

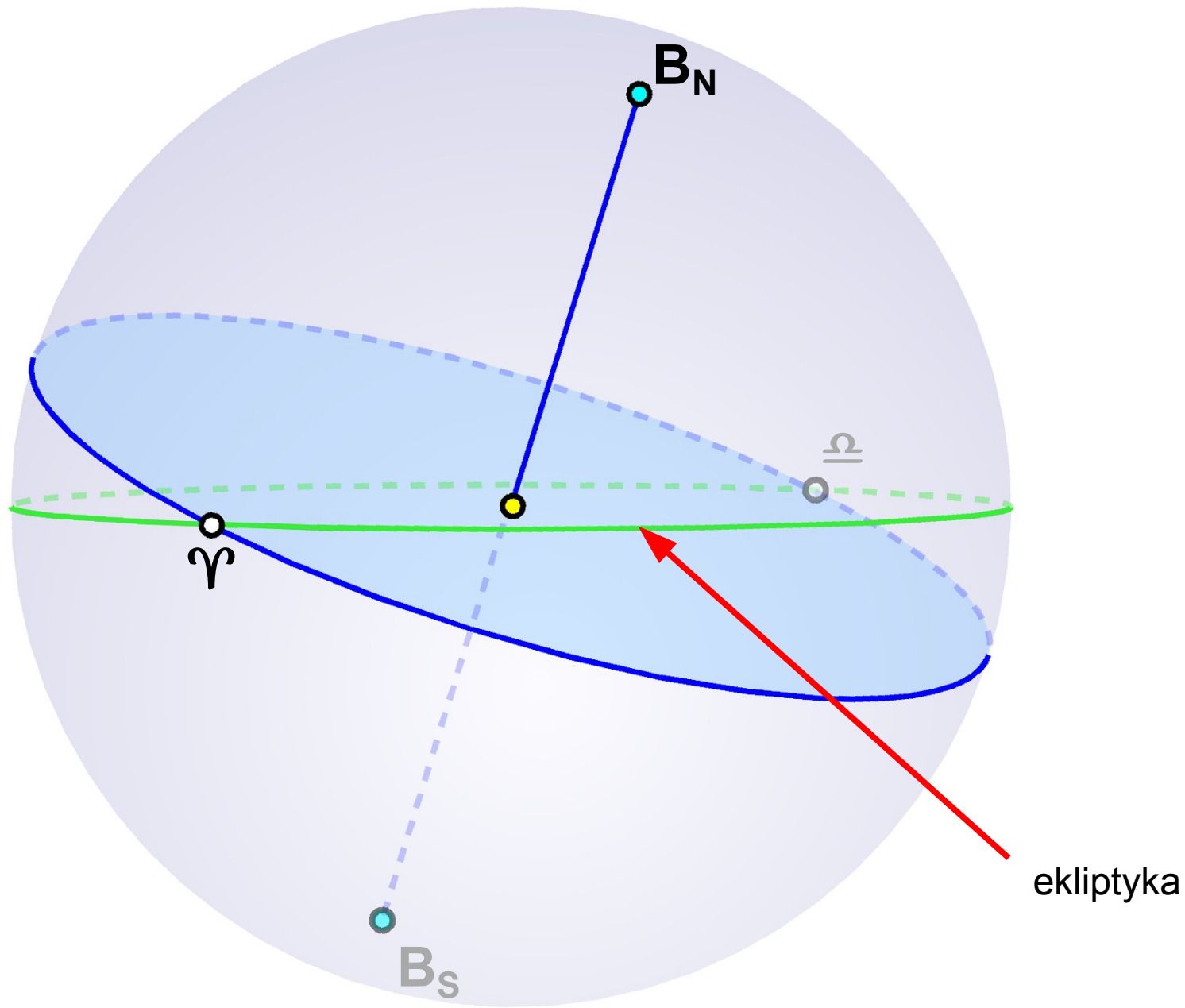
Wykład udostępniam na licencji Creative Commons:



Zjawiska zmieniające współrzędne ciał niebieskich.

Piotr A. Dybczyński

Uzupełnienie – układ ekliptyczny



Układ ekliptyczny

północny
biegun ekliptyki

szerokość
ekliptyczna

oś prostopadła
do płaszczyzny
orbity Ziemi

ekliptyka

długość
ekliptyczna

λ

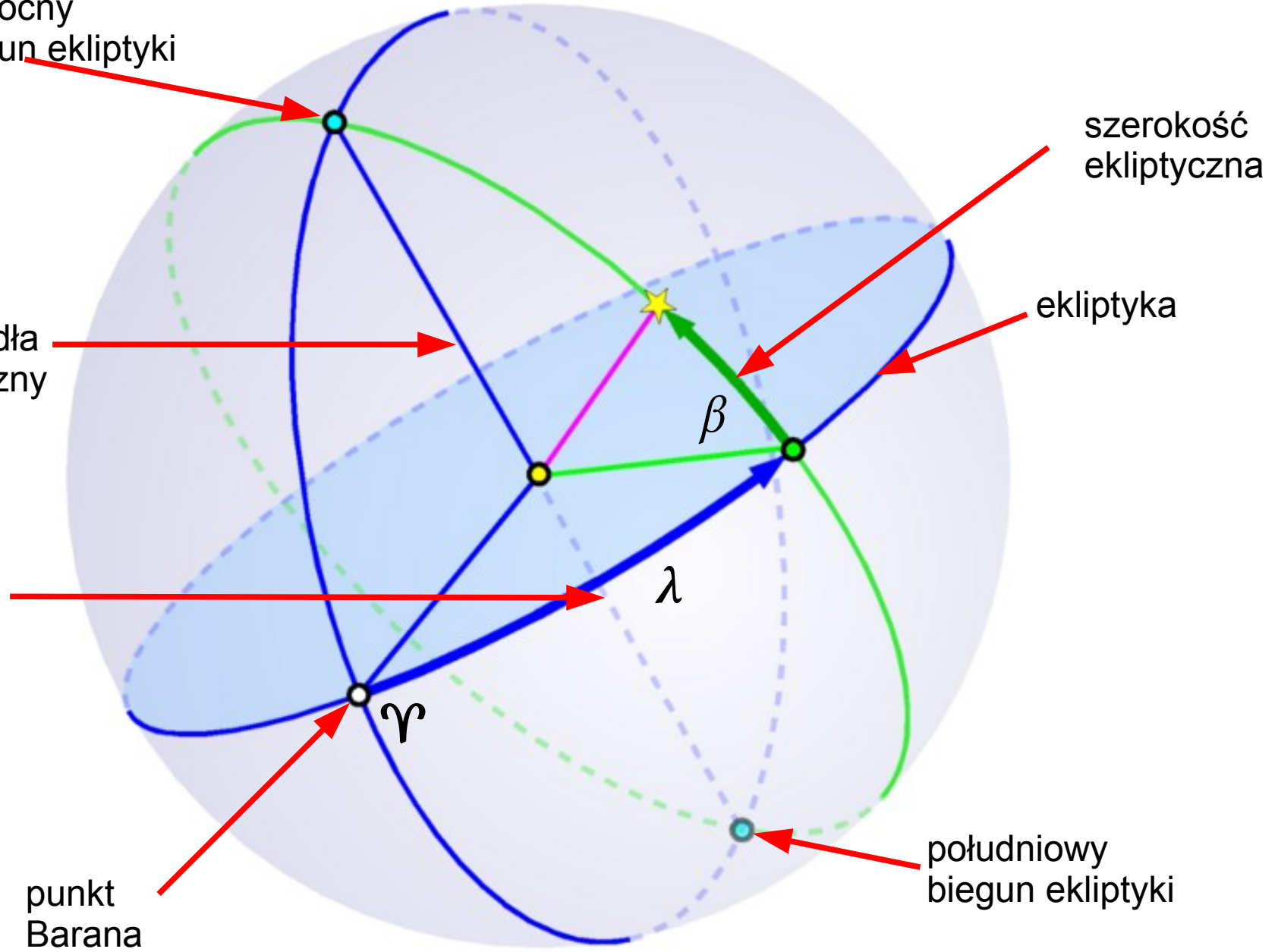
β

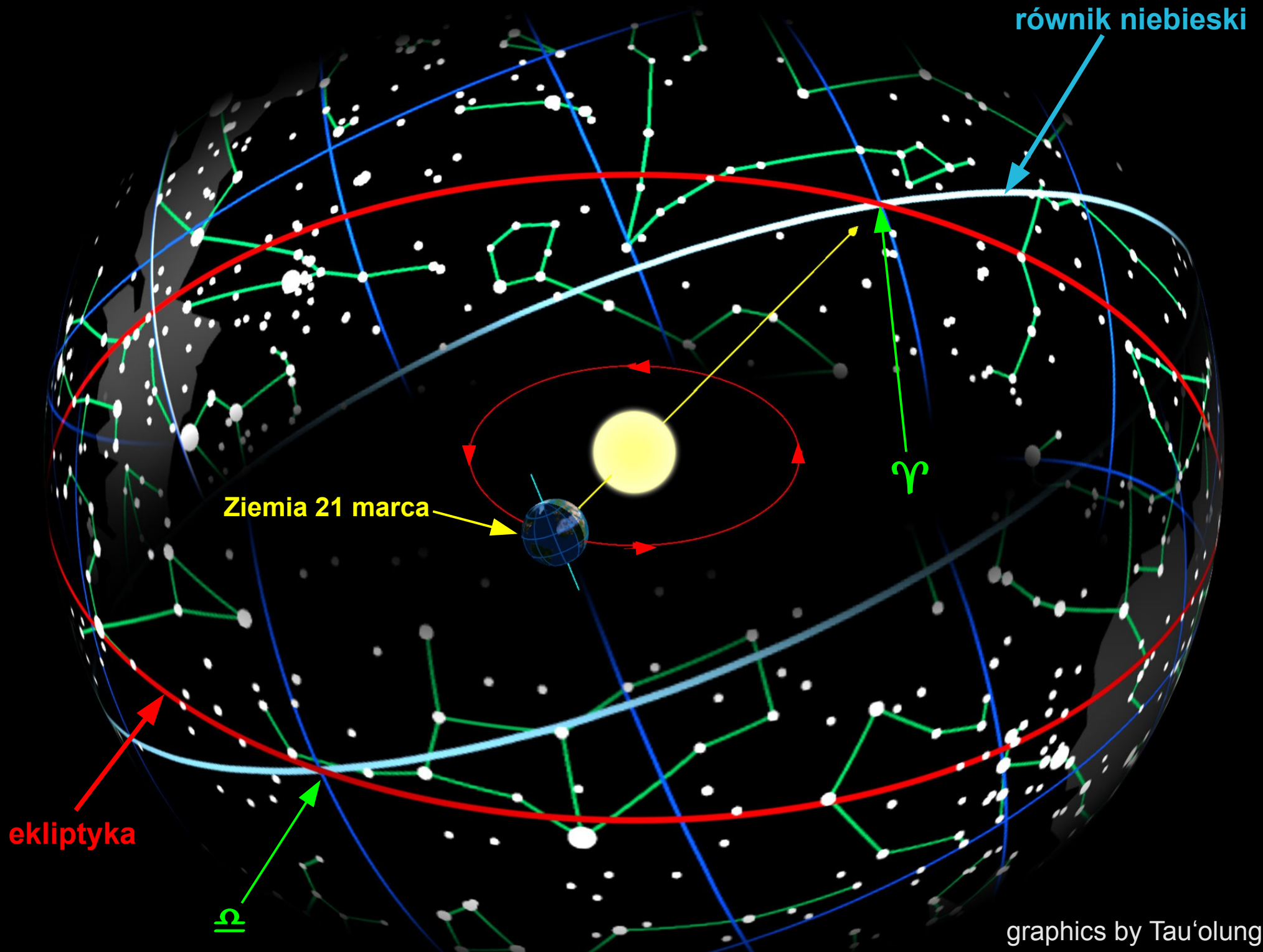
punkt
Barana

południowy
biegun ekliptyki

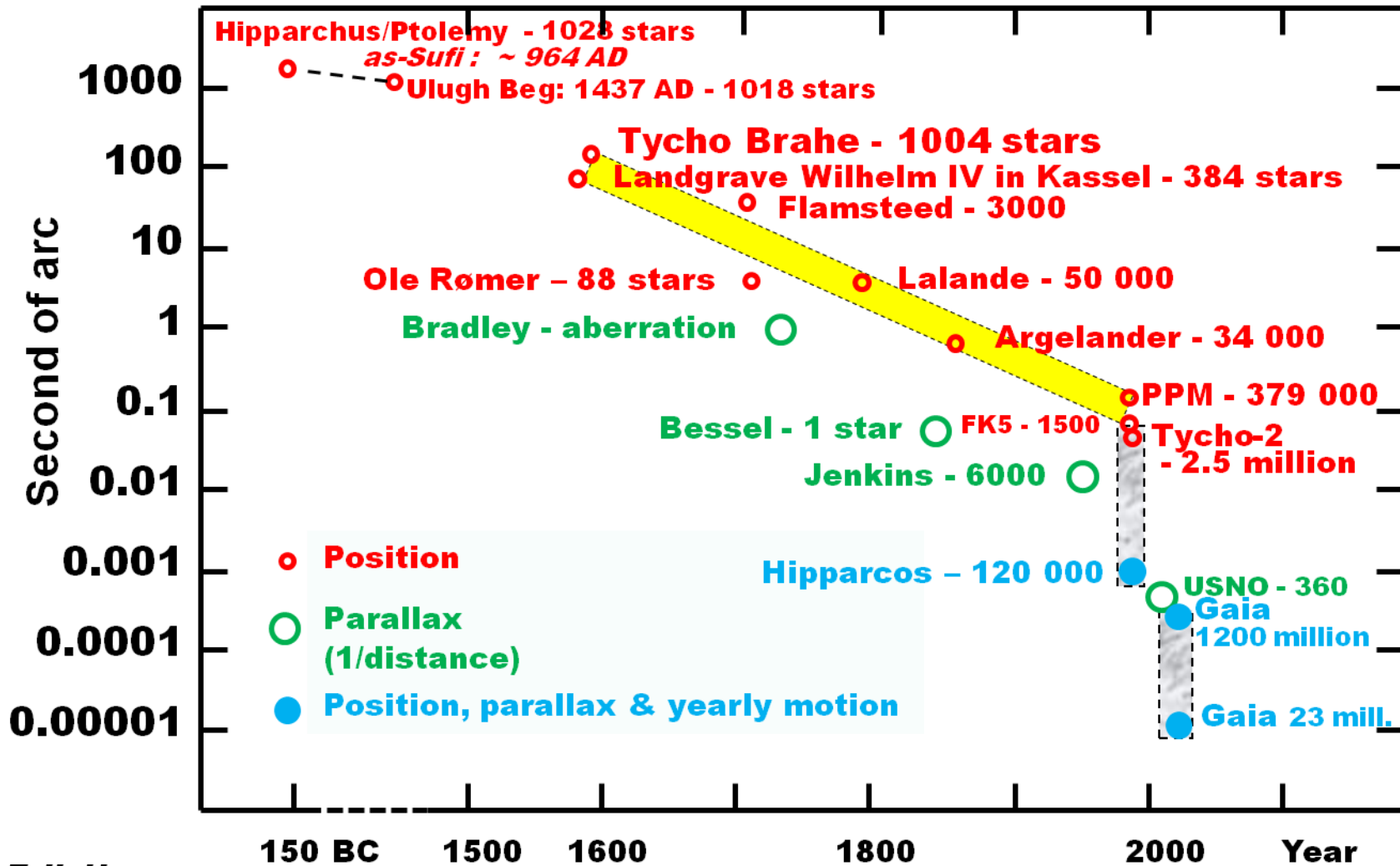
γ

Jest to układ prawoskrętny



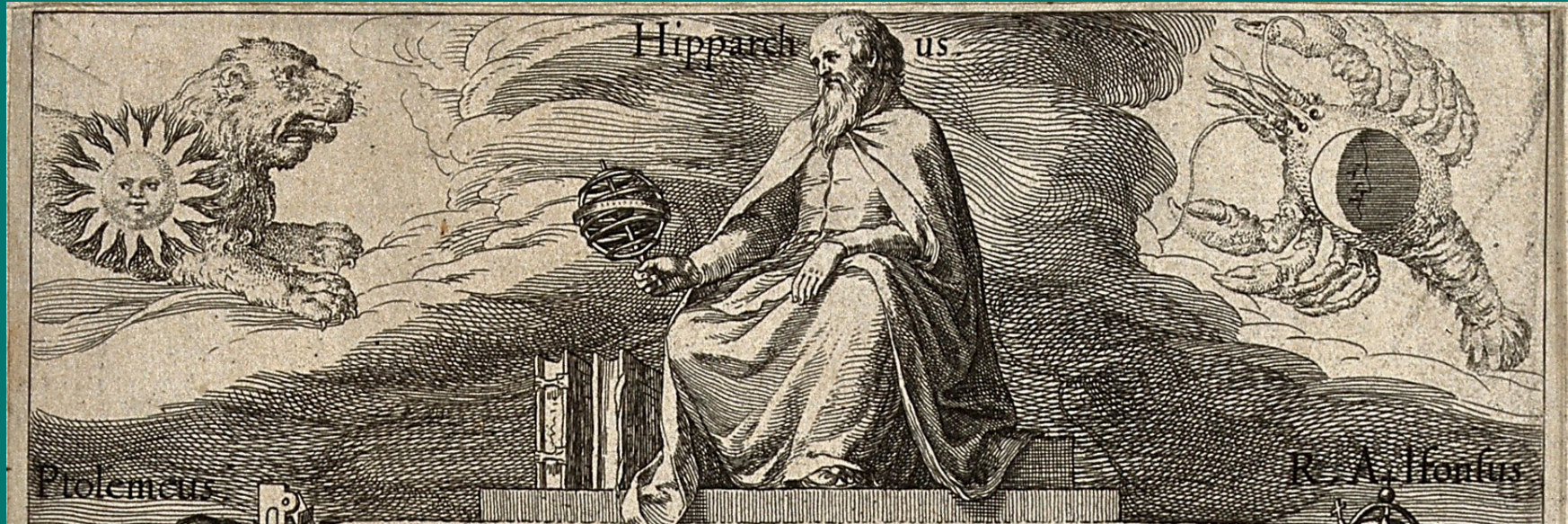


Astrometric Accuracy during 2000 Years



Erik Høg
1995/2016

Precesja



Fragment alegorycznej okładki *Tabulae frisicae...* Engraving by G. van der Gouwen, 1611

Hipparchos (ok. 190 – 120 BC) – katalog gwiazd i odkrycie precesji Punktu Barana

Porównał długość ekliptyczną gwiazdy Kłosa Panny (Spica, α Vir) z wartościami Wyznaczonymi 150 lat wcześniej przez Timocharisa i Aristillosa i stwierdził różnicę Około dwa stopnie. Inne gwiazdy miały podobne różnice w długości ekliptycznej Natomiast nie wykazywały różnic w szerokości ekliptycznej. Próbował, ale nieskutecznie, wyznaczyć również zmiany precesyjne w nachyleniu ekliptyki do równika niebieskiego.



Almagest,
a w nim katalog ekliptycznych
pozycji 1022 gwiazd, głównie
oparty o obserwacje Hipparchosa.

Pierwsze tłumaczenie z greckiego z 1515 roku do pobrania:
https://www.univie.ac.at/hwastro/rare/1515_ptolemae.htm

Wyliczając pozycje gwiazd na rok
150 AD Ptolemeusz zastosował
wprost poprawkę na precesję
w długości oszacowaną przez
Hipparchosa.

Ptolemeusz, ok. 100 – 169 AD

Dokładność obserwacji wizualnych

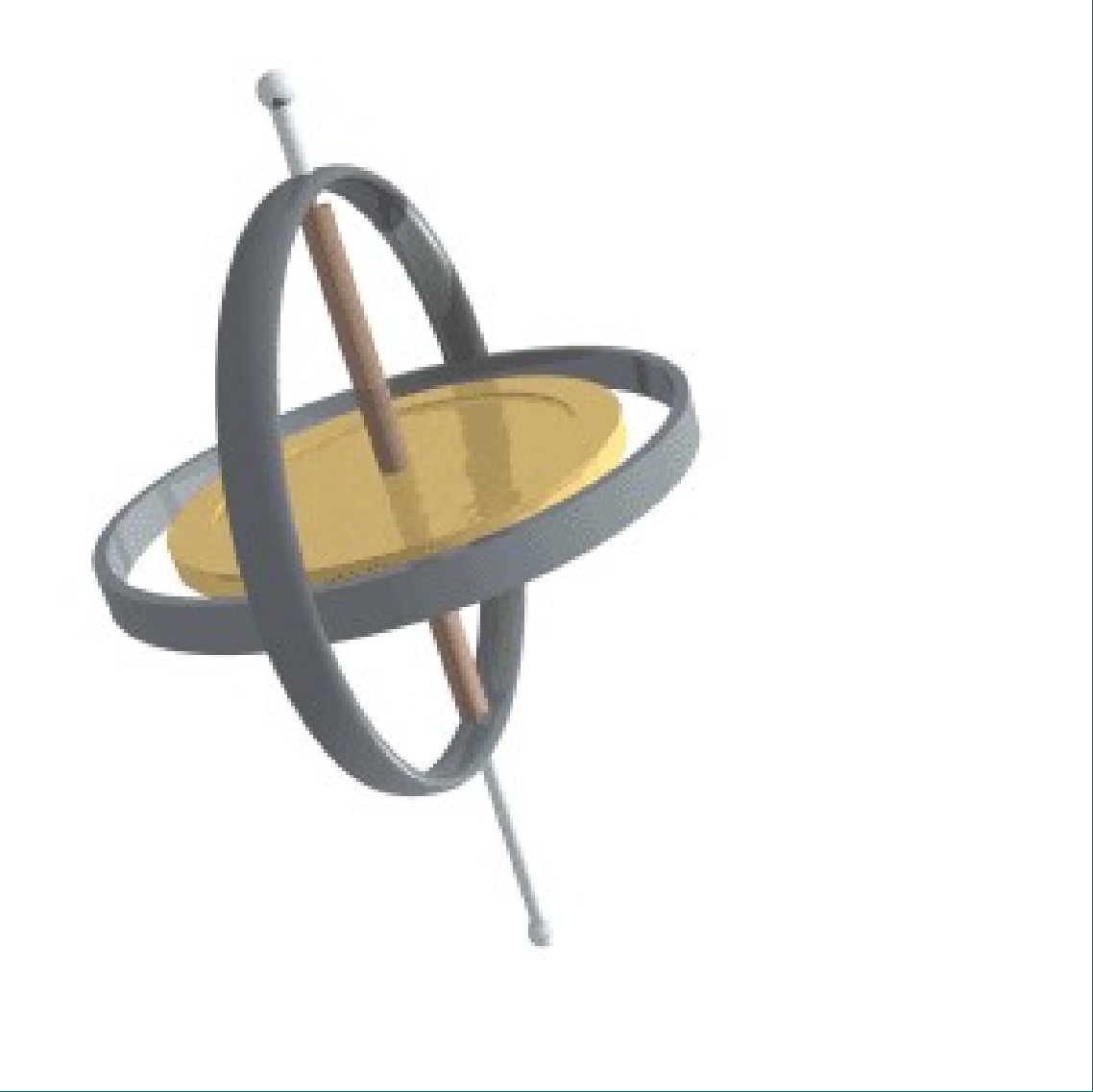
Ptolemaios	about 100 A.D.	$\pm 500''$
Tycho Brahe	1600	100''
Hevelius	1680	18''
Bradley	1750	2''
Bessel	1825	0.7''

Wyznaczenie stałej precesji na 1850.0

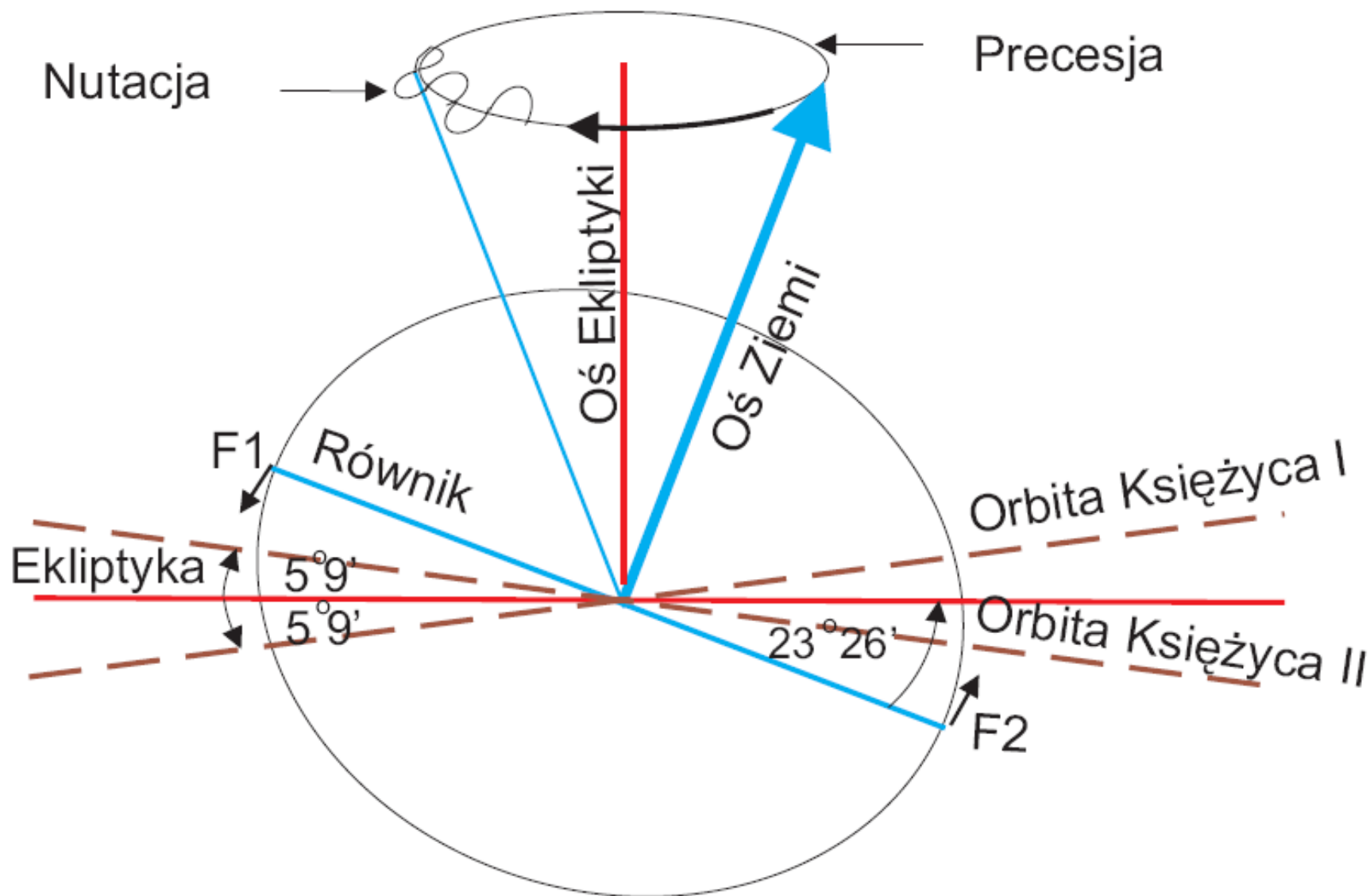
Bessel, Tab. Reg.	5023.46
O. Struve-Peters	5025.22
Leverrier	5023.57
L. Struve	5022.83
Newcomb	5024.53.

Precesja lunisolarna a planetarna

- Płaszczyzny ekliptyki i równika niebieskiego są używane jako płaszczyzny odniesienia a linia ich przecięcia wyznacza kierunek na Punkt Barana.
- Ponieważ płaszczyzny te są w ruchu, musimy uwzględnić jego wpływ na współrzędne astronomiczne.
- Zmiany orientacji ekliptyki są spowodowane oddziaływaniem innych planet Układu Słonecznego. Zjawisko to nazywamy precesją planetarną.
- Gdyby płaszczyzna równika niebieskiego była nieruchoma to precesja planetarna powodowałaby przesunięcie Punktu Barana o 12" na sto lat oraz zmniejszenie nachylenia ekliptyki do równika o 47" na sto lat.
- Ruch płaszczyzny równika niebieskiego wynika z oddziaływania Słońca, Księżyca oraz (znacznie mniejszego) planet na rotację niesferycznej Ziemi.
- Ten ruch składa się z precesji lunisolanej oraz nutacji.
- Precesja lunisolarna to powolny, prawie jednostajny ruch Punktu Barana po równiku w tempie 55" na rok.
- Nutacja to krótkookresowe wahania o amplitudzie 9" i okresie 18.6 lat.



Precesja lunisolarna i nutacja



Siły grawitacyjnego przyciągania wywierane przez Słońce i Księżyc na Ziemię usiłują ustawić równik Ziemi w płaszczyźnie ekliptyki, nachylonej w stosunku do równika pod kątem około 23° .

Wypadkowy ruch precesyjny osi obrotu Ziemi odbywa się wokół osi ekliptyki.

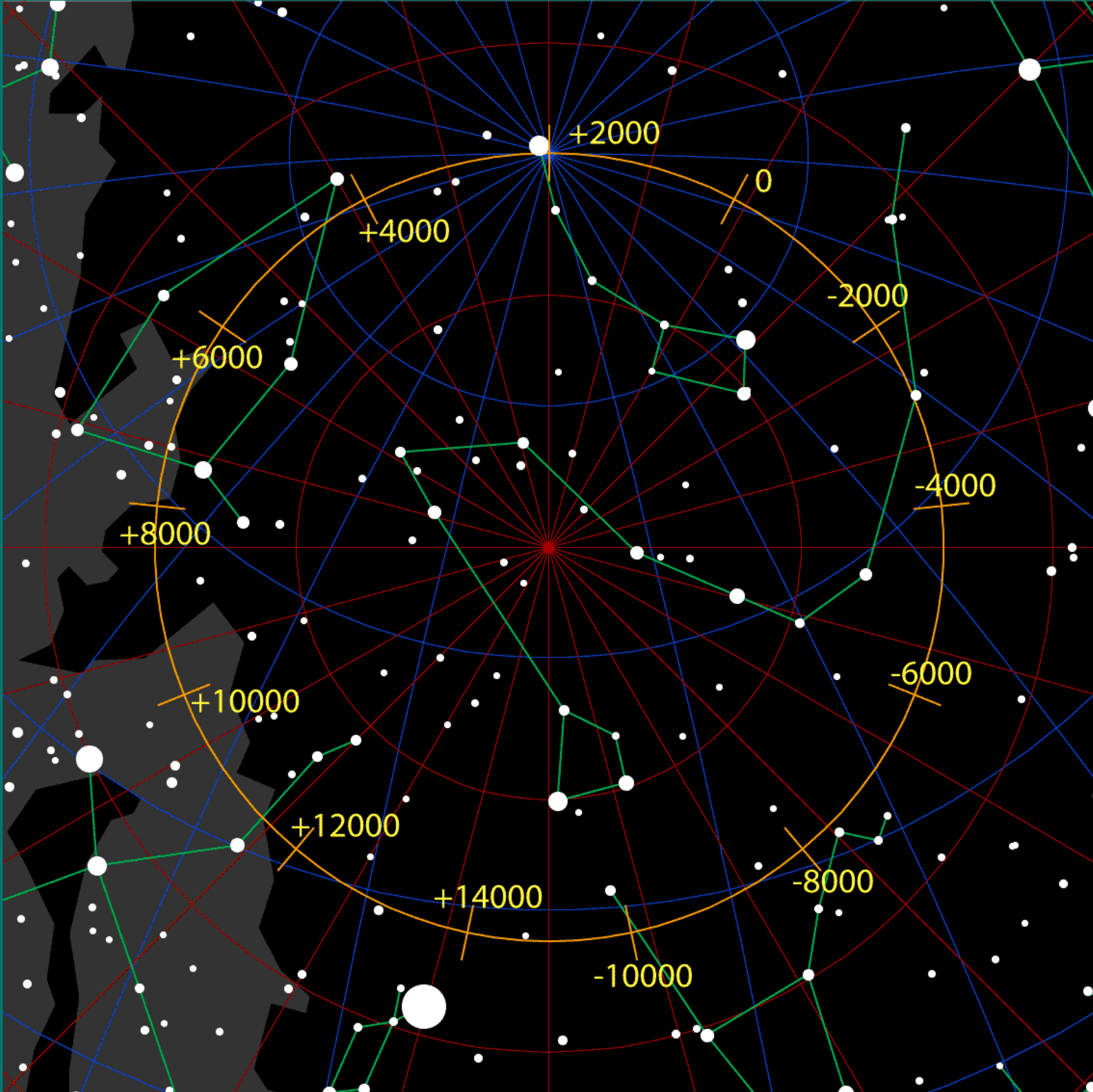
Jest on bardzo powolny, pełen obieg precesyjny osi Ziemi wokół osi ekliptyki trwa około 26000 lat.

W swoich skrajnych położeniach orbita Księżyca nachylona jest raz pod kątem $+5.9^\circ$, a po 9.3 latach, pod kątem -5.9° do ekliptyki.

Zmieniające się nachylenie orbity Księżyca powoduje tzw. nutację osi obrotu Ziemi. Jest to krótkookresowy, sinusoidalny ruch o amplitudzie ok. $9''$ i okresie 18.6 lat, nałożony na ruch precesyjny.

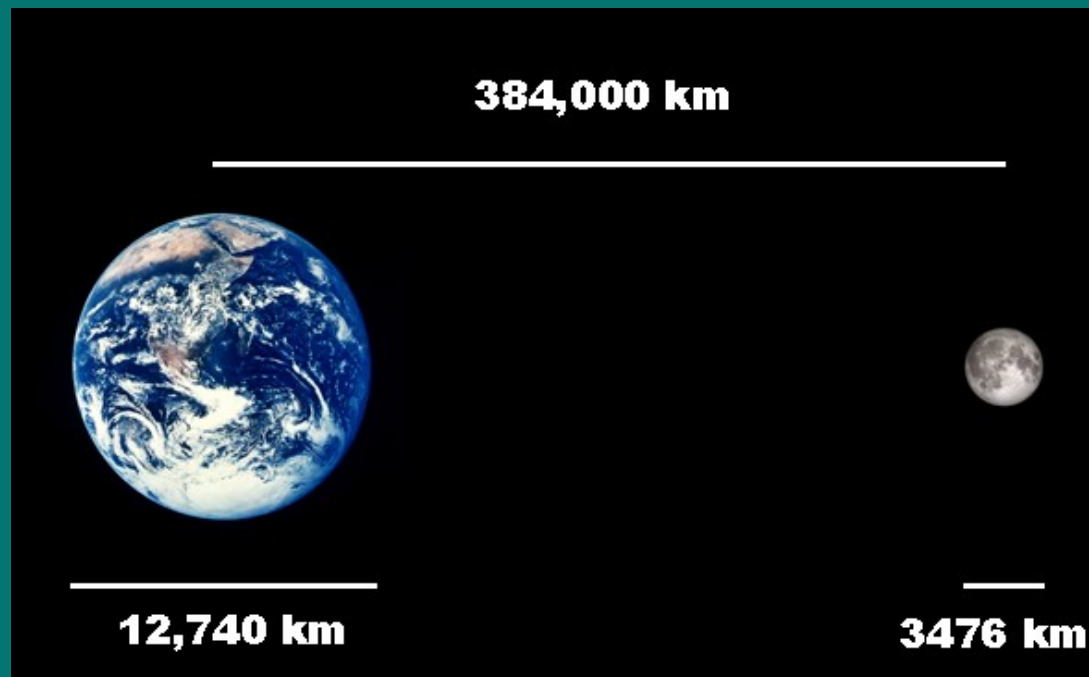
Punkt Barana, wskutek precesji, cofa się po ekliptyce z prędkością około 50'' rocznie i pełnego obiegu ekliptyki dokonuje raz na 26 tysięcy lat.

Od punktu Barana liczymy rektascensję, a więc precesja i nutacja zmieniają współrzędne równikowe obiektów na sferze niebieskiej.



Rysunek:
Tau'olunga

Odległości w astronomii



Jednostka astronomiczna (AU)

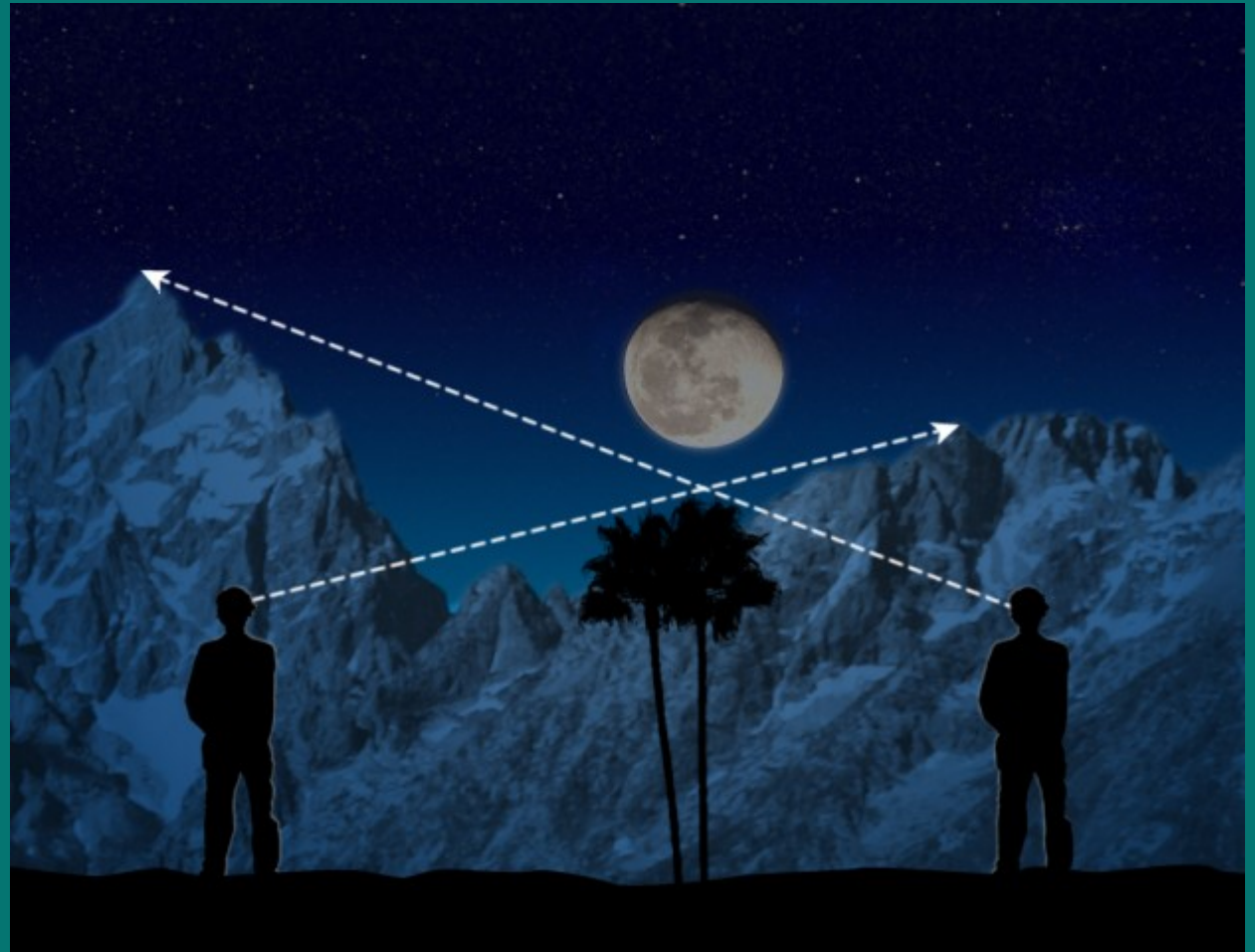
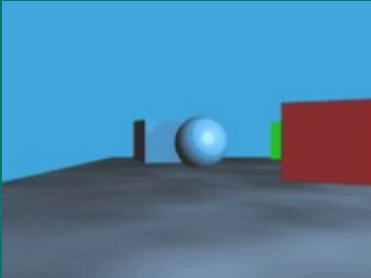




średnica orbity Neptuna:

60 AU
 9×10^{12} m

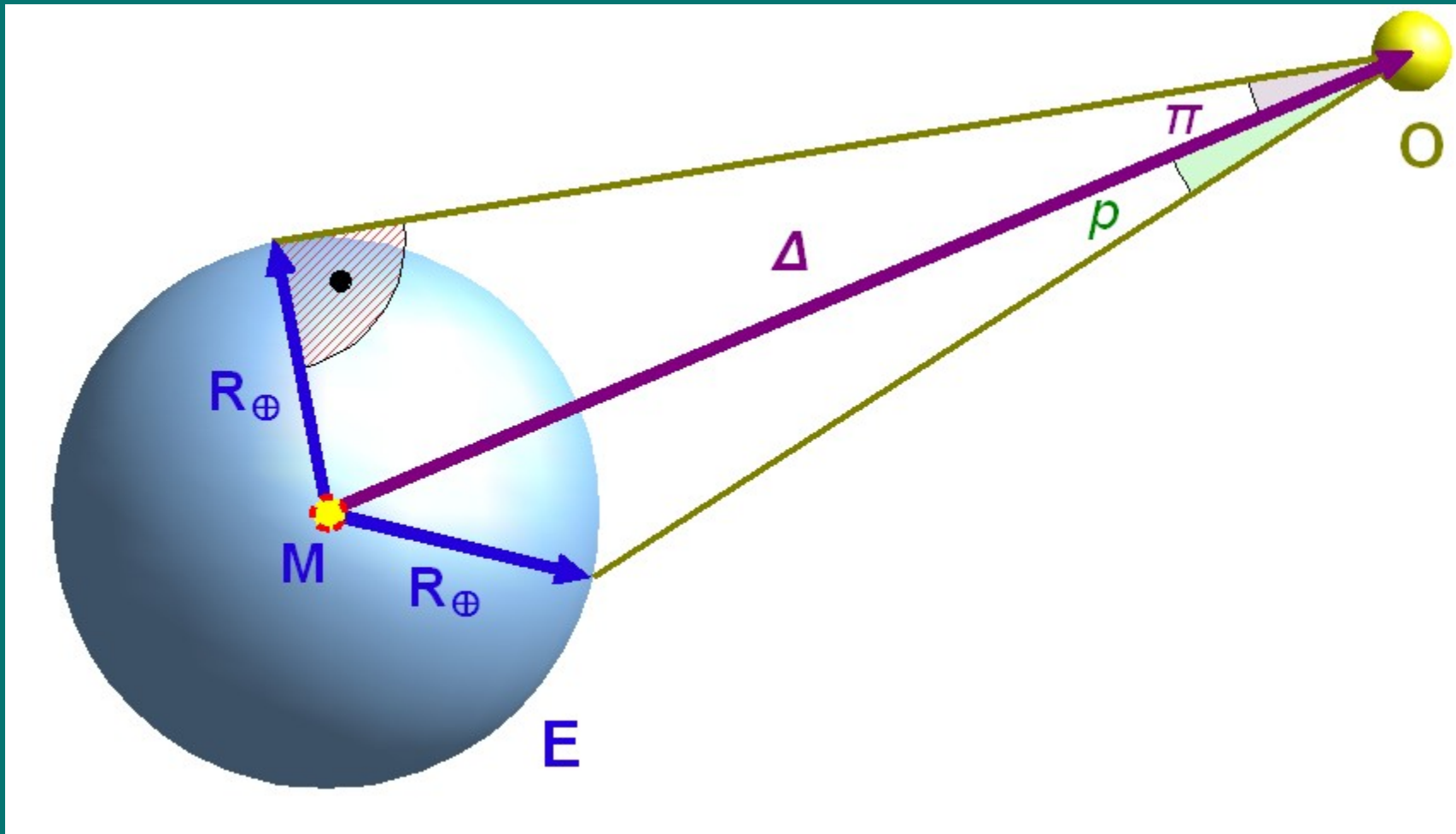
Paralaksa





**Dalmierz paralaktyczny
na polskim niszczycielu
ORP Wicher (1939)**

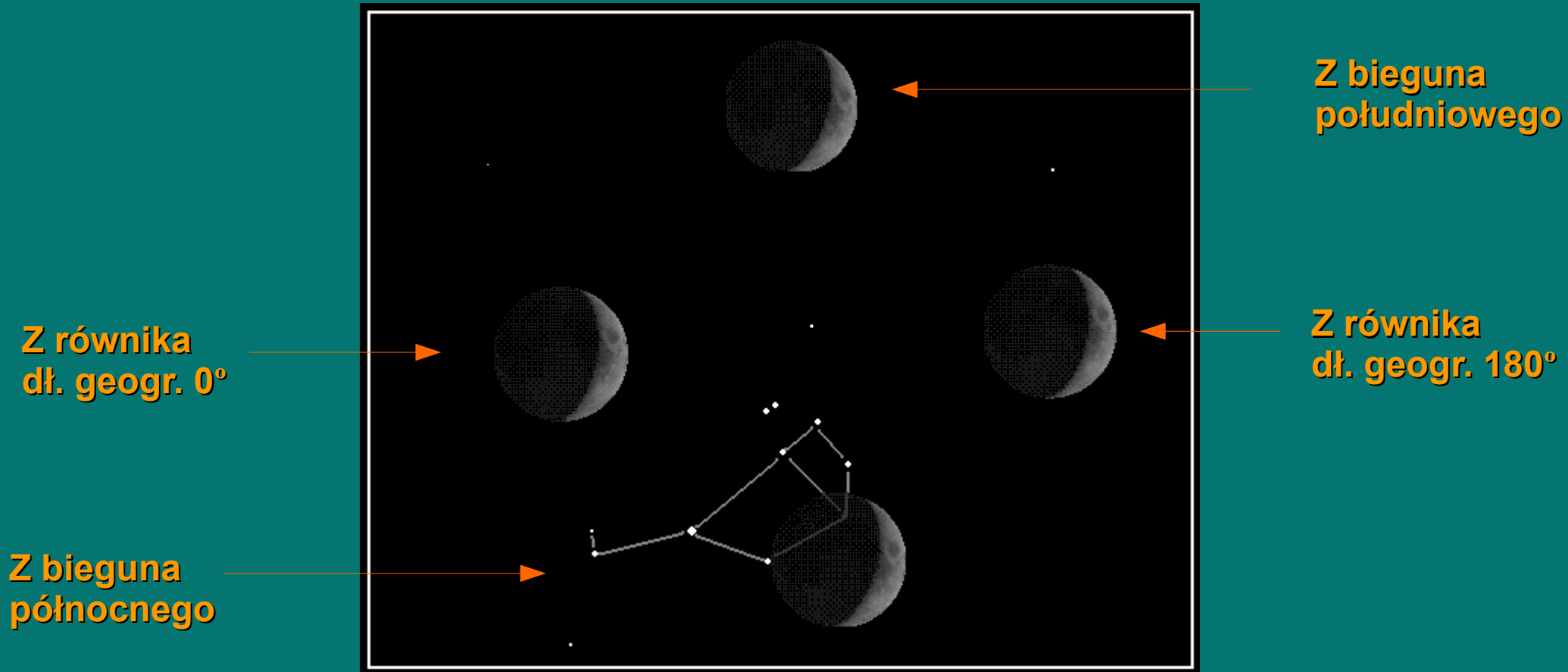
Paralaksa dobowa (geocentryczna)



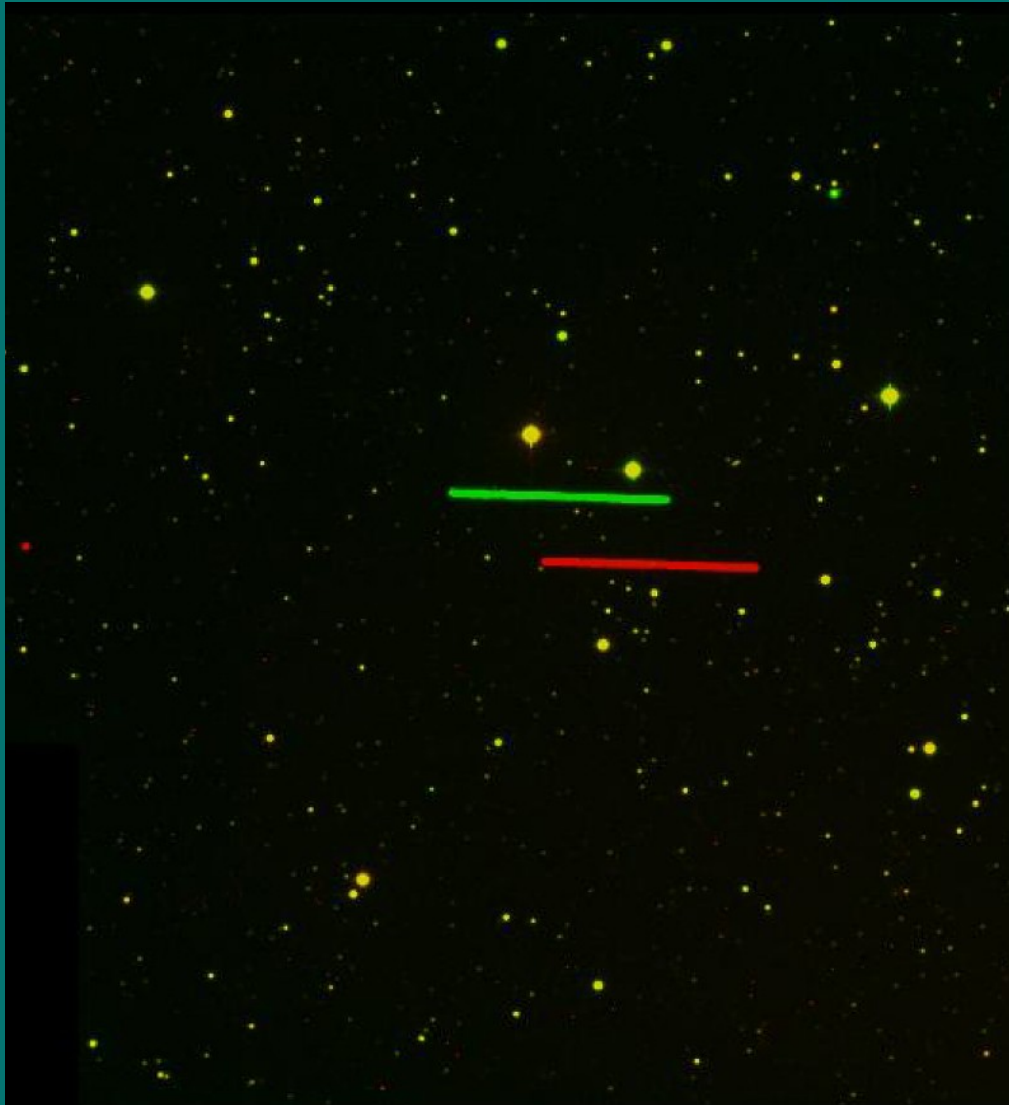
ρ – kąt paralaktyczny (przesunięcie paralaktyczne), π – paralaksa, czyli maksymalny możliwy kąt paralaktyczny (zakładając stałą odległość).

- **Księżyc jest najbliższym Ziemi obiektem i jego paralaksa dobową mierzona i uwzględniana była już przez Hiparchosa i Ptolomeusza.**
- **Paralaksa dobową Księżyca może przekraczać 1° .**
- **Paralaksa dobową Słońca wynosi 8.794 sekundy łuku, dla planet to pojedyncze sekundy lub mniej, dla gwiazd to wartości niemierzalne.**

Paralaksa dobowa



Pozycja Księżyca blisko Plejad z czterech miejsc na Ziemi,
22 marca 1988, 10:42 UT



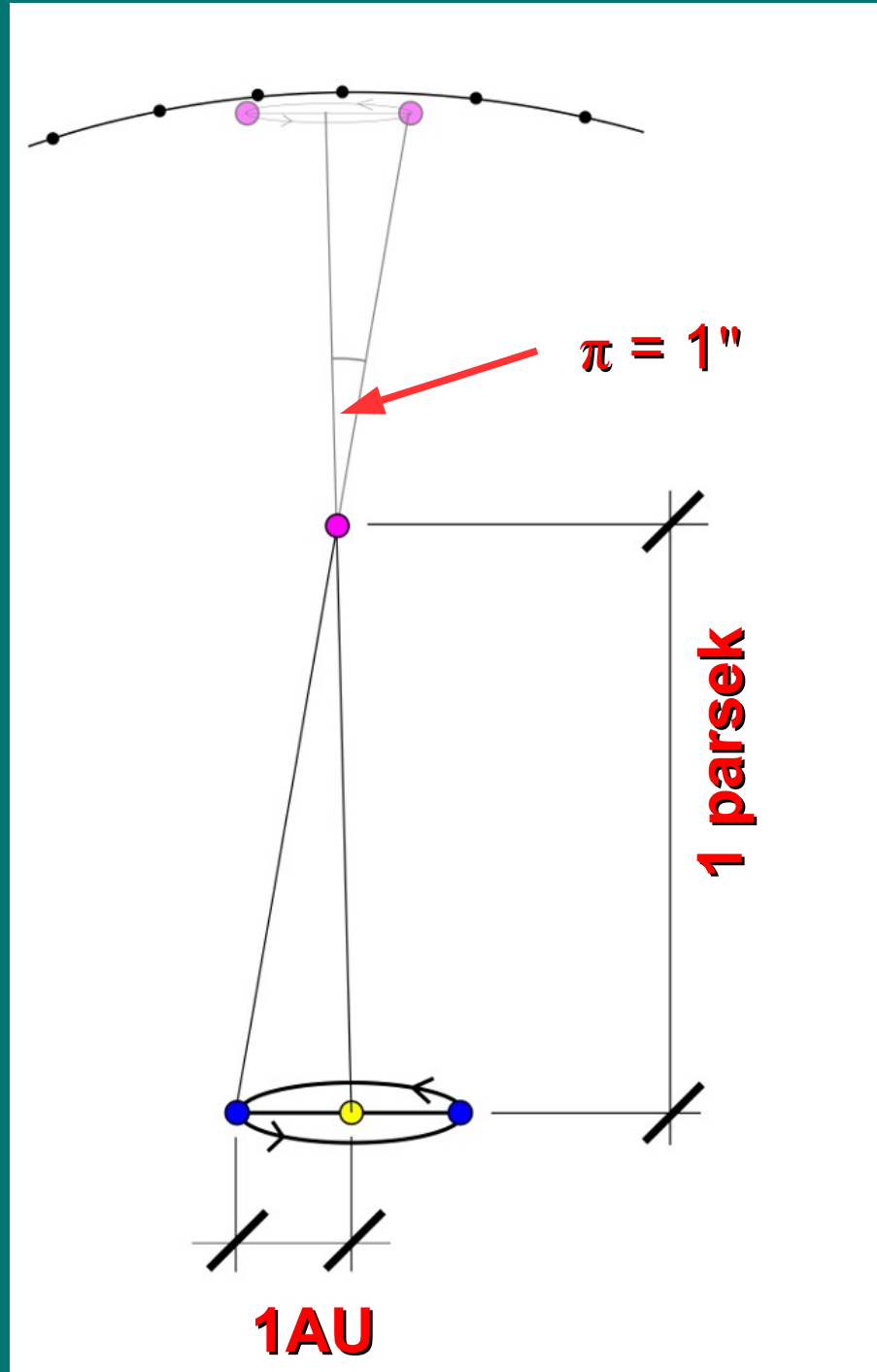
The Parallax of Asteroid (4179) Toutatis
(ESO/MPG 2.2-m + WFI
VLT KUEYEN + FORS 1)



- **Dwie, nieomal
jednoczesne obserwacje
planetoidy Toutatis
29 września 2004
teleskopami ESO:**
- **czerwona - Paranal**
- **zielona - LaSilla**
- **odległość teleskopów:
513 km**
- **przesunięcie na niebie:
40"**
- **wyliczona (poprawnie)
odległość planetoidy:
1 607 900 km.**

Paralaksa roczna

1 parsek = 206265 AU
= 3.1×10^{16} m
= 3.26 ly



„Polowanie” na paralaksę

- Pojawienie się teorii heliocentrycznej uświadomiło astronomom, że istnieje znacznie większa baza dla trygonometrycznych pomiarów odległości – średnica orbity Ziemi.
- Tycho de Brahe odrzucił teorię heliocentryczną nie mogąc zmierzyć paralaksy rocznej gwiazd.
- Pierwszą paralaksę gwiazdy opublikował dopiero Friedrich Bessel w roku 1838. Do teleskopowych pomiarów użył heliometru. Dla 61 Cygni podał wartość 0.314 arcsec. Wcześniej pomiaru dla Vegi dokonał Struve.
- Paralaksy gwiazd pierwszy prawdopodobnie zmierzył, ale opublikował dopiero w 1839 Thomas Henderson, pracujący na Przylądku Dobrej Nadziei w Afryce Południowej.
- To właśnie na południowym niebie znajduje się układ potrójny α Centauri AB i Proxima Centauri, o największej znanej paralaksie 0.76”.

Fig. 1.

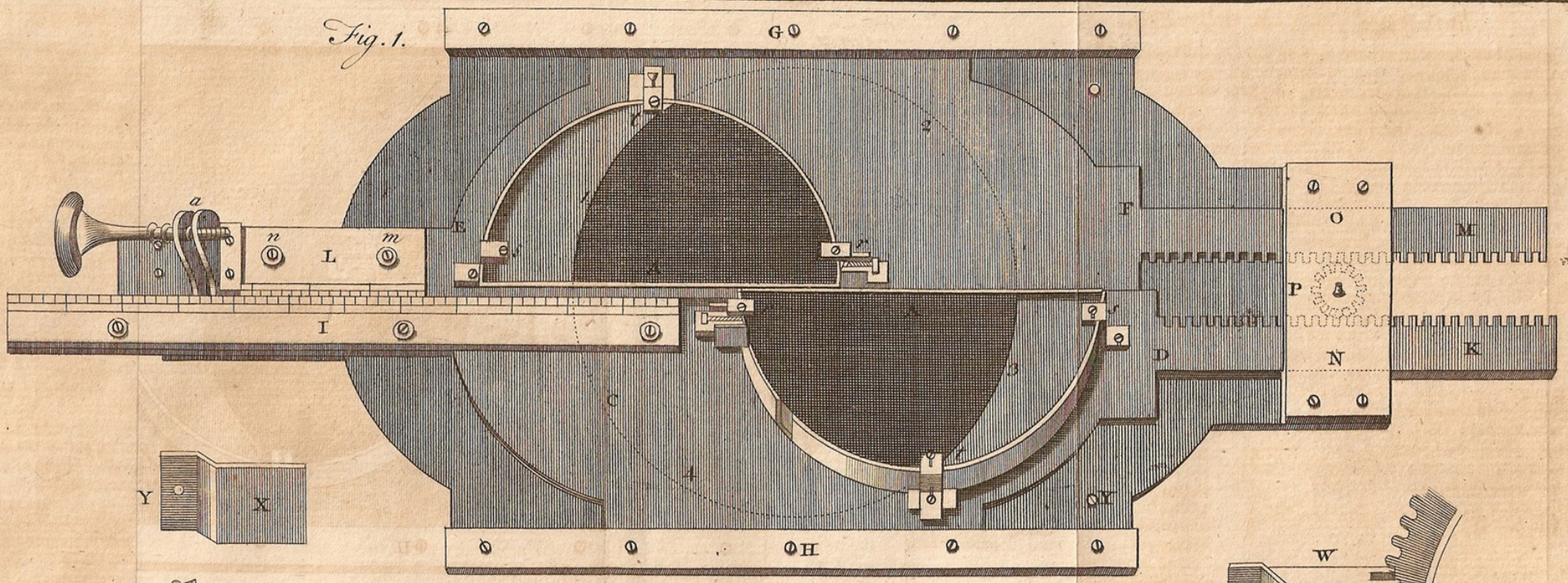
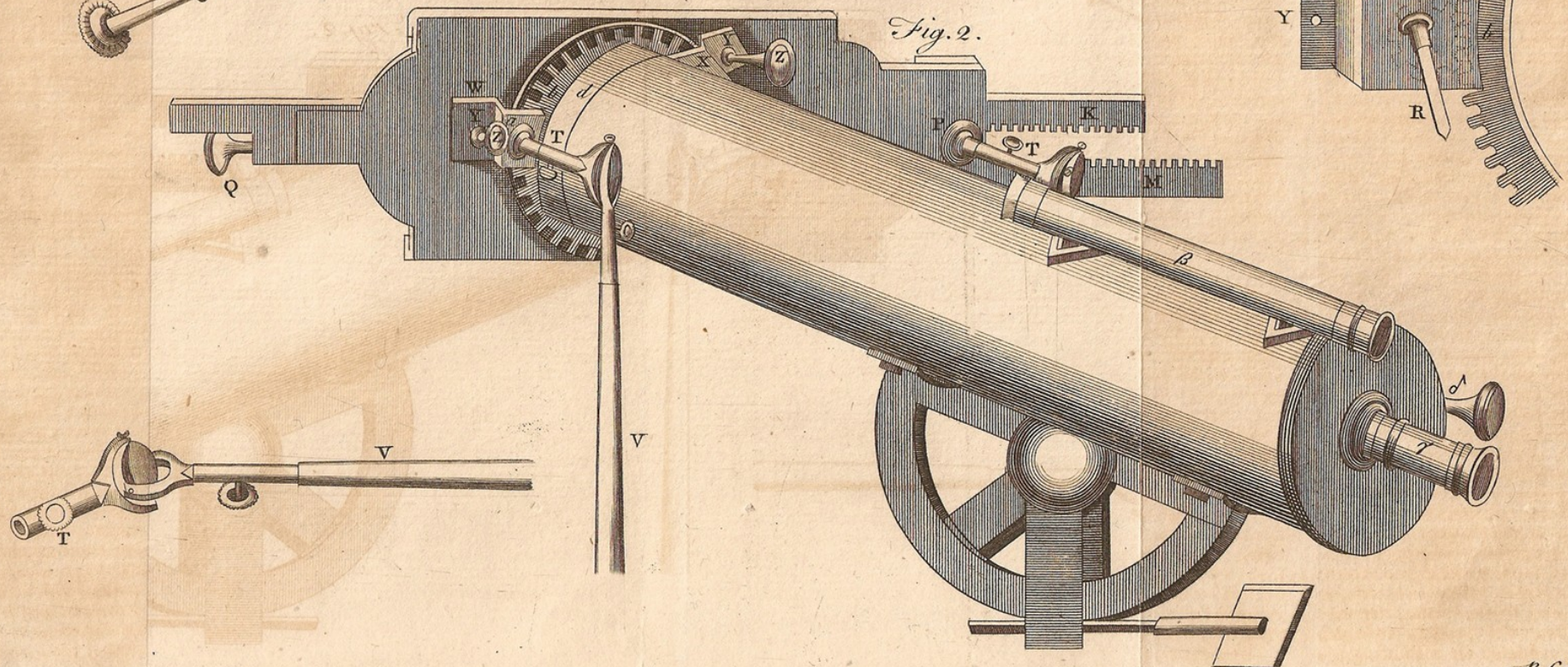
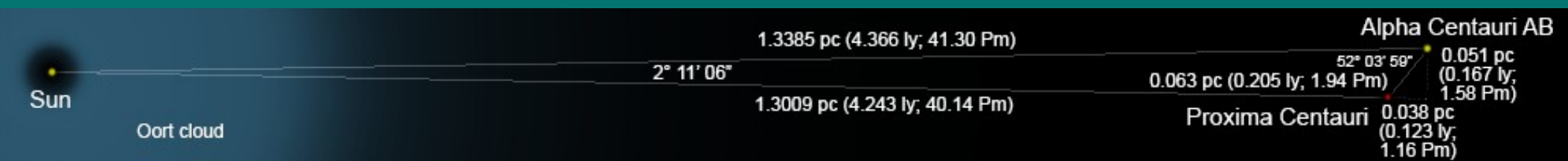


Fig. 2.



- **Paralaksy są bardzo małymi kątami, dla wszystkich gwiazd są mniejsze niż 1".**
- **Najbliższa gwiazda, Proxima Centauri ma paralaksę równą 0.76" (jest w odległości około 4.3 lat świetlnych).**
- **Odległości do dalekich gwiazd wyznacza się innymi metodami gdyż ich paralaksy są tak małe, że nie można ich zmierzyć.**

Odległości w astronomii



Najbliższa gwiazda: $4 \times 10^{16} \text{ m} = 270000 \text{ AU} = 4.24 \text{ ly} = 1.3 \text{ pc}$

Przypomnienie:

$1000 \text{ m} = 1 \times 10^3 \text{ m} = 1 \text{ km}$

$1000000 \text{ m} = 1 \times 10^6 \text{ m} = 1 \text{ Mm}$

$1000000000 \text{ m} = 1 \times 10^9 \text{ m} = 1 \text{ Gm}$

$1000000000000 \text{ m} = 1 \times 10^{12} \text{ m} = 1 \text{ Tm}$

$1000000000000000 \text{ m} = 1 \times 10^{15} \text{ m} = 1 \text{ Pm}$

Najbliższe otoczenie Słońca

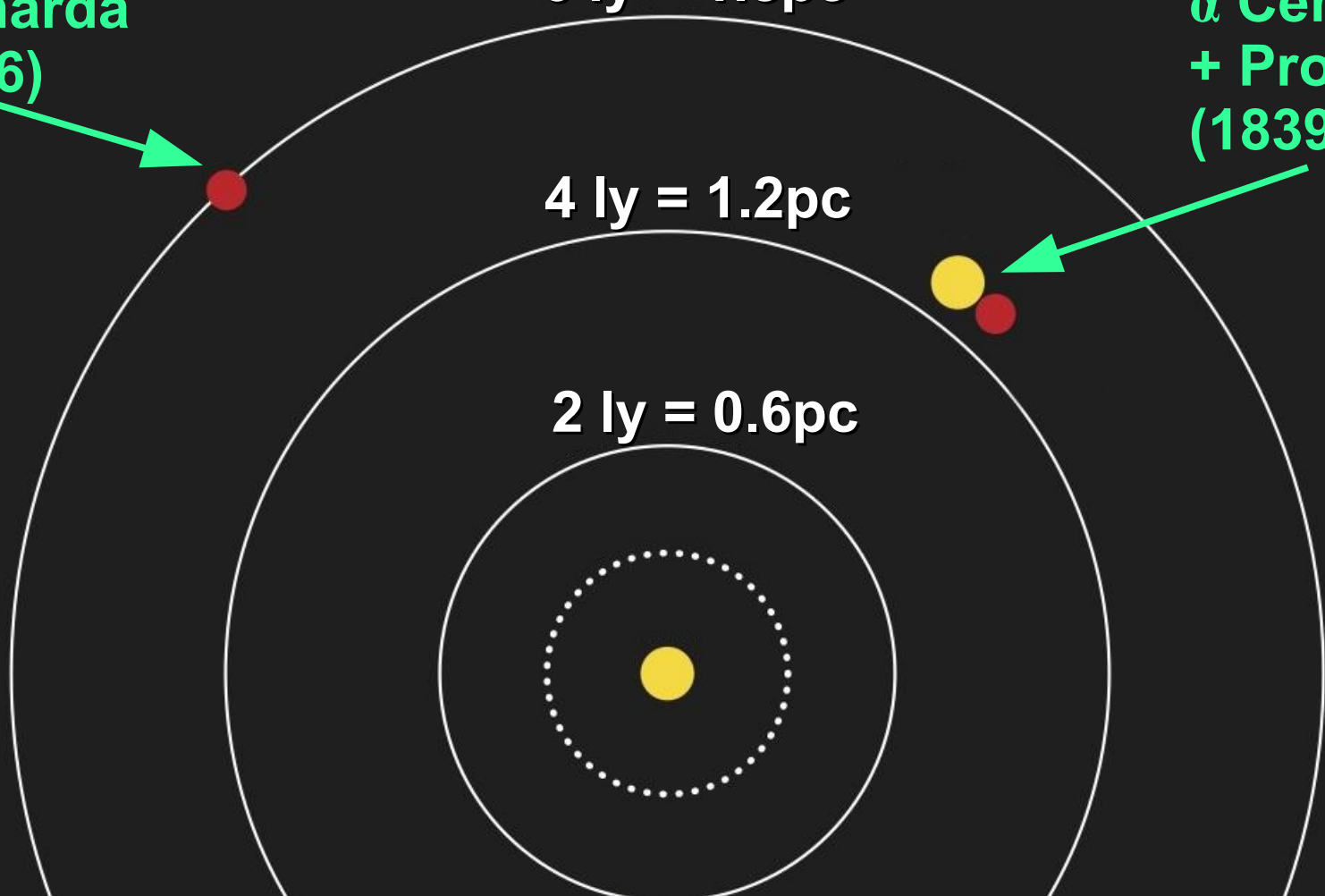
gwiazda
Barnarda
(1916)

6 ly = 1.8pc

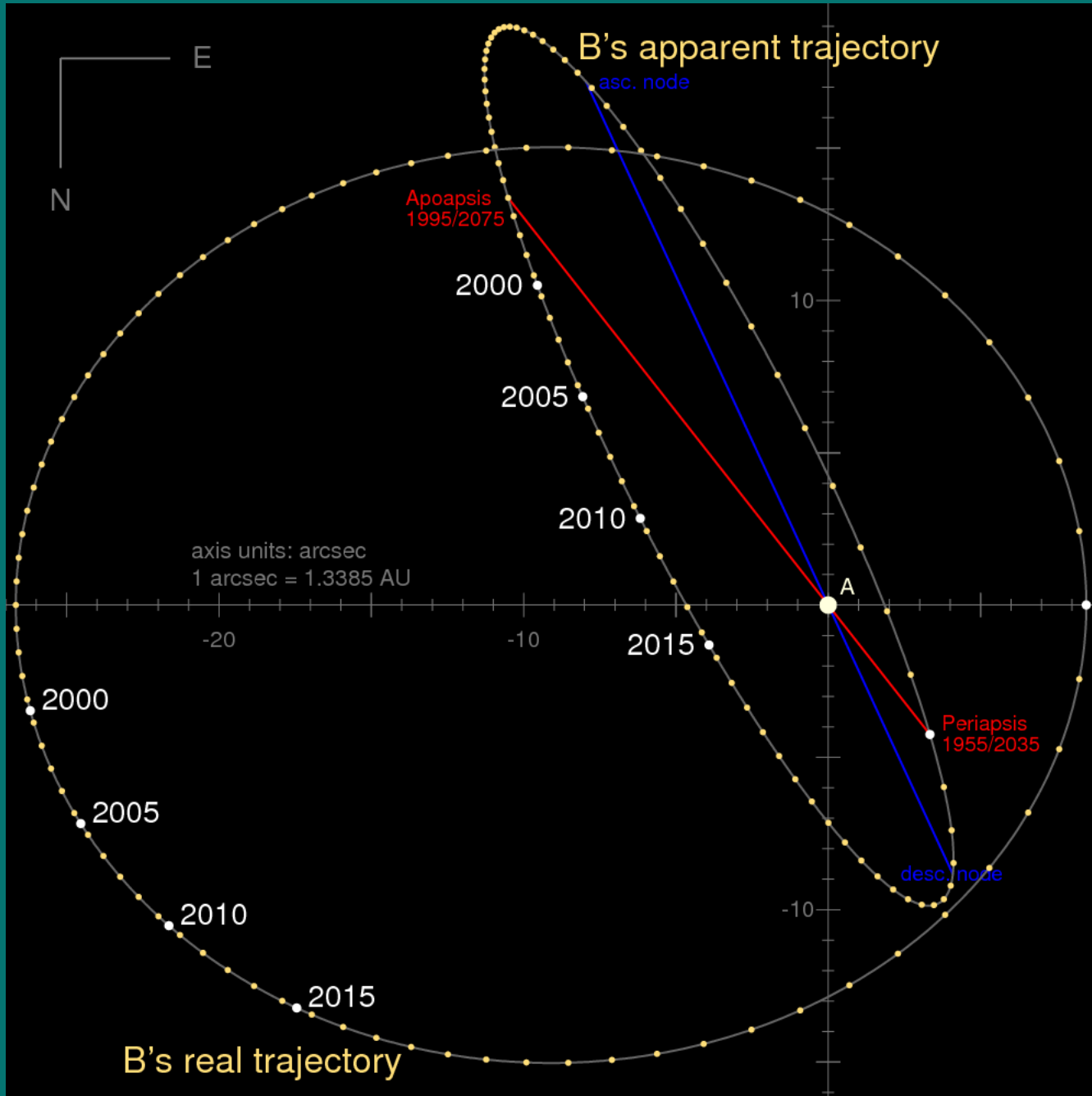
α Centauri
+ Proxima
(1839,1917)

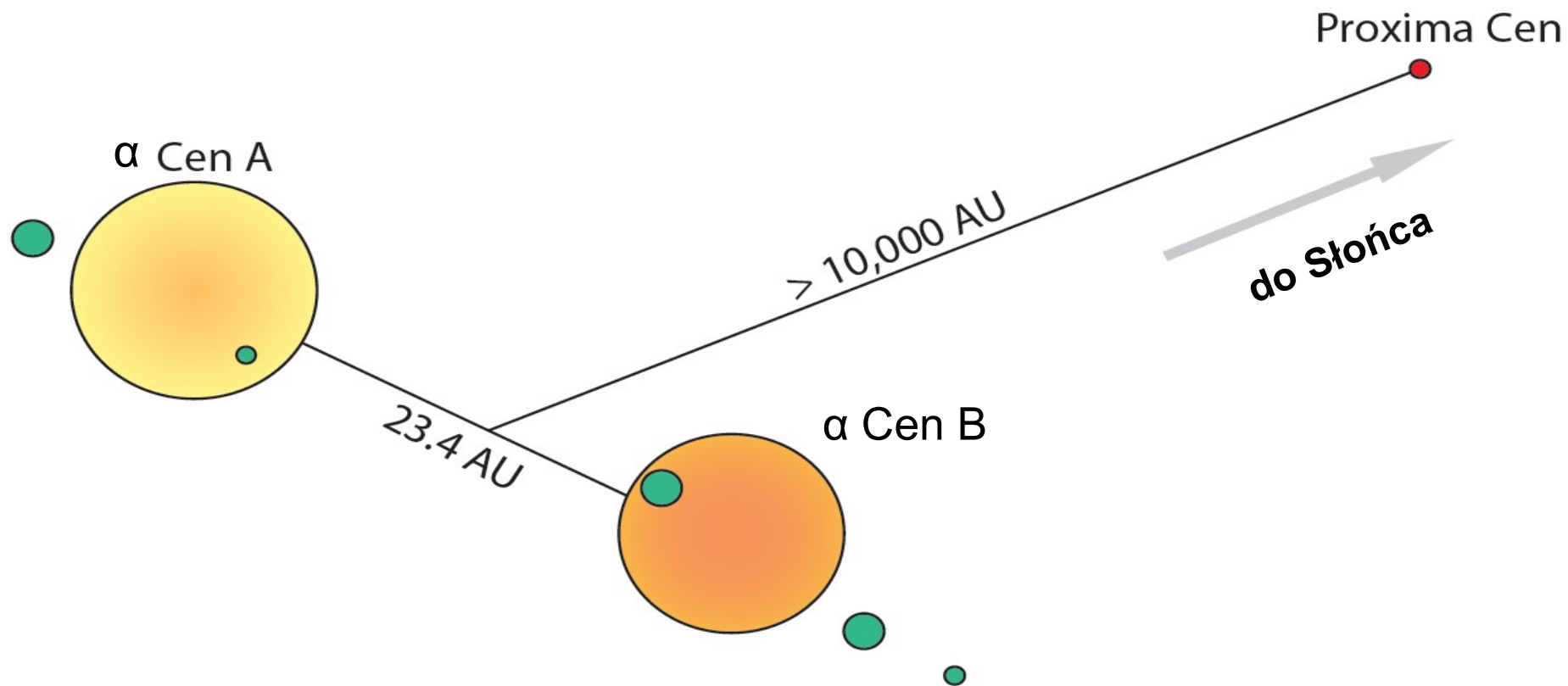
4 ly = 1.2pc

2 ly = 0.6pc

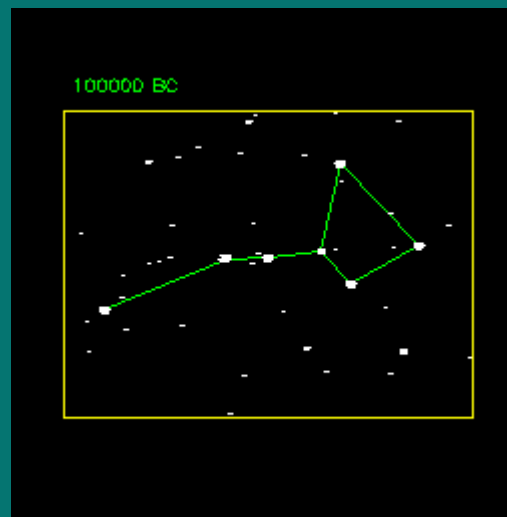


Alpha Centauri AB





Ruch własny gwiazd



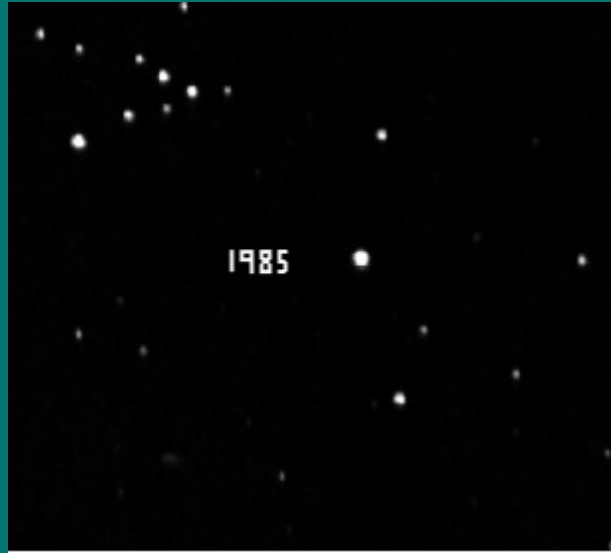
Źródło: <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Movies/proper.html>

- **Pierwsze ruchy własne gwiazd wykrył Halley, próbując wyznaczyć paralaksy. Porównał w 1718 pozycje gwiazd z tymi z Almagestu Ptolomeusza.**
- **Halley zauważył spore zmiany w pozycjach niektórych jasnych gwiazd i poprawnie zinterpretował je jako projekcje na sferę niebieską ich ruchów przestrzennych.**
- **W 1783 William Herschel ze statystyki wielu już wtedy ruchów własnych gwiazd wywnioskował o ruchu Słońca w przestrzeni kosmicznej, poprawnie szacując kierunek tego ruchu.**

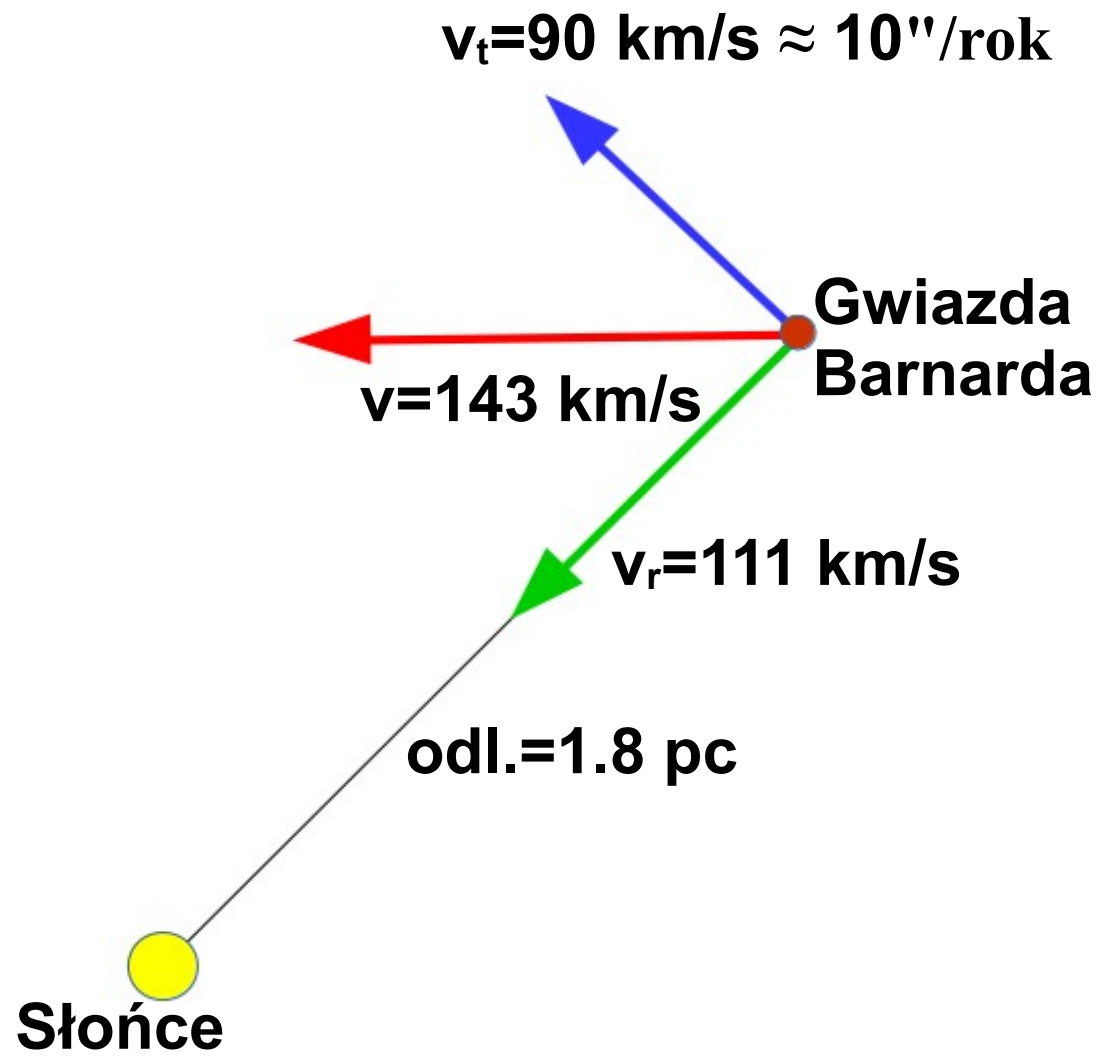
Ruch własny Proxima Centauri



Animacja zdjęć z lat 2000 – 2010



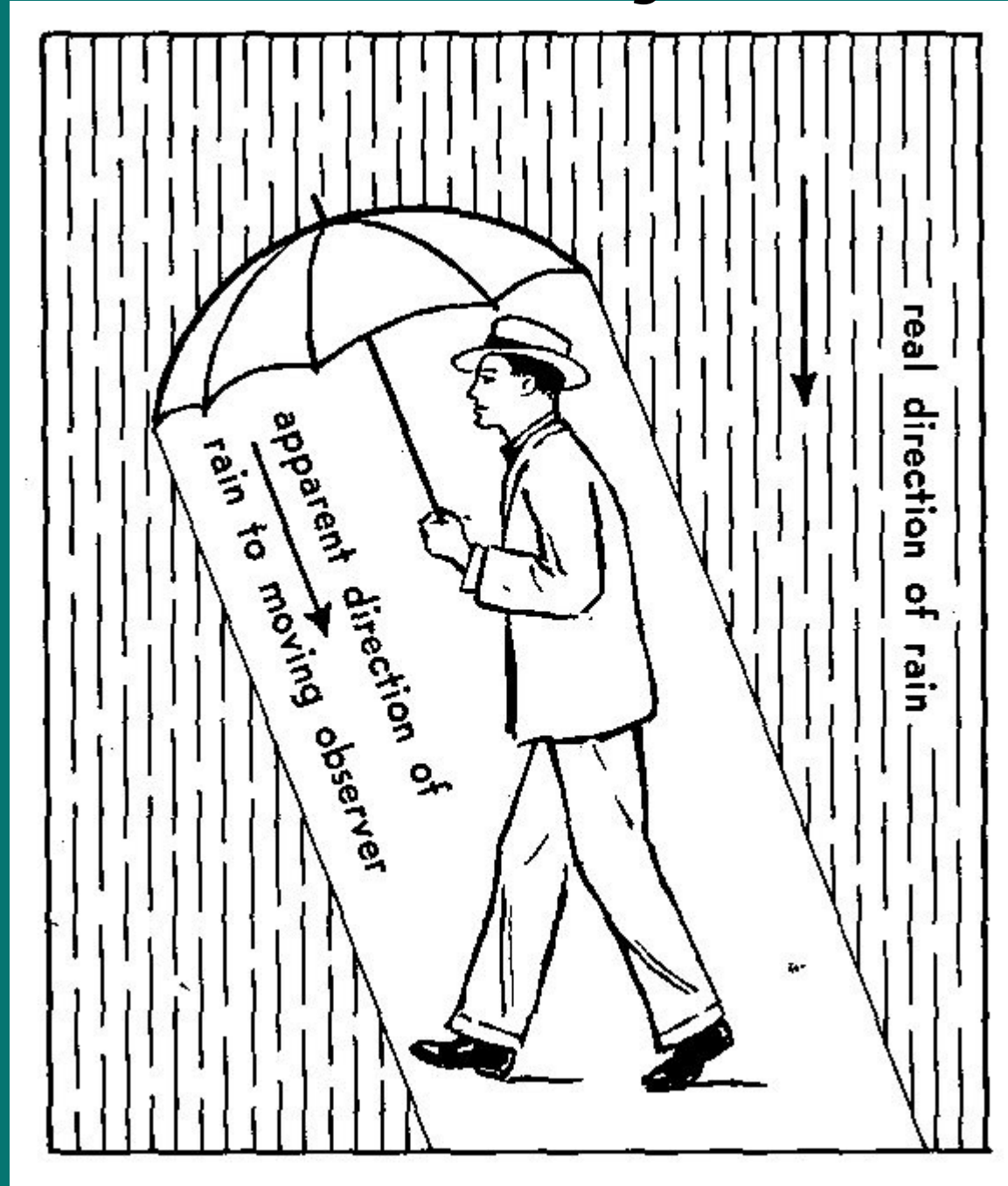
**Ruch własny Gwiazdy Barnarda
to ok. 10.3 sekundy łuku na rok!**



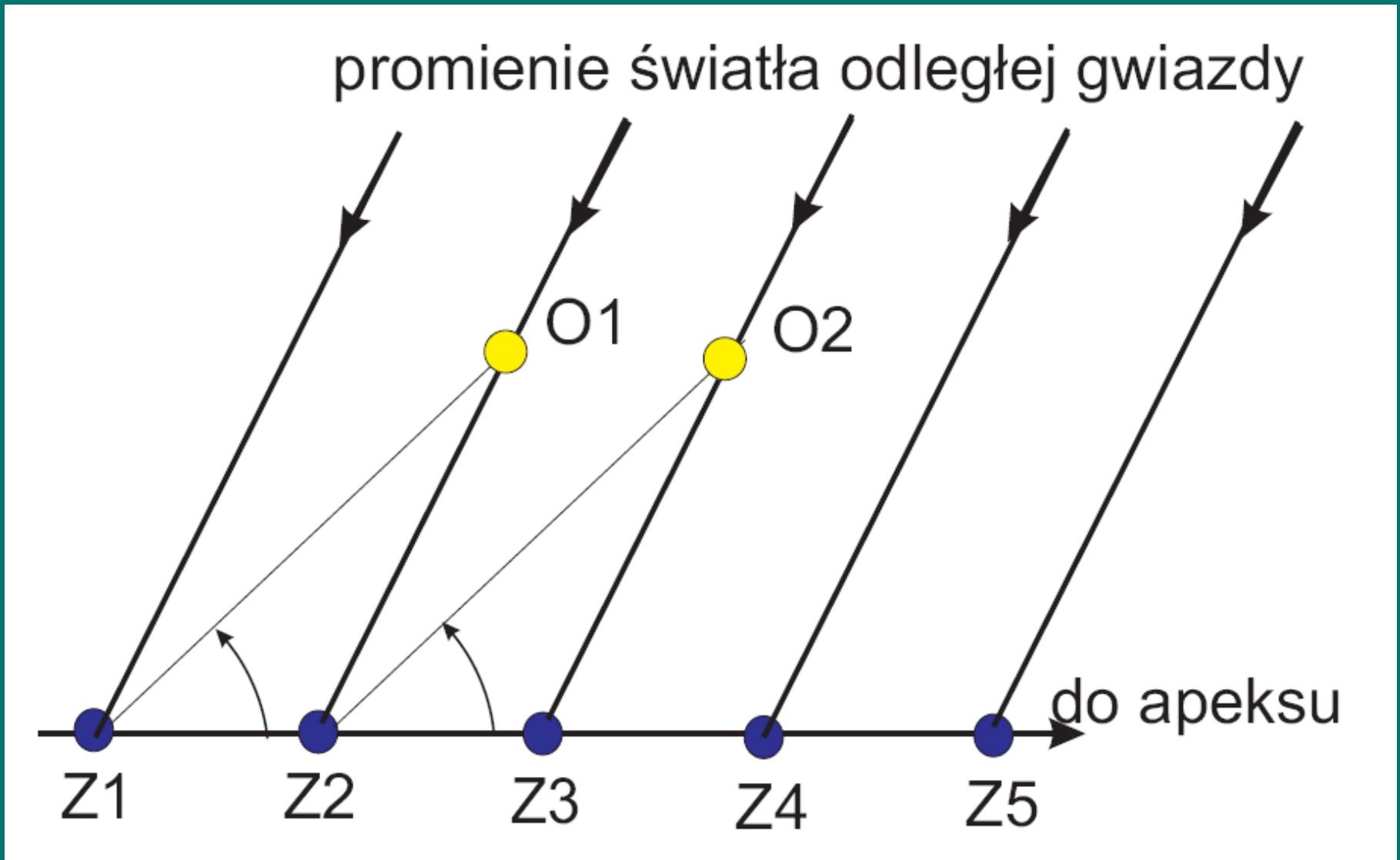
Aberracja światła

- Również próbując zmierzyć paralaksy, James Bradley odkrył w 1725 zjawisko aberracji. Przy okazji potwierdził słuszność odkrycia Ole Rømera z 1676 roku o skończoności prędkości światła.
- Na skutek ruchu Ziemi po orbicie obserwowane pozycje gwiazd są nieco przesunięte w kierunku punktu, ku któremu porusza się obserwator, zwanemu apeksem.
- W badaniach dynamiki ciał Układu Słonecznego pojawia się też pojęcie „czasu aberracji” (light time).

Aberracja

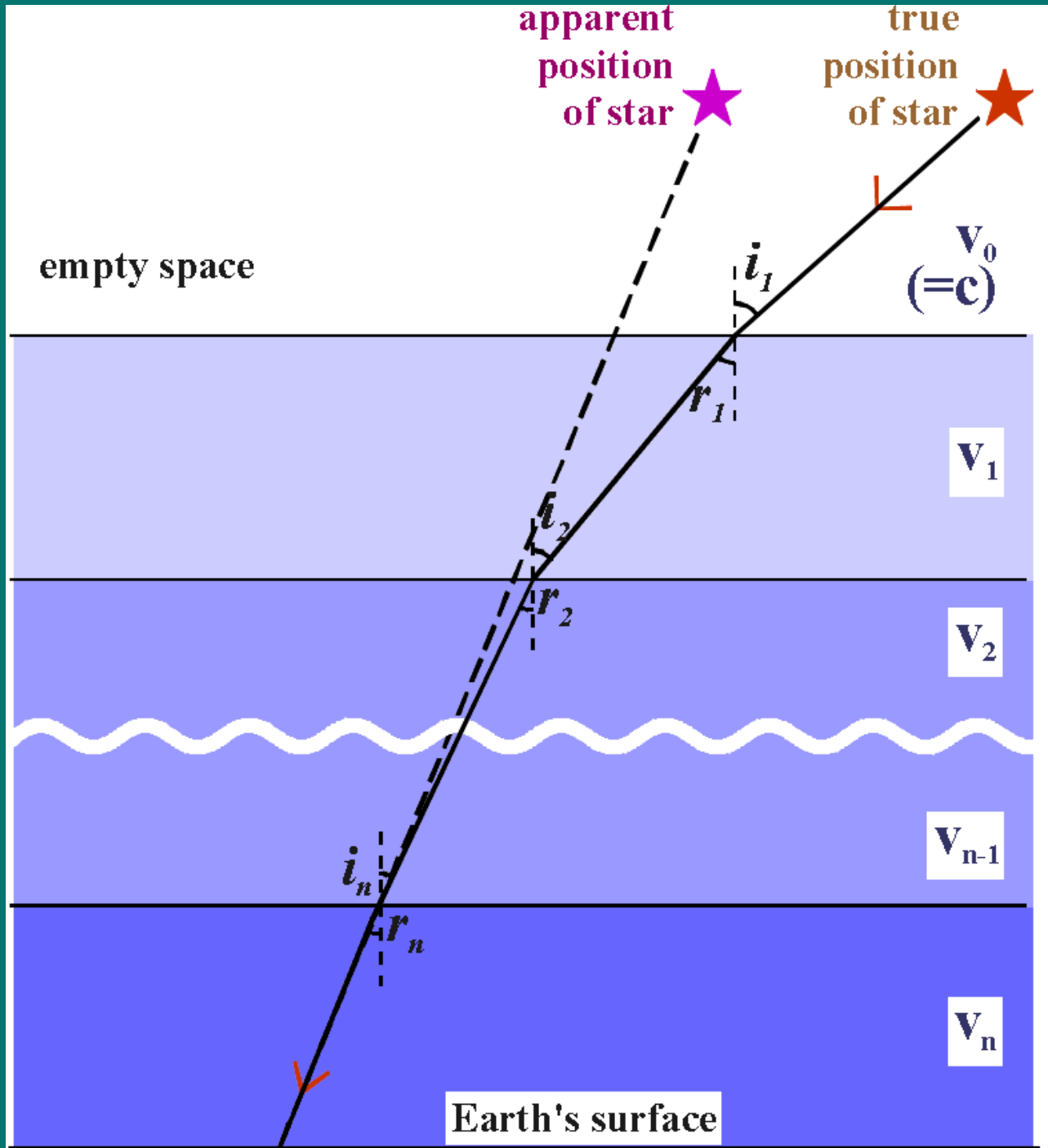


Aberracja światła



- **Aberracją nazywamy zmianę kierunku widzenia ciała niebieskiego na sferze spowodowaną ruchem obserwatora.**
- **Ponieważ Ziemia porusza się po orbicie wokół Słońca ze średnią prędkością ok. 30 km/s, następuje zjawisko aberracji i lunetę w rzeczywistości ustawiamy wzdłuż kierunku będącego wypadkową kierunku prędkości Ziemi i kierunku prędkości światła od gwiazdy.**
- **Maksymalna wartość aberracji rocznej to ok. 20".**
- **Maksymalna wartość aberracji dobowej, wynikającej z rotacji Ziemi to 0,32 sekundy kątowej dla obserwatora na równiku.**
- **Jest jeszcze aberracja wiekowa, wynikająca z poruszania się środka masy Układu Słonecznego.**

Refrakcja atmosferyczna



Refrakcja zależy od odległości zenitalnej $z = 90^\circ - h$

$$z = 0^\circ \rightarrow R = 0^\circ$$

$$z = 50^\circ \rightarrow R = 1'$$

$$z = 80^\circ \rightarrow R = 5'$$

$$z = 85^\circ \rightarrow R = 10'$$

$$z = 89^\circ \rightarrow R = 25'$$

$$z = 90^\circ \rightarrow R = 35'$$

Grawitacyjne ugięcie światła

- Przewidziane przez Einsteina, zostało po raz pierwszy potwierdzone obserwacyjnie podczas zaćmienia Słońca w roku 1920.
- Ugięcie jest tym większe im bliżej Słońca znajduje się gwiazda.
- Planety powodują podobny efekt, ale skalowany w dół stosunkiem masy planety do masy Słońca (np. dla Jowisza 1:1047).

Apparent Deflection Angles

D	$0^{\circ}25$	$0^{\circ}5$	1°	2°	5°	10°	20°	50°	90°
$\Delta\phi$	1".866	0".933	0".466	0".233	0".093	0".047	0".023	0".009	0".004

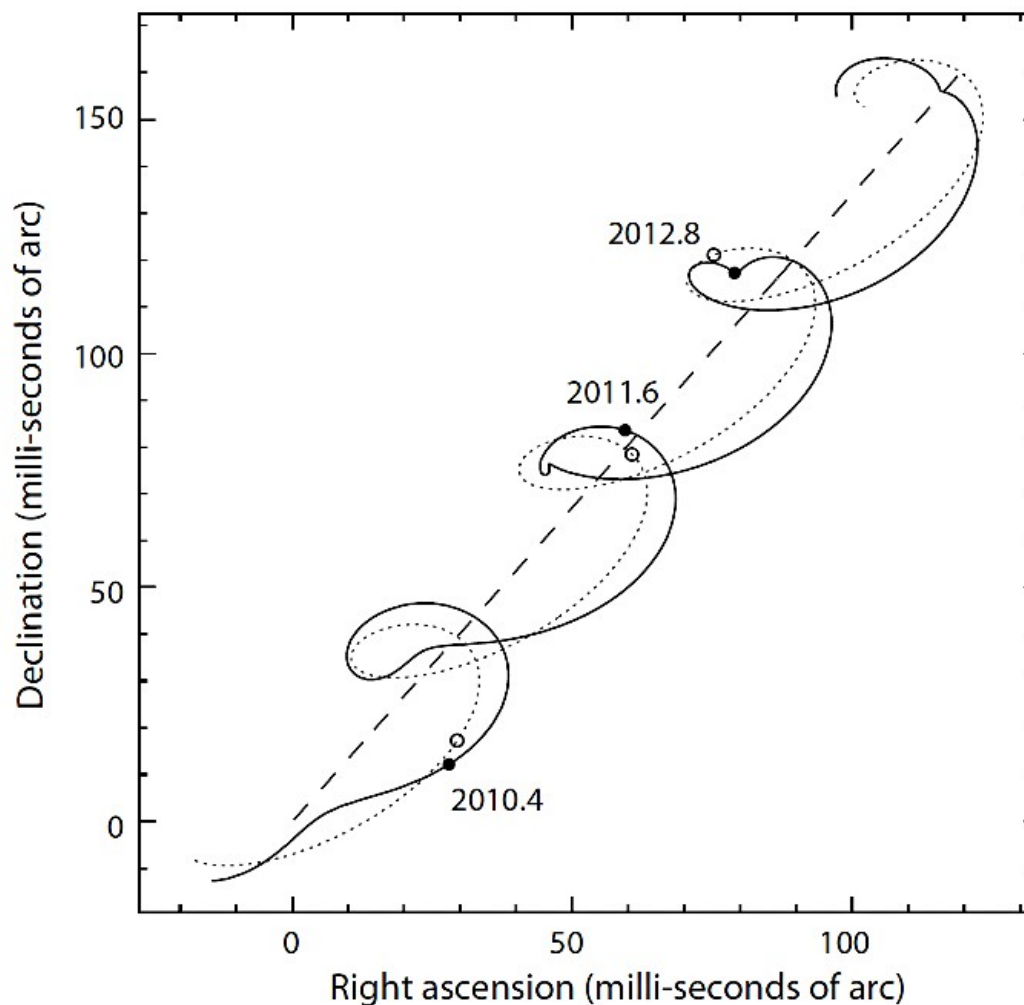


Fig. 2. The figure illustrates the principle of how the (angular) position of a star on the celestial sphere would be perceived to change with time, as a result of various physical effects, when viewed at extremely high angular resolution. Far from being fixed in one direction, a typical star moves through space at a velocity of some 10–30 km per second, tracing out a linear path across the sky with time (dashed line). Superimposed on this, the star’s position *appears* to oscillate due to the Earth’s motion around the Sun, providing access to the star’s distance through the effect of parallax (dotted line, which shows this “reflex” motion over roughly four years). A planet in orbit around the star results in a yet more complex motion of the star around the star–planet system’s centre of mass (solid line).

Numerki w stellarium

v Hya - 4 Crt - HIP 52943 - SAO 156256 - HD 93813 - HR 4232

Typ: gwiazda

Wielkość gwiazdowa: **3.10** (zredukowane do **3.46** przez **2.80** Masy powietrza)

Absolutna Wielkość Gwiazdowa: **-0.12**

Wskaźnik barwy (B-V): **1.23**

RA/Dekl (J2000.0): 10h49m38.76s/-16°11'44.9"

RA/Dekl (na dzień): 10h50m43.62s/-16°18'43.0"

Kąt godz. / Dekl.: 23h23m55.29s/-16°16'08.8" (pozorne)

Az./wys.: +170°43'42.3"/+20°55'05.0" (pozorne)

Gal. dł./szer.: -94°56'27.4"/+37°33'42.5"

Supergal. dł./szer.: +125°40'44.1"/-33°48'19.1"

Eklip. dł./szer. (J2000.0): +170°22'19.0"/-21°47'52.6"

Eklip. dł./szer. (na dzień): +170°40'39.4"/-21°47'51.7"

Nachylenie ekliptyczne (na dzień): +23°26'16.9"

Średni czas gwiazdowy: 10h14m38.7s

Pozorny czas gwiazdowy: 10h14m37.8s

Wschód: 18h28m

Tranzyt: 23h02m

Zachód: 3h37m

Gwiazdozbiór wg MUA: Hya

Odległość: 143.74 ± 1.44 l.ś.

Proper motion: 219.70 mas/rok towards 25.1°

Prawidłowe ruchy według osi: 93.35 198.88 (mas/rok)

Paralaksa: 22.690 ± 0.230 mas

Typ spektralny: K1.5IIIHdel-0.5

Solar Az./Alt.: +318°10'41"/-24°39'03"

Lunar Az./Alt.: +310°46'28"/-22°09'44"

<http://cdsweb.u-strasbg.fr/>