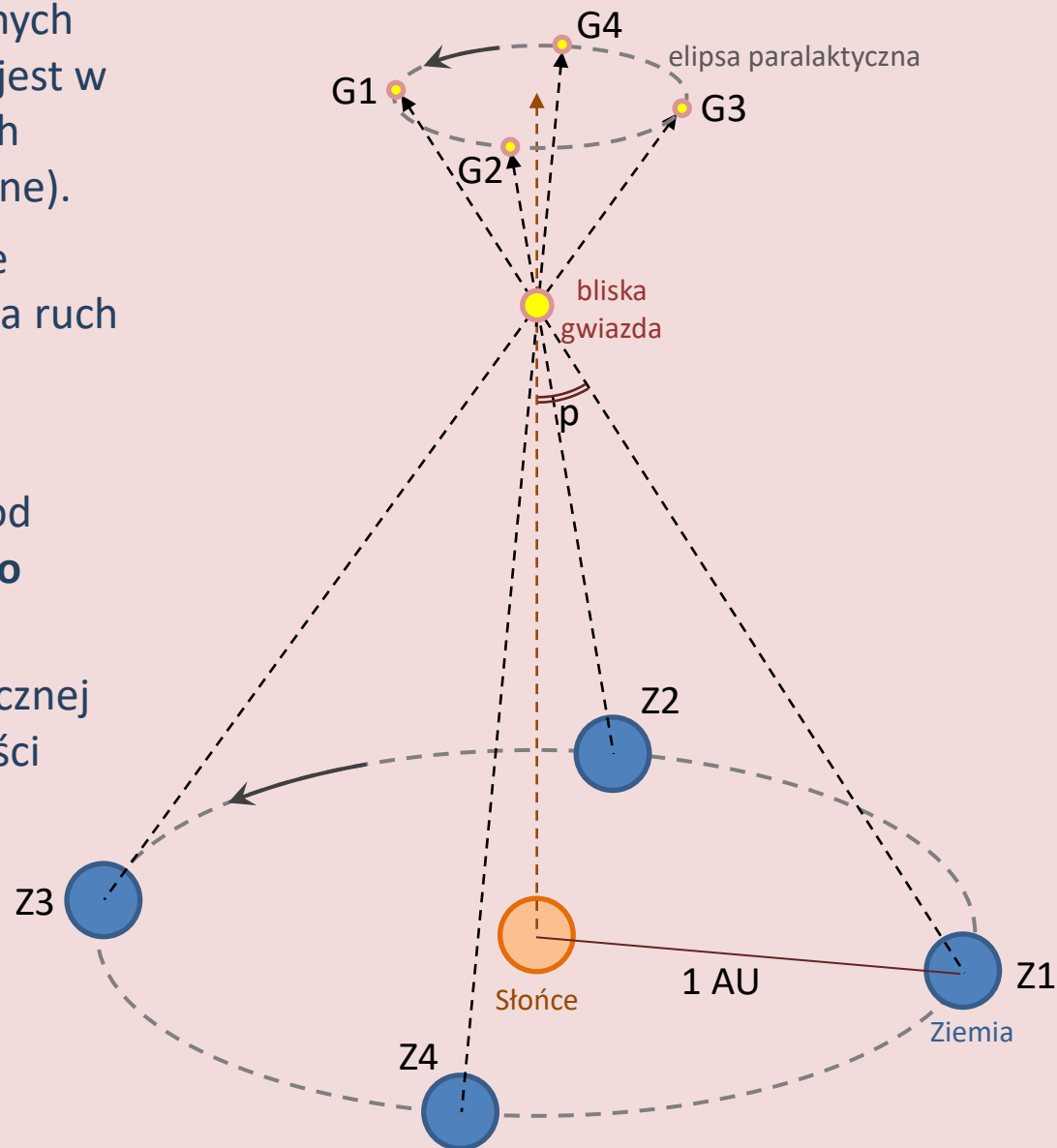
paralaksa heliocentryczna

Obiekt (gwiazda) obserwowany z różnych miejsc na orbicie ziemskiej widoczny jest w innym miejscu na niebie (na tle innych odległych gwiazd, ma inne współrzędne).

W ciągu roku obiekt zakreśli na niebie elipsę paralaktyczną odzwierciedlającą ruch obserwatora dookoła Słońca.

Rozmiar elipsy paralaktycznej zależy od rozmiarów orbity Ziemi i **odległości do gwiazdy**.

Kształt (spłaszczenie) elipsy paralaktycznej zależy od położenia gwiazdy (szerokości ekliptycznej).



gwiazdy

paralaksa heliocentryczna

Kąt paralaksy heliocentrycznej (paralaksa heliocentryczna, p) to różnica kierunków w jakich widoczny jest obiekt z Ziemi i Słońca*.

$$\operatorname{tg}(p) = \frac{1[\text{AU}]}{d}$$

d – odległość do gwiazdy w AU

Kąt p jest mały więc

$$p[\text{rad}] = \frac{1}{d}$$

$$\frac{p["]}{206264.8["/\text{rad}]} = \frac{1}{d}$$

$$p["] = \frac{1}{d/206264.8["/\text{rad}]}$$

$$d[\text{pc}] = d[\text{AU}]/206264.8["/\text{rad}]$$

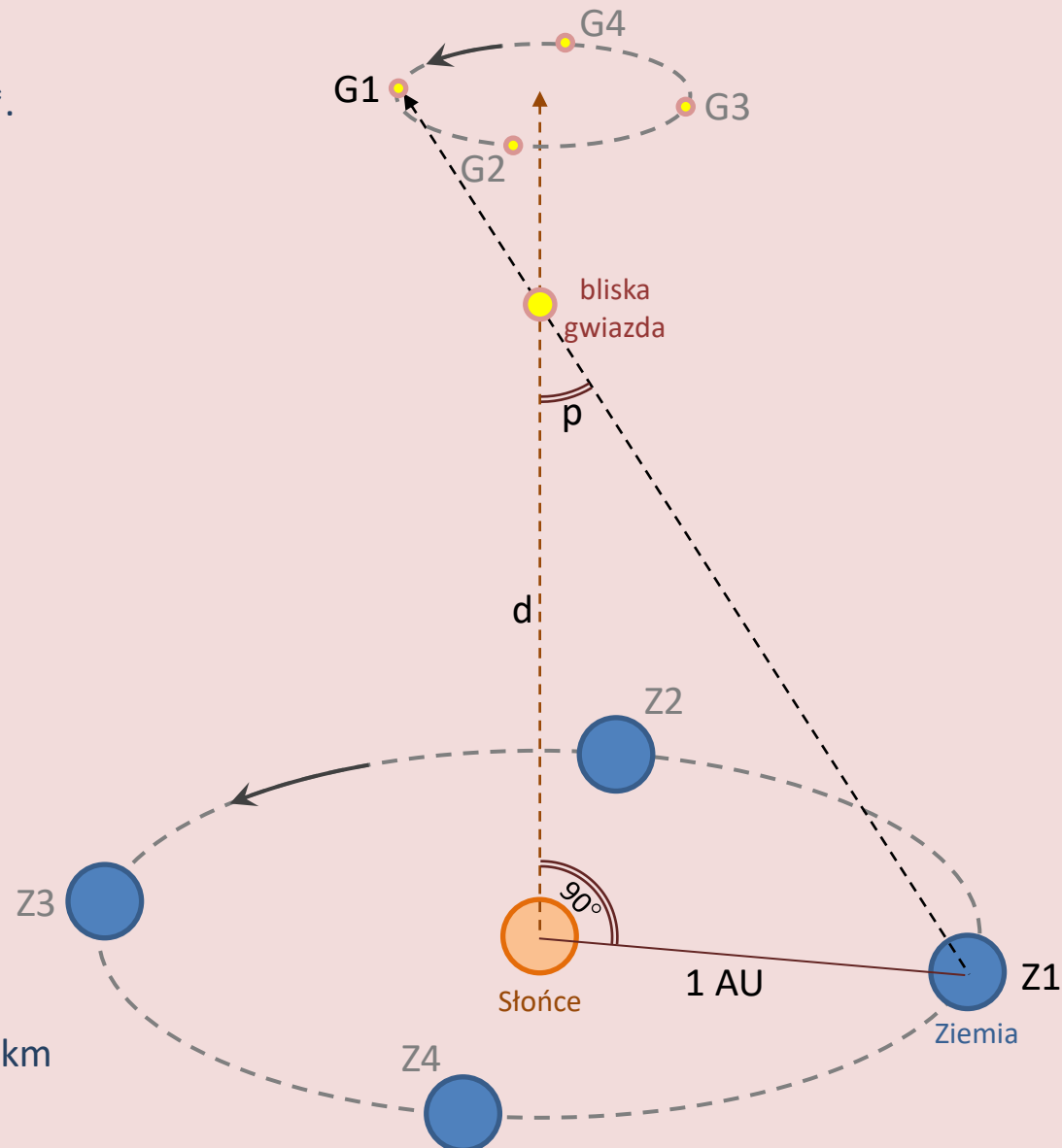
$$p["] = \frac{1}{d[\text{pc}]} \quad d[\text{pc}] = \frac{1}{p["]}$$

1 pc (parsek) – odległość z jakiej 1 AU ma rozmiar kątowy 1"

$$1 \text{ pc} = 206264.8 \text{ AU} = 3.26 \text{ ly} = 3.086 \times 10^{13} \text{ km}$$

większe odległości: kpc, Mpc

ly – light year (rok świetlny)



gwiazdy

paralaksa heliocentryczna

Trudności w pomiarach paralaksy heliocentrycznej:

- wybór gwiazdy (paralaksy zbyt odległych obiektów są niemierzalne),
- ruchy własne gwiazd (przesuwanie się gwiazd na niebie wywołane ich ruchem w przestrzeni)

Ruchy własne gwiazd odkrył Halley (1718).

Ruch gwiazd względem Słońca

Jak wyznaczyć wektor prędkości przestrzennej (v) gwiazdy (obiektu) względem Słońca?

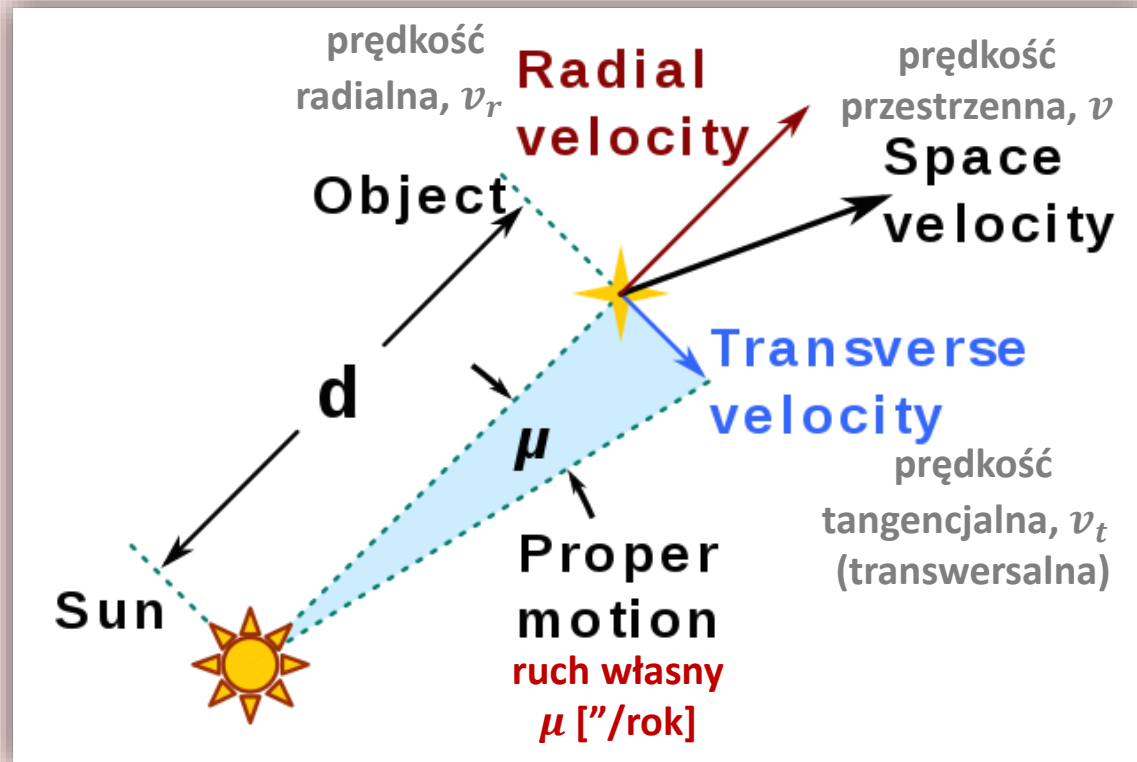
$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}$$

Prędkość radialną v_r wyznaczamy ze zjawiska Dopplera (następny slajd).

Prędkość tangencjalną v_t wyznaczamy z **ruchu własnego** (μ) i odległości (d) (lub paralaksy, p).

$$v_t = d \tan(\mu) = 4.74 \mu d = 4.74 \frac{\mu}{p}$$

Jednostki w równaniu: v_t [km/s], μ ["/rok], d [pc], p ["]

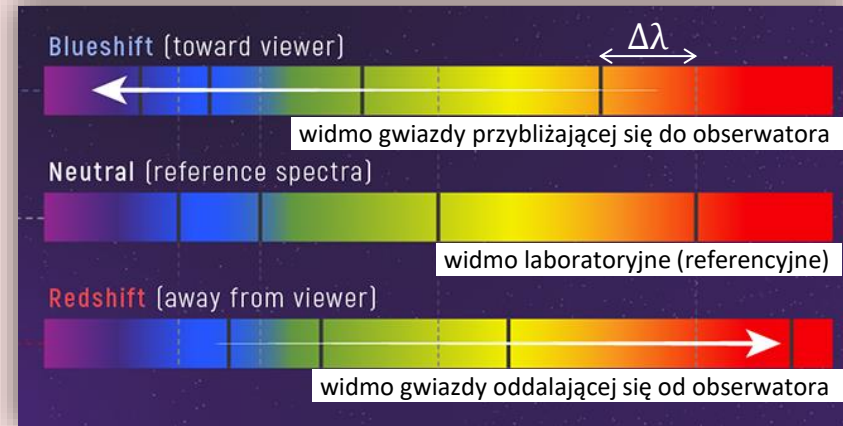


gwiazdy

Prędkość radialną v_r wyznaczamy ze zjawiska Dopplera mierząc przesunięcia linii obserwowanych w widmie gwiazdy (obiektu).

$$\frac{v_r}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

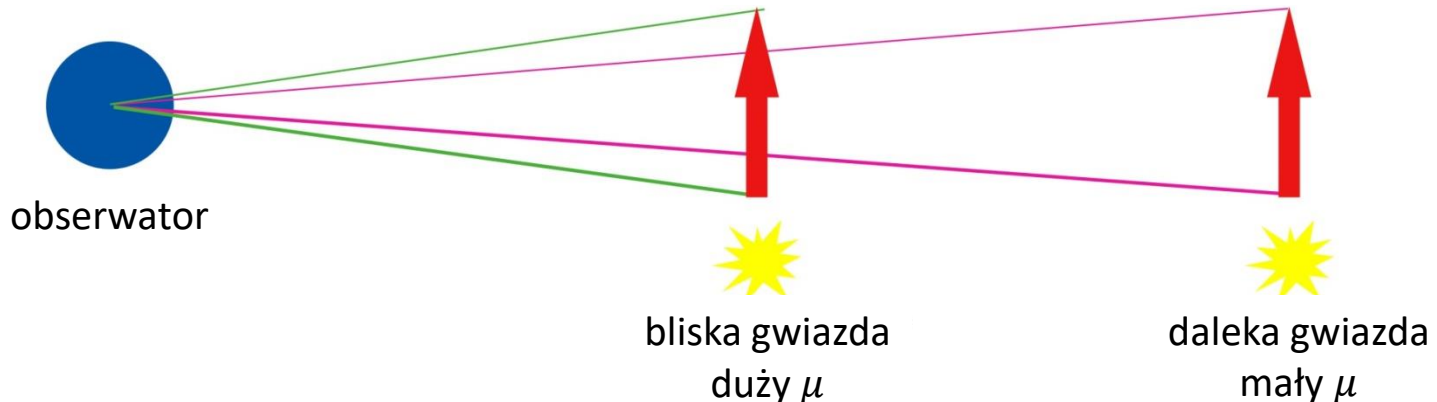
c – prędkość światła, λ – długość fali, na której dana linia widmowa występuje w przy zerowej v_r (laboratoryjna), $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ – obserwowane przesunięcie linii, λ' – długość fali, na której dana linia jest obserwowana w widmie gwiazdy.



blueshit – przesunięcie ku fioletowi
redshift – przesunięcie ku czerwieni

Paralaksy zbyt odległych gwiazd są niemierzalne – jak wytypować gwiazdy potencjalnie bliskie? Po ruchu własnym μ .

Bliskie gwiazdy mają zwykle większe ruchy własne



gwiazdy

Największy znany ruch własny:

Gwiazda Barnarda ($9^m.51$)

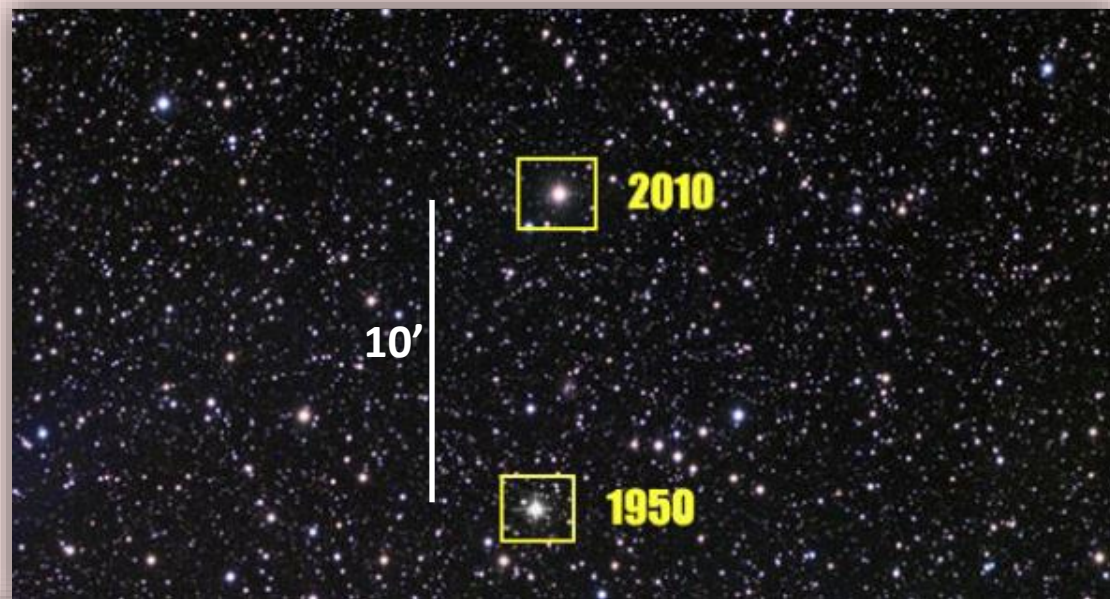
$\mu=10.3''/\text{rok}$

Ruchy własne zmieniają współrzędne gwiazd (obiektów) na niebie

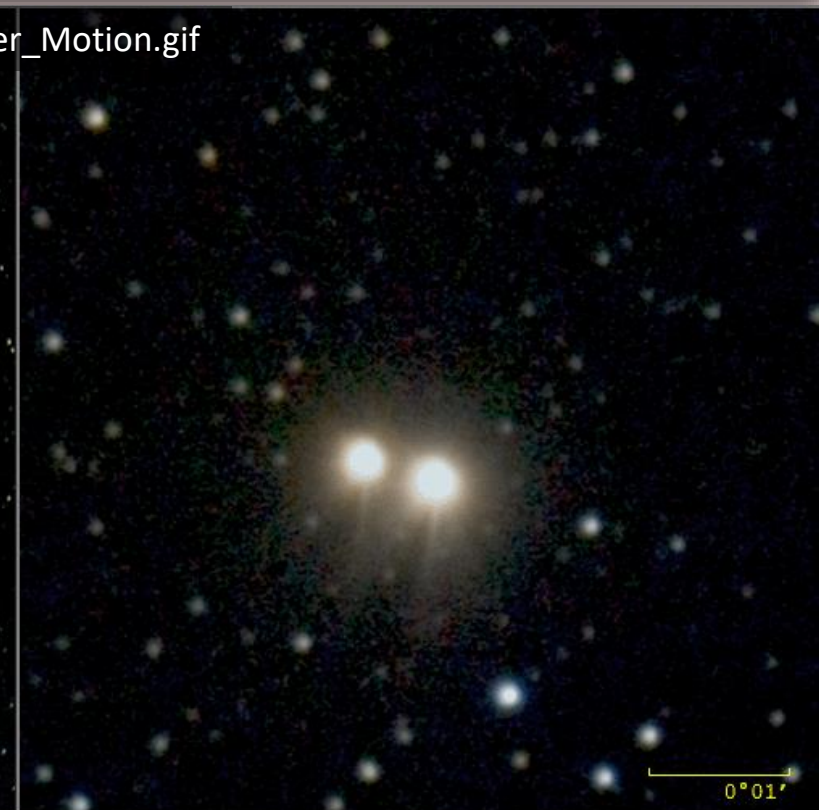
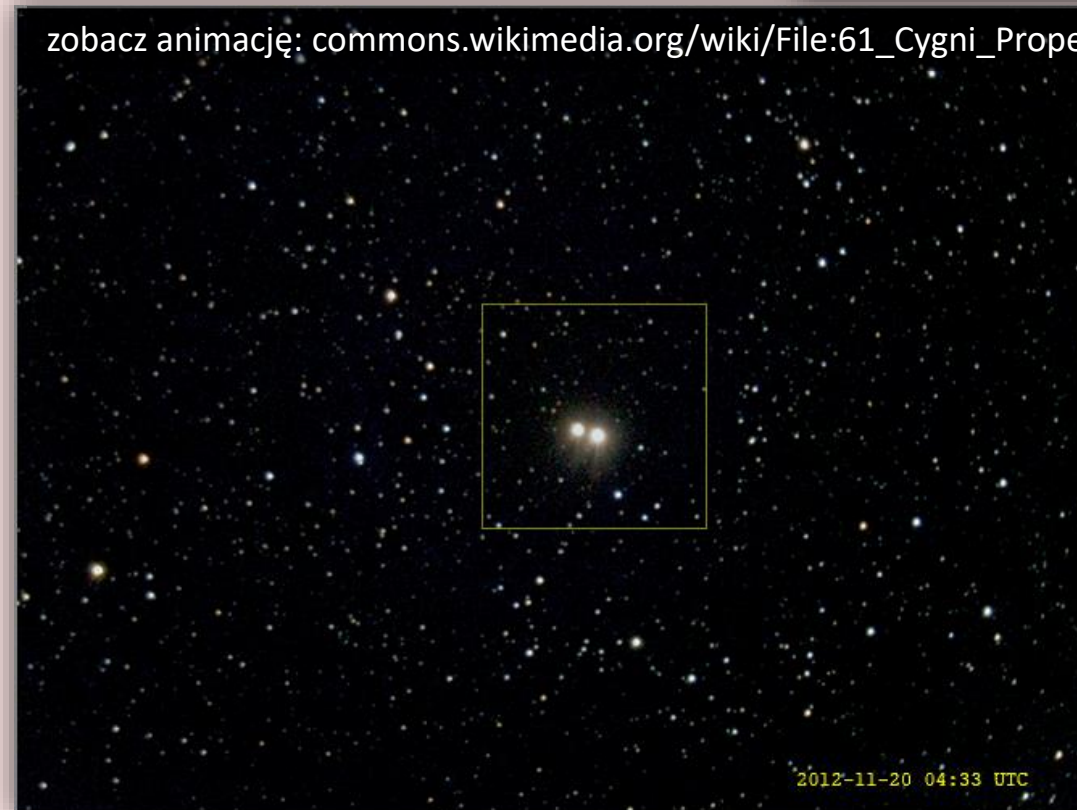
Z gwiazd widocznych gołym okiem:

61 Cyg ($5^m.20$ i $6^m.05$)

$\mu=5.3''/\text{rok}$



zobacz animację: commons.wikimedia.org/wiki/File:61_Cygni_Proper_Motion.gif

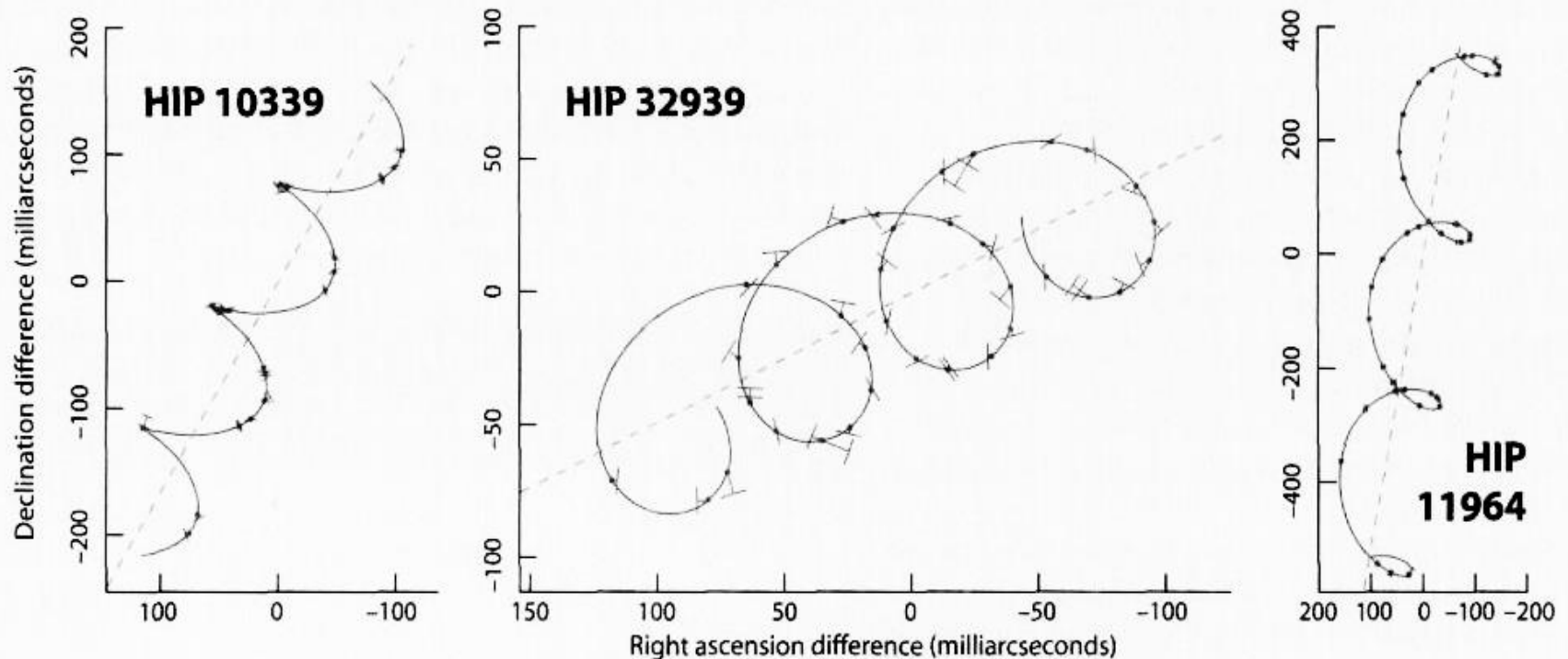


gwiazdy

paralaksa heliocentryczna

Obserwowane położenie gwiazdy jest nałożeniem się wielu efektów, w tym ruchu własnego i paralaksy.

Przed wyznaczaniem paralaksy należy usunąć wszystkie inne efekty.



The apparent paths of three stars across the sky during the three years of the Hipparcos mission. Each looping line shows the combination of parallax (an ellipse) and proper motion (a straight line) that best fits the data. The star's measured positions are shown by T-like intersections; these are often hidden under the dots, which mark their best-fit places on the line. Each curlicue in the 118,000-star database is different. From the Hipparcos Intermediate Data Web page.

gwiazdy

paralaksa heliocentryczna

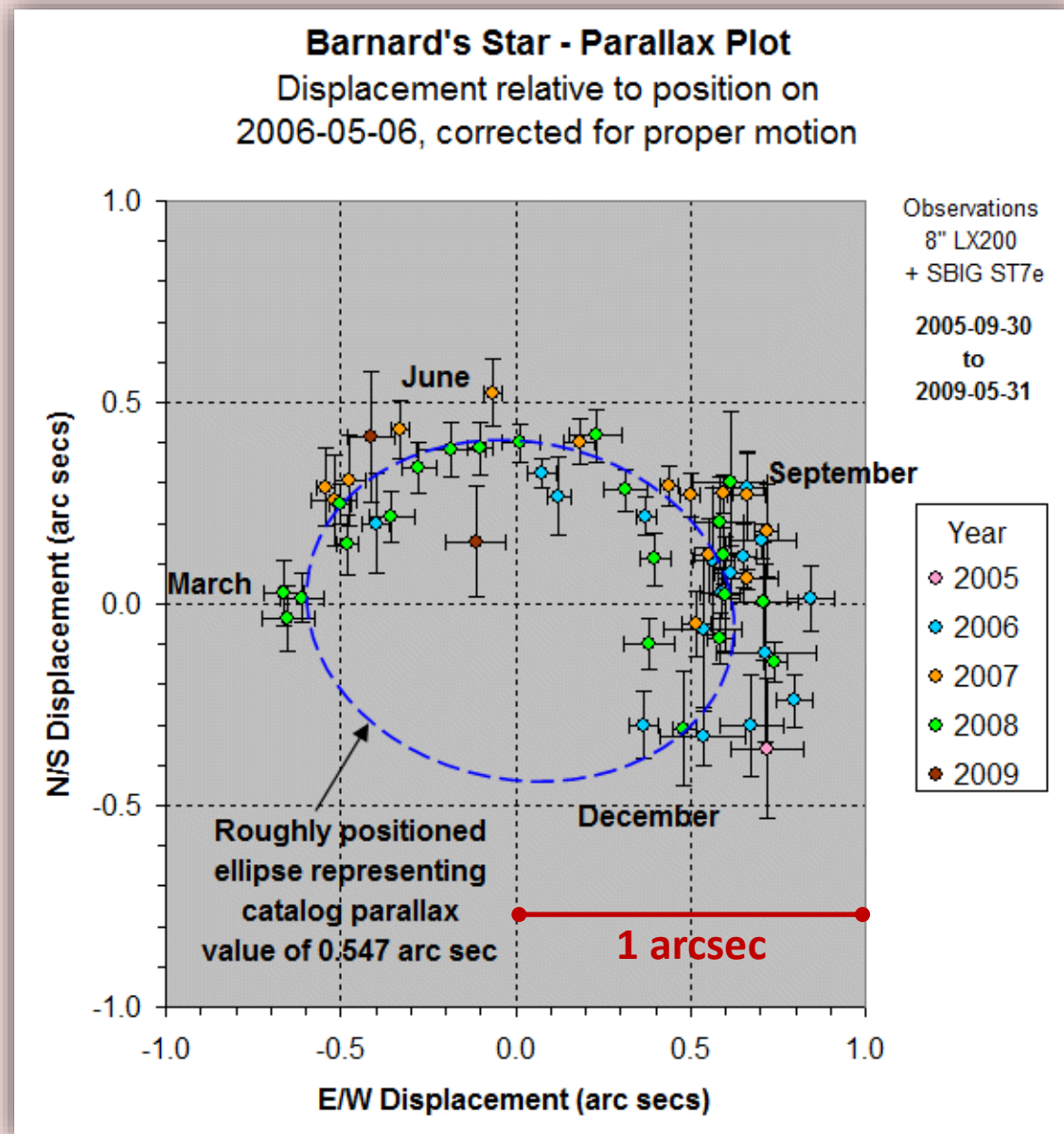
Trudności w pomiarach paralaksy heliocentrycznej:

- błędy pomiarowe (każdy pomiar obarczony jest błędem)

Zasięg pomiarów paralaksy (najmniejsze możliwe do zmierzenia kąty paralaksy):

- pomiary naziemne: $0''.1$ (10 pc)
- Hipparcos: $0''.01 = 10 \text{ mas}$ (100 pc)
- Gaia: $0''.0001 = 100 \mu\text{as}$ (10000 pc)

pomiar paralaksy
Gwiazdy Barnarda
(położenie gwiazdy po
usunięciu ruchu własnego)



gwiazdy

paralaksa heliocentryczna

Pierwsze udane pomiary paralaksy heliocentrycznej przeprowadzono w latach 1837-38.

W 1915 r. odkryto, że słaba gwiazda w Centaurze ($10^m.4$) ma duży ruch własny (4.9 "/rok). Znana obecnie pod nazwą Proxima Centauri – najbliższa gwiazda.

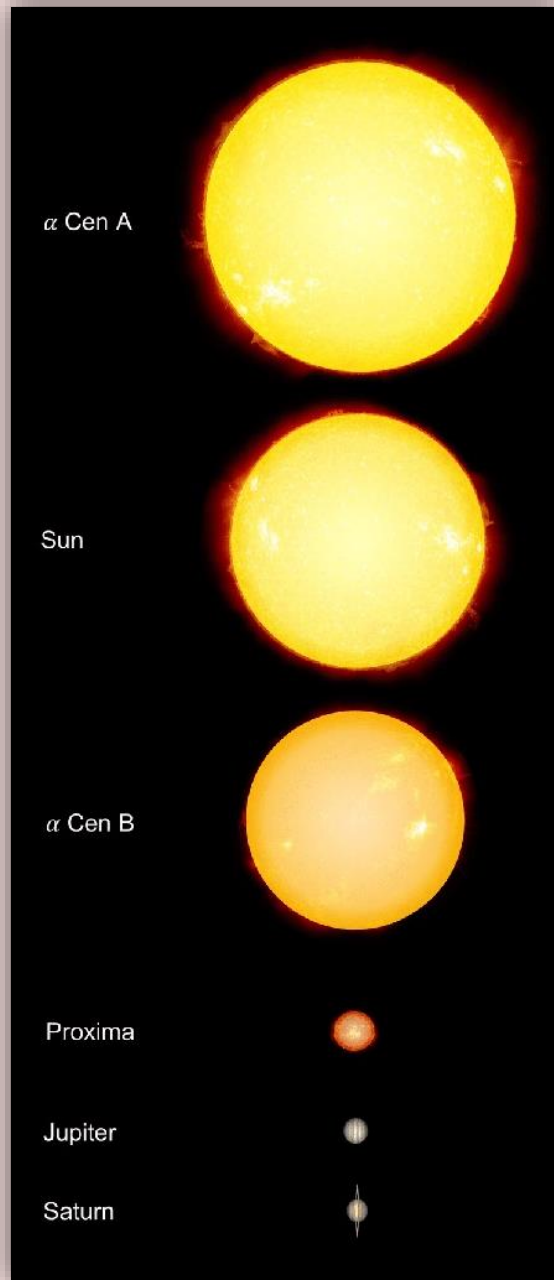
Pierwsze wyznaczenia odległości do gwiazd

obserwator	gwiazda	zmierzona p ["]	wyznaczona d [pc]	rok
Friedrich Struve	Wega	1/8	8 (7.67)	1837
Friedrich Bessel	61 Cygni	1/3	3 (3.50)	1838
Thomas Henderson	α Centauri	~ 1	~ 1 (1.34)	1838
...	...	...	...	...
Robert Innes Joan Voûte	Proxima Centauri	0.755	1.32 (1.30)	1917

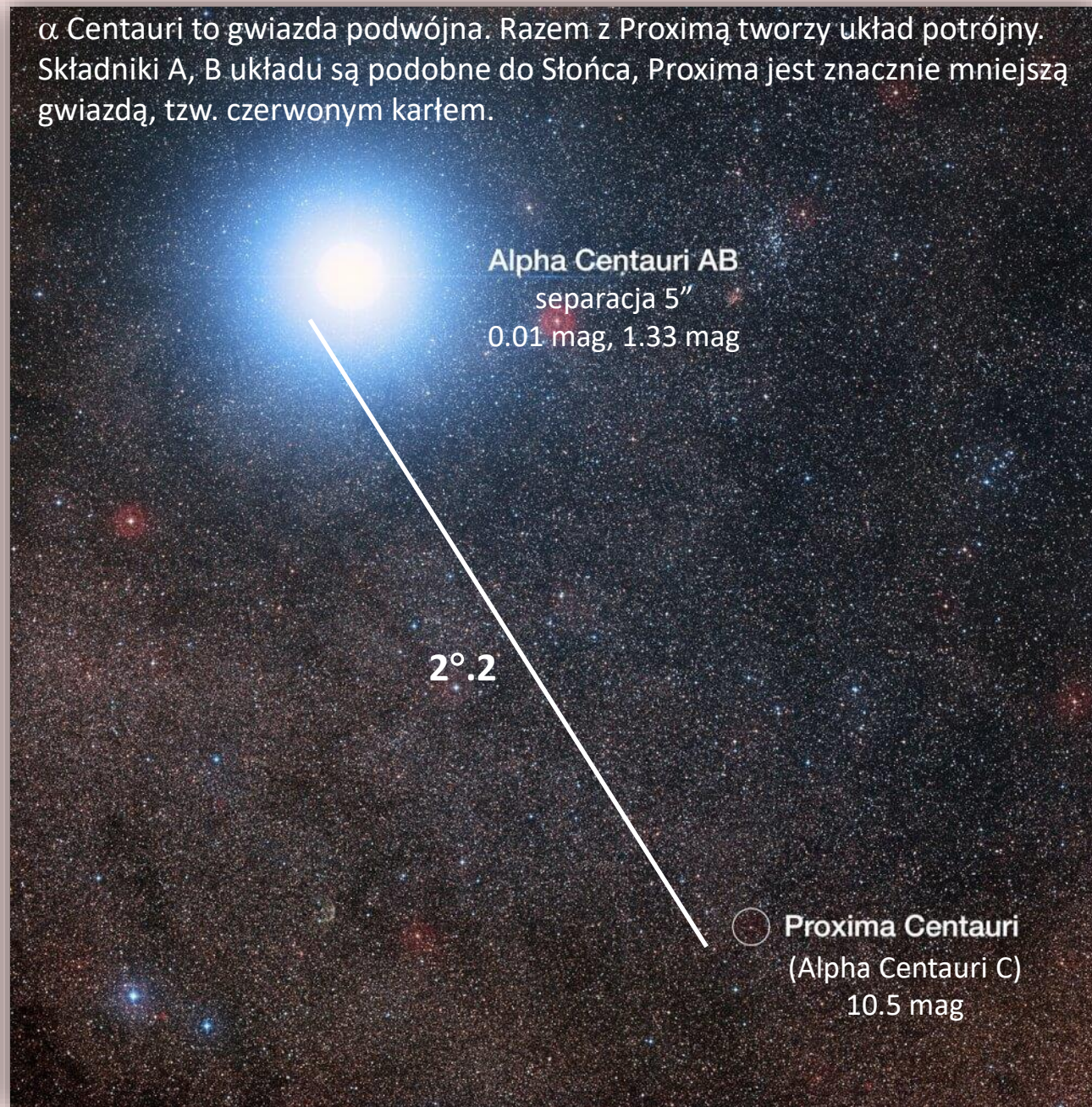
w () odległość wyznaczona współcześnie

lista najbliższych gwiazd: en.wikipedia.org/wiki/List_of_nearest_stars_and_brown_dwarfs

gwiazdy



α Centauri to gwiazda podwójna. Razem z Proximą tworzy układ potrójny. Składniki A, B układu są podobne do Słońca, Proxima jest znacznie mniejszą gwiazdą, tzw. czerwonym karłem.



gwiazdy

Proxima Centauri widziana z
Ziemi i sondy New Horizons,
kwiecień 2020, baza paralaksy
6.4 mld km



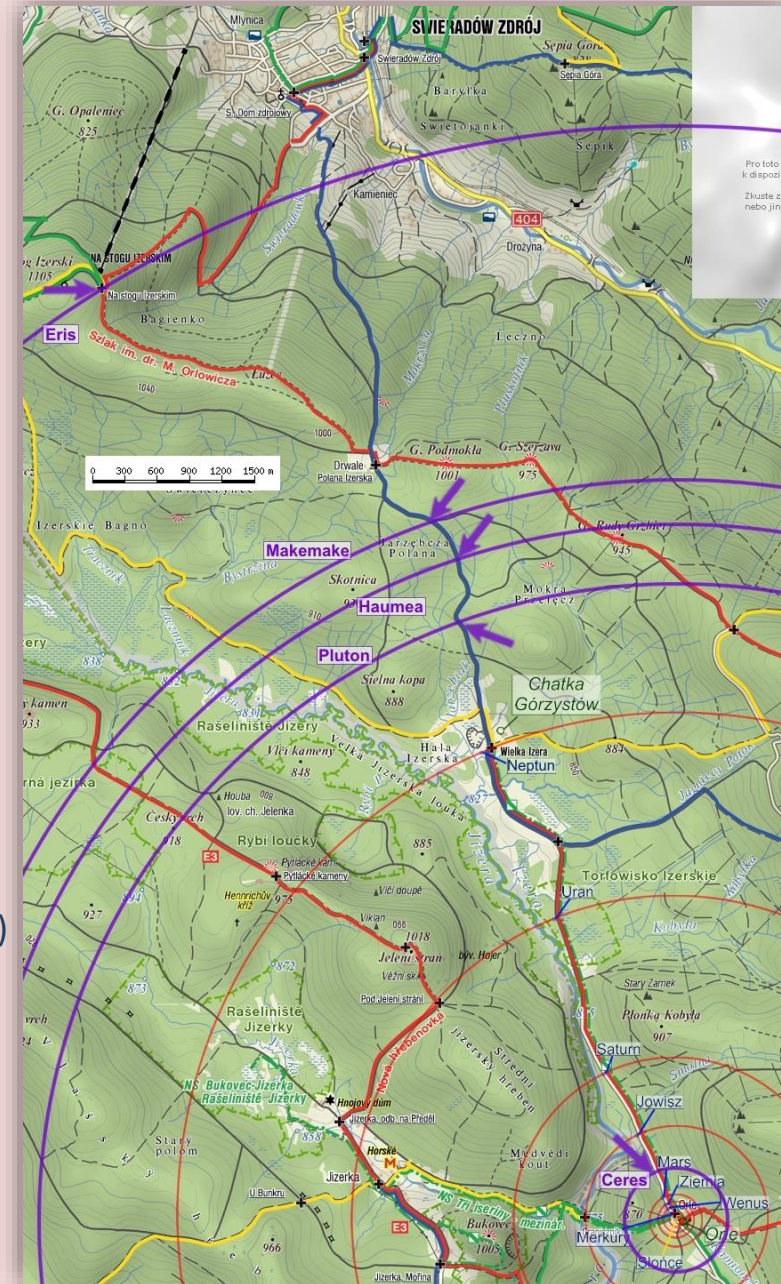
zobacz animację: <https://www.nasa.gov/solar-system/nasas-new-horizons-conducts-the-first-interstellar-parallax-experiment/>

gwiazdy

Model Układu Słonecznego 1:1mld (Góry Izerskie)



- Ziemia – Księżyc 38 cm
- Ziemia – Mars 80 m (minimalnie)
- Ziemia – Słońce 150 m
- Ziemia – Neptun 4.5 km
- Ziemia – Voyager 1 25.5 km
- Ziemia – α Centauri ?? km



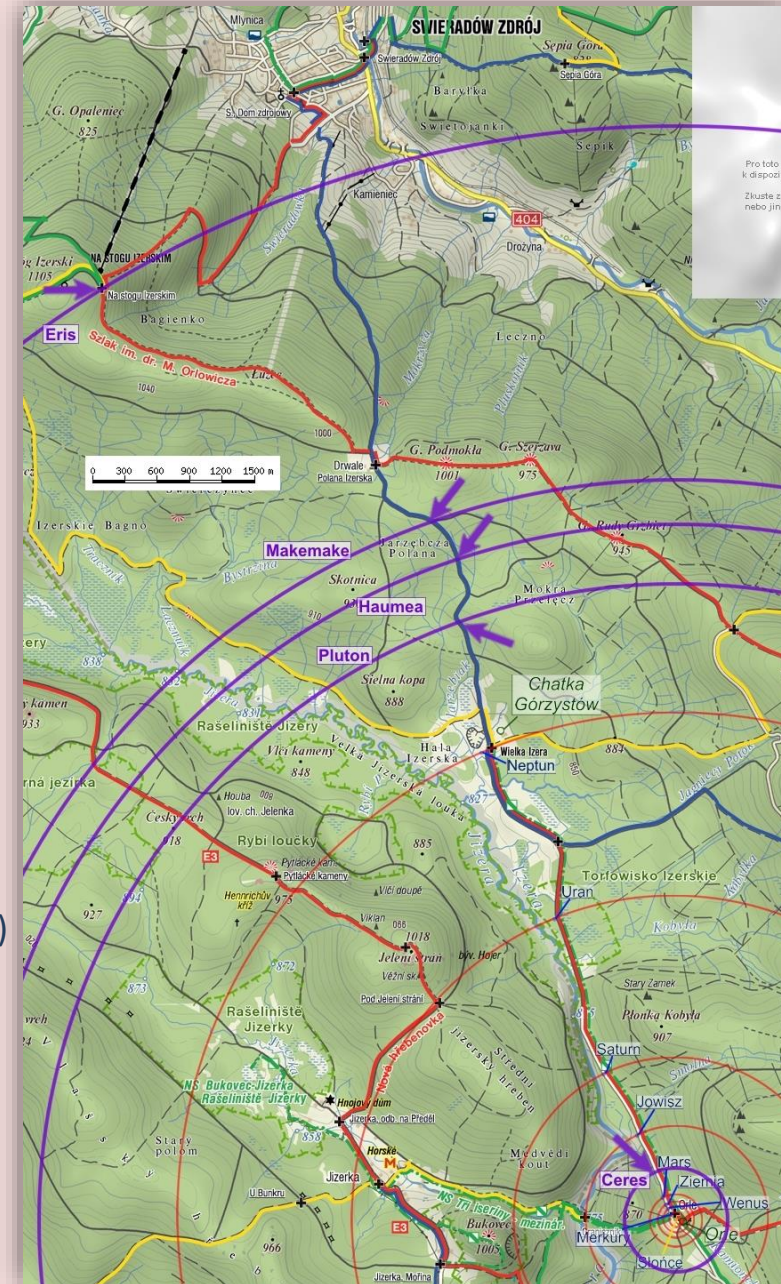
ścieżka planetarna w Górach Izerskich

gwiazdy

Model Układu Słonecznego 1:1mld (Góry Izerskie)



- Ziemia – Księżyc 38 cm
- Ziemia – Mars 80 m (minimalnie)
- Ziemia – Słońce 150 m
- Ziemia – Neptun 4.5 km
- Ziemia – Voyager 1 25.5 km
- Ziemia – α Centauri 40 tys. km



ścieżka planetarna w Górach Izerskich

gwiazdy

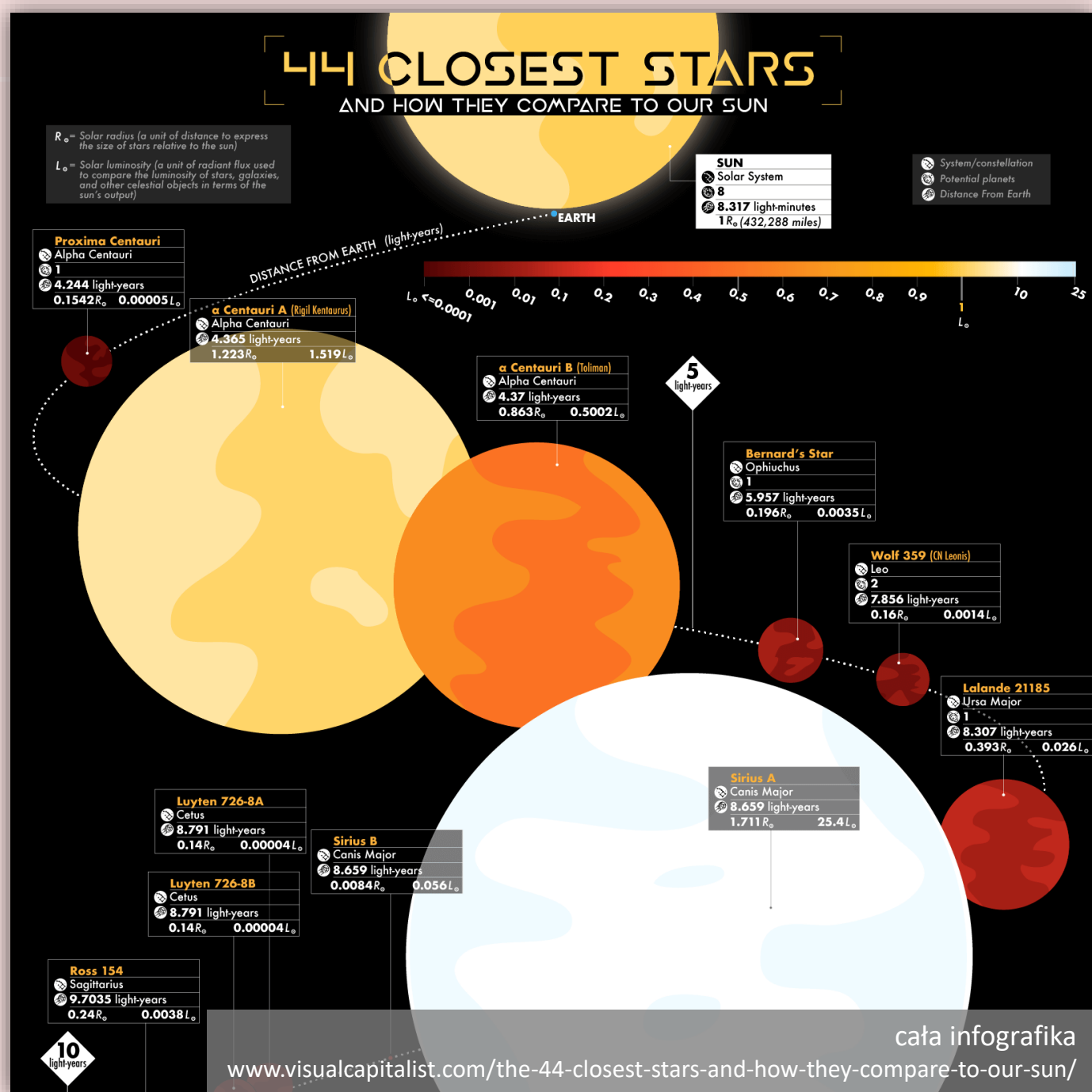
najbliższe sąsiedztwo Słońca

Gwiazdy w najbliższym naszym otoczeniu:

- przeważają gwiazdy mniejsze* od Słońca
- większości z nich nie widać gołym okiem
- duża część gwiazd wchodzi w skład układów podwójnych lub wielokrotnych

Czy Słońce to przeciętna gwiazda?

* mniejsze w sensie rozmiaru i masy. Masa jest decydującym parametrem określającym cechy gwiazdy, np. jej rozmiar i jasność (moc promieniowania).

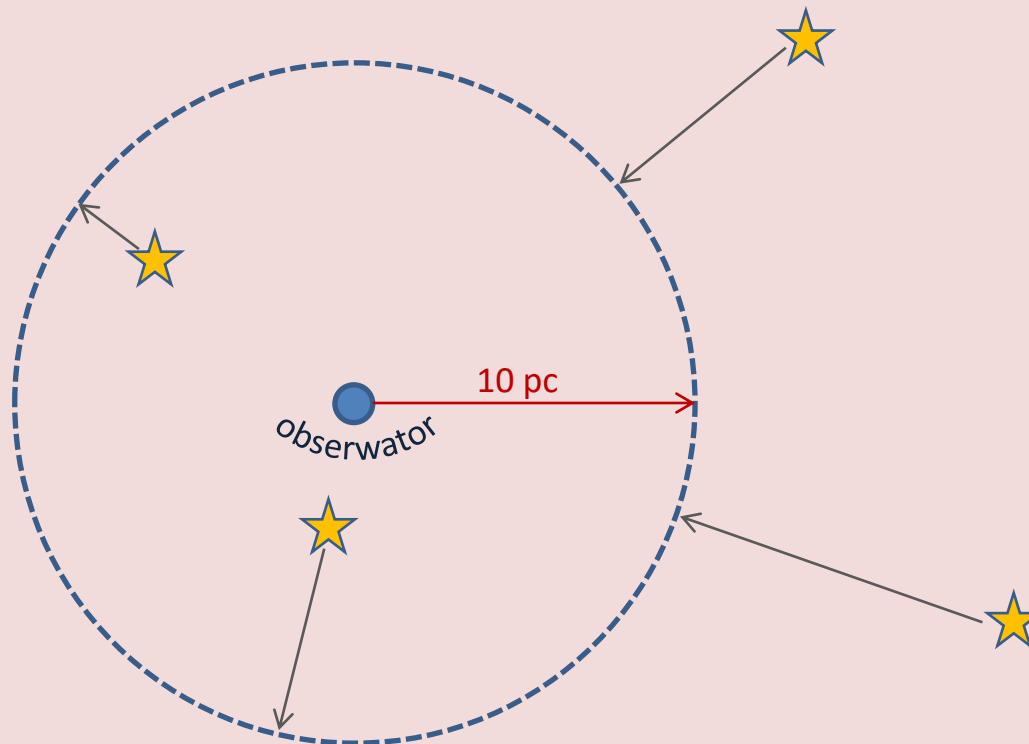


lista najbliższych gwiazd: en.wikipedia.org/wiki/List_of_nearest_stars_and_brown_dwarfs

gwiazdy

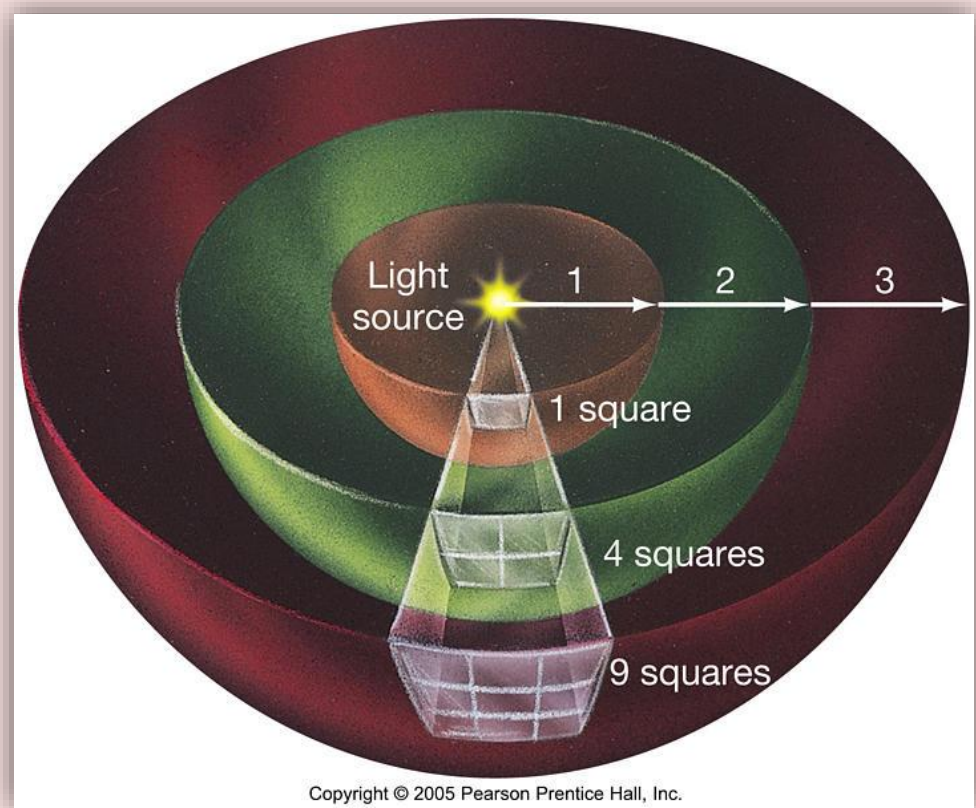
Jasność absolutna

- Aby umożliwić porównanie rzeczywistych jasność gwiazd wprowadzono **jasność absolutną** (absolute magnitude).
- Jasność absolutna, **M**, to jasność gwiazdy (obiektu) **z odległości 10 pc** (10 parseków = 32.6 lat świetlnych).
- Wartość **M** zależy tylko od tego, ile światła (energii) emituje gwiazda (**moc promieniowania**, luminosity, L [W]).



gwiazdy

Jasność absolutna



Obserwujemy dwie gwiazdy 1 i 2

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \frac{f_1}{f_2}$$

Strumień obserwowany (f) zależy od mocy promieniowania (L) i odległości (d) (patrz rys.):

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \frac{L_1}{L_2} \frac{4\pi d_2^2}{4\pi d_1^2} = -2.5 \log \frac{L_1}{L_2} + 5 \log \frac{d_1}{d_2}$$

Jeśli znamy jasności widome i odległości tych gwiazd, to możemy porównać ich moce promieniowania.

gwiazdy

Jasność absolutna

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \frac{L_1}{L_2} + 5 \log \frac{d_1}{d_2}$$

zastosowanie 1.

Niech 1 i 2 to ta sama gwiazda obserwowana z dwóch różnych odległości, $d_1 = d$ i $d_2 = 10$ pc. Wtedy $m_1 = m$, $m_2 = M$, $L_1 = L_2$ oraz:

$$m - M = 5 \log \frac{d}{10} = 5 \log d - 5$$

$$M = m - 5 \log d + 5$$

wielkość $m - M$ to tzw. moduł odległości, d musi być w [pc].

Wzory umożliwiają wyznaczanie M , jeśli znamy m i d lub wyznaczenie d jeśli znamy M i m .

Uwaga: zaniedbane zostało osłabienie światła gwiazdy w wyniku ekstynkcji międzygwiazdowej.

zastosowanie 2.

Niech 1 i 2 to dwie różne gwiazdy obserwowana z tej samej odległości $d_1 = d_2 = 10$ pc.

Wtedy: $m_1 = M_1$, $m_2 = M_2$, oraz:

$$M_1 - M_2 = -2.5 \log \frac{L_1}{L_2}$$

fotometria

Najjaśniejsze gwiazdy (zdecydowana większość z nich jest większa od Słońca i ma większą L)

	nazwa	jasność widoma [mag]	jasność absolutna [mag]	L/L_s	odległość [lata świetlne]
0	Słońce	−26.73	4.83	1.0	0.000 016
1	Syriusz	−1.47	1.42	25	8.6
2	Kanopus	−0.74	−5.71	10 700	310
3	Rigil Kentaurus, Toliman	−0.27	4.10	1.5 + 0.5	4.4
4	Arktur	−0.05	−0.30	170	37
5	Wega	0.03	0.58	40.1	25
6	Capella	0.08	−0.48	79 + 73	43
7	Rigel	0.11	−7.84	120 000	860
8	Procjon	0.34	2.66	7.0	11
9	Achernar	0.43	−1.46	3150	140
10	Betelgeza	0.50	−5.85	126 000	550

listanajjaśniejszych gwiazd: en.wikipedia.org/wiki/List_of_brightest_stars

gwiazdy

najbliższe sąsiedztwo Słońca

Gwiazdy w najbliższym naszym otoczeniu:

- przeważają gwiazdy mniejsze od Słońca
- większości z nich nie widać gołym okiem
- ich jasności absolutne i moce promieniowania są mniejsze od słonecznych
- duża część gwiazd wchodzi w skład układów podwójnych lub wielokrotnych

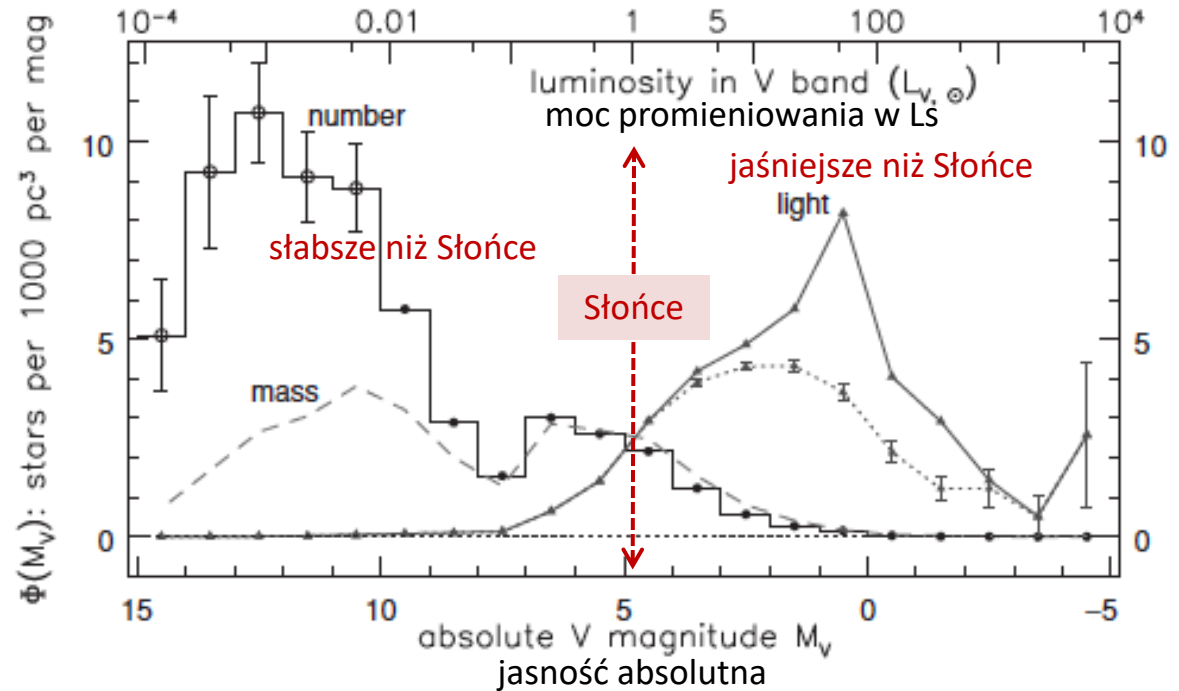


Fig. 2.3. The histogram shows the luminosity function $\Phi(M_V)$ for nearby stars: solid dots from stars of Figure 2.2, open circles from Reid *et al.* 2002 *AJ* 124, 2721. Lines with triangles show $L_V \Phi(M_V)$, light from stars in each magnitude bin; the dotted curve is for main-sequence stars alone, the solid curve for the total. The dashed curve gives $M \Phi_{MS}(M_V)$, the mass in main-sequence stars. Units are $L_\odot$ or $M_\odot$ per 10 pc cube; vertical bars show uncertainty, based on numbers of stars in each bin.

Czy to można uogólnić na całą Galaktykę? Tak

Czy Słońce to przeciętna gwiazda? Nie – w sensie ilości gwiazd podobnych do Słońca (o masie podobnej). Takie gwiazdy to ok. 4% gwiazd w Galaktyce. 92% gwiazd to gwiazdy mniej masywne od Słońca, 4% gwiazd – bardziej masywne od Słońca.