

# *Astronomia*

## Wykład I

---

Wykład dla studentów geografii

Waldemar Ogłóza

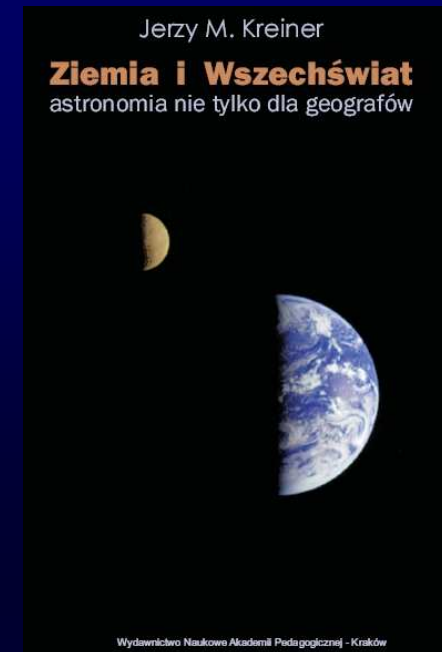
[www.as.up.krakow.pl](http://www.as.up.krakow.pl)

➤ dla studentów > informacje > zajęcia W.Ogłózy > a4g-w1.pdf



# Literatura:

- J.M.Kreiner *Ziemia i Wszechświat  
astronomia nie tylko dla geografów*  
Wydawnictwo Naukowe UP 2009
- Rybka E. , *Astronomia ogólna,*
- Mietelski J., *Astronomia w geografii*
- Kreiner J.M, *Astronomia z astrofizyką*
- Wszolek B., *Wprowadzenie do astronomii*  
(Wyd. WSP w Częstochowie, 2002)
- Pańkow M., *Wstęp do ćwiczeń z astronomicznych  
podstaw geografii,* (wyd. III Wyd. UŚ, Katowice 2001)



# Astronomia jako nauka

- Astronomia - czyli nauka o gwiazdach  
(od greckich słów: *astro* i *nomos*)
- Jedna z najstarszych dyscyplin naukowych  
kość Lebombo (~35000 p.n.e)
- Namibia (4000 p.n.e)                      Stonehenge (3000 p.n.e.)



# KOSMOLOGIA

bada Wszechświat jako całość

## ASTRONOMIA

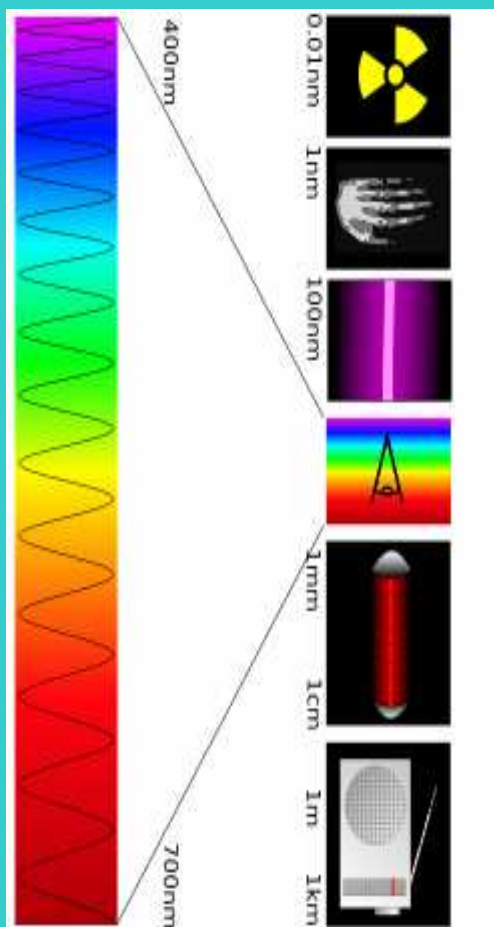
bada tę część Wszechświata, która  
jest dostępna obserwacjom  
~13 mld lat świetlnych

**BADANIA KOSMICZNE** praktycznie  
ograniczone do Układu Słonecznego  
~ 8 godzin świetlnych

# Źródło informacji: fale elektromagnetyczne

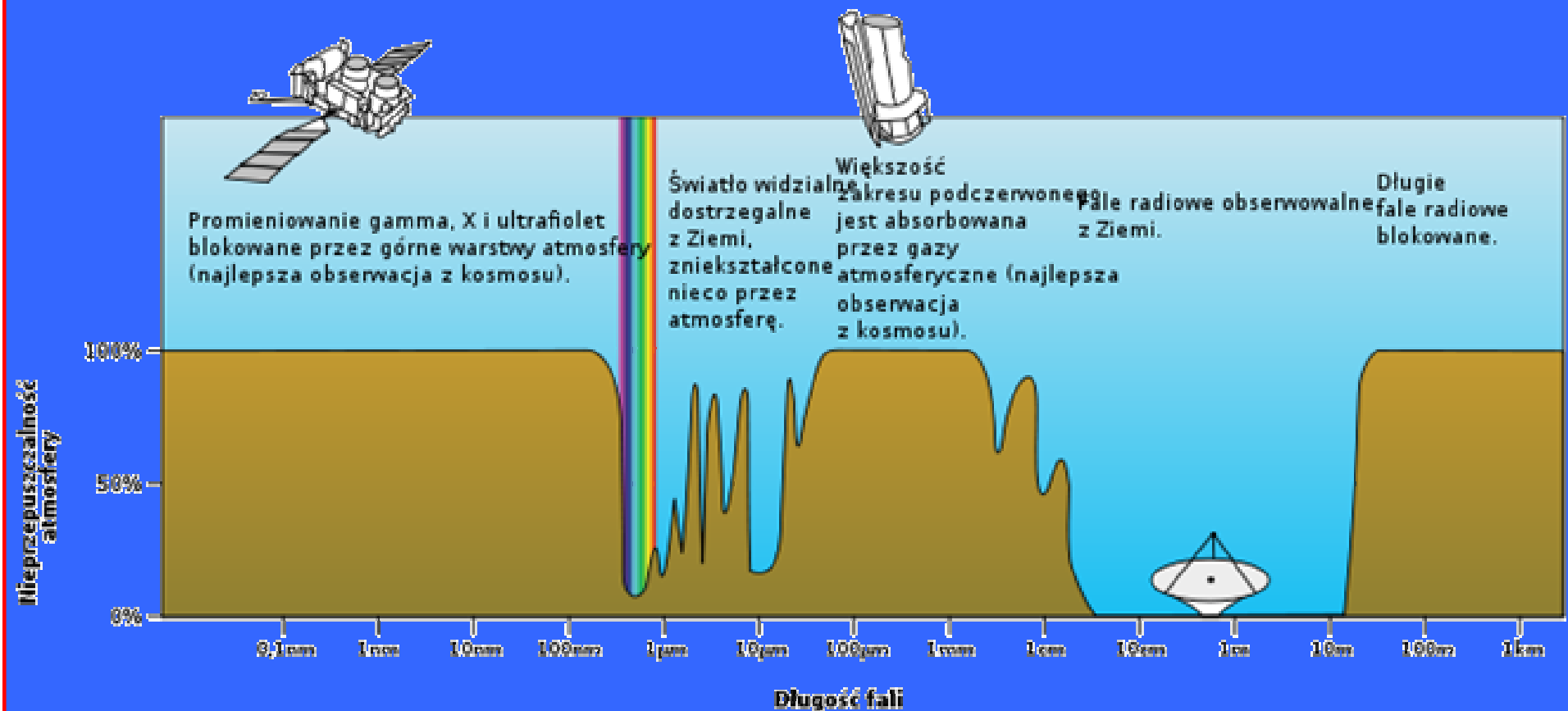
|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| obserwacje pozycyjne       | (kierunek)       |
| obserwacje fotometryczne   | (natężenie)      |
| obserwacje spektroskopowe  | (widmo)          |
| obserwacje polarymetryczne | (uporządkowanie) |

# Fale elektromagnetyczne



| Nazwa zakresu                 | Długość fali $\lambda$       | Częstotliwość $\nu$                                                                        |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| promieniowanie $\gamma$       | < 0.01 nm                    | $> 3 \cdot 10^{19}$ Hz                                                                     |
| promieniowanie rentgenowskie  | 0.01 ÷ 0.1 nm<br>0.1 ÷ 10 nm | $3 \cdot 10^{19} \div 3 \cdot 10^{18}$ Hz<br>$3 \cdot 10^{18} \div 3 \cdot 10^{16}$ Hz     |
| promieniowanie ultrafioletowe | 10 ÷ 200 nm<br>200 ÷ 380 nm  | $3 \cdot 10^{16} \div 1.5 \cdot 10^{15}$ Hz<br>$1.5 \cdot 10^{15} \div 8 \cdot 10^{14}$ Hz |
| promieniowanie widzialne      | 380 ÷ 750 nm                 | $7.9 \cdot 10^{15} \div 4 \cdot 10^{14}$ Hz                                                |
| promieniowanie podczerwone    | 750 nm ÷ 1 mm                | $4 \cdot 10^{14} \div 10^{12}$ Hz                                                          |
| mikrofale                     | 1 mm ÷ 300 mm                | 1000 GHz ÷ 1 GHz                                                                           |
| UKF                           | 0.3 ÷ 10 m                   | 1 GHz ÷ 30 MHz                                                                             |
| radiowe krótkie               | 10 ÷ 100 m                   | 30 MHz ÷ 3 MHz                                                                             |
| radiowe średnie i długie      | 0.1 ÷ 30 km                  | 3 MHz ÷ 10 KHz                                                                             |
| małej częstotliwości          | > 30 km                      | < 10 KHz                                                                                   |

# Ekstynkcja atmosferyczna - okna spektralne dla fal widzialnych i radiowych

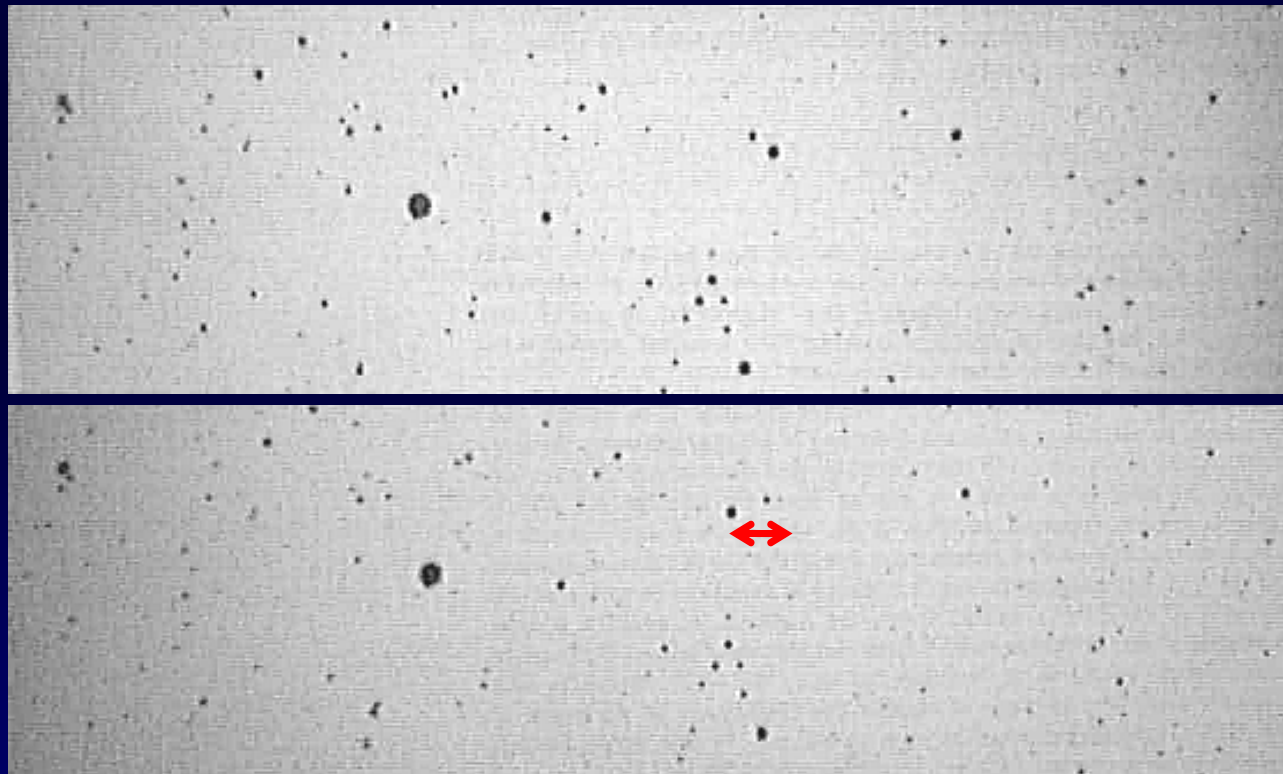


# Obserwacje pozycyjne.

Badanie kierunku rozchodzenia się światła.

Wyznaczanie dokładnych pozycji ciał niebieskich.

PRZYKŁAD: Gwiazda Barnarda

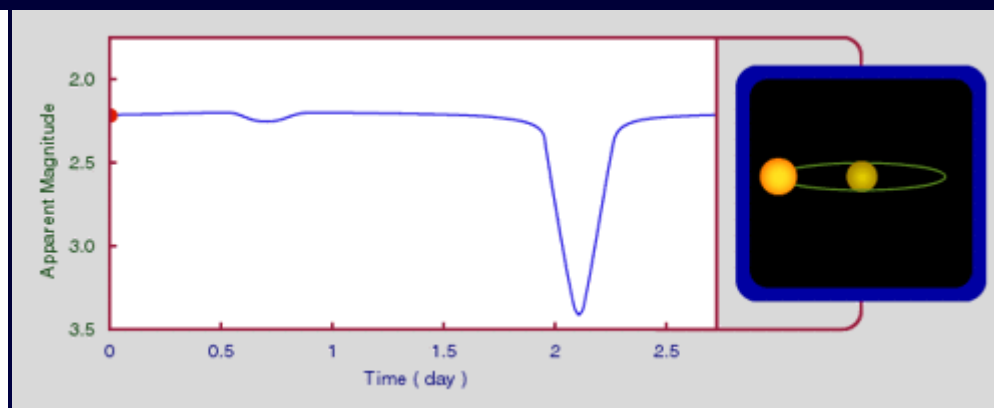
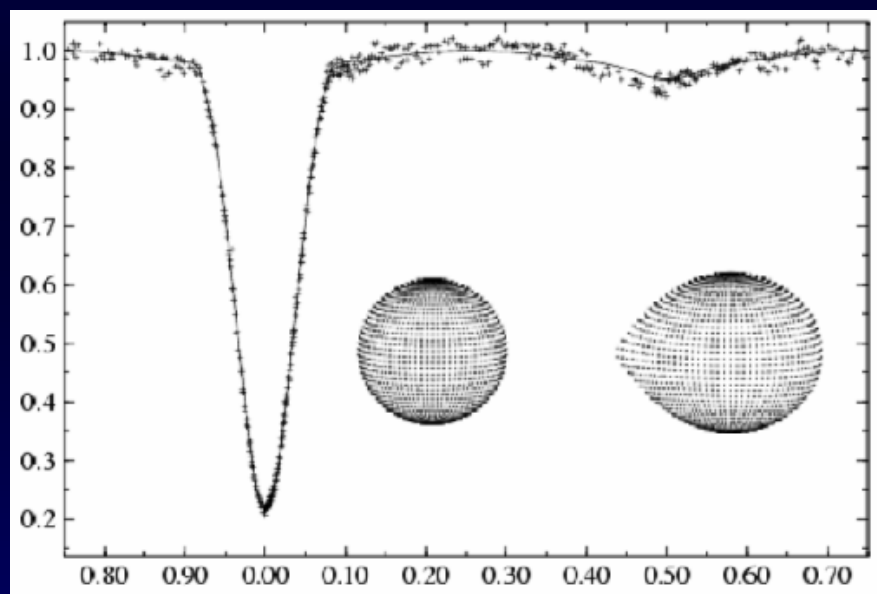


# Obserwacje fotometryczne.

Badanie natężenia światła.

Wyznaczanie jasności ciał niebieskich.

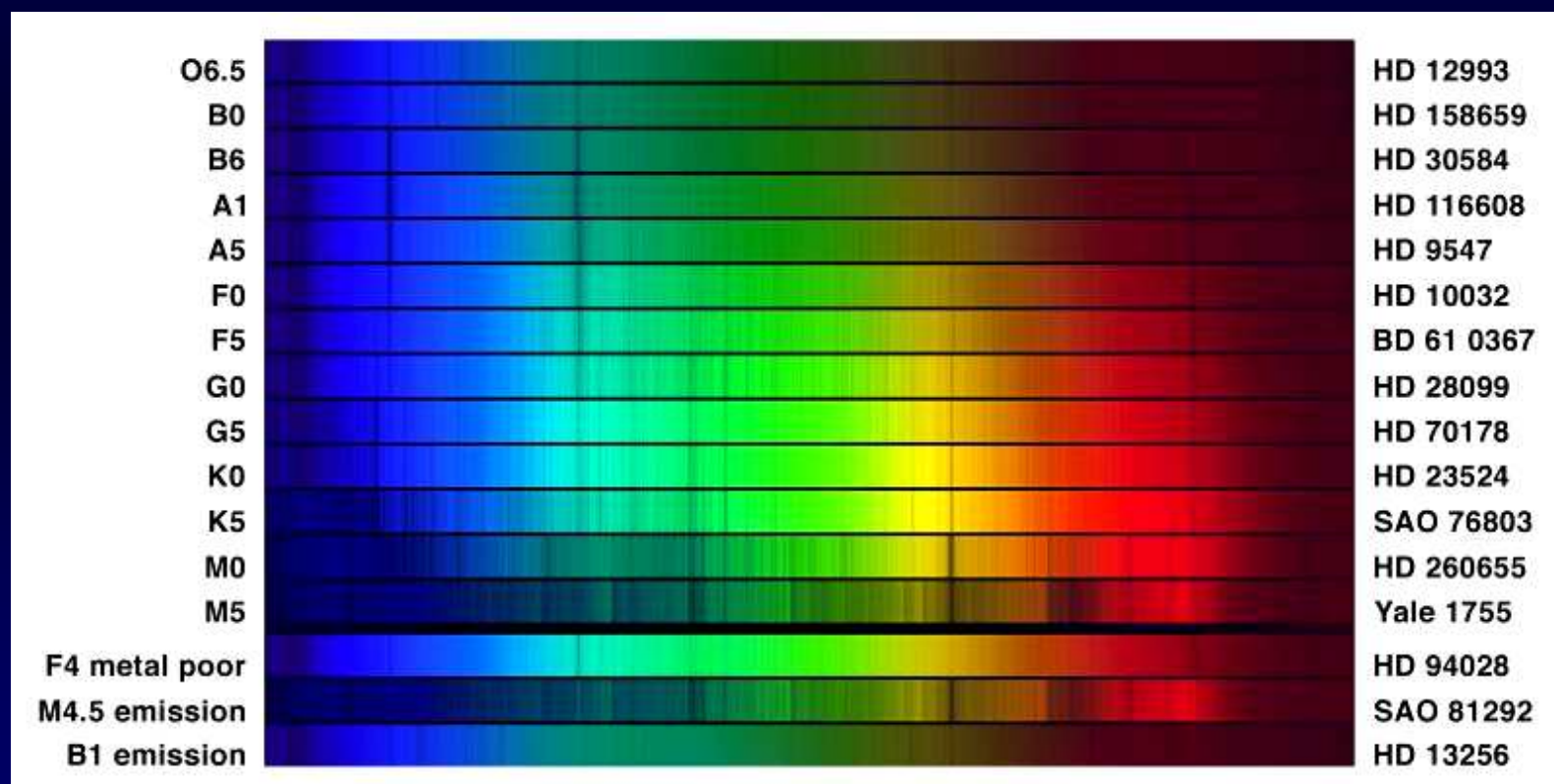
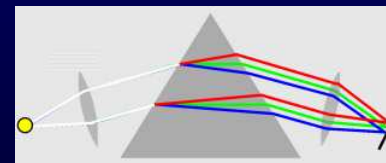
PRZYKŁAD:  
Gwiazdy zmienne



# Obserwacje spektroskopowe.

Badanie widm tj. natężenia światła w funkcji długości fali.  
Wyznaczanie: składów chemicznych, temperatur, prędkości ....

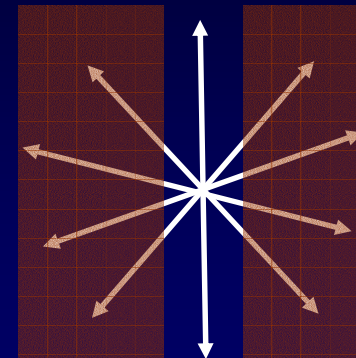
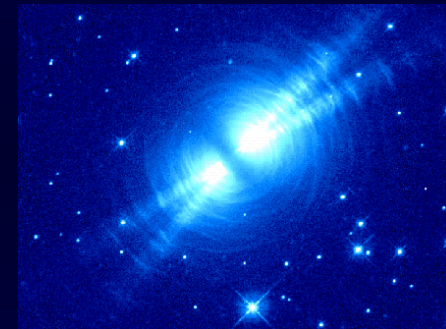
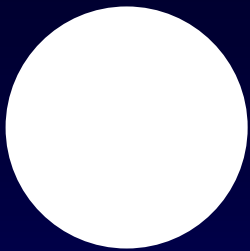
PRZYKŁAD: Typy widmowe gwiazd



# Obserwacje polarymetryczne.

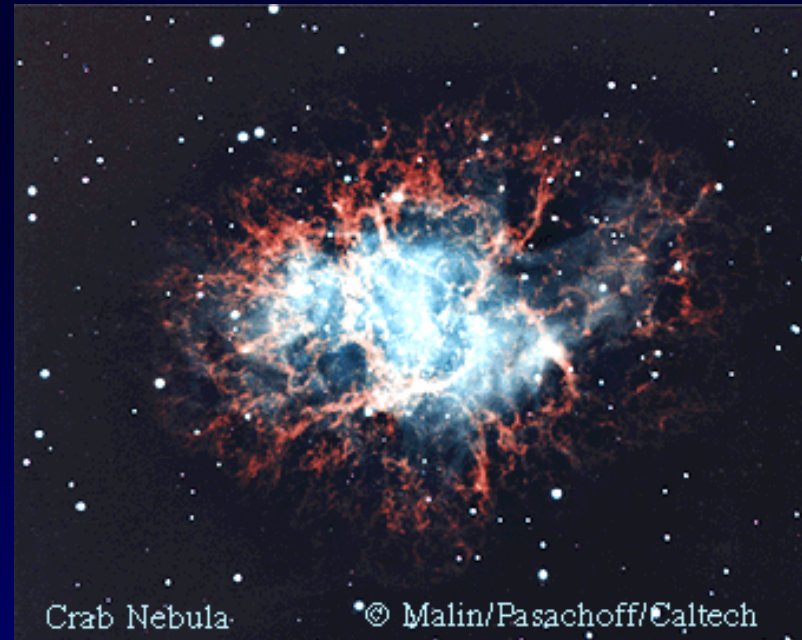
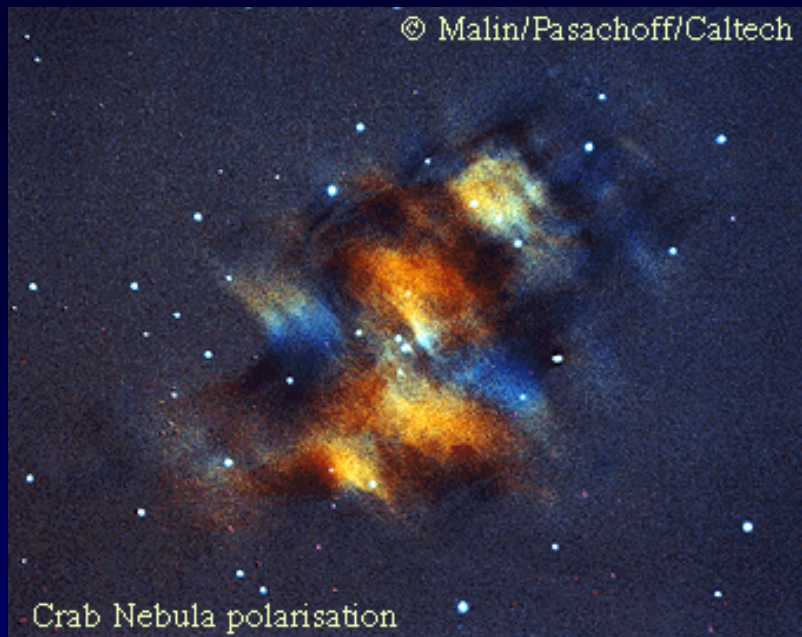
Badanie kierunku drgań fali elektromagnetycznej.

Sztuczne barwy informują o przestrzennej orientacji podłużnych ziarenek pyłu w polu magnetycznym w odległej mgławicy. Mgławica przepuściła tylko fale uporządkowane (spolaryzowane) w określony sposób.



# Obserwacje polarymetryczne

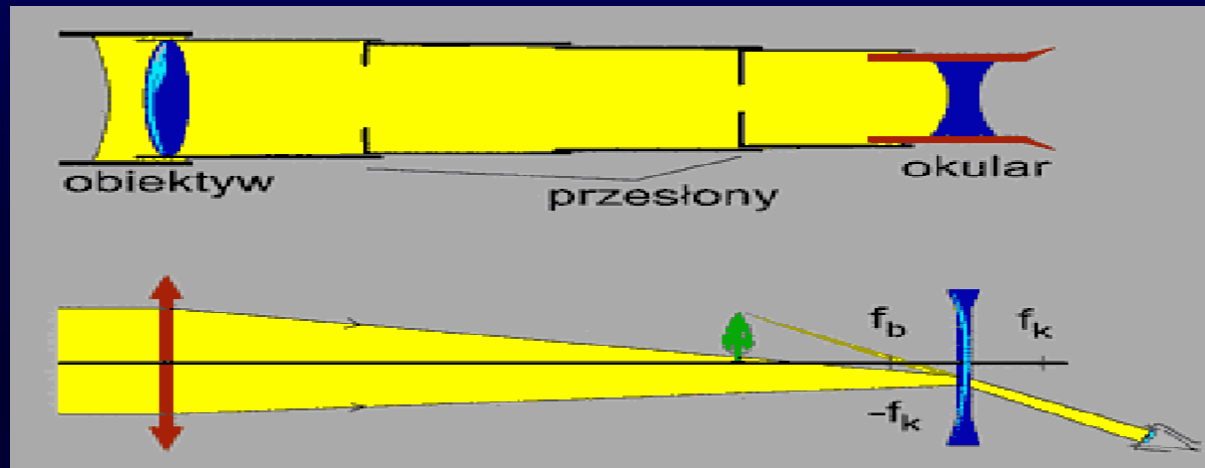
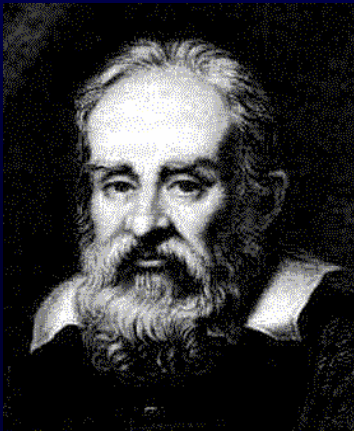
Sztuczne barwy informują o przestrzennej orientacji ziarenek pyłu w odległej mgławicy



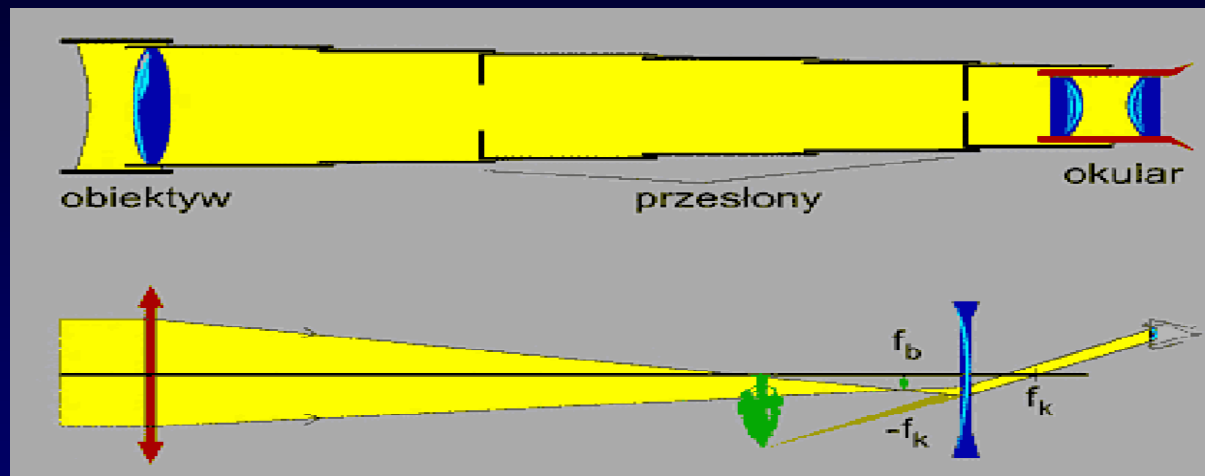
# Instrumenty astronomiczne:

## Lunety soczewkowe

Luneta Galileusza



Luneta Keplera



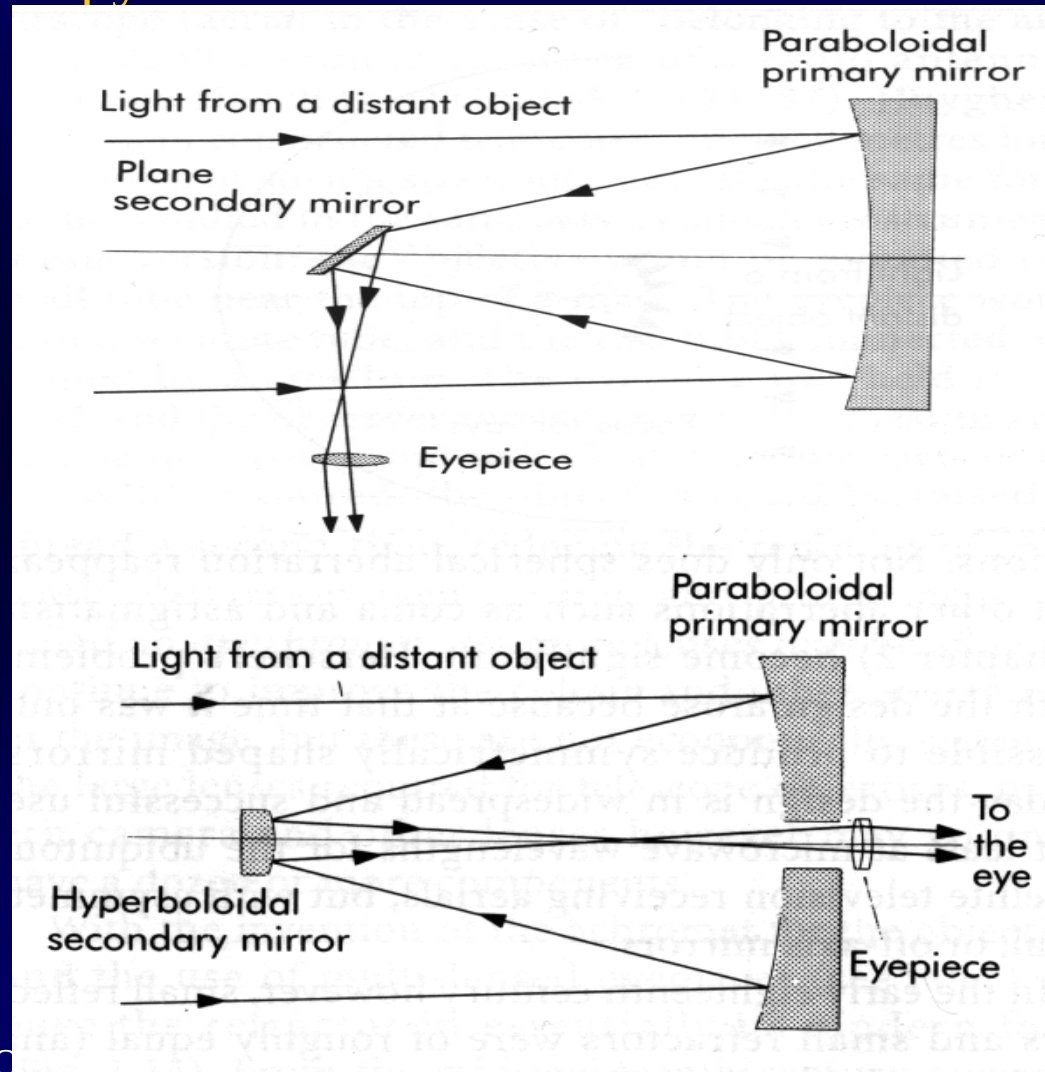
# Instrumenty astronomiczne:

## Teleskopy zwierciadłowe

Teleskop Newtona



Teleskop Cassegraina



# Najważniejsze parametry instrumentów astronomicznych

Powierzchnia  
zbierająca

$$S = \pi r^2$$

Zdolność rozdzielcza

$$a \text{ [radiany]} = 2.44 \cdot \lambda / D$$

Powiększenie

$$p = F_{\text{obiektywu}} / F_{\text{okularu}}$$

Światłosiła

$$s = D / F_{\text{obiektywu}}$$

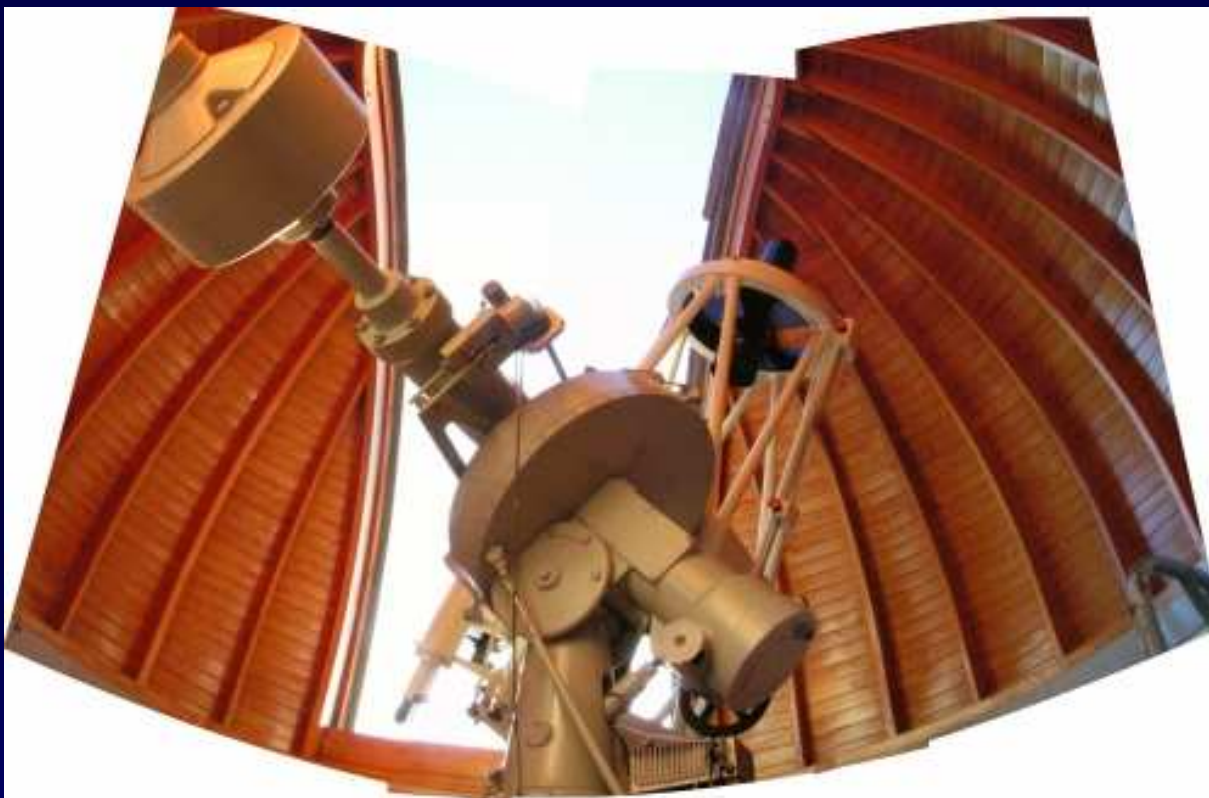
r-promień obiektywu    D-średnica obiektywu

F-odległość ogniska     $\lambda$ -długość fali

(550nm fale widzialne)

# Teleskop AP na Suhorze (60 cm)

system Cassegraina, montarz niemiecki



# Największe teleskopy świata: Subaru, Keck I i II, VLT (~8 m)



# Największe teleskopy świata: SALT (~11 m) (W 15% Polski!)



W.Ogłóza, Astronomia, Wykład 1

# Obserwatoria radiowe

(pracujące na falach o długości  $\lambda$  od 1mm do 100m)

Największe: Efelsberg 100m, Arrecibo 300m



# VLA



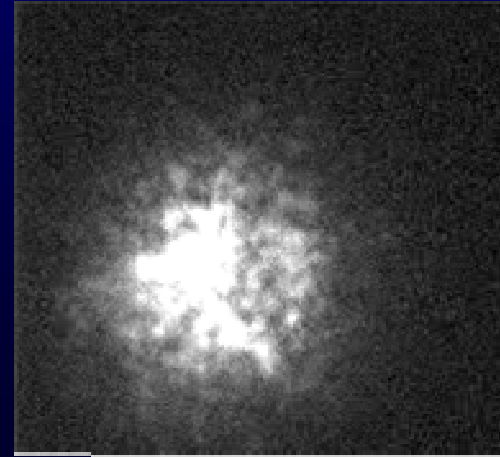
# Kryteria lokalizacji obserwatoriów astronomicznych

- pogoda
- duża wysokość
- brak zanieczyszczeń  
(w tym zanieczyszczenia światłem!)
- stabilność atmosfery

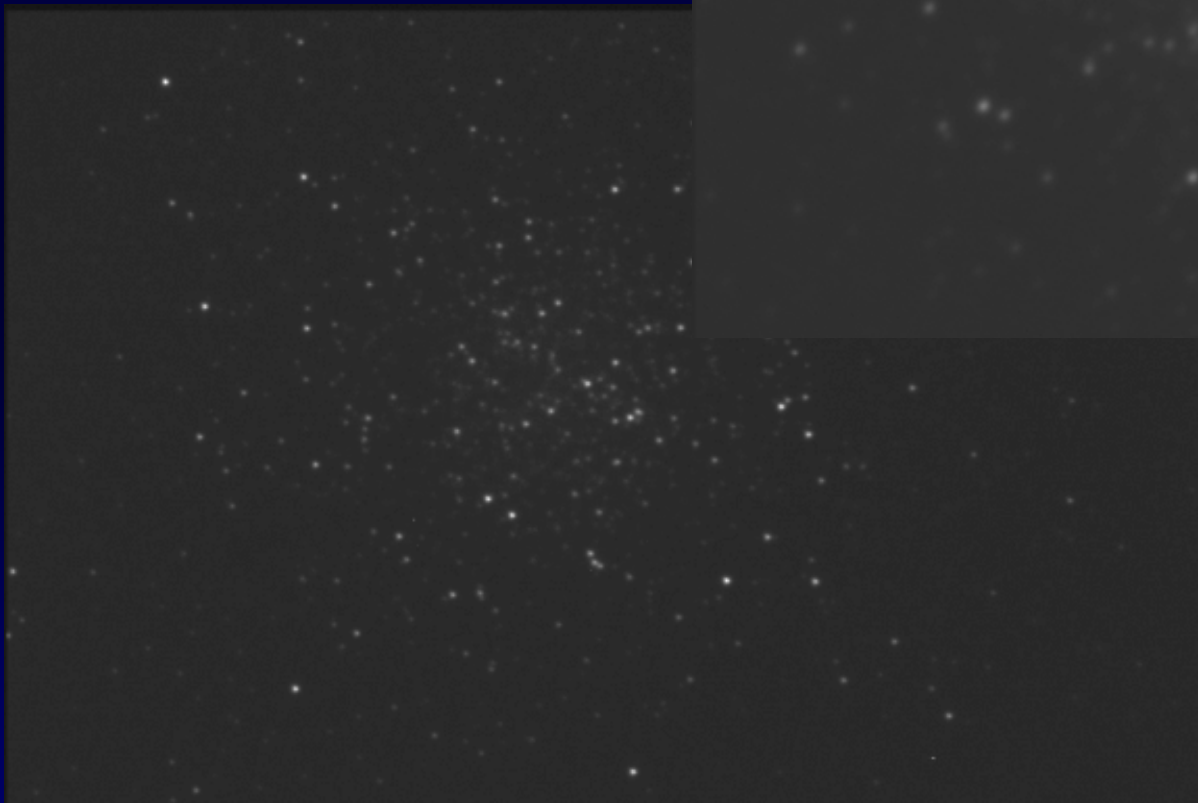


# Seeing

- składowa wysoka
- składowa niska
- najlepszy 0.25''
- w Polsce ~ 1-3''

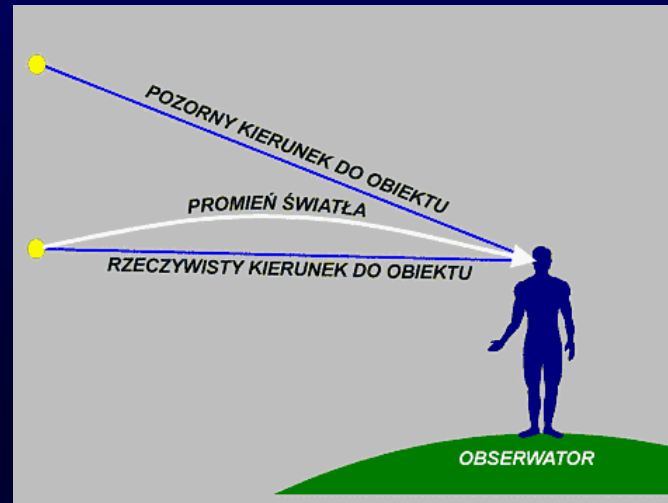


# Seeing



# Refrakcja atmosferyczna

zmiana wysokości  
ciał nad horyzontem



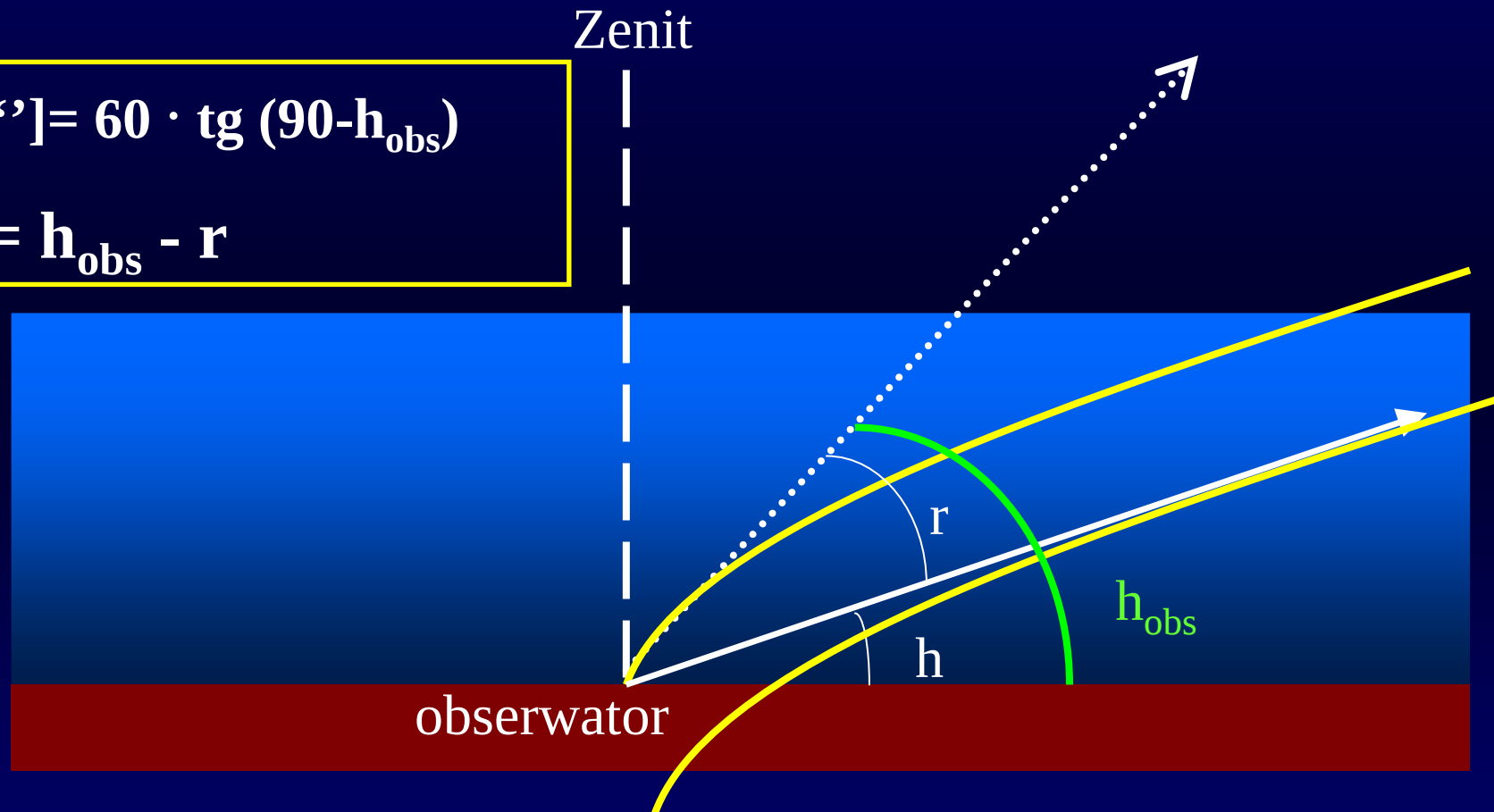
zmiana kształtu  
traczy Słońca i  
Księżyca



# Refrakcja atmosferyczna

$$r ["] = 60 \cdot \operatorname{tg} (90 - h_{\text{obs}})$$

$$h = h_{\text{obs}} - r$$



# Refrakcja atmosferyczna

poprawka wysokości  $r$

$$r ['] = 60'' \cdot \operatorname{tg} (90 - h_{\text{obs}})$$

$$h_{\text{prawdziwe}} = h_{\text{obserwowane}} - r$$

Współczynnik  $60''$  odpowiada ciśnieniu 760 mm Hg oraz temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$

Wzór obowiązuje przy  $h > 20^{\circ}$

**Przy horyzoncie ( $h = 0^{\circ}$ ) wartość  $r \approx 35'$**

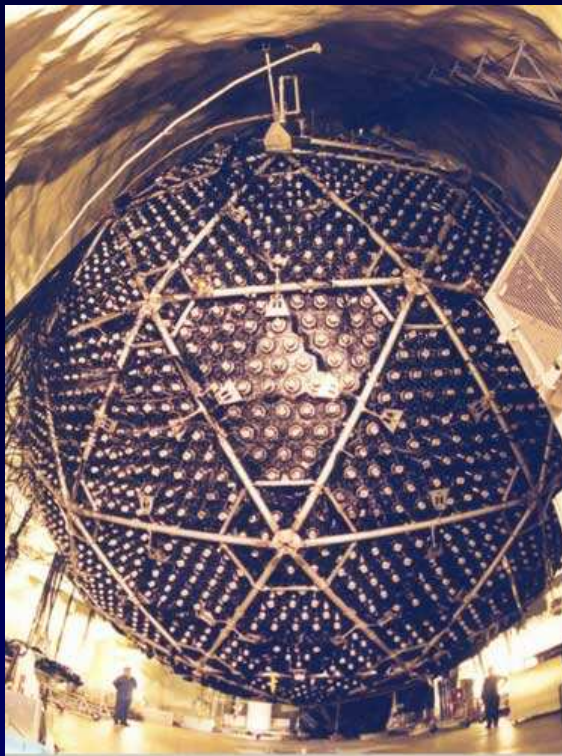
# Obserwatoria pozaatmosferyczne

- Dostępne całe widmo fal elektromagnetycznych
- Lepsza zdolność rozdzielcza
- Brak dobowego cyklu widoczności danego obiektu



# Inne źródła informacji:

- Cząstki elementarne (np. neutrino)



# Inne źródła informacji:

- Meteoryty: np: Arizona



# Inne źródła informacji:

Fale grawitacyjne (?)    Eksperyment „Ligo”



# Nauki pokrewne Astronomii

- Kosmologia
- Badania kosmiczne
- Astrofizyka
- Astrochemia
- Astrobiologia
- Planetologia
- ....

# Specyfika Astronomii

- Obserwacje zamiast powtarzalnego eksperymentu laboratoryjnego
- Brak wpływu na przedmiot obserwacji
- Specyficzne metody badań
- Specyficzna terminologia
- Tradycyjne jednostki miar

# Jednostki używane w Astronomii

Jednostka astronomiczna

$$1 \text{ AU} = 149.6 \text{ mln km}$$

jej długość odpowiada średniej odległości  
Ziemi od Słońca

# Jednostki używane w Astronomii

**Rok świetlny to odległość jaką światło pokonuje w ciągu roku**

$$\text{Rok świetlny [l.y.]} = c \cdot t = 9.460530 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

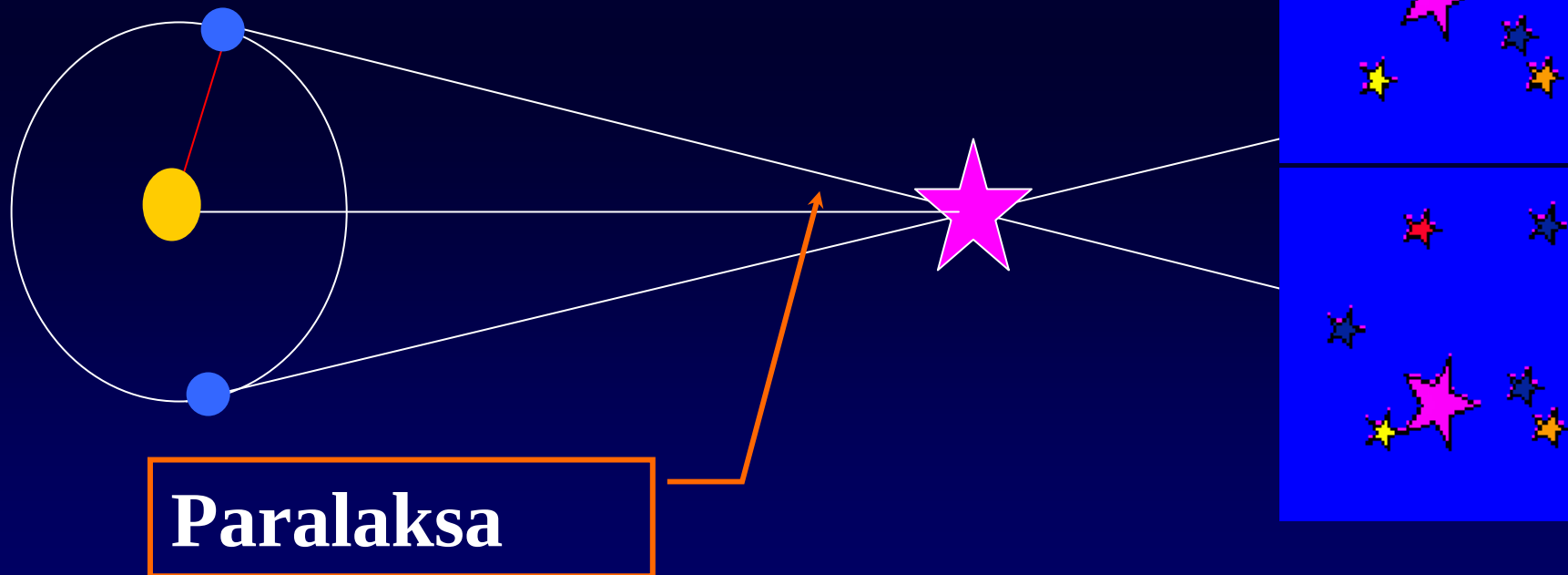
$c$  – prędkość światła w próżni  $c = 299792458 \text{ m/s}$

$t$  – długość roku podana w sekundach  $t_{1900} = 31556925.97474 \text{ [sekund]}$   
(w przybliżeniu wynosi:  $365.2422 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}$ )

Stosuje się też jednostki pokrewne: świetlne minuty, świetlne sekundy

# Jednostki używane w Astronomii

Paralaksa trygonometryczna:



# Jednostki używane w Astronomii

$$1 \text{ parsek} = 3.085678 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

Parsek ~ **PAR**alaksa **SEK**undowa

Jest to odległość z jakiej promień orbity ziemskiej widać pod kątem jednej sekundy łuku

Kąt 1''

**PARSEK**

# Jednostki używane w Astronomii

## Czasowa miara kątów

Kąt pełny  $2\pi$  radianów mierzy 360 stopni [ $^{\circ}$ ] podzielonych na 60 minut łuku [ $'$ ] podzielonych z kolei na 60 sekund łuku [ $''$ ].

W tzw. mierze czasowej kątów, kąt pełny liczy 24 godziny [ $^h$ ] podzielone na 60 minut [ $^m$ ], które dzieli się na 60 sekund [ $^s$ ]

$$360^{\circ} = 24^h \quad / :24$$

$$15^{\circ} = 1^h$$

$$15^{\circ} = 60^m \quad / :15$$

$$1^{\circ} = 4^m$$

$$60' = 4^m \quad / :4$$

$$15' = 1^m$$

$$15' = 60^s \quad / :15$$

$$1' = 4^s$$

$$60'' = 4^s \quad / :4$$

$$15'' = 1^s$$

# Skala jasności gwiazd

Ptolomeusz dla opisu jasności gwiazd wprowadził pojęcie „wielkość gwiazdowa”, (*magnitudo*), które nie ma nic wspólnego z rzeczywistymi rozmiarami gwiazd

Podzielił on gwiazdy widoczne gołym okiem na sześć klas od pierwszej do szóstej wielkości gwiazdowej.

**Wielkości gwiazdowe opisują obserwowane i absolutne jasności gwiazd**

# Skala jasności gwiazd

Współcześnie nadal stosuje się tę skalę, rozszerzając jej zakres na wszystkie obiekty dostępne obserwacjom teleskopowym.

Przykłady:

|              |                    |               |            |
|--------------|--------------------|---------------|------------|
| Słońce       | $-26^{\text{mag}}$ | Syriusz       | -1         |
| Księżyc      | -12                | Wega          | $\equiv 0$ |
| Wenus        | -4                 | Zasięg oka do | $\sim 6$   |
| Inne planety | -1                 | Teleskopy do  | $\sim 30$  |

# Skala jasności gwiazd

Związek wielkości gwiazdowej z jednostkami fizycznymi układu SI.

$$m = -2.5 \log I - 13.98$$

gdzie  $I$  jest to ilość energii padającej na  $1 \text{ m}^2$  w ciągu sekundy

---

$$\text{Log}_a b = c \text{ gdy } a^c = b$$

$$\log a = \log_{10} a$$

$$\log(a/b) = \log a - \log b$$

$$\ln a = \log_e a \quad \text{gdzie } e = 2.718281828$$

$$\log(ab) = \log a + \log b \quad \log a^x = x \log a$$

# Skala jasności gwiazd

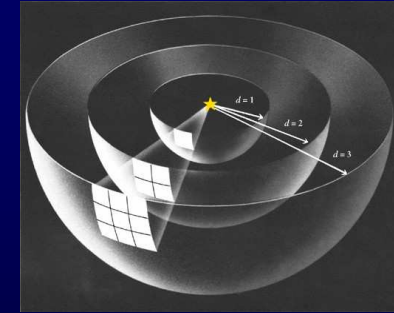
Wzór fotometryczy Pogsona:

$$m_1 - m_2 = 2.5 \log (I_2 / I_1)$$

$m_{1,2}$  – wielkości gwiazdowe (*magnitudo*)

$I_{1,2}$  – energia danego obiektu padająca w jednostce czasu na jednostkę powierzchni detektora

# Spadek natężenia światła z kwadratem odległości

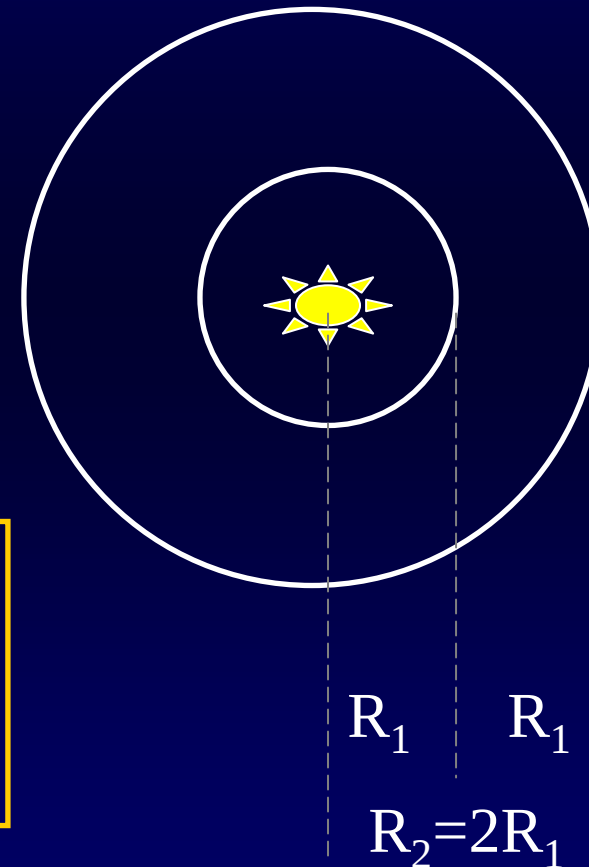


Taki sam strumień energii przechodzi przez sferę o promieniu  $R_1$  jak i przez sferę o promieniu  $R_2=2R_1$ . Powierzchnia drugiej sfery jest 4 razy większa:  $S_1=4\pi R_1^2$

$$S_2=4\pi R_2^2=4\pi(2R_1)^2=4\pi 4R_1^2=4S_1$$

Zatem:

Natężenie oświetlenia (strumień energii na każdy  $m^2$ ) maleje z kwadratem odległości



# Skala jasności gwiazd

Wielkości gwiazdowe niestety nie odzwierciedlają prawdziwych jasności gwiazd

Gwiazdy o takiej samej mocy promieniowania ( $I_1=I_2$ ) mogą różnić się obserwowaną wielkością gwiazdową jeśli znajdują się w różnych odległościach

Na przykład strumień energii od obiektu będącego 2 razy dalej będzie  $2^2$  razy słabszy a jego obserwowana wielkość gwiazdowa będzie się różnić o  $2.5 \log(4 \cdot I_2/I_1) \approx 1.5$  magnitudo

# Jasność obserwowana i absolutna

Aby bezpośrednio porównać moce promieniowania różnych gwiazd wprowadzono tak zwane absolutne wielkości gwiazdowe ( $M$ )

Jest to wielkość gwiazdowa jaką byśmy zaobserwowali gdyby dana gwiazda znalazła się w odległości 10 pc od Ziemi

# Jasność obserwowana i absolutna

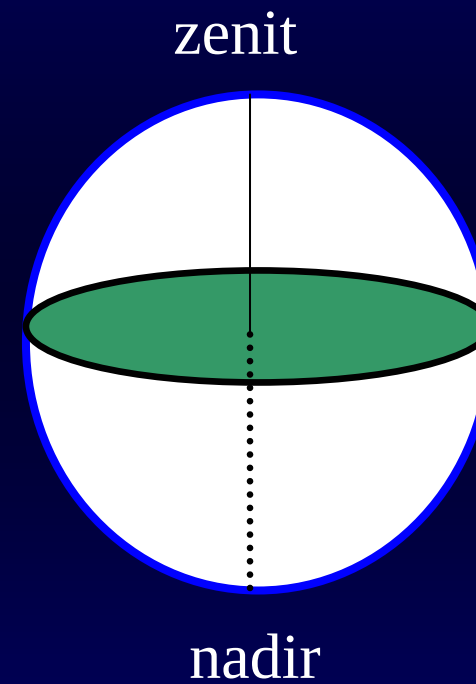
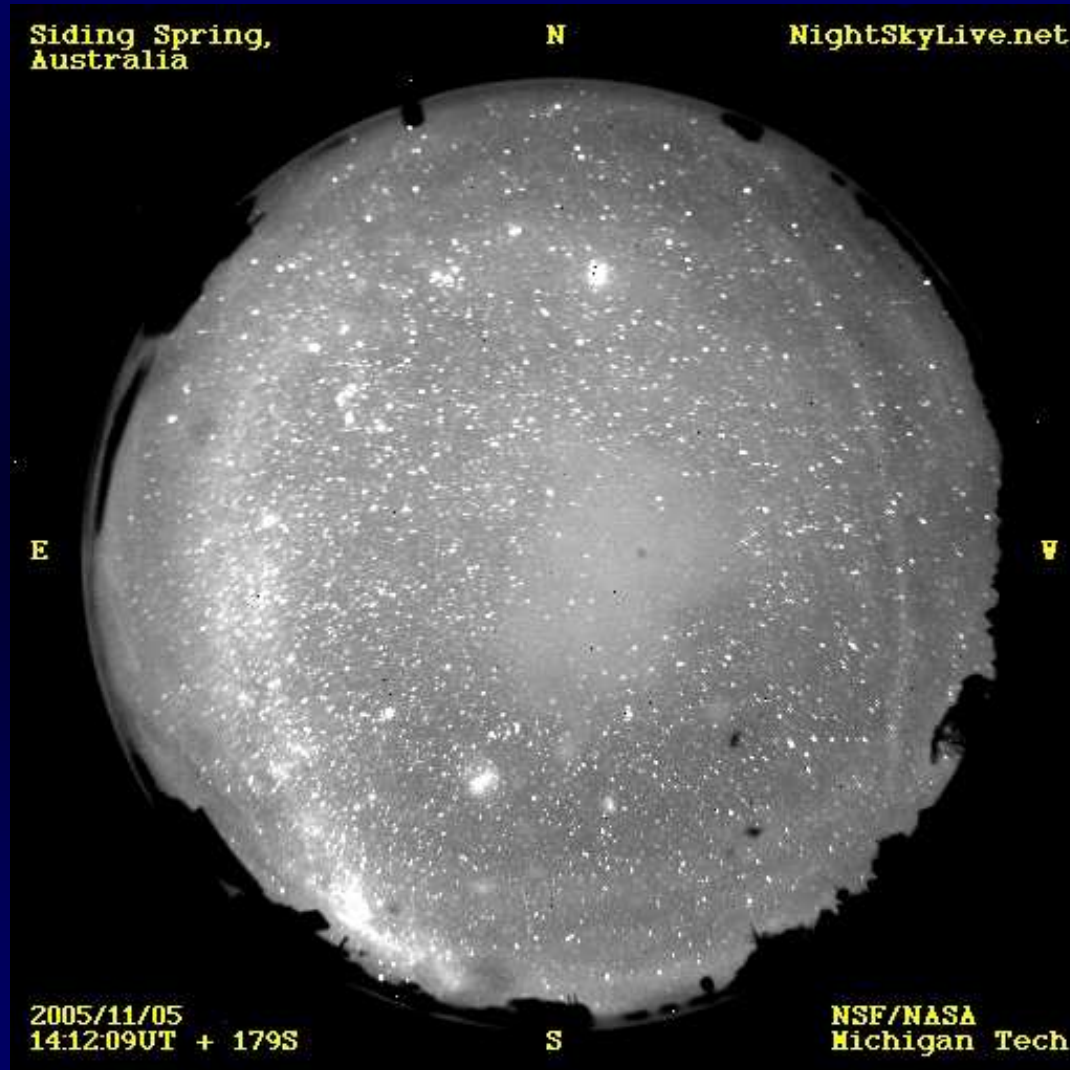
Związek obserwowanych i absolutnych wielkości gwiazdowych ( $m$  i  $M$ ) z odległością obiektu od Ziemi

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

gdzie  $D$  to rzeczywista odległość gwiazdy wyrażona w parsekach

# Astronomia Sferyczna

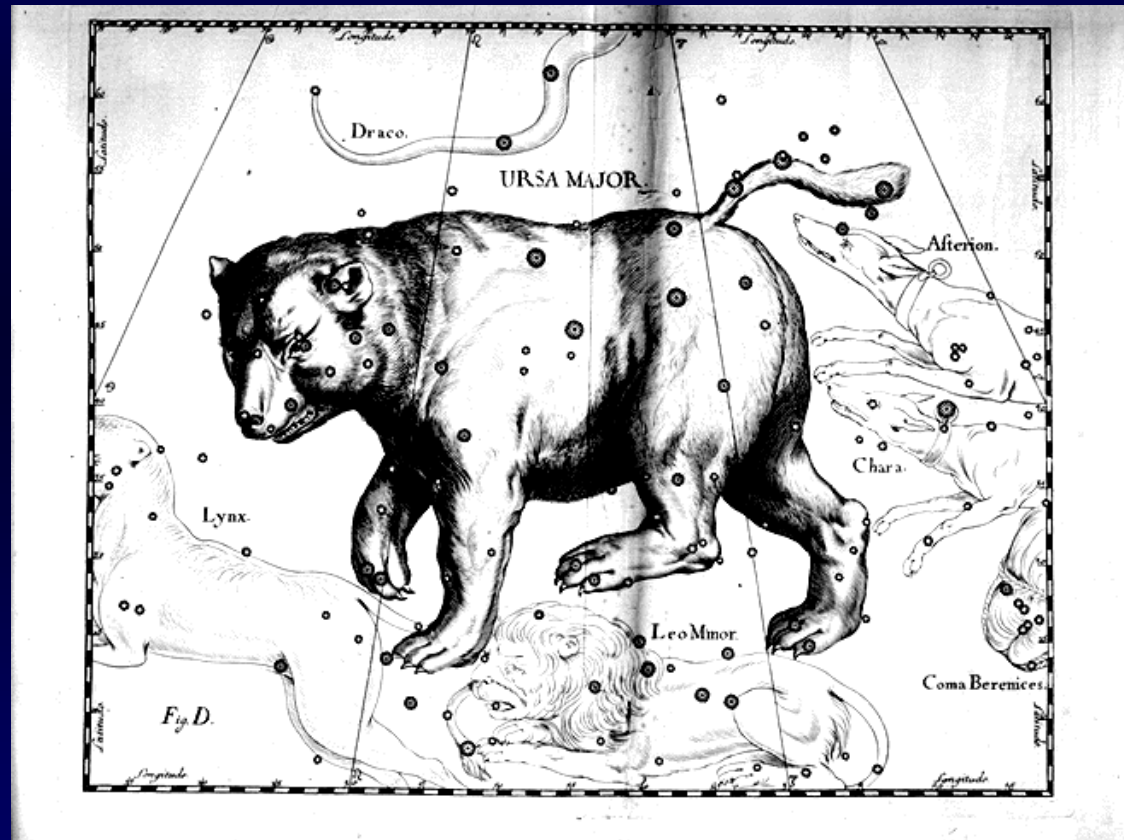
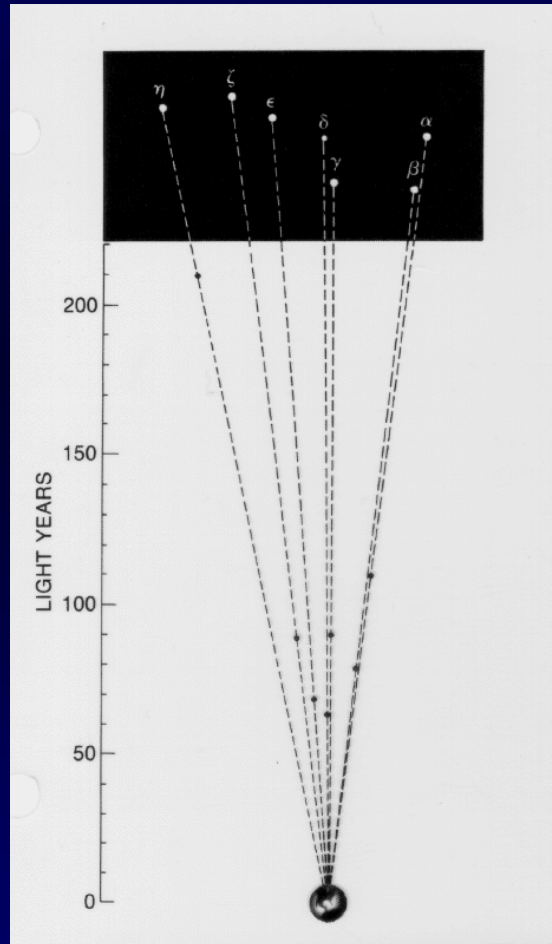
# Sfera niebieska



Siła grawitacji określa kierunek pionu, przecinającego sferę niebieską w zenicie i nadirze

# Sfera niebieska

## złudzenie jednakowej odległości gwiazd



# Sfera niebieska- ruch dobowy wschód



# Sfera niebieska- ruch dobowy górowanie



Południk niebieski

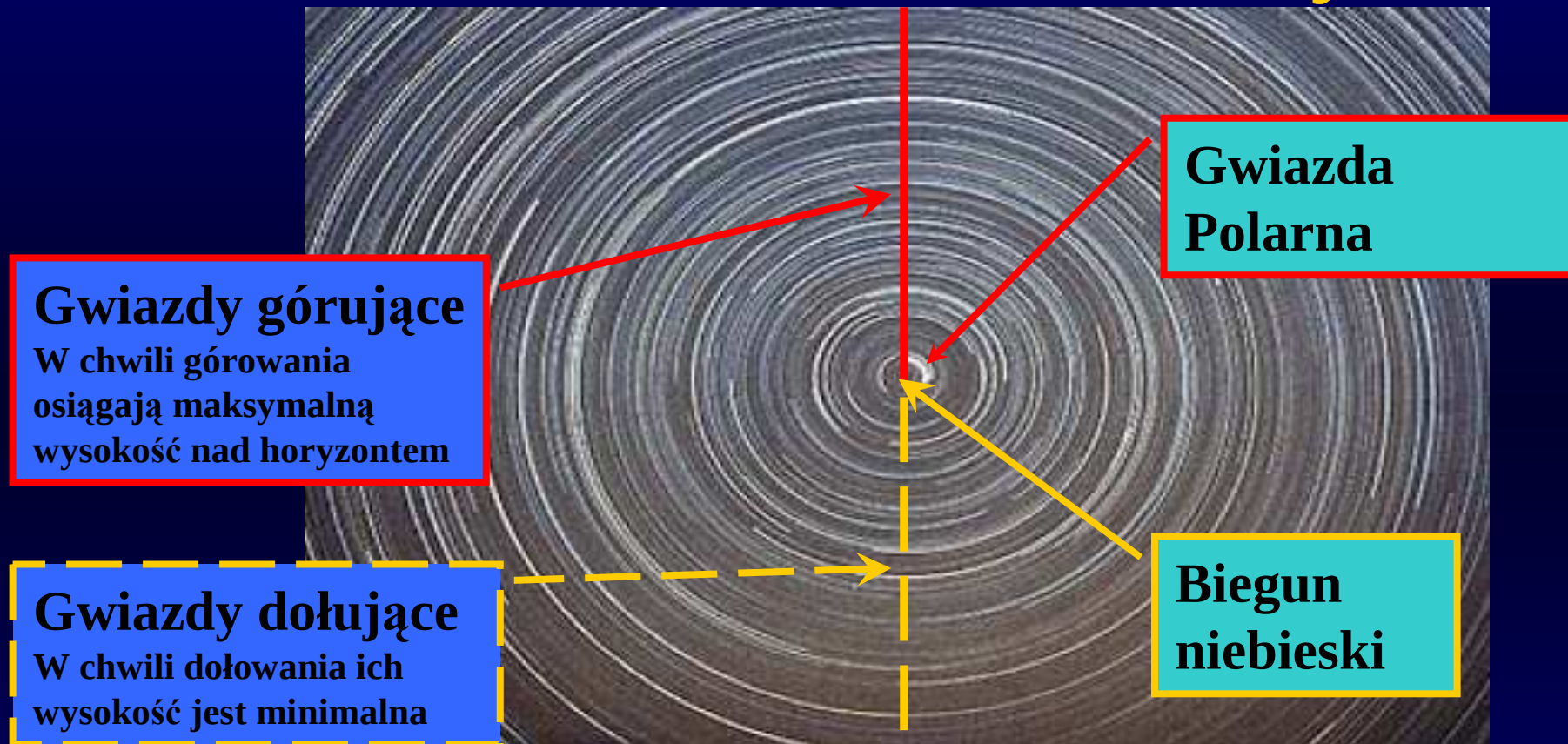
# Sfera niebieska- ruch dobowy zachód



# Sfera niebieska- ruch dobowy

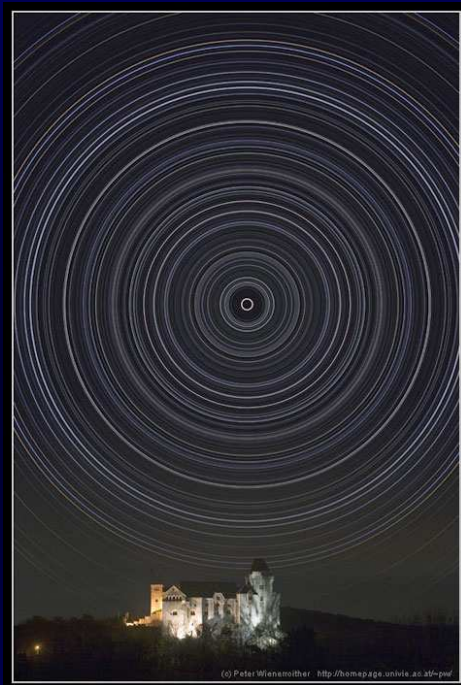


# Sfera niebieska- ruch dobowy



**Na północnej półkuli Ziemi górowanie gwiazd zachodzi na Południku Niebieskim pomiędzy Biegunem Północnym a kierunkiem S**

# Położenie Bieguna Niebieskiego zależy od szerokości geograficznej

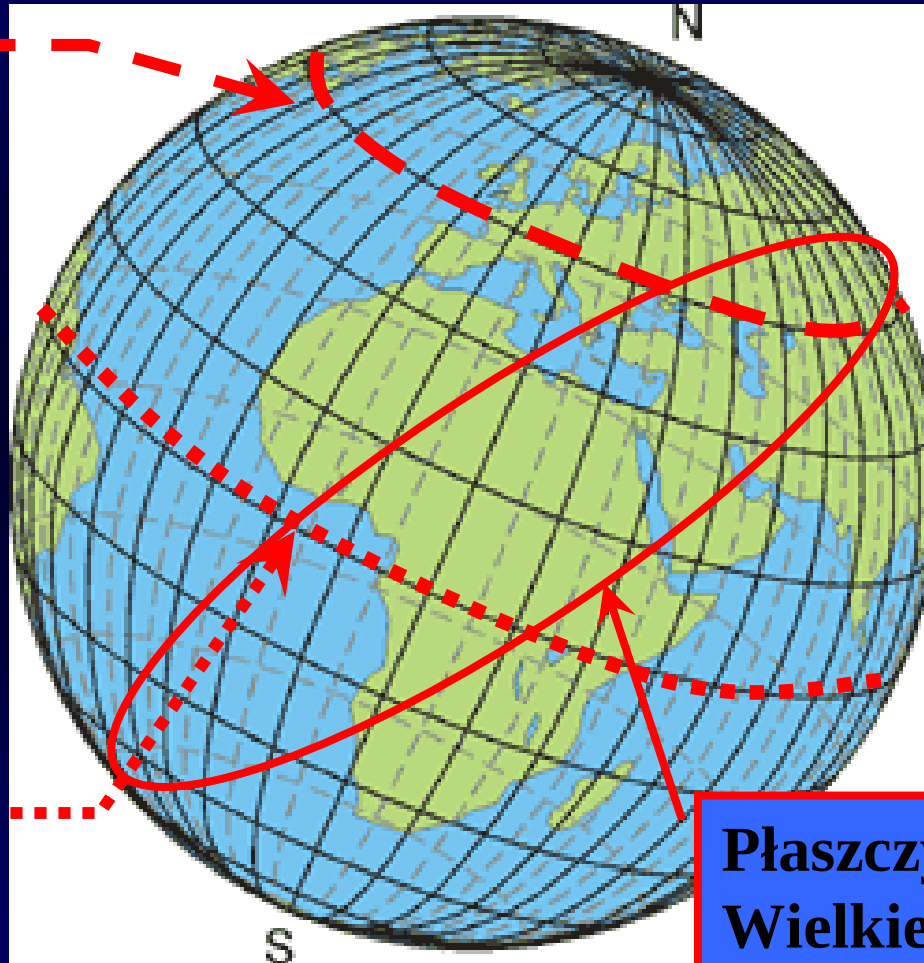


# Układy współrzędnych sferycznych

# Koła Wielkie i Koła Małe

Równoleżniki  
to koła małe

Równik-Koło  
Wielkie



Płaszczyzna Koła  
Wielkiego zawiera  
środek sfery

# Współrzędne sferyczne

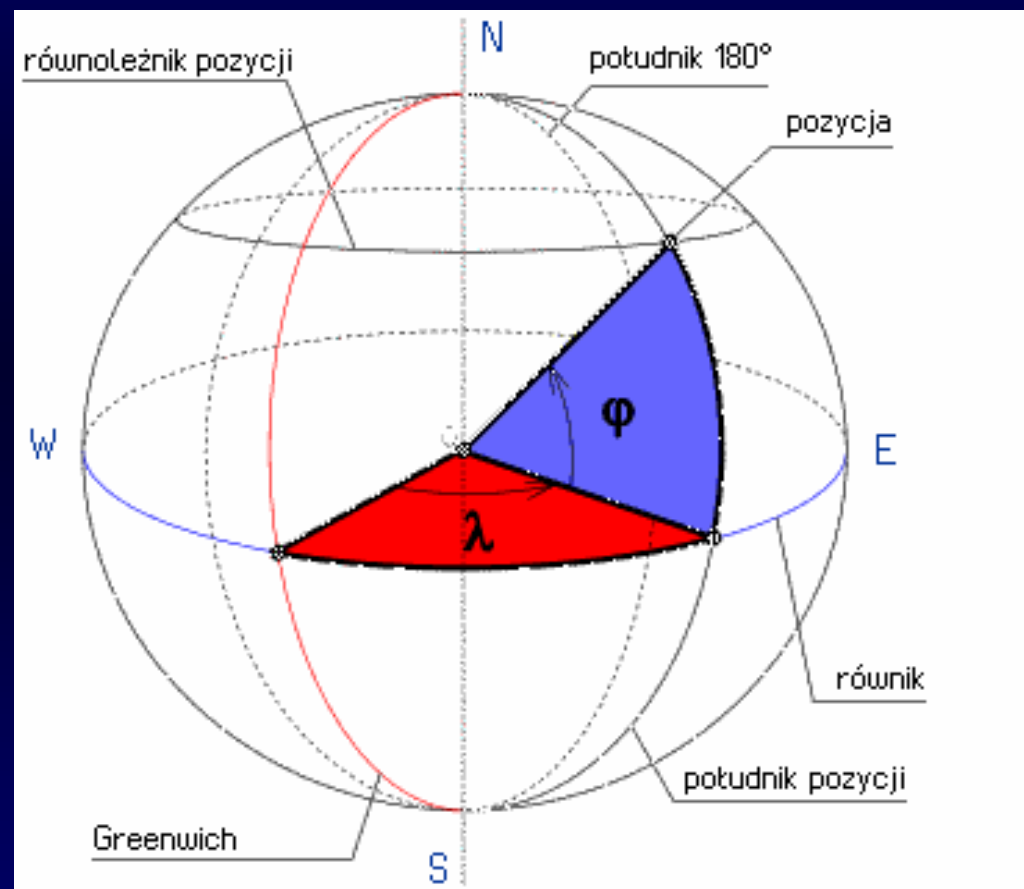
(np. geograficzne na powierzchni Ziemi)

## Szerokość geograficzna $\varphi$ :

kąt pomiędzy kierunkiem pionu w danym miejscu a płaszczyzną równika ziemskiego

## Długość geograficzna $\lambda$ :

kąt dwuścienny pomiędzy płaszczyzną południka zerowego a płaszczyzną południka przechodzącego przez dane miejsce.



# Elementy układów współrzędnych

## Współrzędne geograficzne

- Oś układu
- Płaszczyzna podstawowa
- Pierwsza współrzędna
- jednostki; zakres; zwrot
- Druga współrzędna
- Półkole początkowe
- jednostki; zakres; zwrot
- Oś obrotu Ziemi
- Równik (prostopadły do osi obrotu)
- Szerokość geograficzna  $\varphi$
- $^{\circ}$ ; od -90 (S) do +90 (N)
- Długość geograficzna  $\lambda$
- Południk zerowy
- $^{\circ}$ ; od -180 (W) do +180 (E)

**Pion** - wyznaczony przez kierunek siły grawitacji

**Horyzont** - Koło Wielkie prostopadłe do pionu

**Zenit i Nadir** - punkty przecięcia pionu ze sferą niebieską

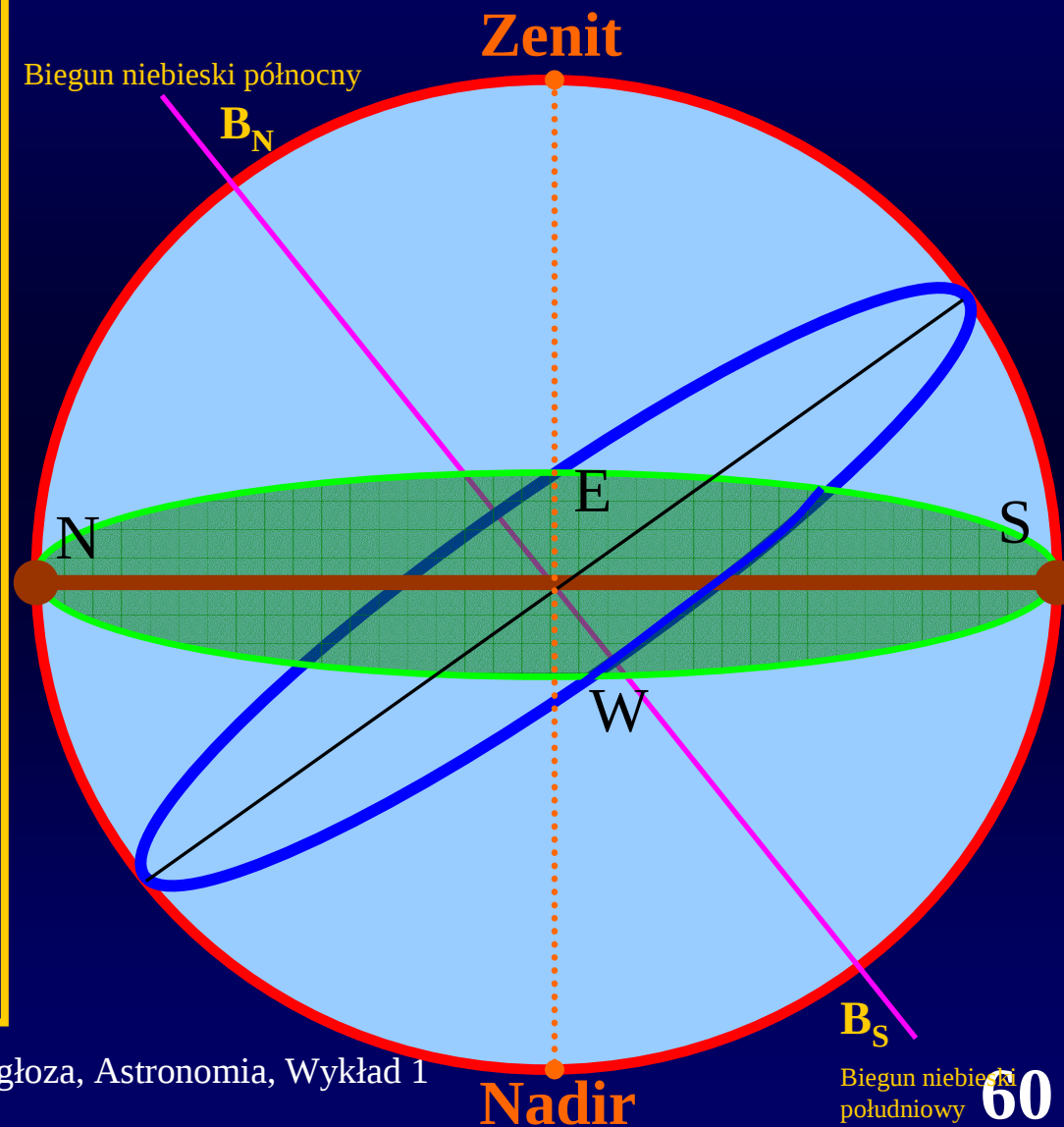
**Oś świata** - prosta równoległa do osi obrotu Ziemi przechodząca przez obserwatora

**Bieguny Niebieskie** - przecięcie Osi Świata ze sferą

**Równik Niebieski** - Koło Wielkie prostopadłe do Osi Świata, równoległe do równika ziemskiego. Przecina horyzont w punktach E, W

**Południk Niebieski** - Koło Wielkie przechodzące przez bieguny, zenit i nadir. Jego przecięcie z horyzontem wyznacza punkty N i S

# Sfera niebieska



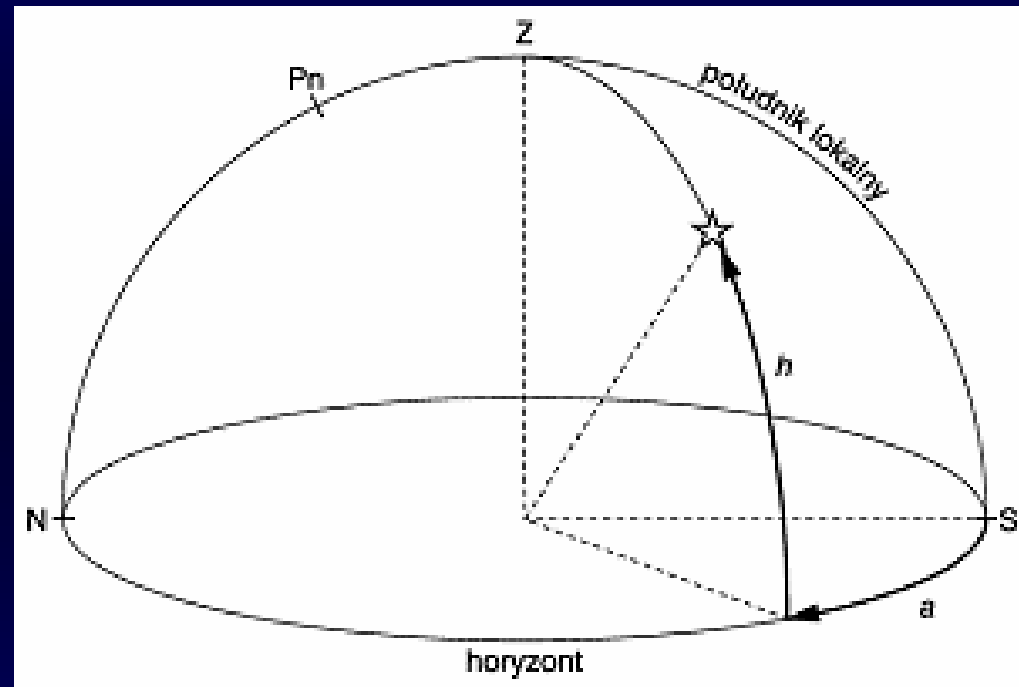
# Współrzędne horyzontalne

## **Wysokość $h$ :**

kąt pomiędzy kierunkiem do danego obiektu na sferze niebieskiej a płaszczyzną horyzontu

## **Azymut $a$ :**

kąt dwuścienny pomiędzy półpłaszczyzną południka niebieskiego a półpłaszczyzną zawierającą pion i przechodzącą przez dane miejsce na sferze niebieskiej.



# Elementy układów współrzędnych

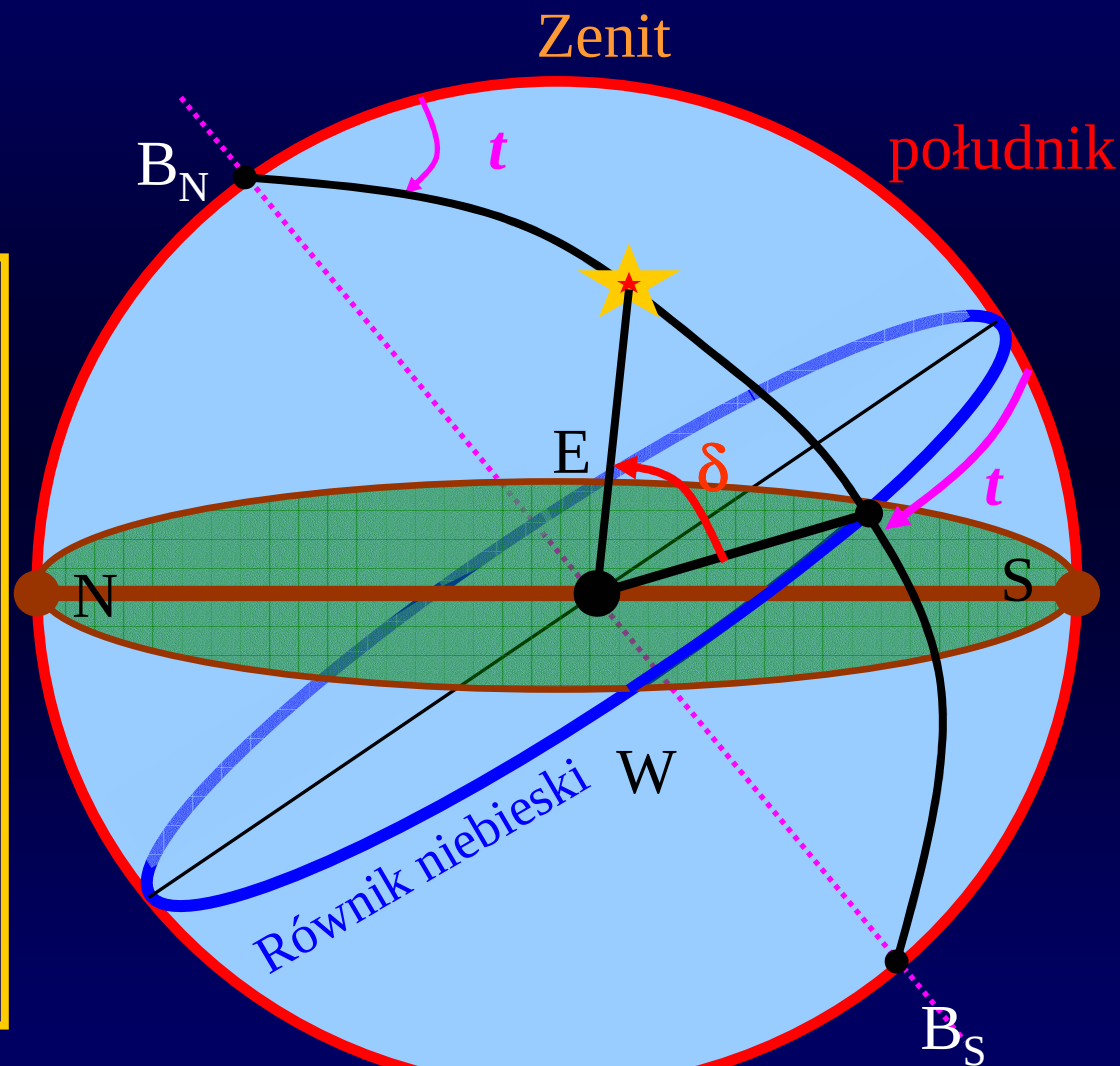
## Współrzędne horyzontalne

- Oś układu
- Płaszczyzna podstawowa
- Pierwsza współrzędna
- jednostki; zakres; zwrot
- Druga współrzędna
- Półkole początkowe
- jednostki; zakres; zwrot
- Pion
- Horyzont matematyczny (prostopadły do pionu)
- Wysokość  $h$
- $^{\circ}$ ; od  $-90$  do  $+90$
- Azymut  $a$  lub  $Az$
- Kierunek  $S$
- $^{\circ}$ ;  $0 - 360$ ;  $S \rightarrow W \rightarrow N \rightarrow E$

# Współrzędne równikowe-południkowe

**Kąt godzinny  $t$** : kąt pomiędzy płaszczyzną **południka** niebieskiego a płaszczyzną wyznaczoną przez Oś Świata i obiekt na niebie

**Deklinacja  $\delta$** : kąt pomiędzy kierunkiem do obiektu a płaszczyzną **równika** niebieskiego



# Elementy układów współrzędnych

## Współrzędne równikowe-południkowe

- Oś układu
- Płaszczyzna podstawowa
- Pierwsza współrzędna
- jednostki; zakres; zwrot
- Druga współrzędna
- Półkole początkowe
- jednostki; zakres; zwrot
- Oś świata
- Równik niebieski
- deklinacja  $\delta$
- $^{\circ}$ ; od -90 (S) do +90 (N)
- kąt godzinny  $t$
- od południka
- $^{\text{h m s}}$ ; 0 - 24; na zachód

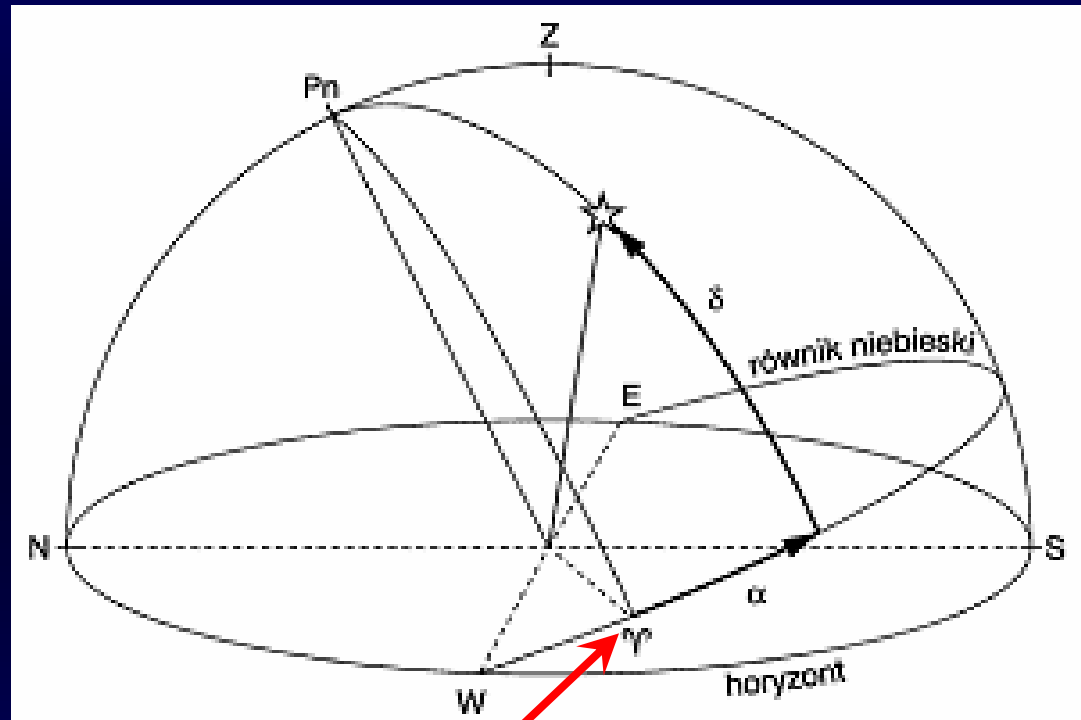
# Współrzędne równikowe-równonocne

## **Deklinacja $\delta$ :**

kąt pomiędzy kierunkiem do danego obiektu na sferze niebieskiej a płaszczyzną równika niebieskiego

## **Rektascensja $\alpha$ :**

kąt dwuścienny pomiędzy półpłaszczyzną wyznaczoną przez Oś Świata i punkt równonocy wiosennej (Punkt Barana) a półpłaszczyzną zawierającą Oś Świata i przechodzącą przez dane miejsce na sferze niebieskiej.



**Punkt  
Barana**

# Elementy układów współrzędnych

## Współrzędne równikowe-równonocne

- Oś układu
  - Płaszczyzna podstawowa
  - Pierwsza współrzędna
  - jednostki; zakres; zwrot
  - Druga współrzędna
  - Półkole początkowe
  - jednostki; zakres; zwrot
  - Oś świata
  - Równik niebieski
  - deklinacja  $\delta$
  - $^{\circ}$ ; od -90 (S) do +90 (N)
  - rektascensja  $\alpha$
  - od punktu równonocy wiosennej\*
  - $^{\text{h m s}}$ ; 0 - 24; na wschód
- \* tzw. punkt Barana

# Czas gwiazdowy $T^*$

- Obie współrzędne gwiazd w układzie horyzontalnym cały czas się zmieniają z niejednorodną prędkością
- Obie współrzędne gwiazd w układzie równikowym-równonocnym są stałe
- W układzie równikowym-południkowym deklinacja jest stała a kąt godzinny rośnie jednostajnie w czasie
- Wzajemną orientację obu układów równikowych określa tzw czas gwiazdowy

Czas gwiazdowy  $T^*$  jest równy rektascensji obiektów górujących lub kątowi godzinnemu punktu Barana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Punkt Barana, pozycja Słońca w czasie równonocy wiosennej, przecięcie ekliptyki z równikiem niebieskim

# Współrzędne równikowe-południkowe

Kąt godzinny punktu Barana  $t_{\gamma}$   
Czas gwiazdowy  $T^*$

$$t_{\gamma} = T^*$$

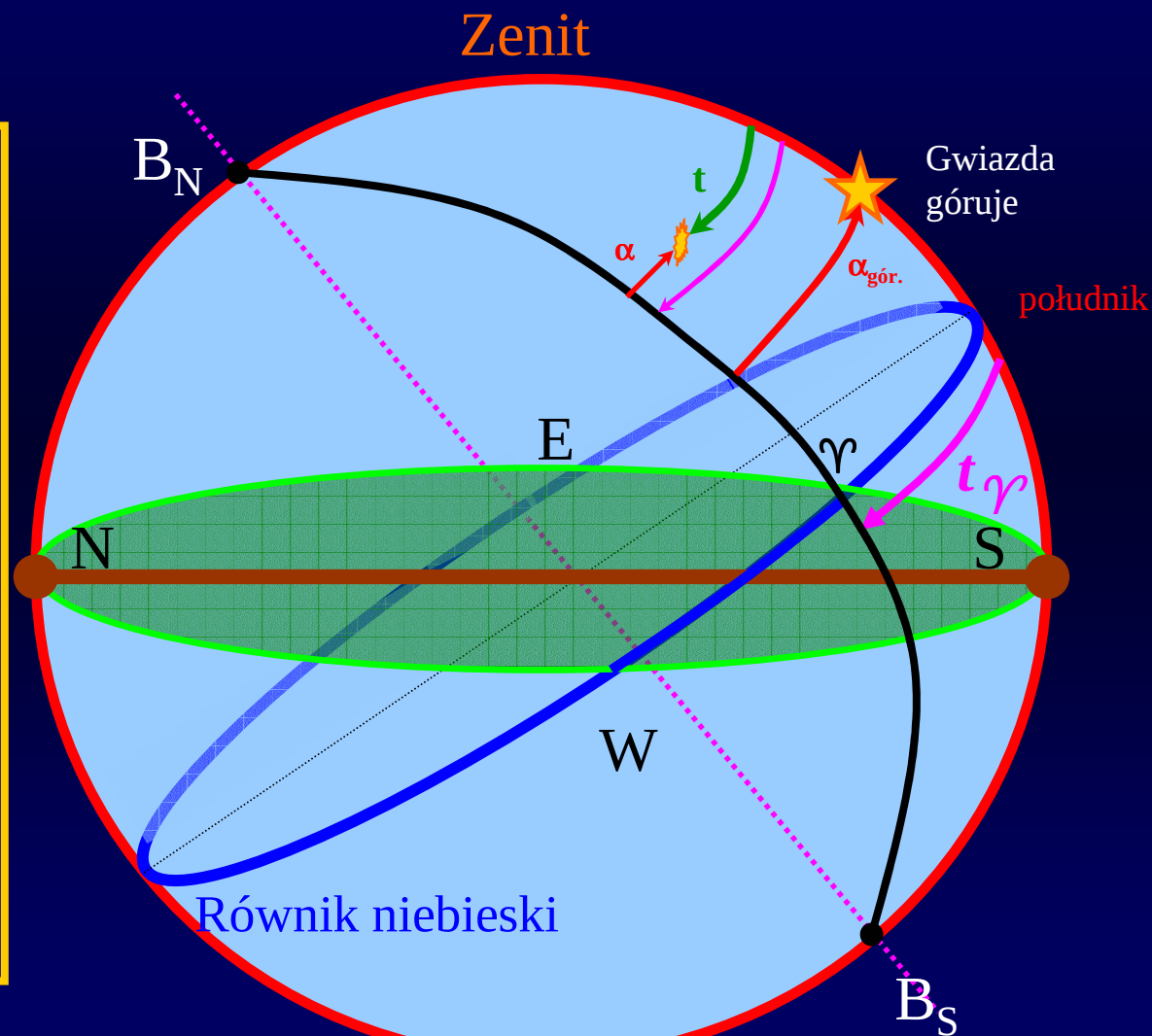
$t_{\gamma}$  rośnie jednostajnie wraz z  
upływem czasu gwiazdowego  $T^*$ .  
(dlatego wygodnie jest używać  
miary czasowej kątów!)

Rektascensja gwiazd górujących  
 $\alpha_{\text{gór}}$  jest równa  $T^*$

$$\alpha_{\text{gór}} = T^*$$

Dla innych obiektów:

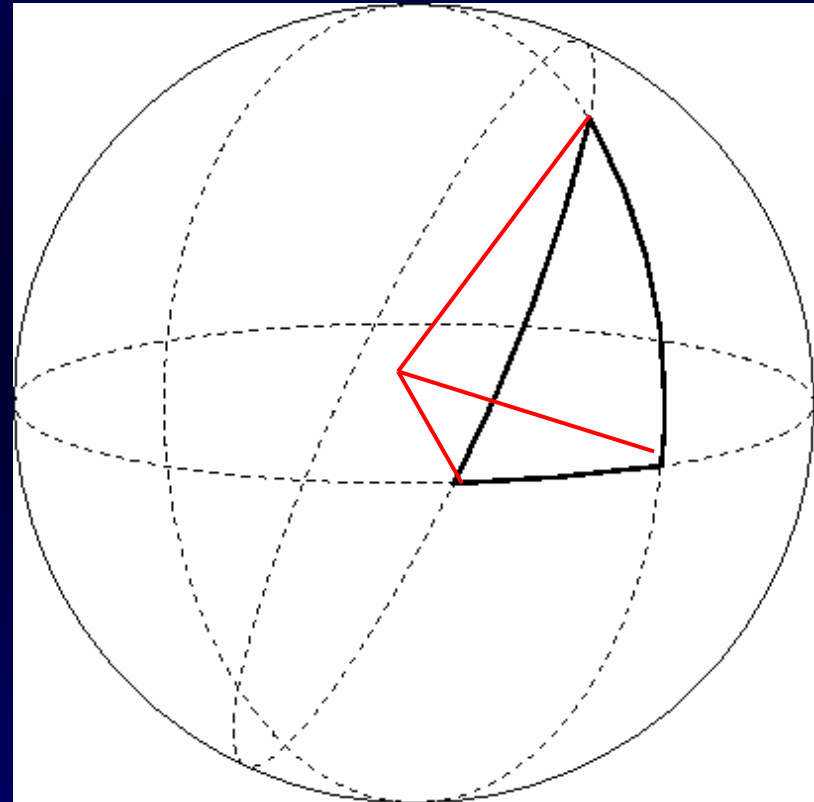
$$t = T^* - \alpha$$



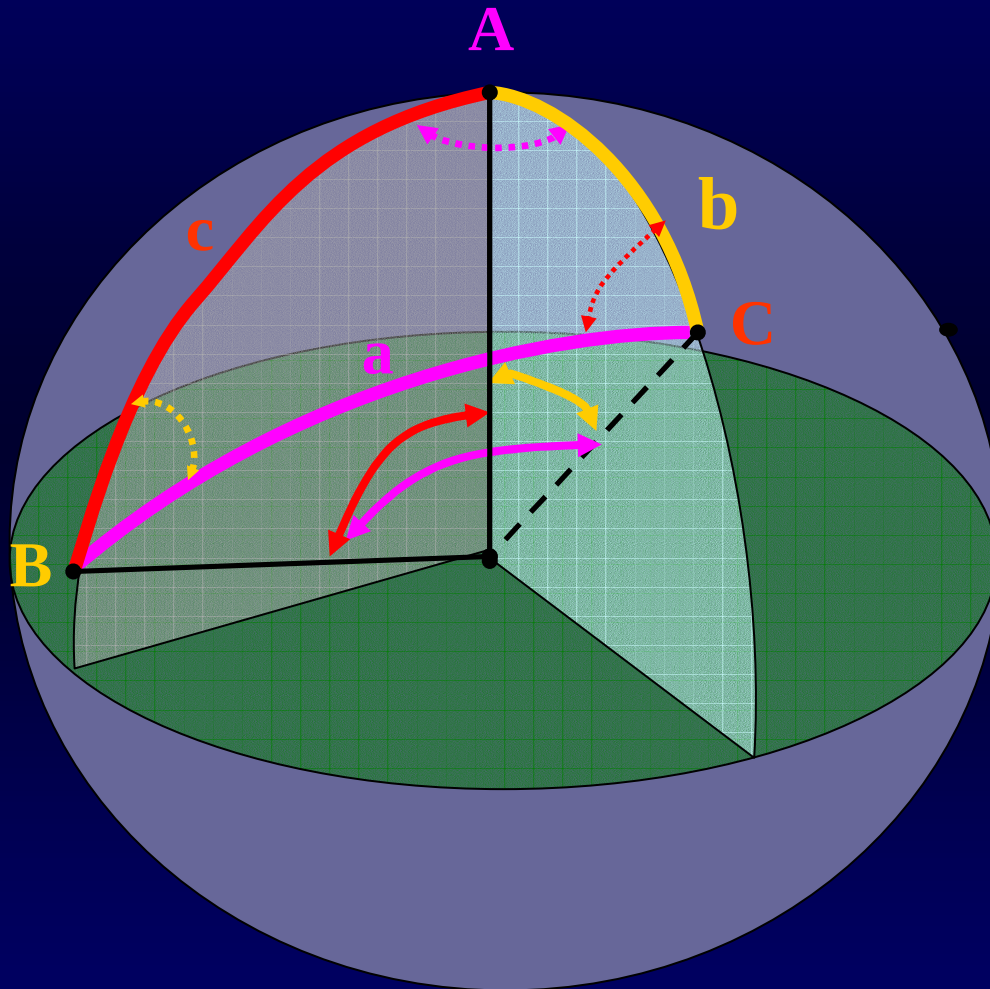
# Trójkąty sferyczne i paralaktyczne

# Trójkąt sferyczny

- Trójkąt leżący na powierzchni kuli
- Boki są fragmentami kół wielkich
- Boki opisujemy jako kąty z wierzchołkami w środku sfery



# Trójkąt sferyczny



Kąty wierzchołkowe  
oznaczamy  $A, B, C$  a ich  
przeciwległe boki  $a, b, c$

Boki trójkąta sferycznego są  
również kątami!  
(wierzchołek w środku sfery)

Suma  $A+B+C$  jest większa  
od 180 stopni i mniejsza od  
540 stopni!

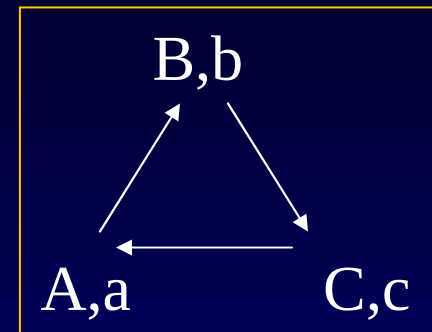
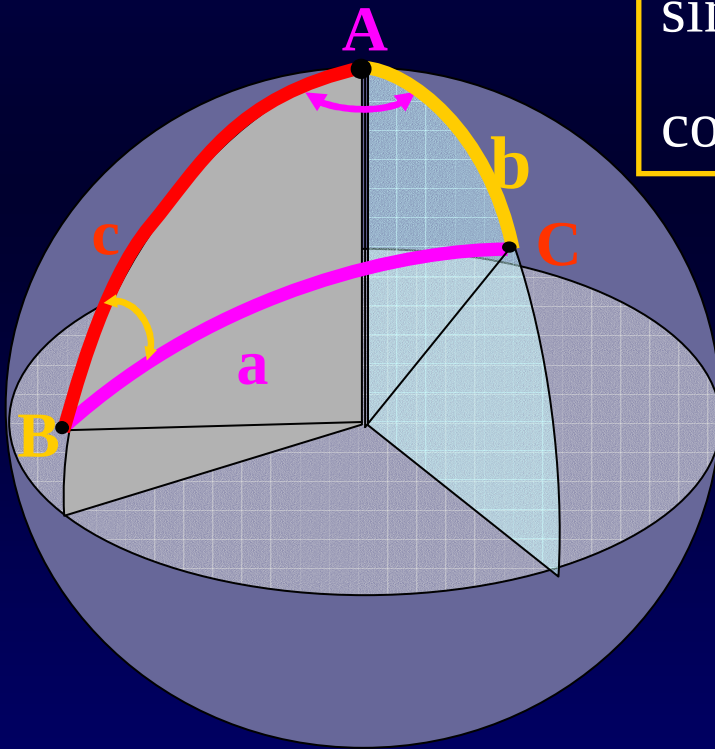
Podobnie jak w trójkątach  
płaskich aby rozwiązać  
trójkąt potrzeba znać trzy  
elementy oraz odpowiednie  
wzory:

# Trójkąt sferyczny

$$\sin a / \sin A = \sin b / \sin B = \sin c / \sin C$$

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

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



Reguła zmiany oznaczeń