

PODSTAWY ASTRONOMII

Krzysztof Kamiński

Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM

www.astro.amu.edu.pl

chrisk@amu.edu.pl

Plan zajęć i zaliczenie

1. Astronomia na sferze niebieskiej
2. Ruch ciał niebieskich w polu grawitacyjnym
3. Struktura Układu Słonecznego
4. Gwiazdy i materia międzygwiazdowa

Astronomia jako nauka

- Astronomia – od greckich słów *astro* – *gwiazda* i *nomos* – prawo: „prawa gwiazd”
- Jedna z najstarszych dyscyplin naukowych:
 1. kość Lebombo (~ 35 000 lat p.n.e.)
 2. Stonehenge (3000 p.n.e)



Słowo **kosmos**

pochodzi od greckiego:
ład, porządek, ozdoba

Ten sam rdzeń i pochodzenie
ma najprawdopodobniej
słowo: **kosmetyk**

Kręgi kamienne, np. w Odrach często są podejrzewane o związek z obserwacjami astronomicznymi.



Wyprawa OA UAM w latach 90-tych do kręgów w Odrach nie znalazła przekonujących dowodów na powiązanie pomiędzy aktualną pozycją kamieni w kręgach i pozycjami ciał niebieskich na sferze w minionych tysiącletniach.

Źródła informacji o Wszechświecie

- **Fale elektromagnetyczne:**
światło widzialne, fale radiowe i inne;
- **Materia kosmiczna:**
meteoryty, skały księżycowe, marsjańskie,
pył kometarny, pył międzyplanetarny;
- **Cząstki elementarne docierające do Ziemi:**
wiatr słoneczny, „promieniowanie kosmiczne”, neutrina;
- **Fale grawitacyjne:**
pierwsza detekcja w 2015 roku
- **Eksperymenty:**
era kosmiczna rozpoczęła się w 1957r

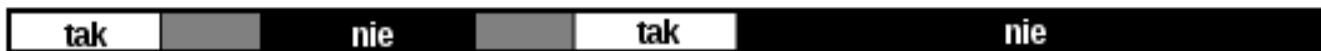


Fale elektromagnetyczne

- Obserwacje pozycyjne (kierunek)
- Obserwacje fotometryczne (natężenie całkowite)
- Obserwacje spektroskopowe (rozkład natężenia)
- Obserwacje polarymetryczne (płaszczyzna drgań)

Fale elektromagnetyczne

Przenika atmosferę ziemską?



Typ promieniowania
Długość fali (m)

radiowe

10^3

mikrofałe

10^{-2}

podczerwień

10^{-5}

światło widzialne

0.5×10^{-6}

ultrafiolet

10^{-8}

rentgenowskie

10^{-10}

gamma

10^{-12}

Ciało o skali zbliżonej do długości fali



budynki



człowiek



motyl



ostrze igły



pierwotniaki



molekuły

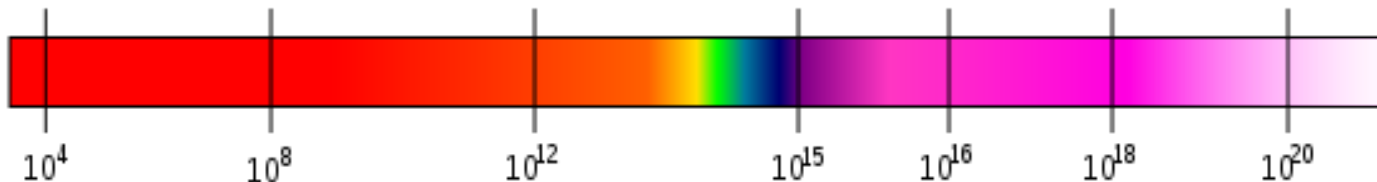


atomy

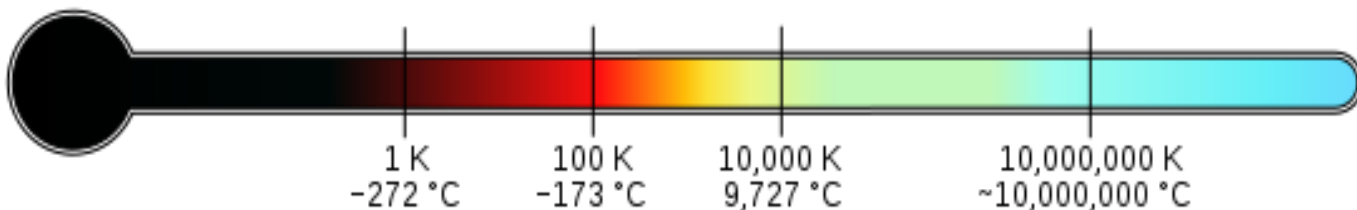


jądra atomowe

Częstotliwość (Hz)

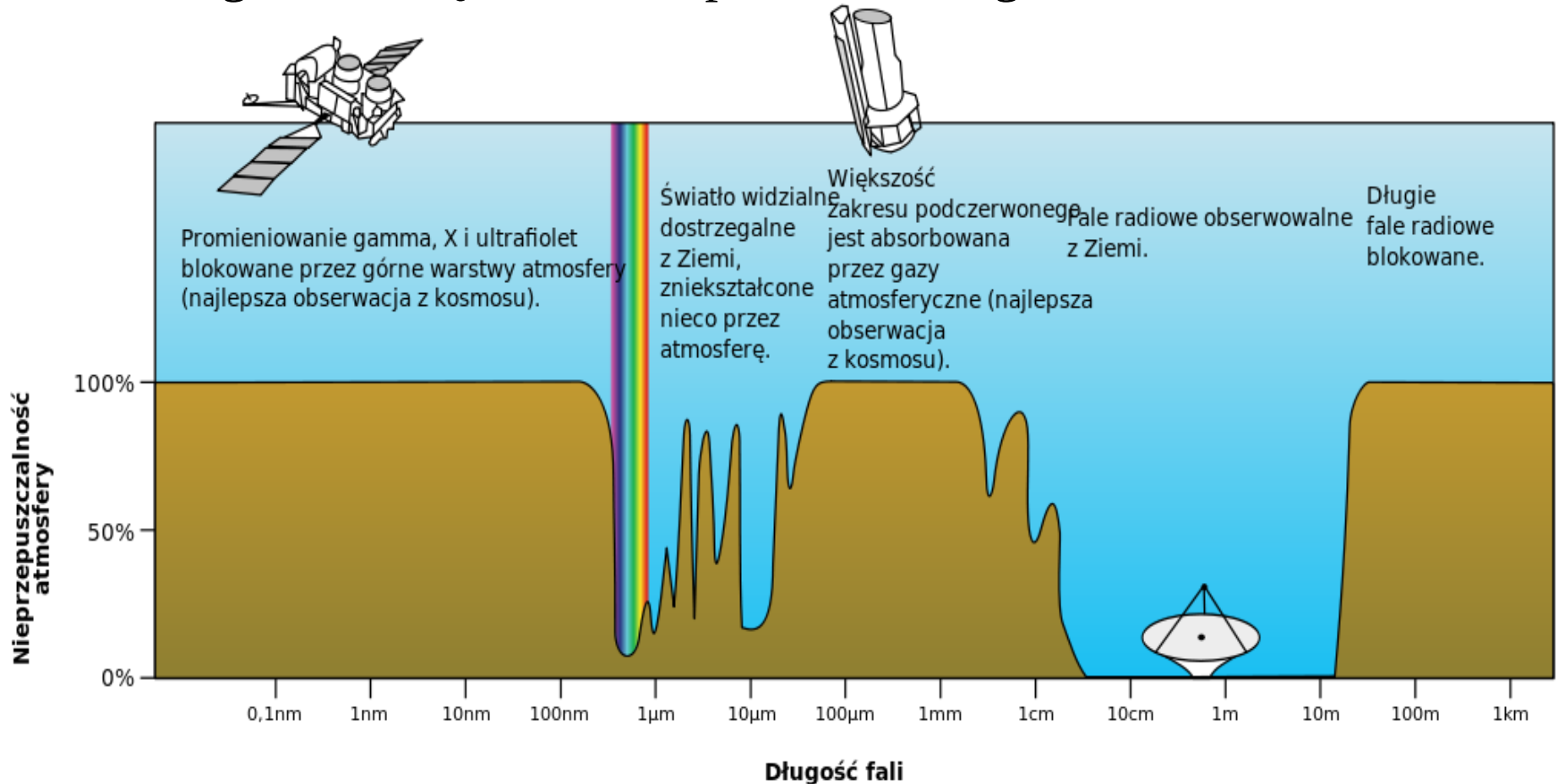


Temperatura ciała, którego maksimum promieniowania jest w danej długości fali

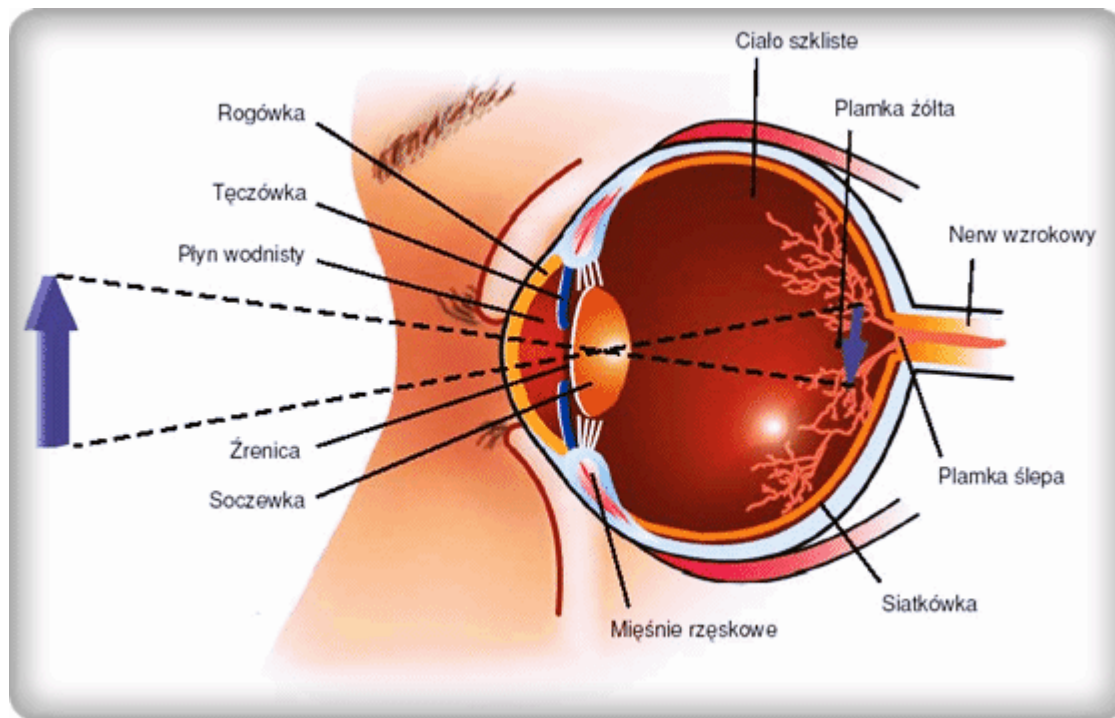


Atmosfera Ziemi

Atmosfera pochłania i rozprasza większość promieniowania elektromagnetycznego, zanim zdoła ono dotrzeć do powierzchni Ziemi. Przepuszczane są 3 zakresy fal: większość zakresu widzialnego i radiowego oraz część zakresu podczerwonego.

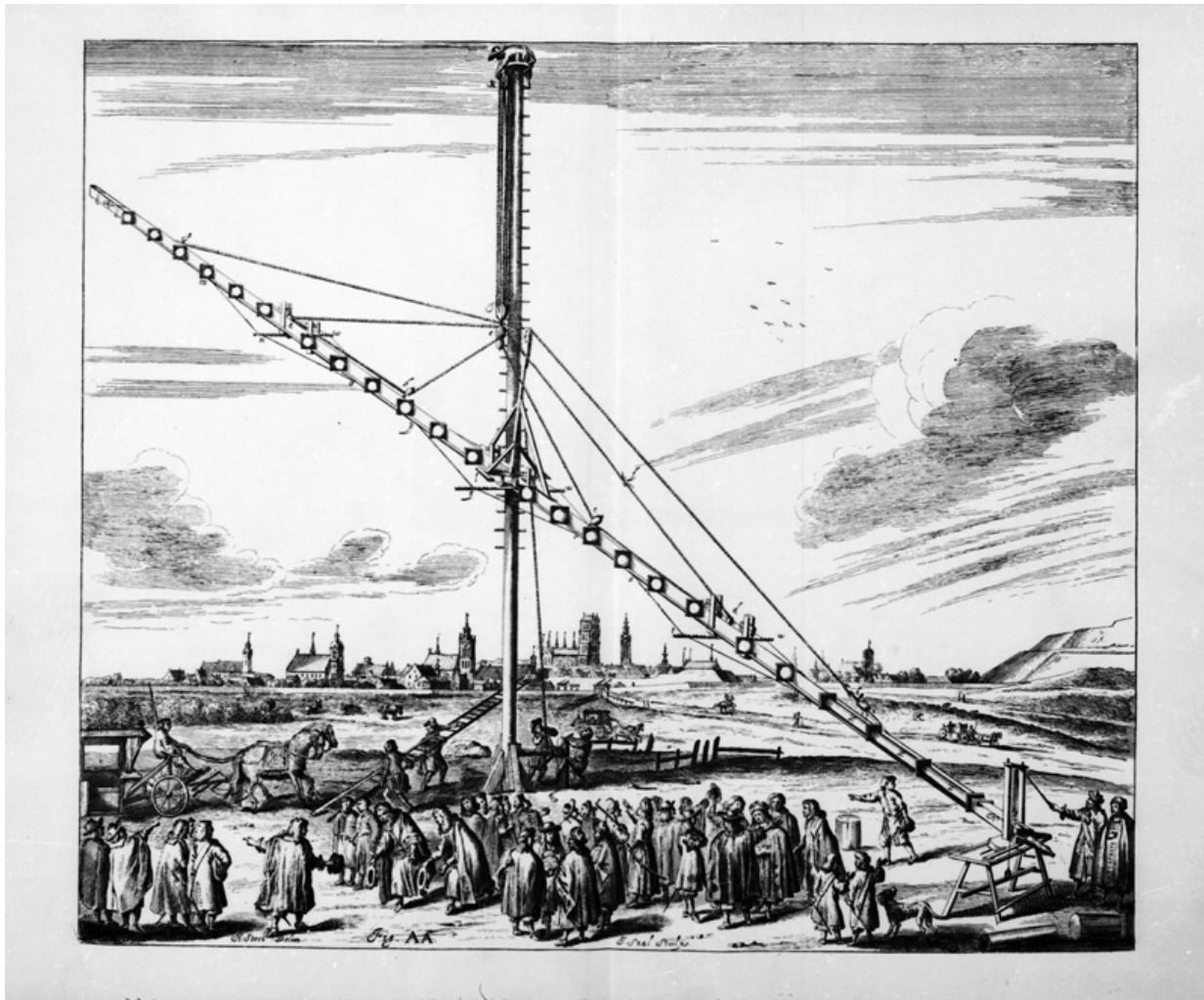


Obserwatoria astronomiczne



Aż do XVII wieku jedynym przyrządem obserwacyjnym w astronomii było ludzkie oko.
Średnica źrenicy to ok. 6mm.

Obserwatoria astronomiczne

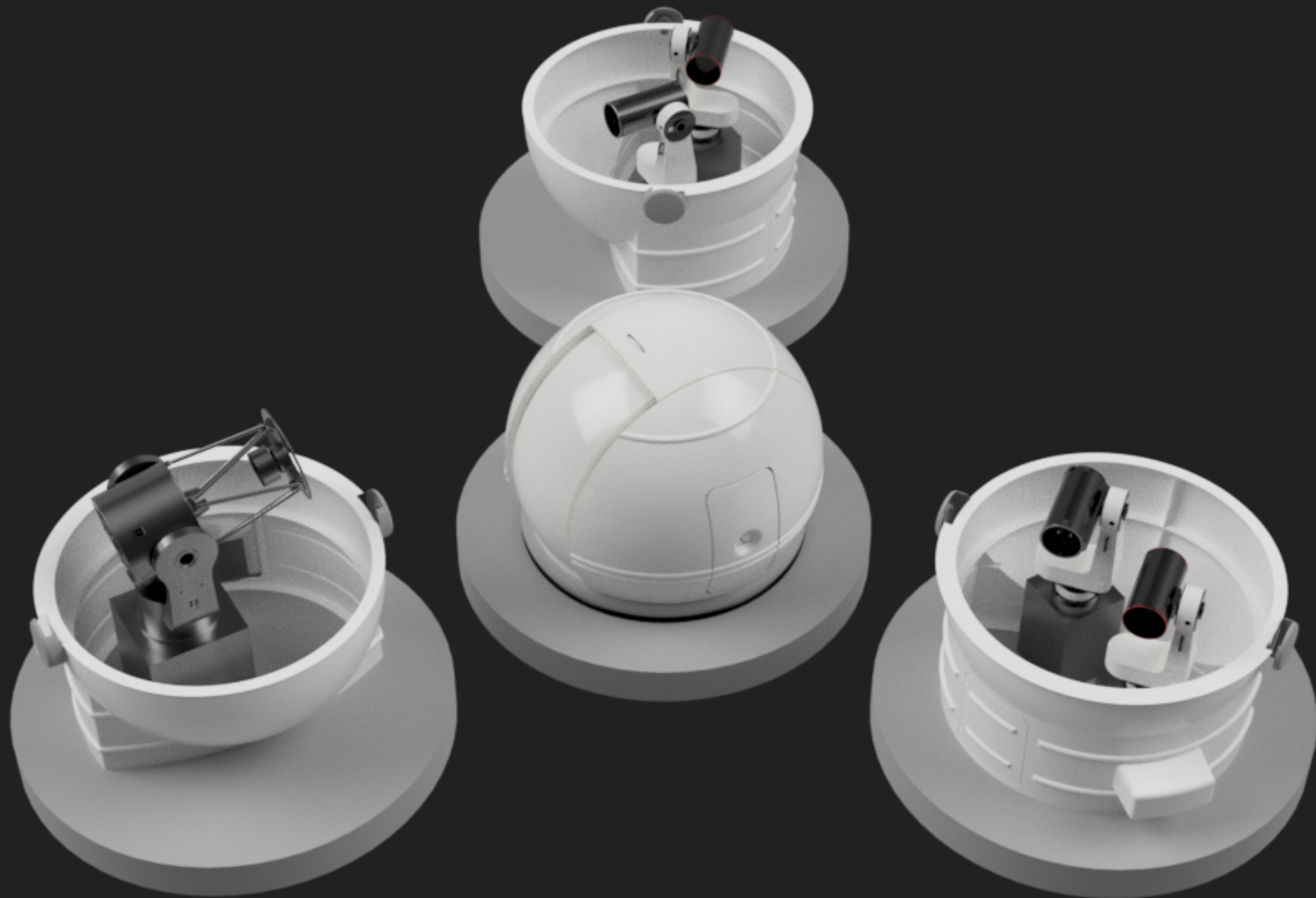


Luneta Heweliusza ok. 1650r

Obserwatoria astronomiczne



W zakresie optycznym stosuje się teleskopy naziemne i kosmiczne.



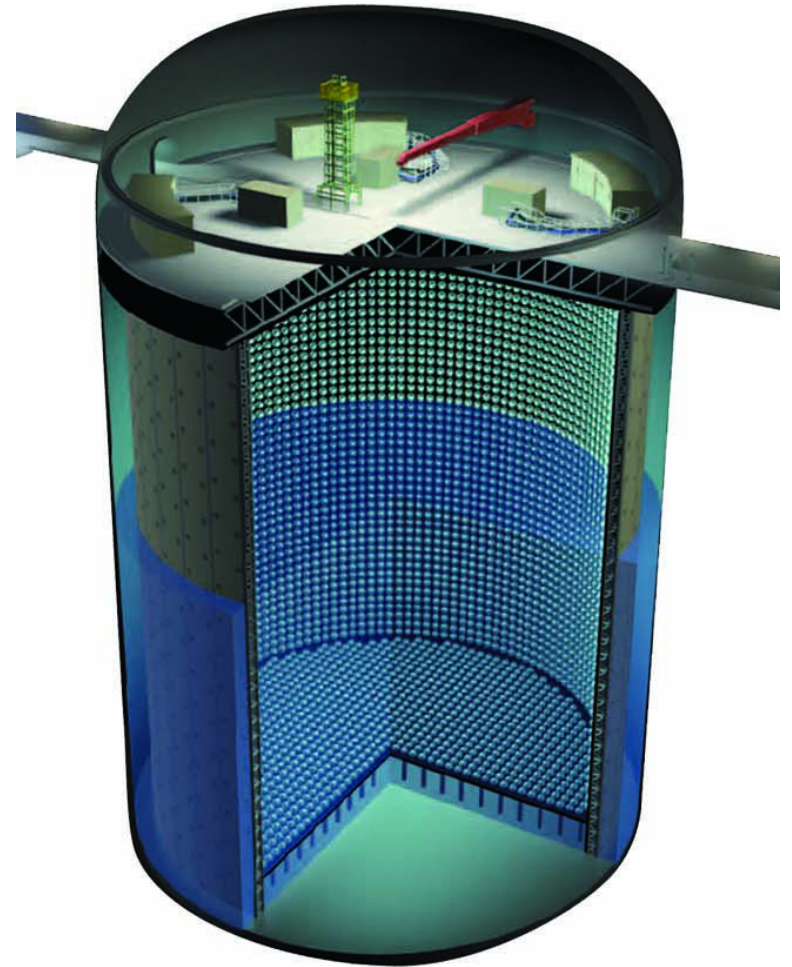
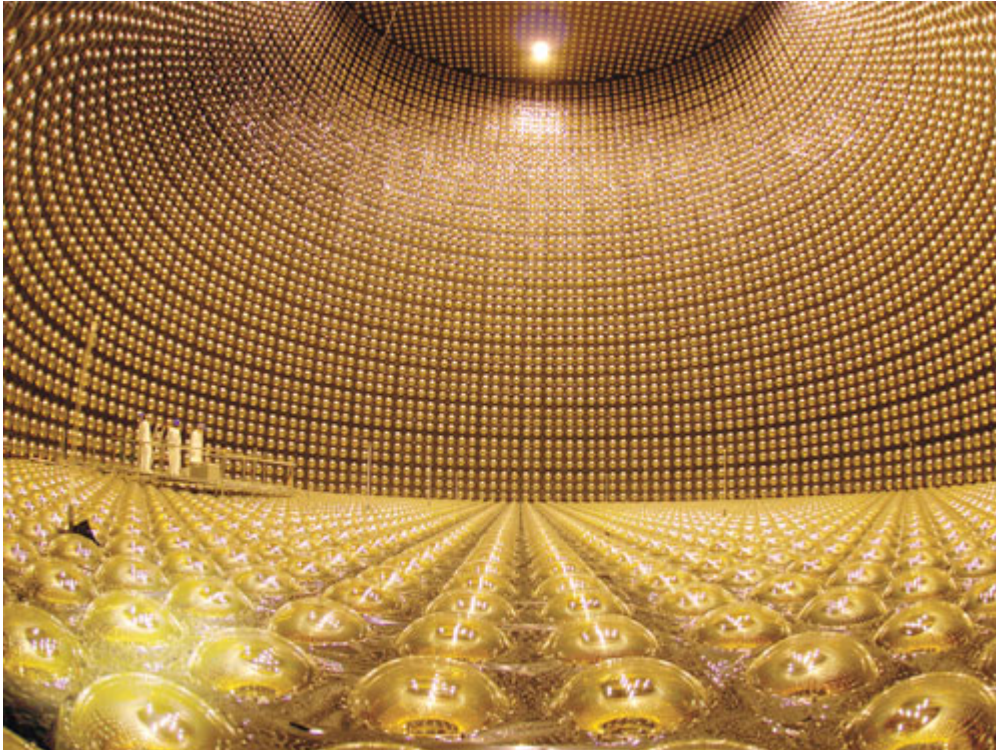
Poznań SST Telescope 3 (PST3) w Chalinie koło Sierakowa

Obserwatoria astronomiczne



W zakresie radiowym stosuje się zwykle anteny talerzowe, większość na powierzchni Ziemi.

Obserwatoria astronomiczne



W celu detekcji neutrin kosmicznych buduje się specjalne detektory pod ziemią, tu Super-Kamiokande

Obserwatoria astronomiczne



Detektor fal grawitacyjnych

Wybrane działy astronomii

Ze względu na badane obiekty:

heliofizyka

astrofizyka (układ słoneczny, gwiazdy, galaktyki, materia)

kosmologia

astrobiologia

Ze względu na zakres fal:

astronomia optyczna, radiowa, UV, IR, gamma, X,
mikrofalowa

Ze względu na technikę badań:

obserwacje naziemne, kosmiczne

badania kosmiczne

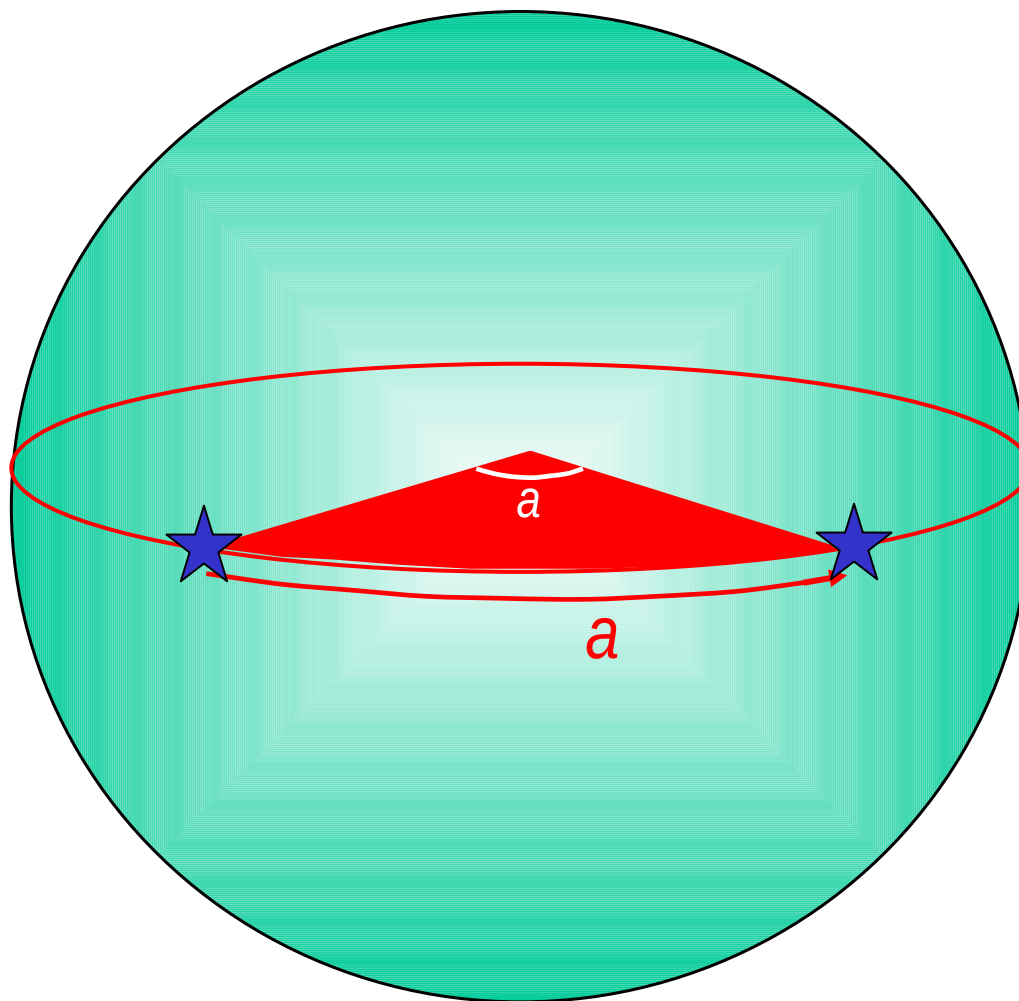
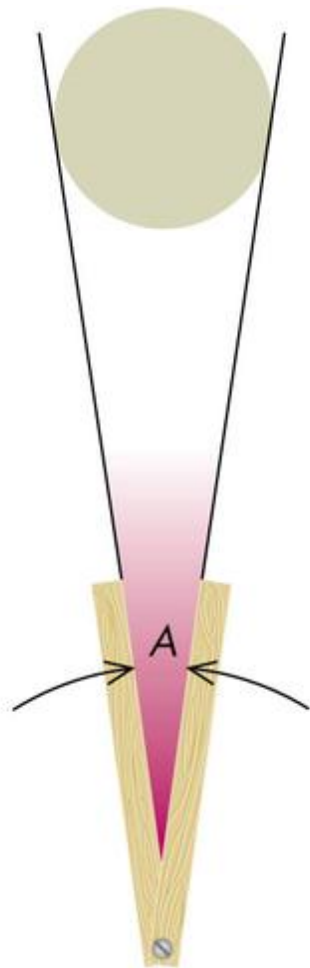
astrometria, fotometria, spektroskopia, interferometria,
polarymetria

astronomia neutrinowa i fal grawitacyjnych

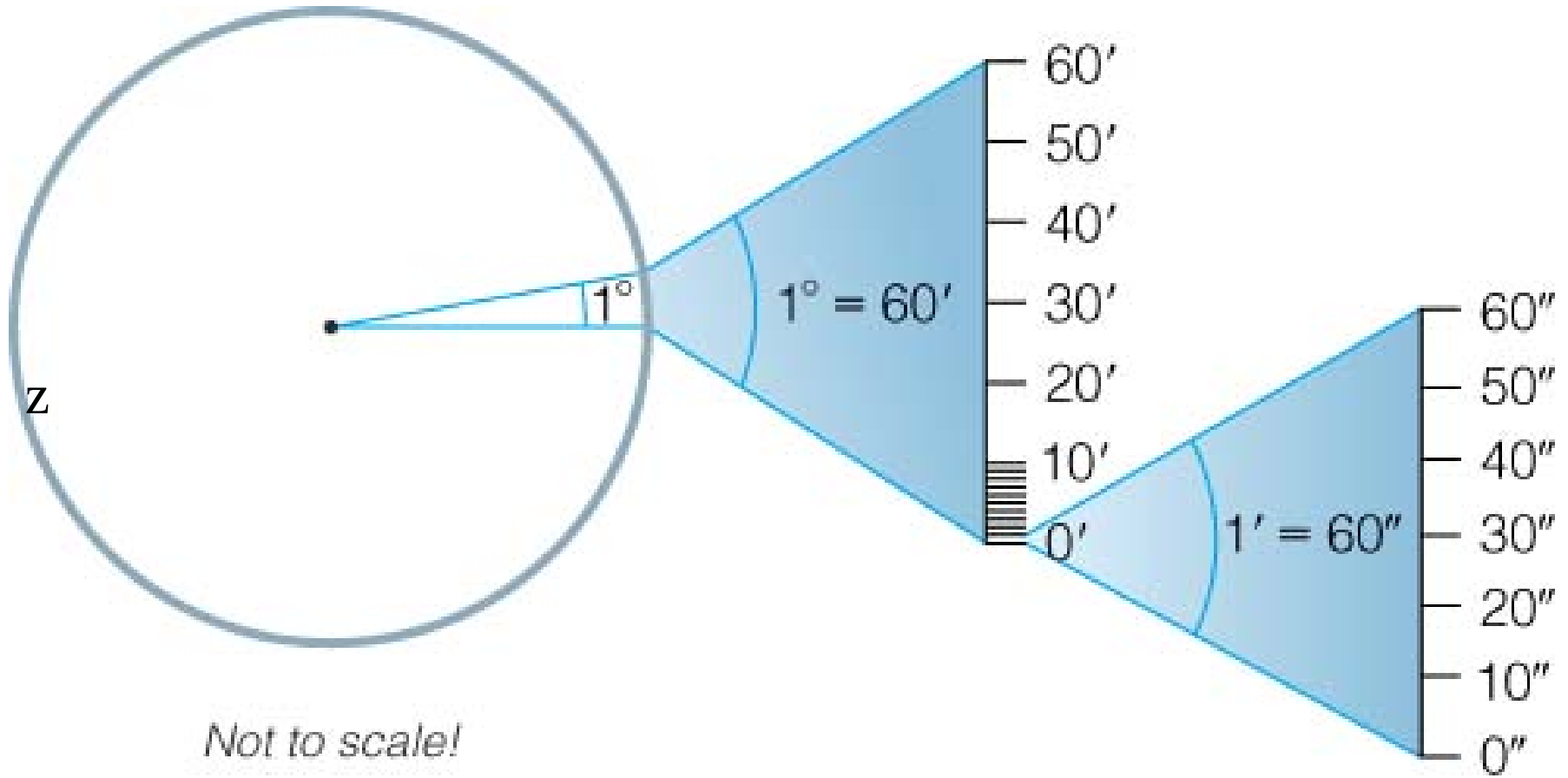
Jak się połapać na niebie, czyli układy współrzędnych w astronomii



Odległość kątowna dwóch ciał na sferze niebieskiej
– kąt pomiędzy kierunkiem na jedno i na drugie ciało niebieskie;



Mara karta



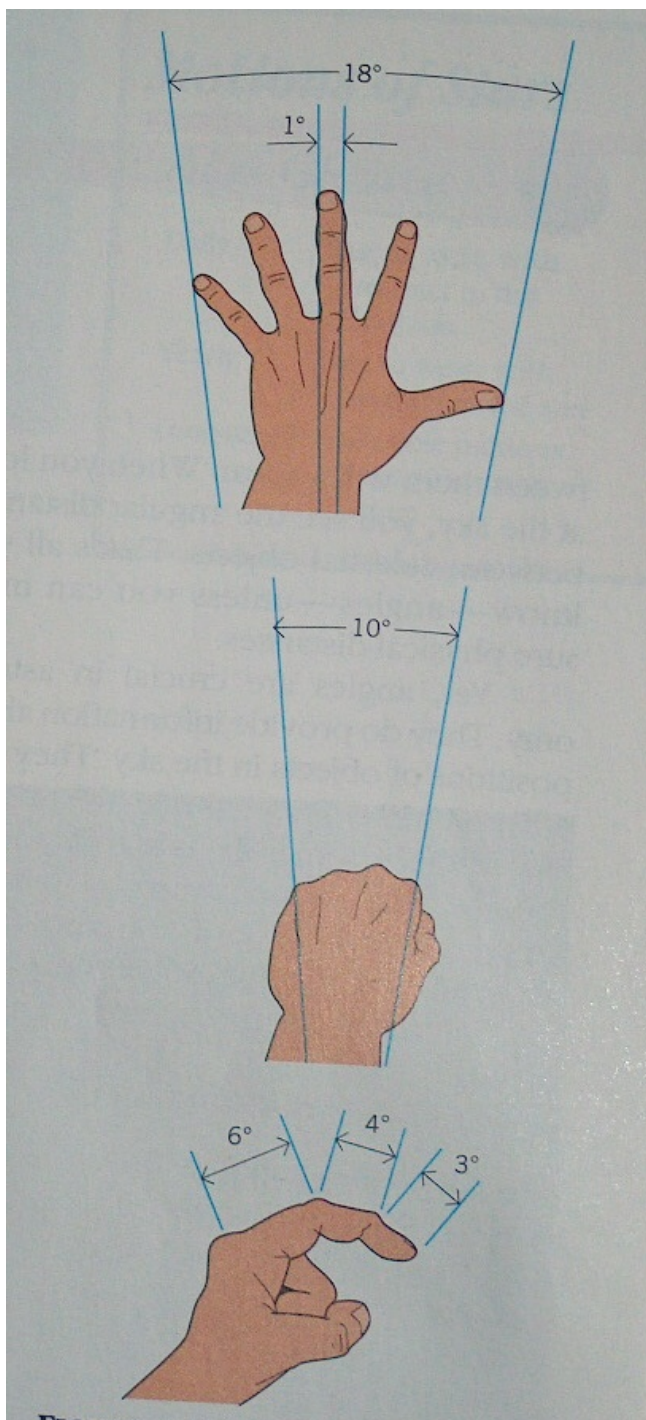
Kąty w astronomii mierzymy w:

- ♦ **Mierze kątowej** (stopnie, minuty, sekundy)
 - ♦ **Mierze łukowej** (radiany)
- ♦ **Mierze czasowej** (godziny, minuty, sekundy)

$$1^{\circ} = 60^{\text{m.}}, \quad 1^{\text{m.}} = 60^{\text{s}}$$

$$1^{\text{h}} = 15^{\circ}, \quad 1^{\text{m.}} = 15', \quad 1^{\text{s}} = 15''$$

$$\pi \text{ rad} \rightarrow 180^{\circ}$$



dłoń: ok. 18 stopni
palec: ok. 1 stopień

pięść: ok. 10 stopni

fragmenty palca:
ok. 6, 4, 3 stopnie

Eksperymenty

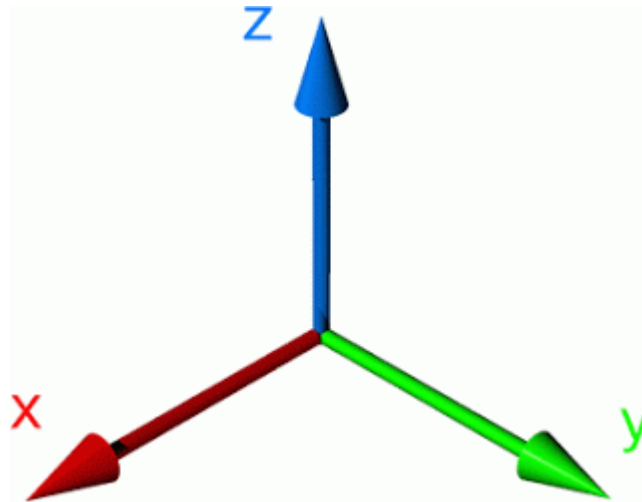
Jaki jest rozmiar kątowny tablicy z różnych rzędów sali?

Czy można czubkiem palca zasłonić tarczę Księżyca lub Słońca?

Układ współrzędnych sferycznych

Jak określić pozycję ciała w przestrzeni 3D
w danym momencie czasu?

W fizyce i matematyce najczęściej stosuje się
trójwymiarowy układ współrzędnych kartezjańskich.

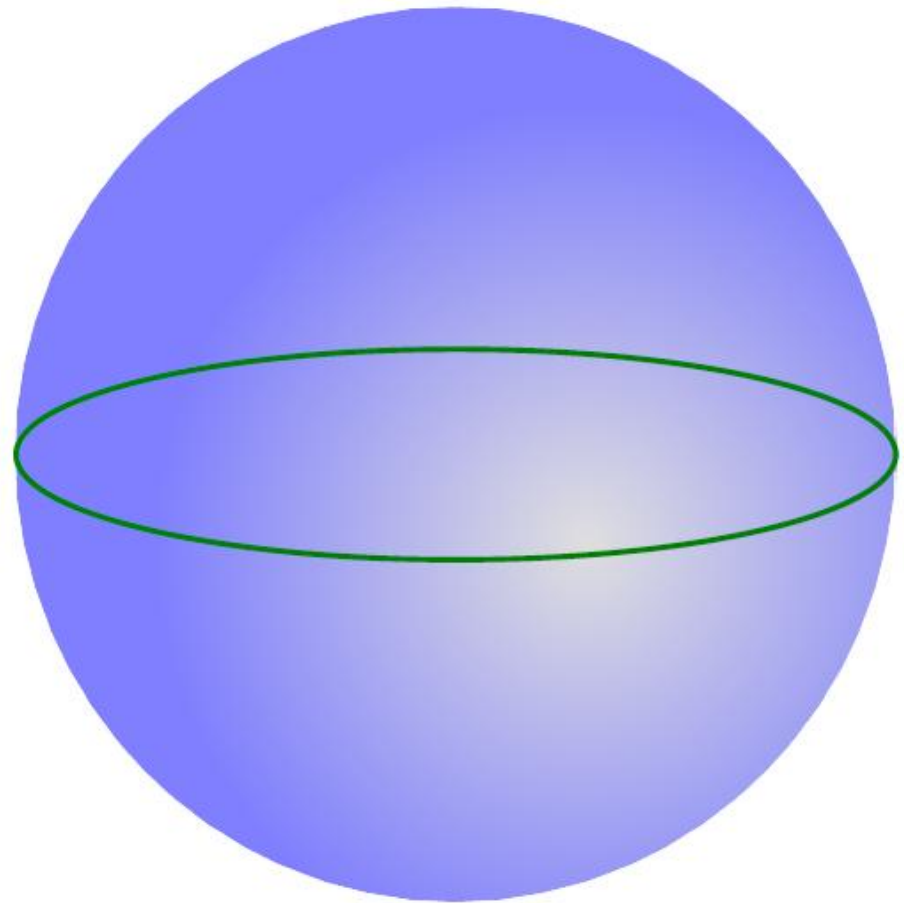


W astronomii najczęściej nie znamy pełnej pozycji 3D,
dlatego stosuje się inne podejście

Sfera (kula) niebieska

powierzchnia kuli o środku w miejscu obserwacji i promieniu tak wielkim, że wewnątrz niej znajdują się wszystkie obserwowane przez nas ciała niebieskie.

W praktyce środek sfery niebieskiej umieszcza się w miejscu obserwacji lub w środku Ziemi.



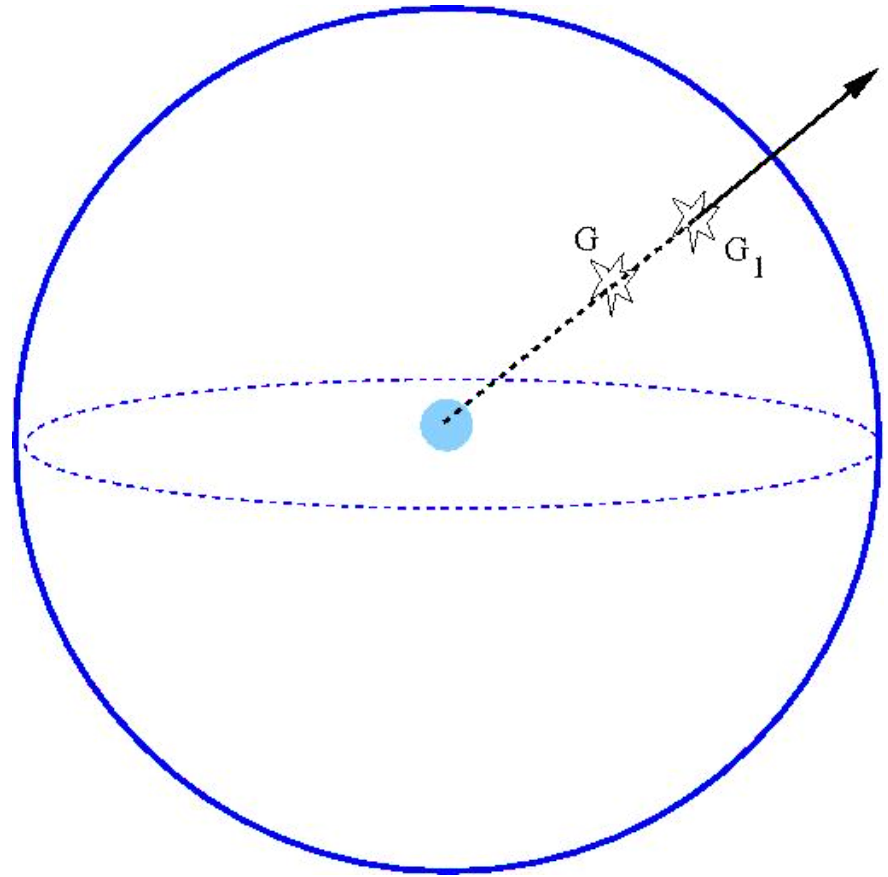
Przecięcie sfery płaszczyzną zawsze tworzy koło.

koło wielkie – przecięcie przechodzi przez środek sfery.

koło małe – przecięcie nie przechodzi przez środek sfery.

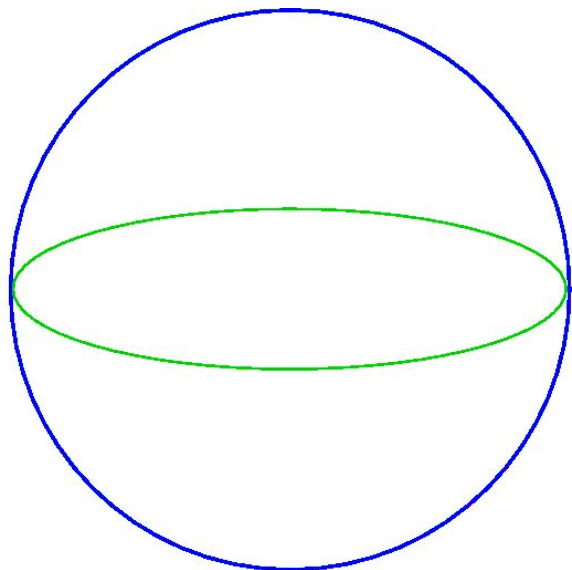
Położenie na sferze niebieskiej (G1) - punkt na sferze niebieskiej powstały przez przecięcie jej prostą przechodzącą przez środek sfery i dane ciało niebieskie (G).

Promień wodzący jest równy promieniowi sfery.

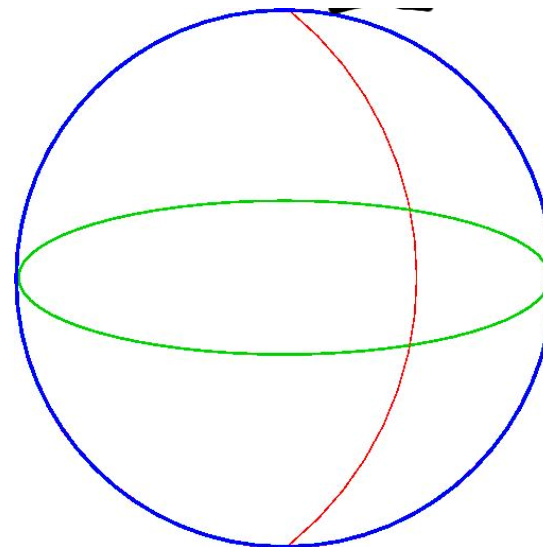


W astronomii sferycznej (astrometrii) zajmujemy się wyłącznie pozycjami ciał niebieskich na sferze, a nie ich odległościami, które przyjmujemy za równe promieniowi sfery (dla uproszczenia najczęściej = 1).

Koło podstawowe



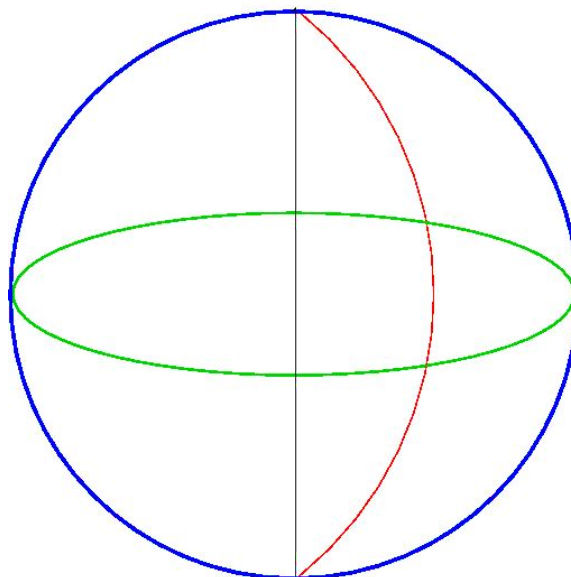
Półkoło początkowe



Układ odniesienia

Bieguny koła wielkiego

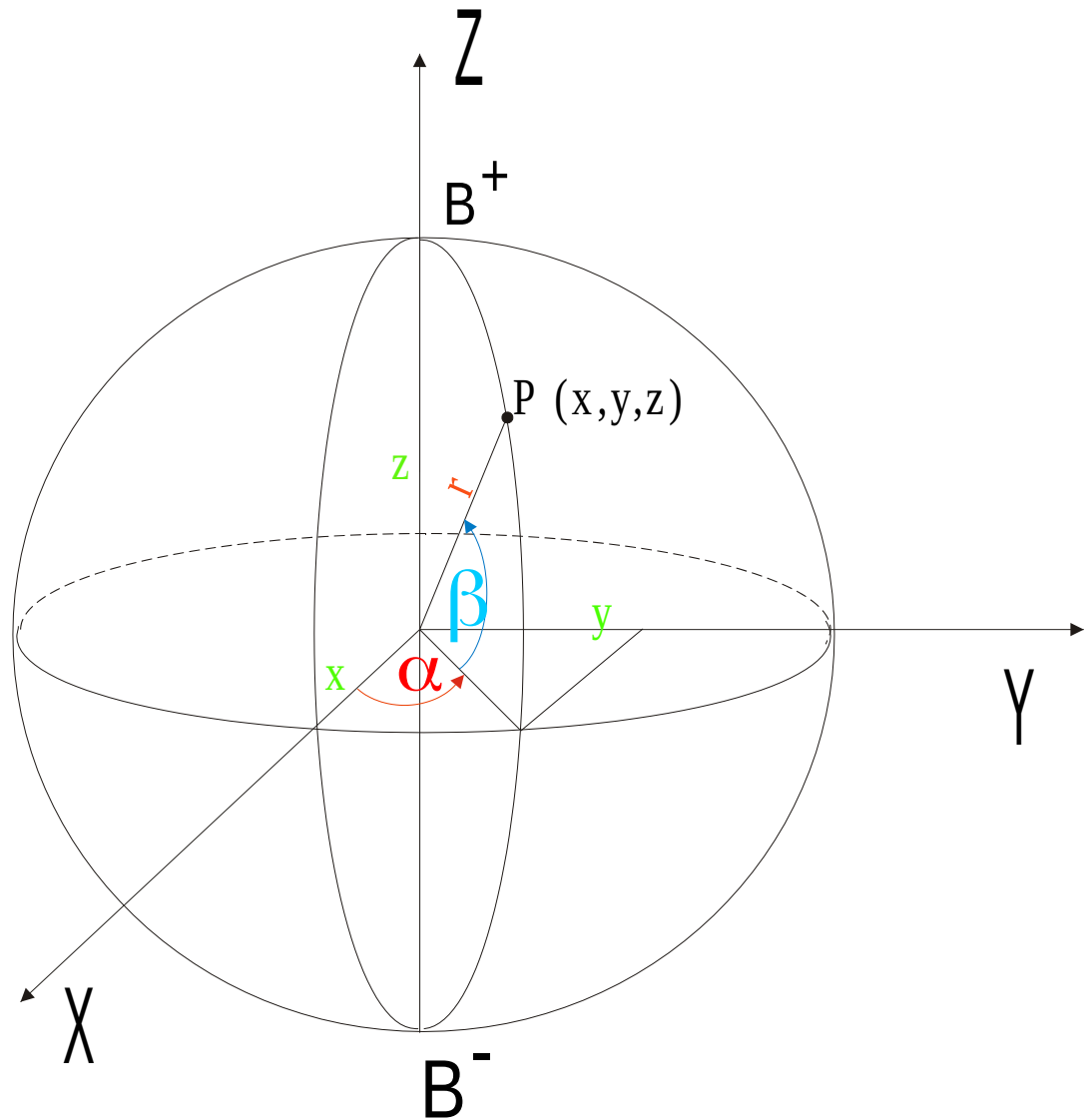
BN



BS

Współrzędne sferyczne punktu

- Kąt α - kąt dwuścienny zawarty pomiędzy półkolem początkowym a półkolem przechodzącym przez dany obiekt.
- Kąt β – kąt płaski między płaszczyzną koła podstawowego a półprostą wychodzącą ze środka sfery i przechodzącą przez dany obiekt.



Układ geograficzny jako przykład sferycznego układu współrzędnych

Każdy układ współrzędnych sferycznych musi posiadać:

1. Środek układu

punkt centralny wokół którego rozciąga się sfera

2. Płaszczyznę podstawową i związane z nią:

koło wielkie podstawowe oraz prostopadłe do niego bieguny
oraz oś główną przechodzącą przez te bieguny i środek układu

3. Półkole początkowe:

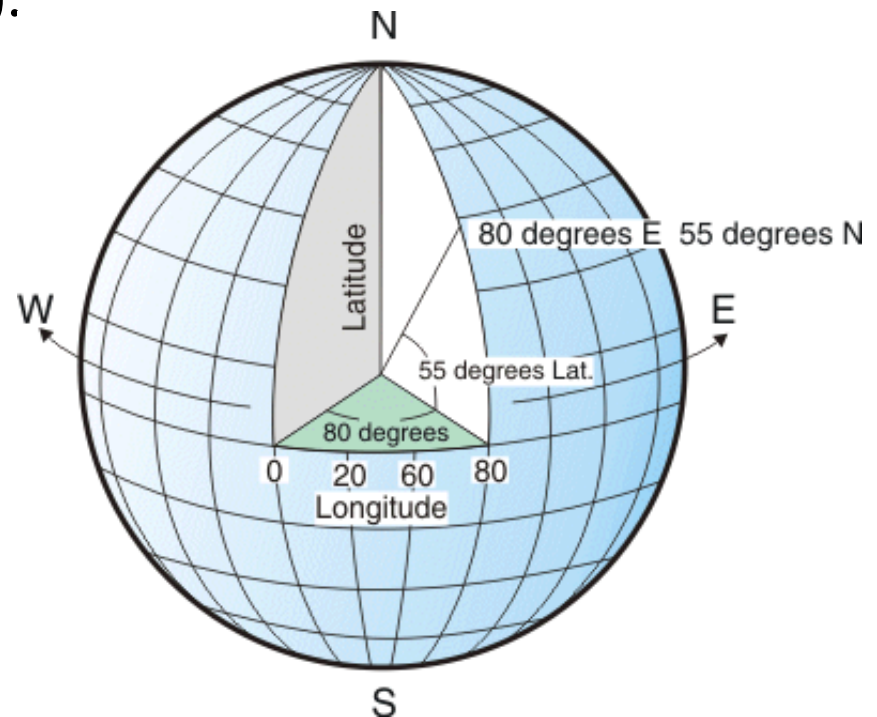
połówka koła wielkiego prostopadła do koła podstawowego,
łącząca dwa bieguny

4. Współrzędne określone jako kąty:

- od koła podstawowego współrzędna szerokości
- od półkola początkowego współrzędna długości

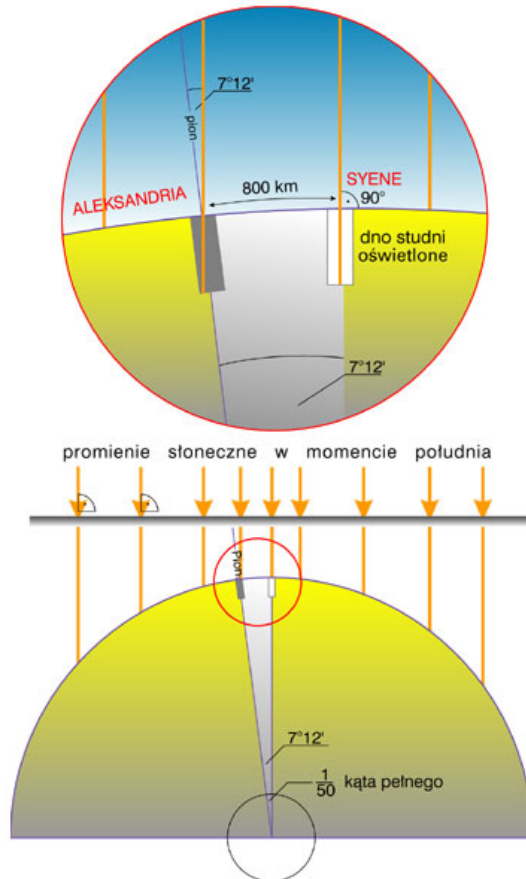
Współrzędne geograficzne przy założeniu, że Ziemia jest idealną kulą.

- Oś główna: **Oś obrotu Ziemi**
- Koło podstawowe: **Równik**
- Półkole początkowe: **Południk zerowy 0°**
- Współrzędna α (kąt dwuścienny):
długość geograficzna
- Współrzędna β (kąt płaski):
szerokość geograficzna



Ziemia jako kula

- Eratostenes z Cyreny (276-195 p.n.e.)



przesilenie letnie (22 czerwca)

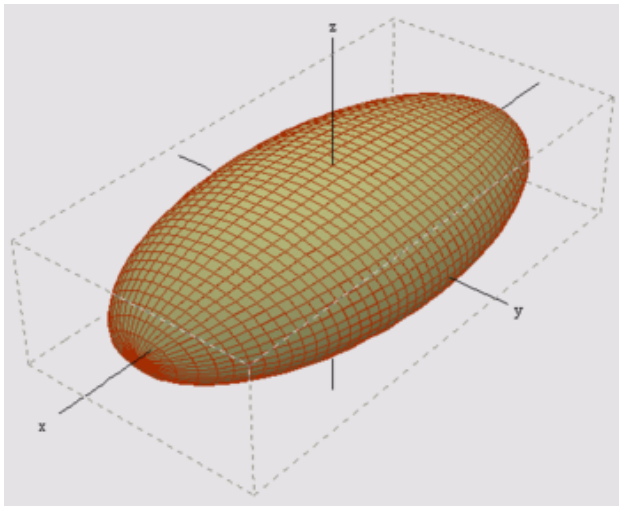
$$\frac{800\text{km}}{2\pi R} = \frac{7^{\circ}12'}{360^{\circ}}$$

$$R = 39\,800 \text{ stadionów} \\ = \text{około } 7160 \text{ km}$$

Kolejne metody oparte na pomiarze długości łuku 1° południka

Od 1617 r. Snellius - mierzenie długości łuku południka metodą triangulacyjną

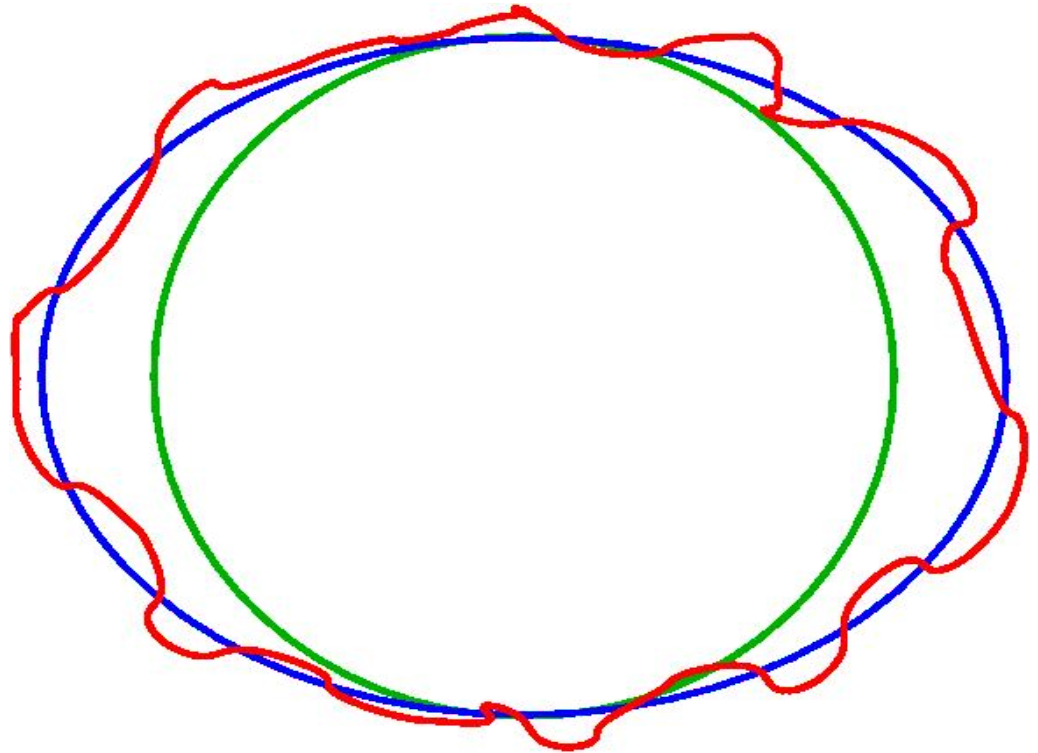
Ziemia jako elipsoida obrotowa



- Newton (1642-1727) – obrót Ziemi musi powodować jej spłaszczenie na biegunach (zasugerowane obserwacjami Jowisza i Saturna)
- Elipsoida obrotowa – bryła powstała poprzez obrót elipsy wokół własnej (krótszej) osi
- **Elipsoida obrotowa WGS-84**
(World Geodetic System 1984r.):
promień równikowy $a = 6378137,0$ m
promień biegunowy $b = 6356087,0$ m
spłaszczenie Ziemi
 $s = (a-b)/a = 1/298,25722356 = 0,003353$
długość łuku 1° południka = 111,13 km

Figury przybliżające powierzchnie Ziemi

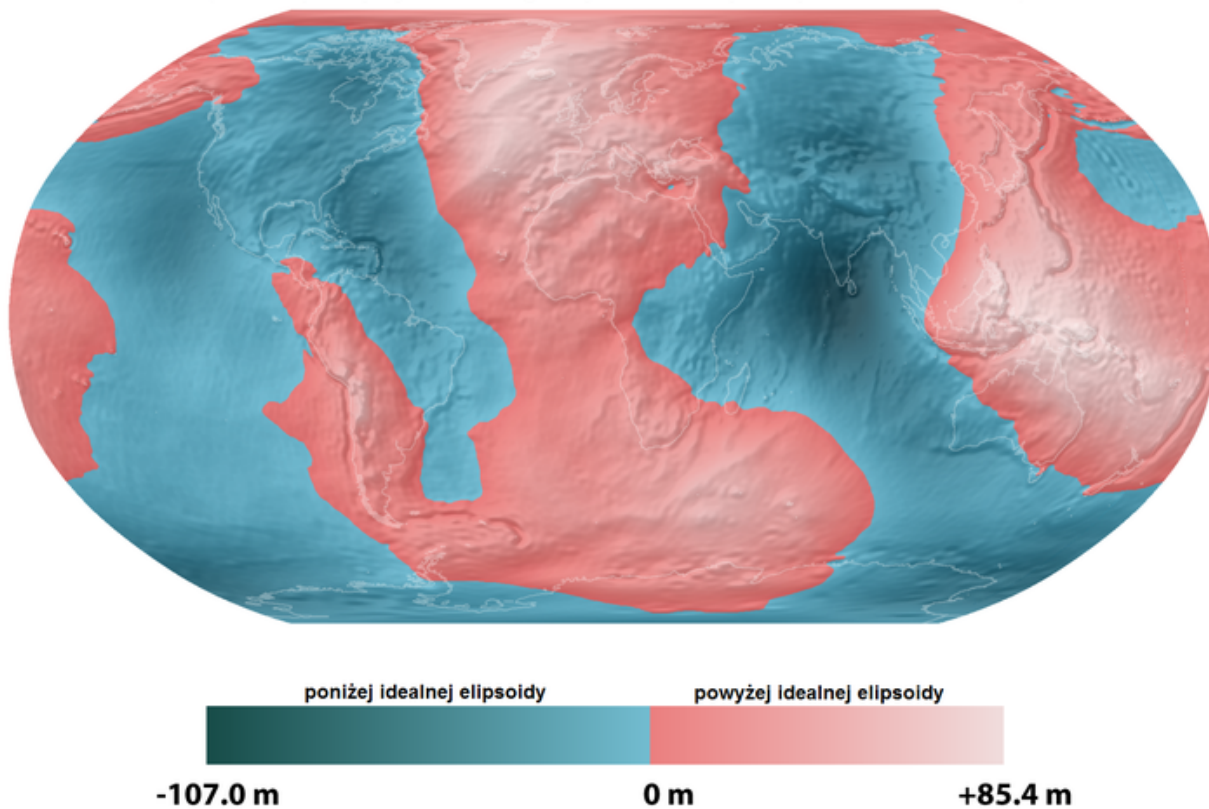
- **Sfera**
- **Elipsoida obrotowa**
- **Geoida** – powierzchnia w każdym punkcie prostopadła do lokalnego pionu, a na powierzchni oceanów pokrywa się mniej więcej ze średnim ich poziomem w stanie spoczynku.



Wysokość nad poziomem morza zależy od układu odniesienia

Kształt Ziemi w porównaniu z idealną elipsoidą

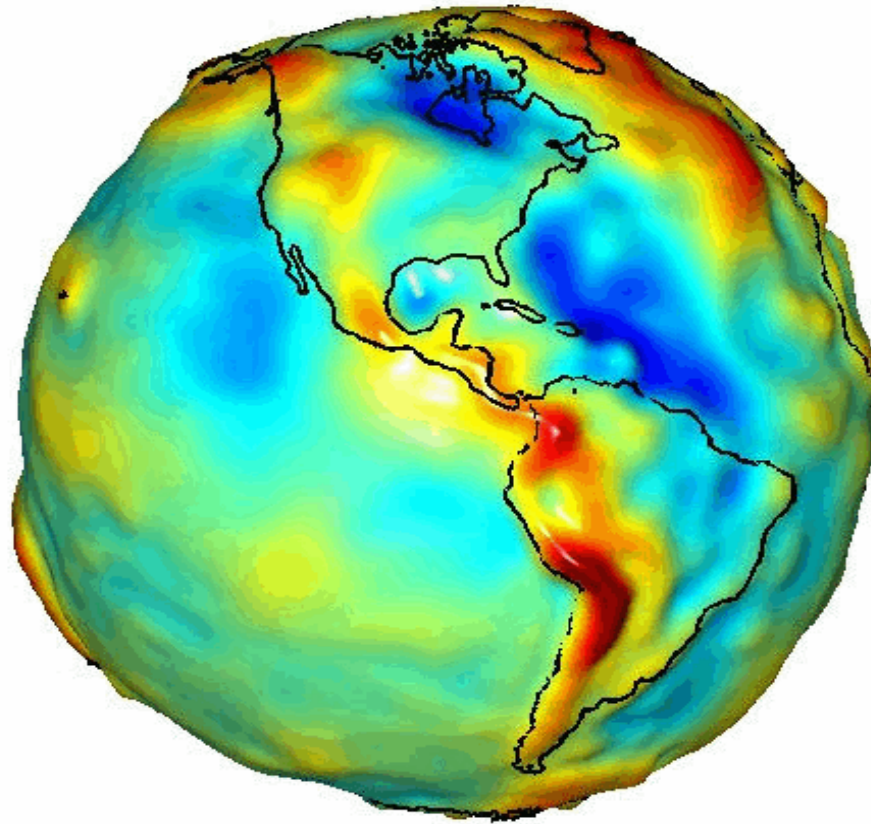
(różnica pomiędzy modelem geoidy EGM96 a elipsoidą odniesienia WGS84)



Na Ziemi jest 5 dużych obszarów o wyraźnych różnicach między geoidą a elipsoidą wynikających z niejednorodnego rozkładu mas wewnątrz Ziemi:

- południowe wybrzeże Indii – ocean 112 m poniżej geoidy
- na północ od Australii – powierzchnia Oceanu Spokojnego 78 m powyżej geoidy
- na wschód od Karaibów na Oceanie Atlantyckim i w pobliżu Kalifornii na Pacyfiku – geoida poniżej elipsoidy
- pomiędzy Grenlandią a Europą – geoida nad elipsoidą

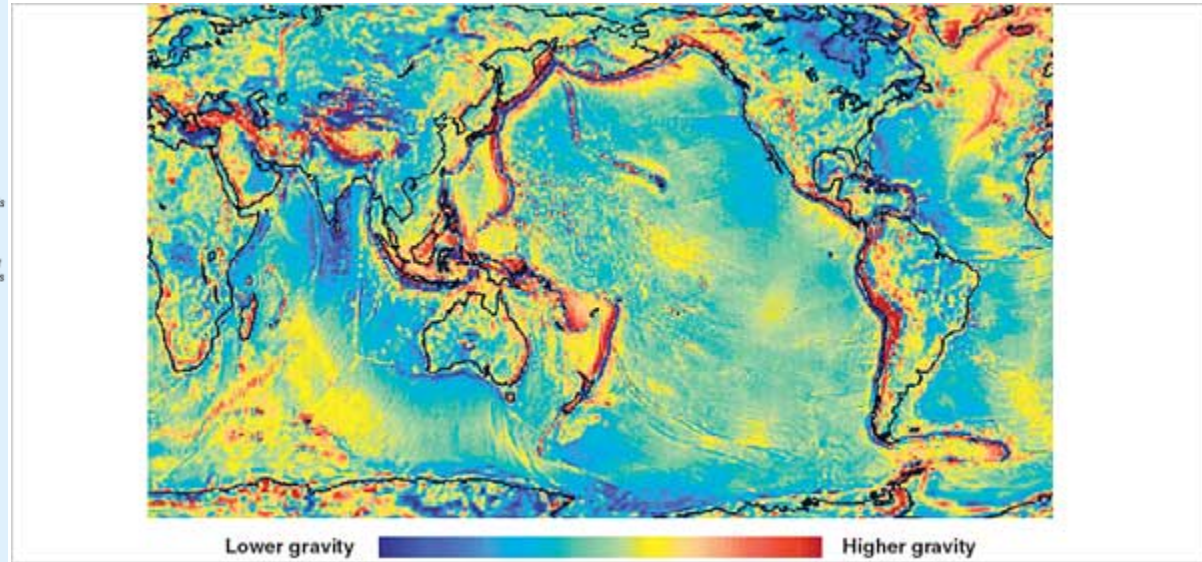
Model pola grawitacyjnego Ziemi uzyskany w misji
GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*)



GRACE – NASA + Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – 2002

Cel: szczegółowe pomiary pola grawitacyjnego Ziemi – otrzymujemy rozkład masy i zmiany tego rozkładu w czasie na całej Ziemi (oceanografia, geologia, klimatologia)

Model pola grawitacyjnego Ziemi uzyskany w misji GRACE



GRAVITY'S RAINBOW Fluctuations in gravity occur across the planet. This map shows variances (less than one-thousandth percent of the Earth's total gravity) detected by Grace.

By Kenneth Chang

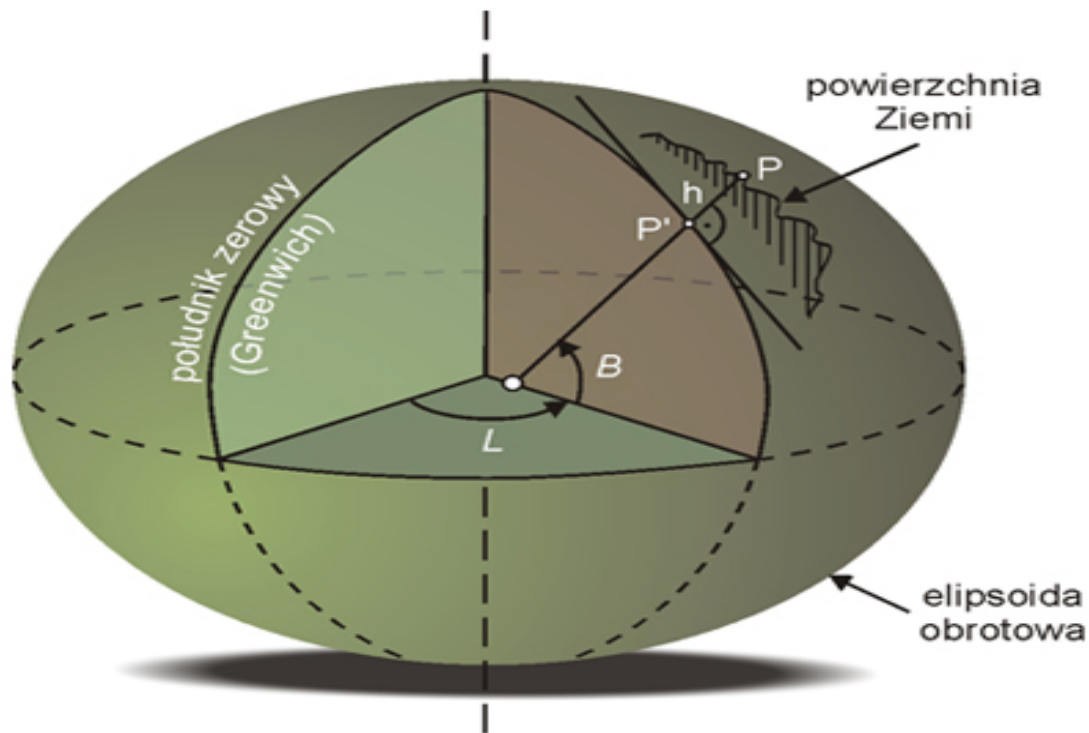
Published: August 8, 2006

Map of Antarctica showing Wilkes Land, with the crater conjectured by von Frese and team marked in red

W 2006 r. dzięki analizie danych grawimetrycznych z GRACE odkryto na Ziemi Wilkesa na Antarktydzie znajdujący się pod lądolodem krater uderzeniowy o średnicy 500 km liczący 250 mln lat (przyczyna wymierania permskiego?).

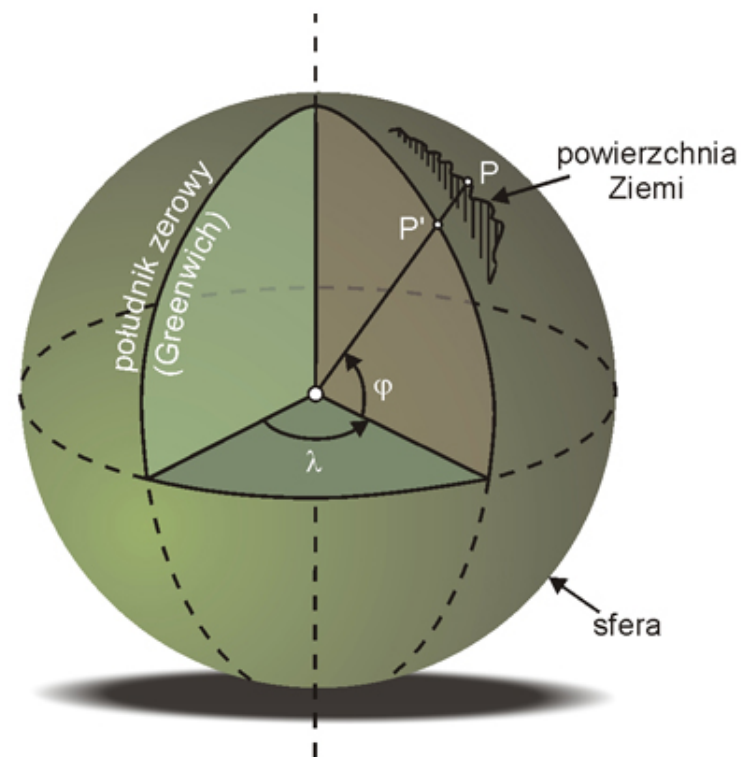
Danych z GRACE użyto również do analizy przesunięcia skorupy ziemskiej po tsunami na Oceanie Indyjskim w 2004.

Współrzędne geodezyjne i



Wierzchołek kąta **B** zazwyczaj nie znajduje się w geometrycznym środku Ziemi

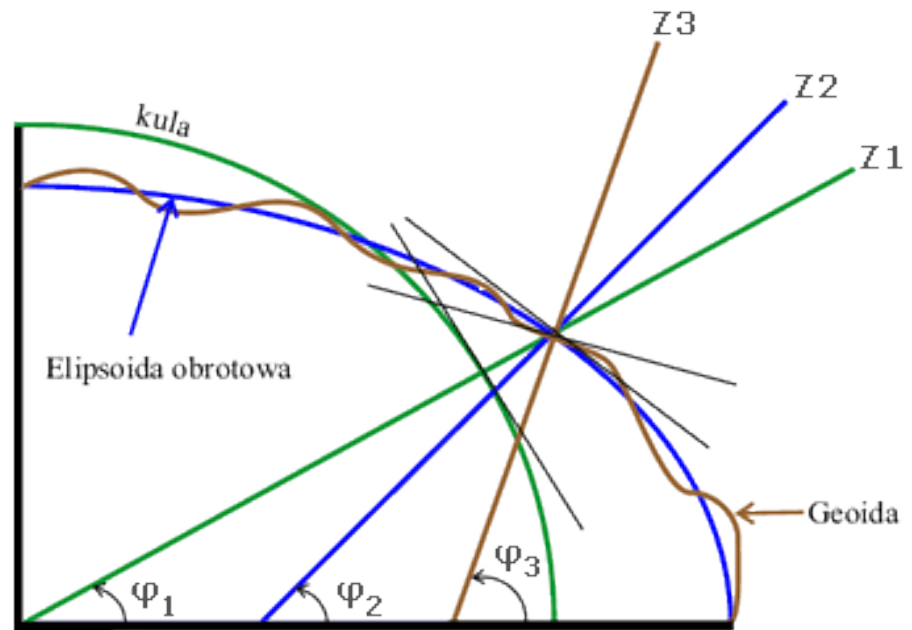
geocentryczne



Kierunki pionów przecinają się w geometrycznym środku Ziemi

Szerokość geograficzna:

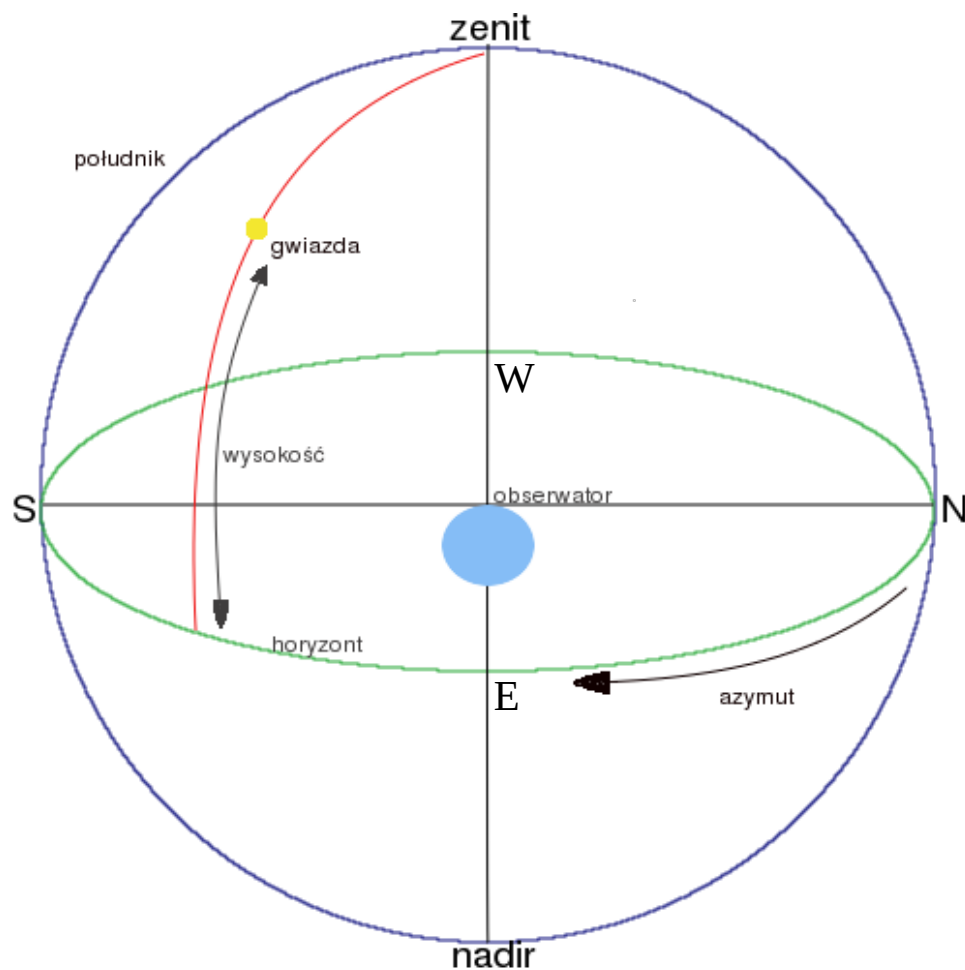
- **Geocentryczna φ_1** - kąt pomiędzy prostą łączącą środek Ziemi a jej rzutem na płaszczyznę równika (Ziemia jako kula)
- **Geodezyjna φ_2** - kąt pomiędzy linią prostopadłą do powierzchni elipsoidy obrotowej a jej rzutem na płaszczyznę równika.
- **Astronomiczna φ_3** - kąt jaki tworzy kierunek pionu z jego rzutem na płaszczyznę równika (kierunek pionu jest zawsze prostopadły do powierzchni geoidy)



$$\varphi_1 - \varphi_2 = -11,5' \cdot \sin(2\varphi)$$

Maksymalna różnica pomiędzy szerokościami geocentryczną i geodezyjną (dla równoleżnika 45) wynosi około 11'. Różnice między szerokościami astronomiczną i geodezyjną są mniejsze.

Układ współrzędnych sferycznych horyzontalny



środek układu: **miejsce obserwacji**

koło podstawowe: **horyzont**

punkty kardynalne: **N, E, S, W**

oś główna: **linia pionu w miejscu**

obserwacji

bieguny : **zenit i nadir**

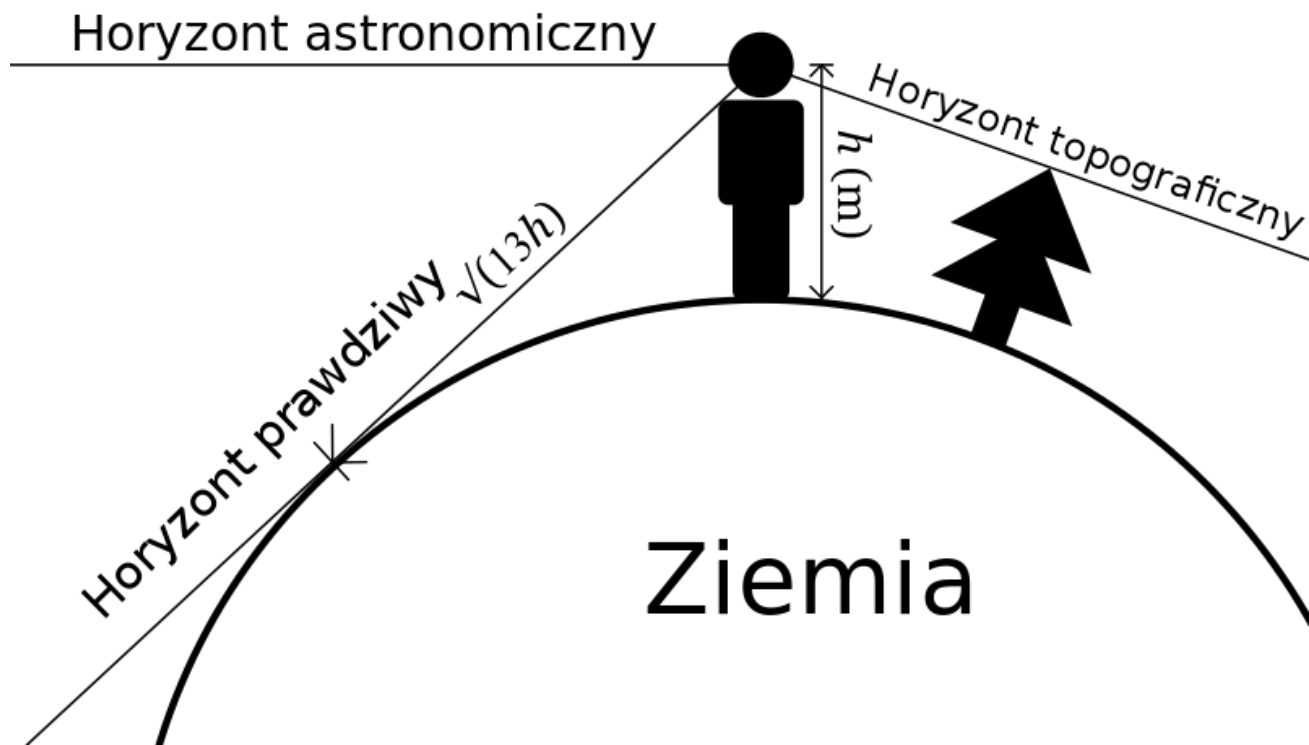
półkole początkowe:

połowa koła wielkiego łączącego

zenit z nadirem przez punkt

południa i północy

„południk miejscowy”



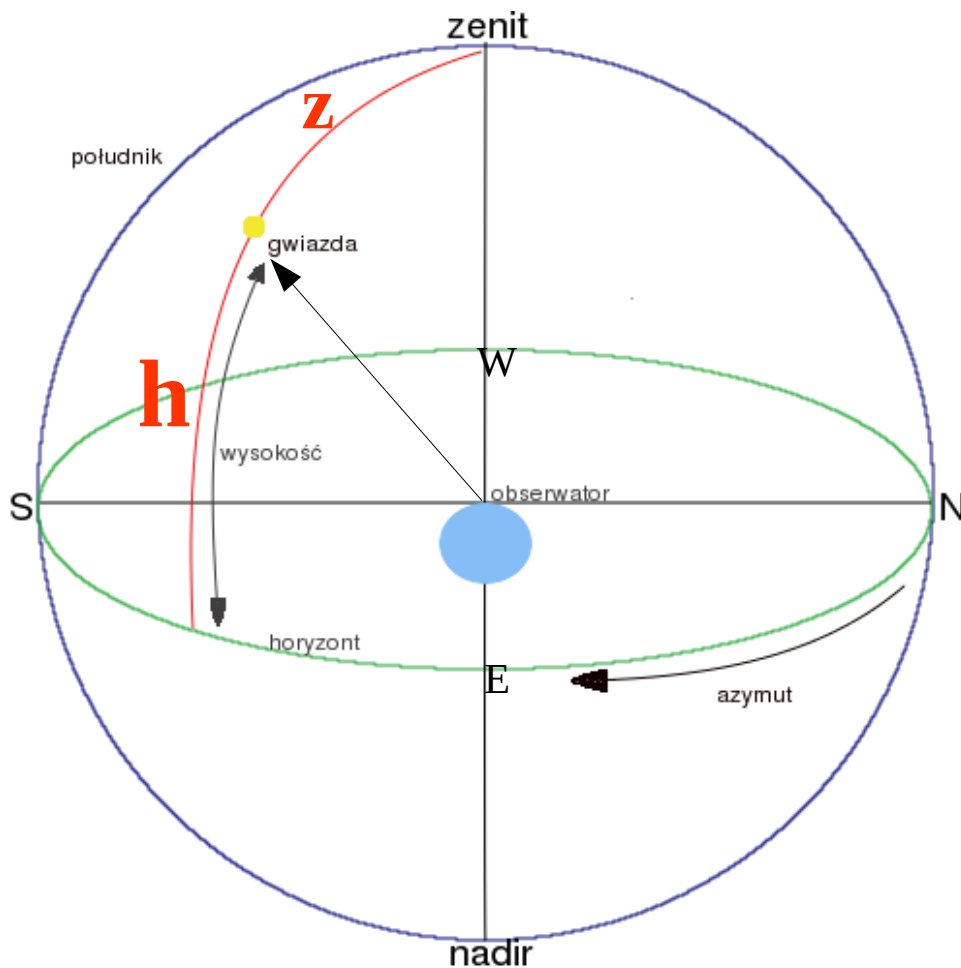
Obniżenie horyzontu prawdziwego (fizycznego)

- Dla obserwatora na pewnej wysokości H horyzont obniża się o kąt:

$$\alpha [\text{minuty łuku}] = 1,779 (H [\text{m}])^{1/2}$$

- Zasięg widoczności wzrasta wraz z wysokością obserwatora:

$$D [\text{km}] \approx 3,86 (H [\text{m}])^{1/2}$$



Współrzędne w układzie horyzontalnym:

Wysokość h - kąt utworzony przez kierunek na dany obiekt (G) z płaszczyzną horyzontu.

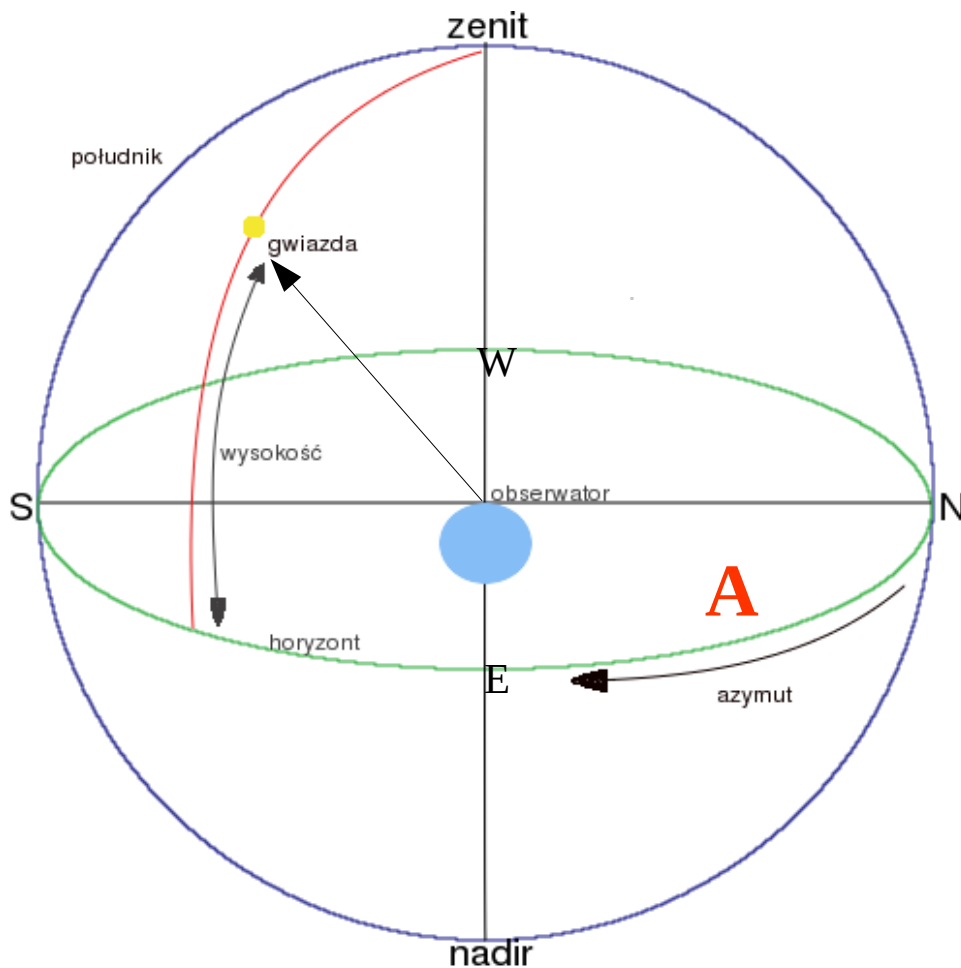
Wysokość h mierzymy od -90° do $+90^\circ$

Horyzont: $h = 0^\circ$

Nadir: $h = -90^\circ$

Zenit: $h = +90^\circ$

Dopełnienie wysokości do 90° nosi nazwę: **odległość zenitalna**
 $z = 90^\circ - h$



Współrzędne w układzie horyzontalnym:

Azymut A - kąt jaki tworzy półkole koła wielkiego (wertykału) przechodzącego przez dany punkt sfery niebieskiej z półkolem południka miejscowego (lub odpowiadający mu łuk horyzontu).

Azymut liczy się od 0° do 360° od punktu N przez punkty E-S-W.

$$N: \quad A = 0^\circ$$

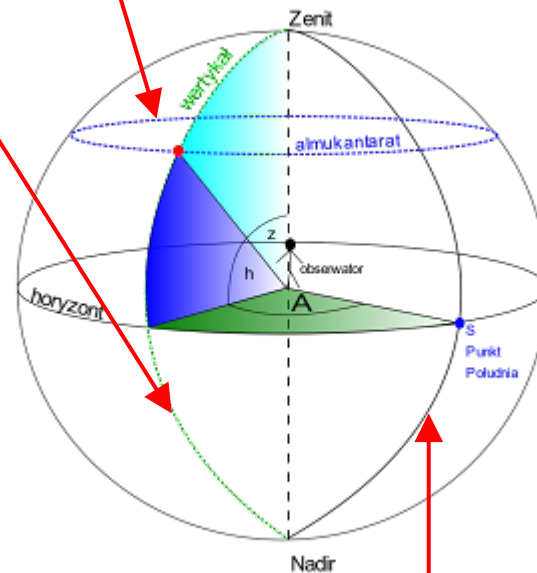
$$E: \quad A = 90^\circ$$

$$S: \quad A = 180^\circ$$

$$W: \quad A = 270^\circ$$

Poziome „równoleżniki”, koła małe równoległe do horyzontu to **almukantaraty**,

Pionowe „południki”, koła wielkie przechodzące przez bieguny układu (zenit i nadir), prostopadłe do horyzontu to **wertykały**.



Wertykał przechodzący przez Zenit, N, Nadir, S oraz północny i południowy biegun świata to **południk miejscowy (zerowy)**.



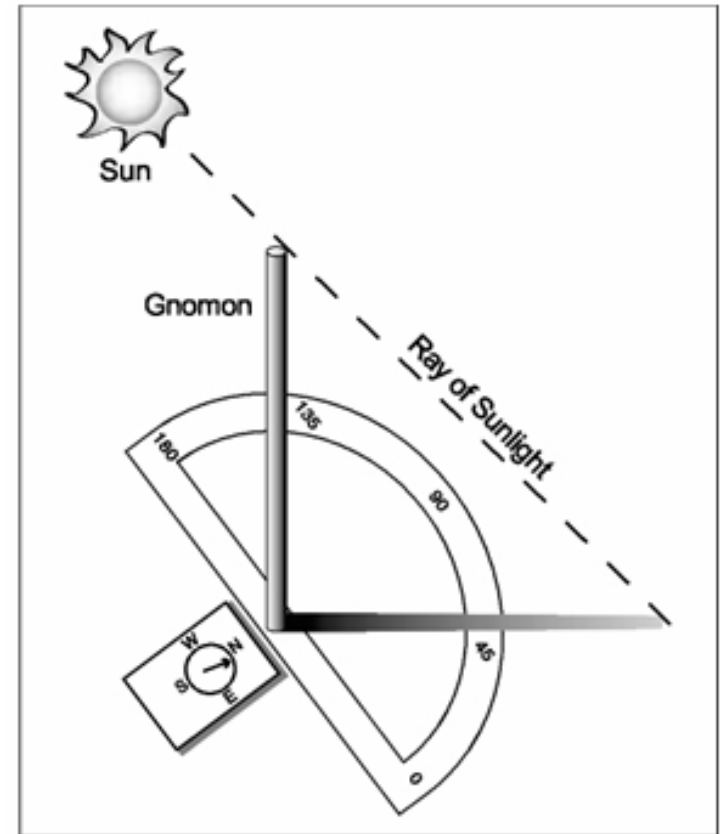
Wyznaczanie współrzędnych horyzontalnych

Gnomon – jeden z najstarszych przyrządów astronomicznych. Składa się z poziomej podstawy i prostopadłego do niej pręta.

- Wyznaczanie wysokości z wzoru (g - wysokość pręta, c- długość cienia)

$$\mathit{tg} h = g/c$$

- Azymut odczytujemy z kierunku padania cienia (po uprzednim wyznaczeniu kierunku na północ)



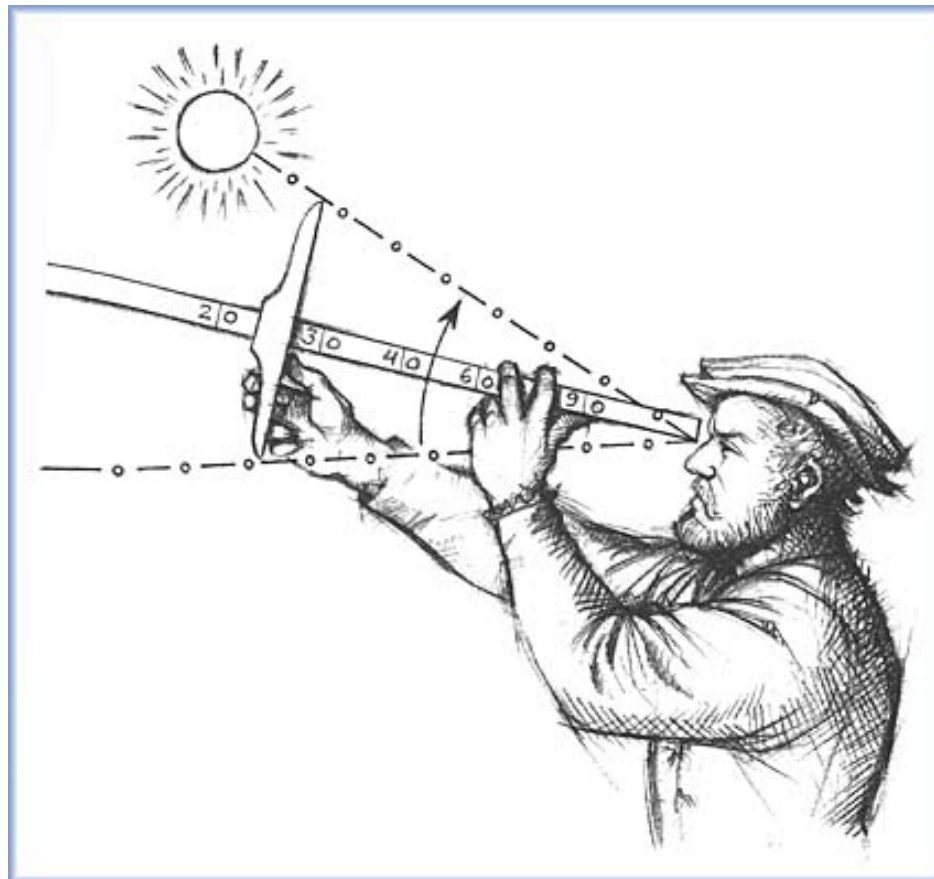
Wyznaczanie współrzędnych horyzontalnych.

Półkole wierzchołkowe i kwadrant - kątomierz o kącie pół-pełnym (półkole) lub prostym (kwadrant) pozwalający wyznaczyć azymut i wysokość Słońca oraz wysokość gwiazd.



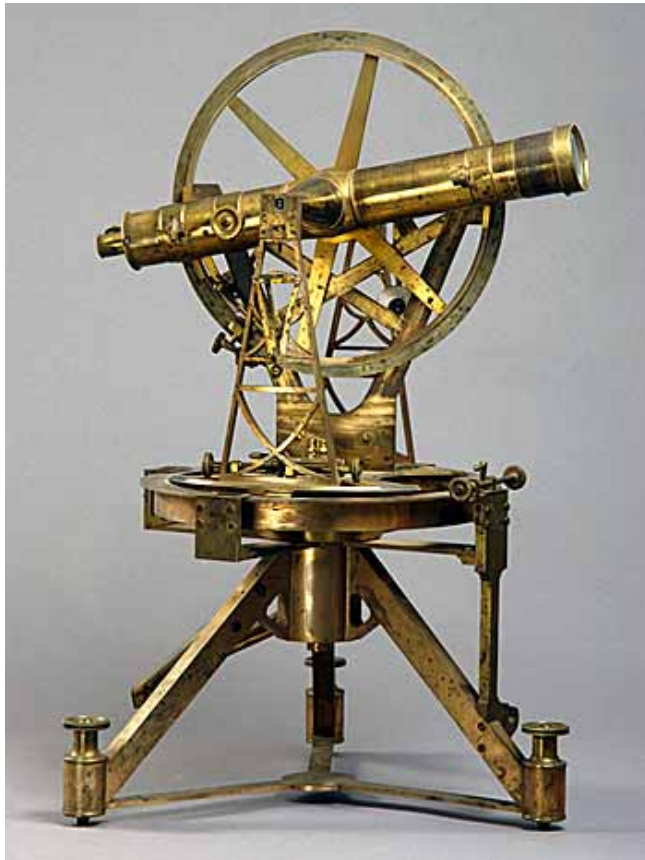
Wyznaczanie współrzędnych horyzontalnych

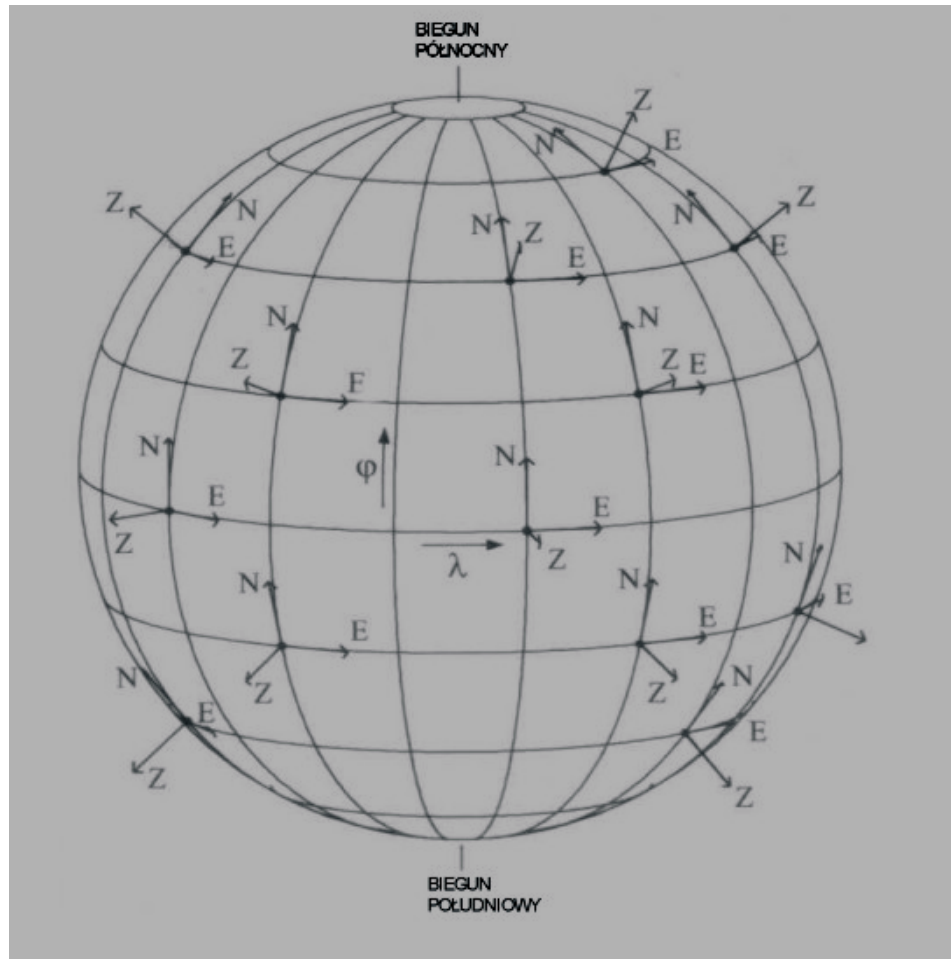
Laska Jakuba wynaleziona przez
Levi ben Gersona Gersonidesa (1288-1344)



Wyznaczanie współrzędnych horyzontalnych

Teodolit





Układ horyzontalny jest układem **lokalnym!**
Azymut i wysokość nad horyzontem danego obiektu
zależy od miejsca obserwacji na Ziemi.

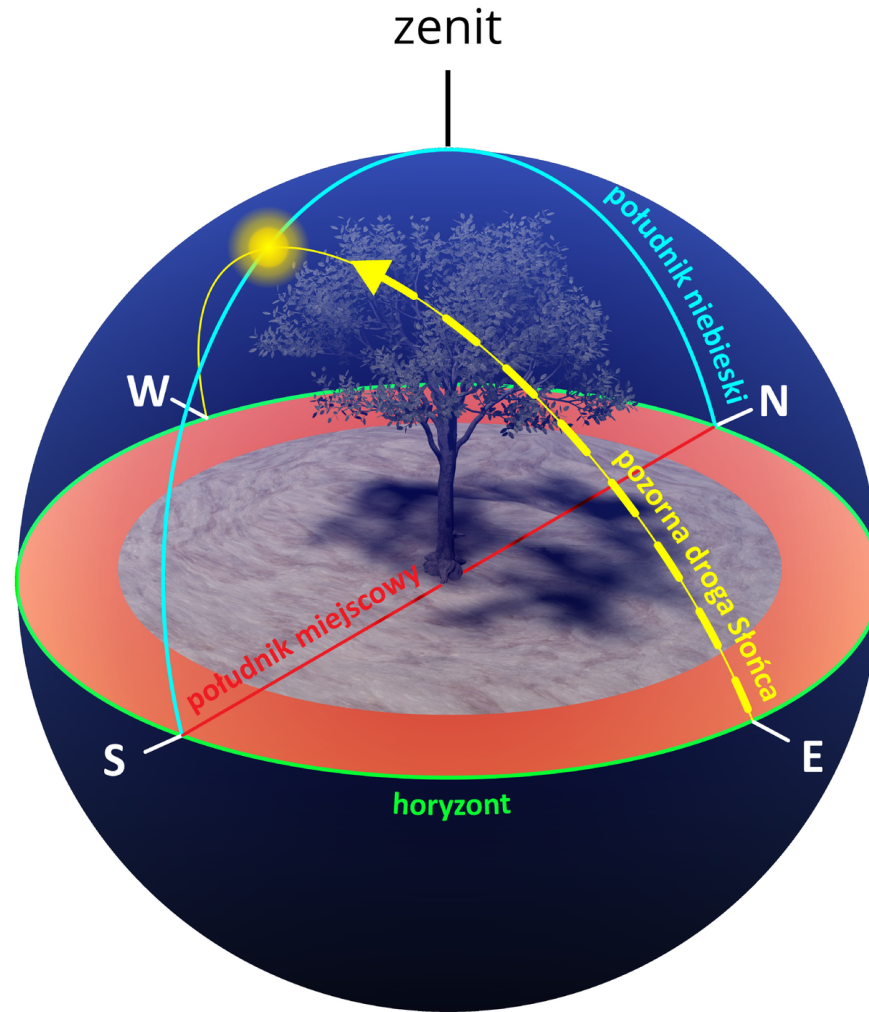
Tory dobowe gwiazd



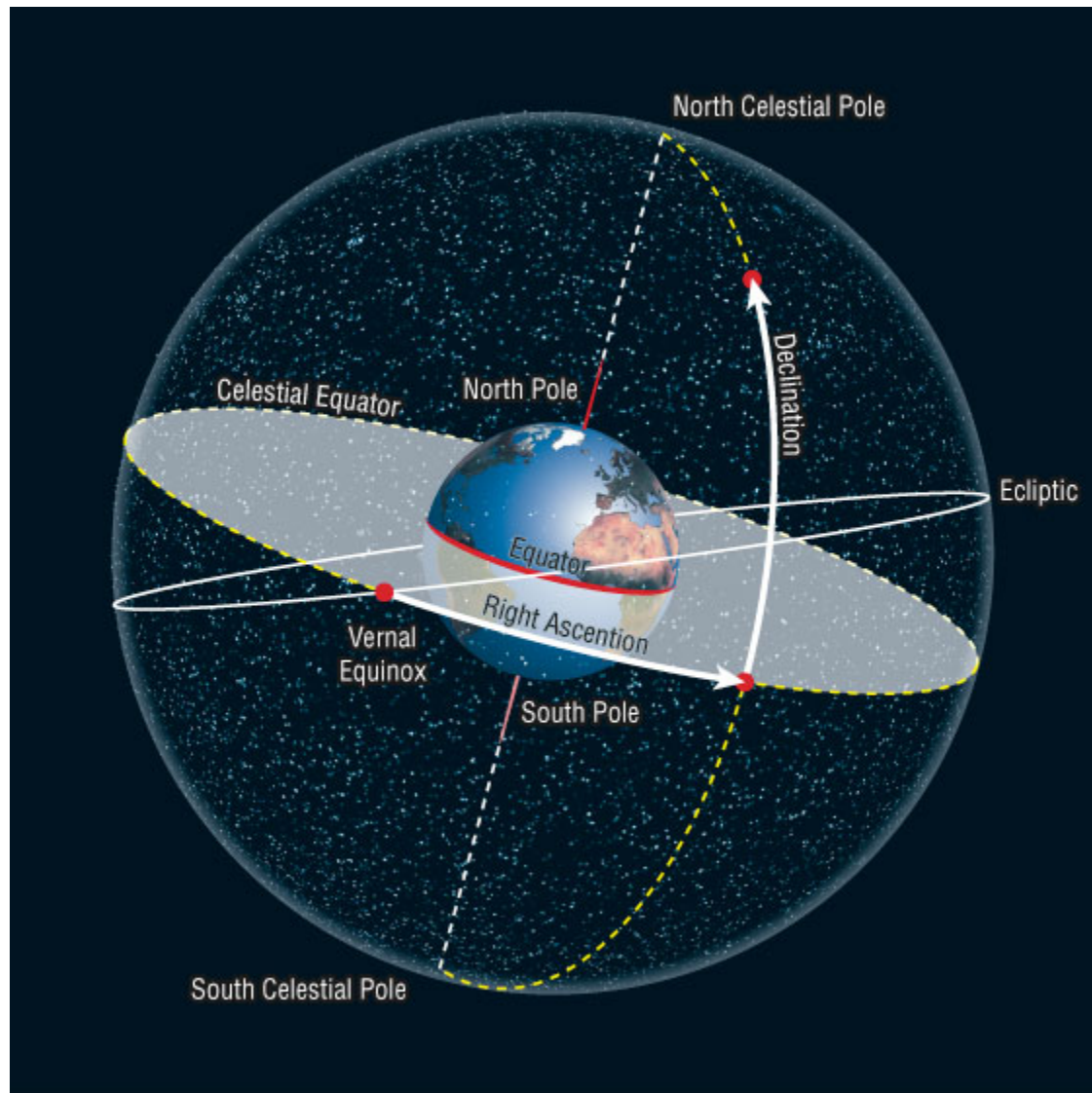
NIGHTSCAPES.pl

Źródło: <http://nightscares.pl/wp-content/uploads/2014/04/Fotografia-ruchu-gwiazd1.jpg>

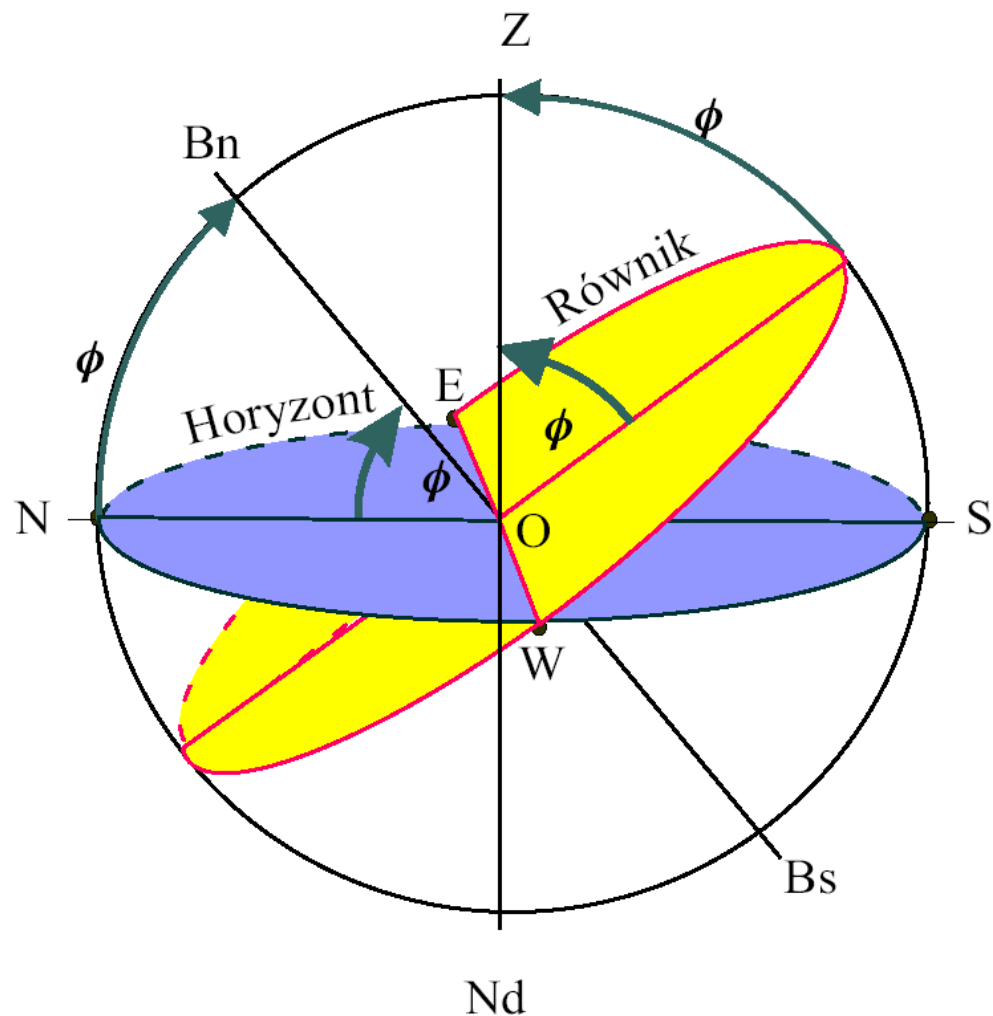
Tory dobowe gwiazd



Układy współrzędnych sferycznych równikowe



Równik Ziemi → równik niebieski (płaszczyzna podst.)
Oś obrotu Ziemi → oś świata

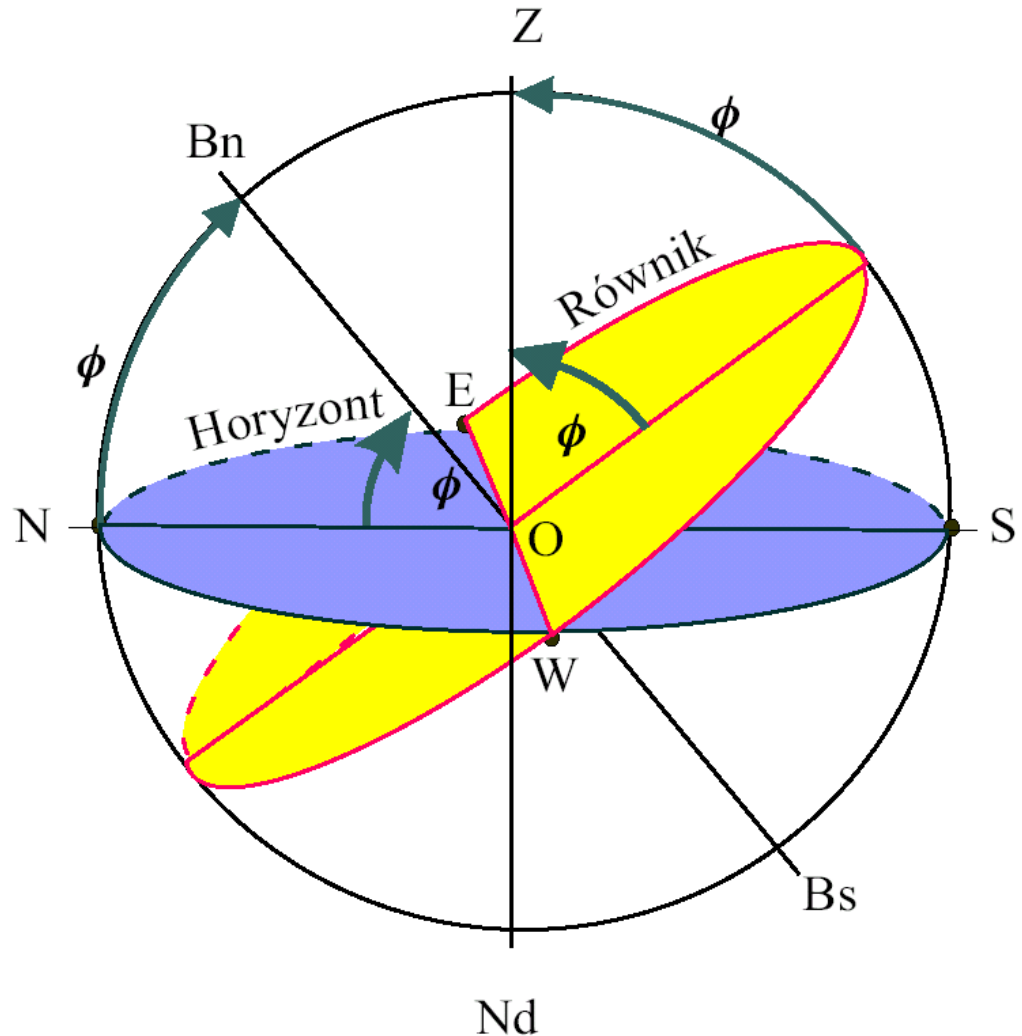


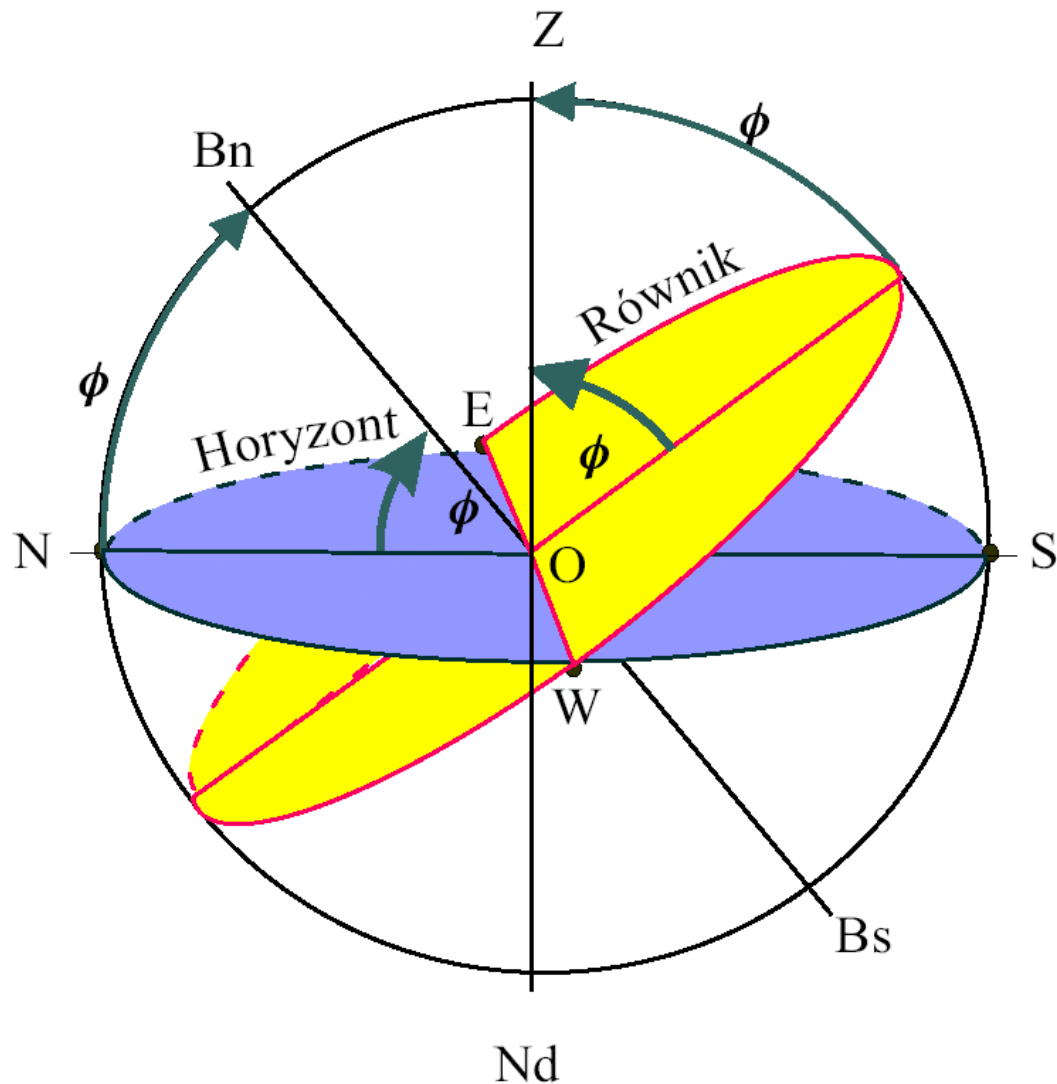
Układ horyzontalny: płaszczyzna podstawowa – horyzont
punkty prostopadłe do pł. podst. – zenit i nadir

Układ równikowy: płaszczyzna podstawowa – równik niebieski
punkty prostopadłe do pł. podst. – bieguny niebieskie N i S

Związek między współrzędnymi astronomicznymi, a współrzędnymi geograficznymi.

*Szerokość miejsca
obserwacji to
wysokość bieguna
północnego nad
horyzontem*

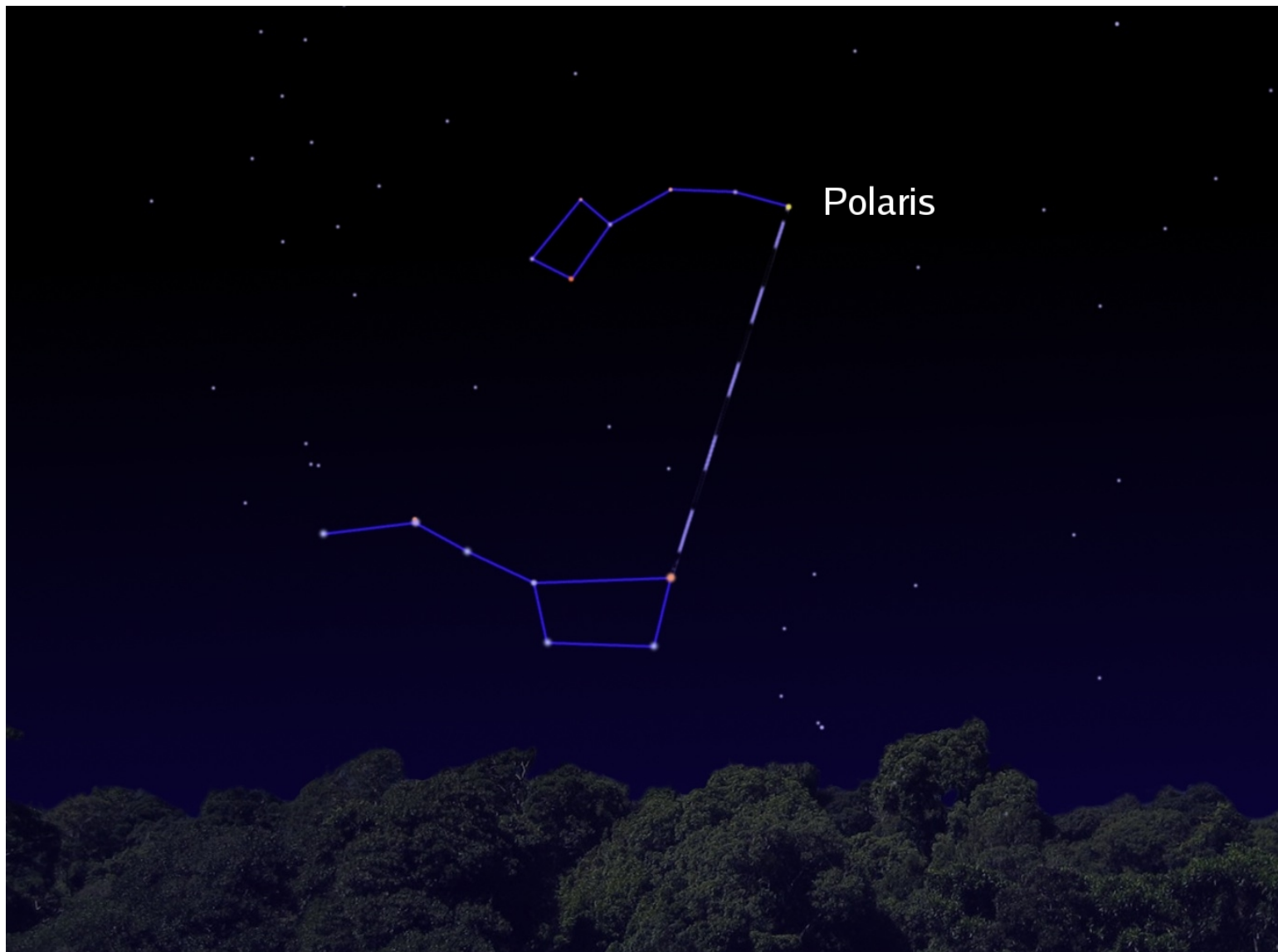




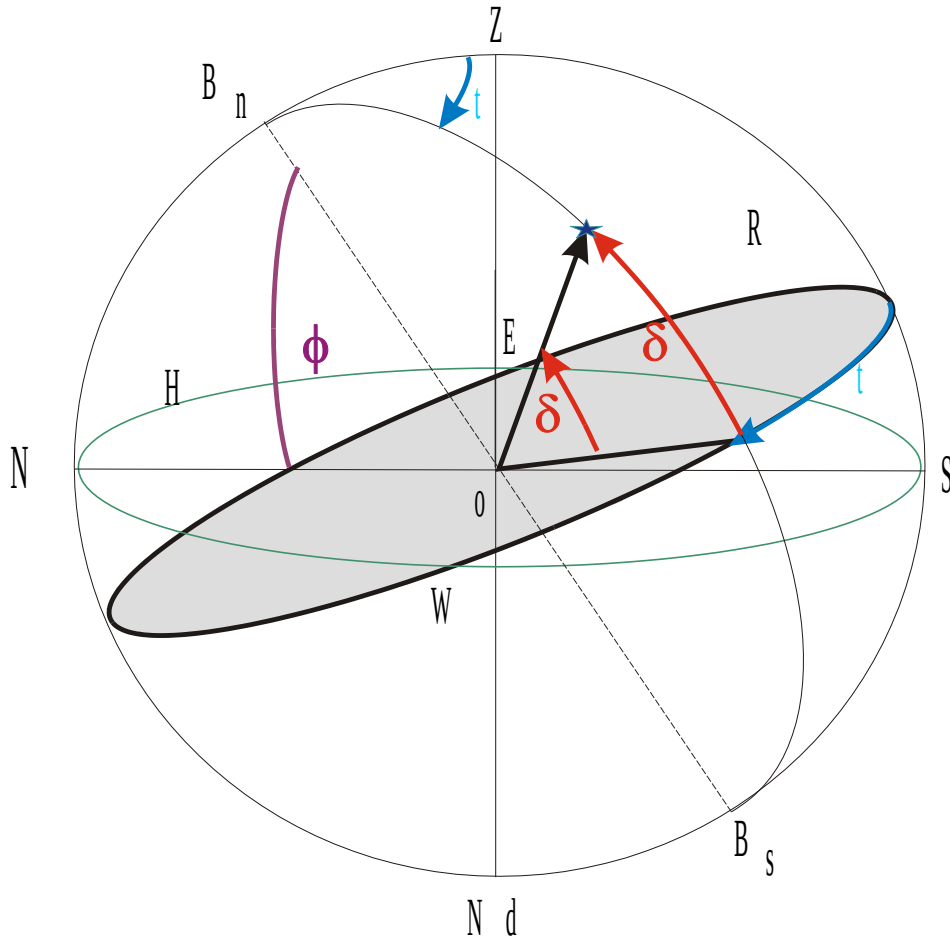
Północny biegun świata tworzy z horyzontem kąt równy:

φ Równik tworzy z horyzontem kąt równy: $90^\circ - \varphi$

Gwiazda Polarna

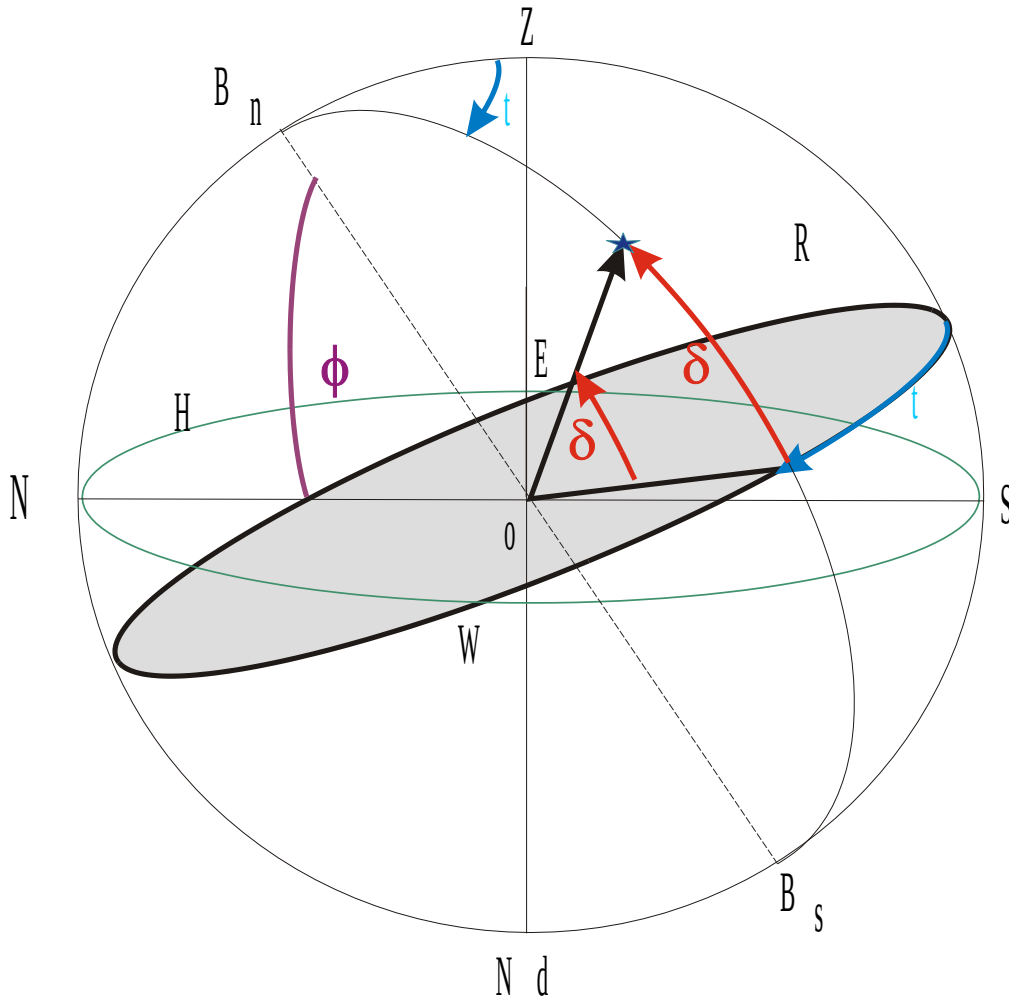


Układ równikowy godzinny



- oś główna : oś świata
- środek układu: środek Ziemi
- pł. podst.: równik niebieski
- +biegun : B_N
- -biegun : B_S
- półkole początkowe: połowa południka miejscowego
jest to koło wielkie łączące oba bieguny świata, zenit, nadir oraz punkty kardynalne N i S na horyzoncie

Współrzędne w układzie godzinnym

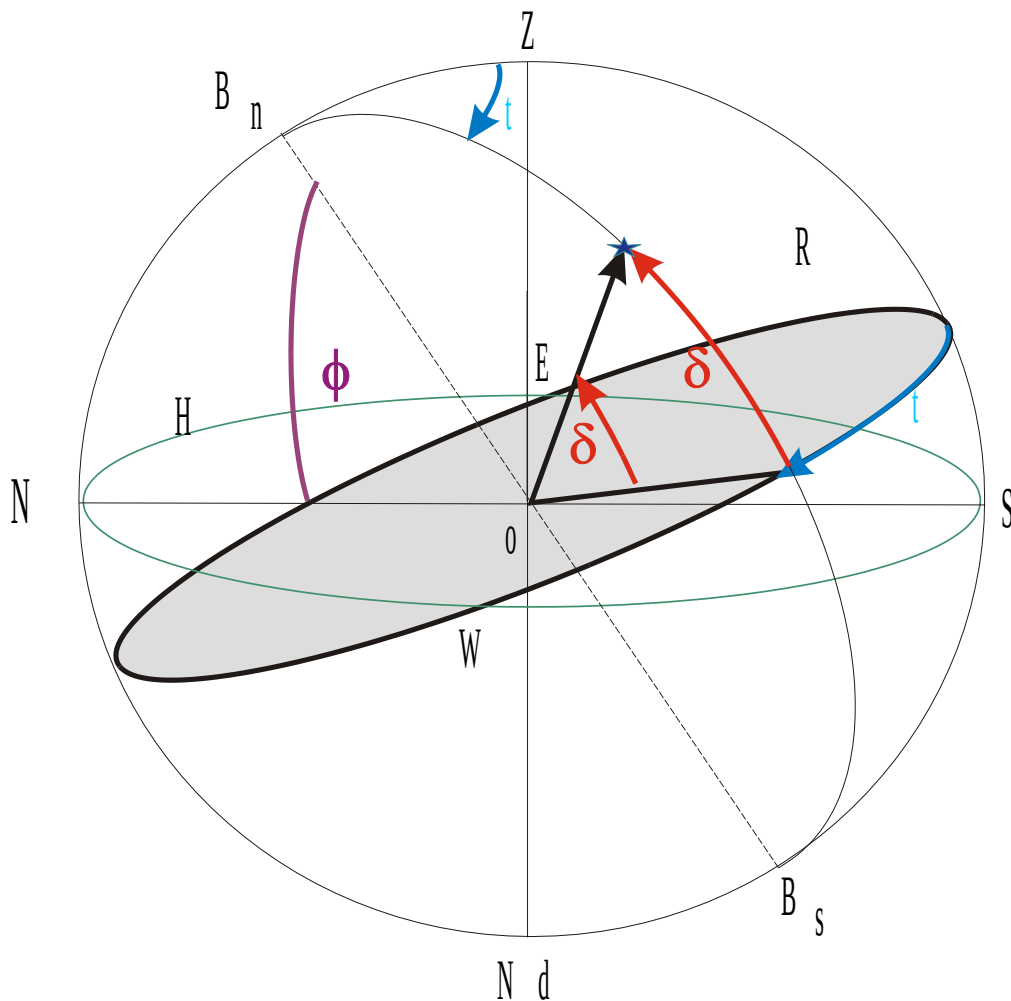


Deklinacja δ - kąt jaki tworzy kierunek ku ciału niebieskiemu z płaszczyzną równika niebieskiego. Deklinacja punktów północnej półkuli jest dodatnia, a południowej - ujemna.

Odległość biegunowa (n) dopełnienie deklinacji do 90° ,
 $n = 90^\circ - \delta$.

Wartości deklinacji ciał niebieskich nie zależą od miejsca obserwacji i od upływu czasu (ruchu dziennego sfery)

Współrzędne w układzie godzinnym



Kąt godzinny t - kąt dwuścienny jaki tworzy półkole godzinne przechodzące przez daną gwiazdę z półkolem południka lokalnego (lub odpowiadający mu łuk równika).

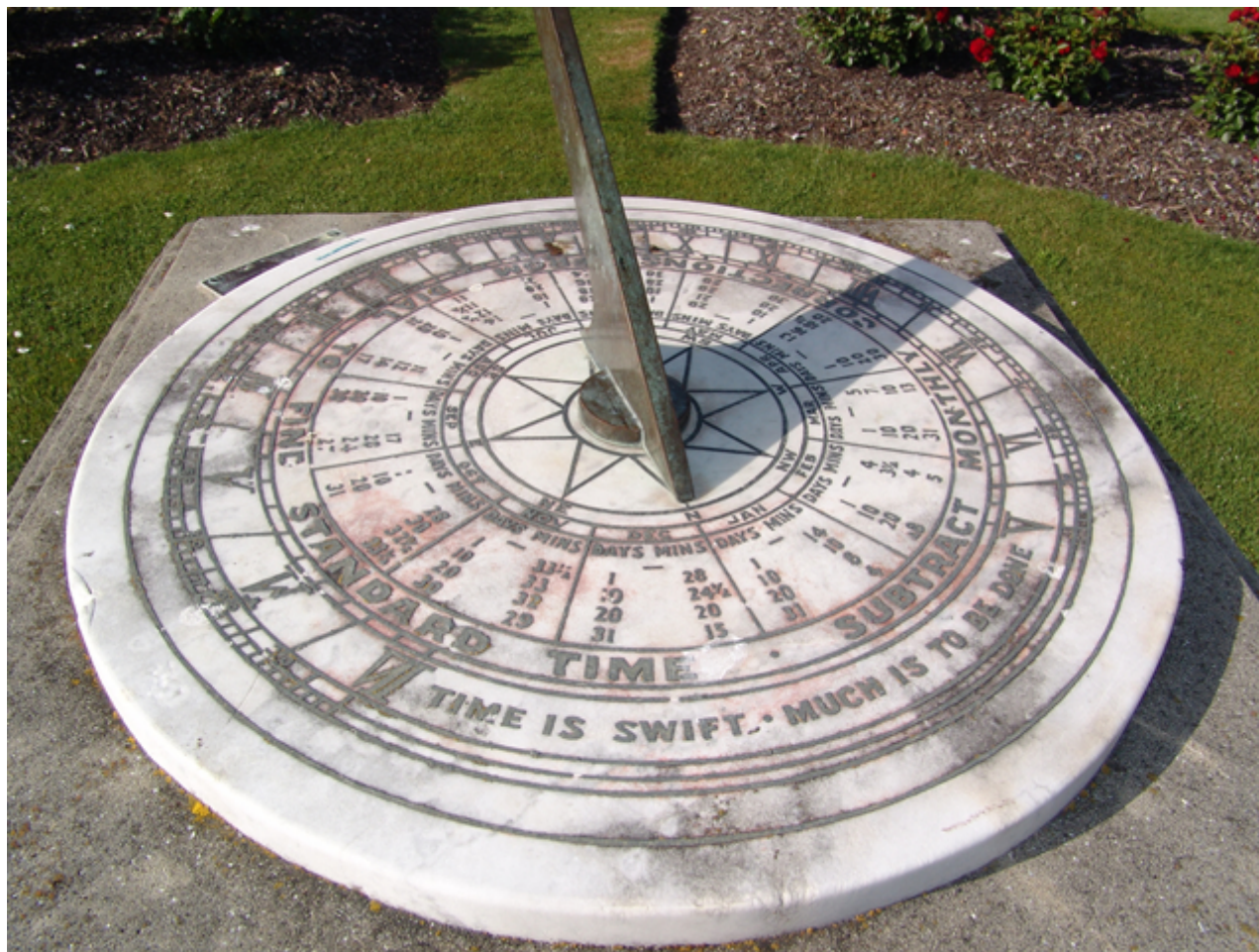
Kąt ten liczymy w kierunku ruchu dziennego sfery niebieskiej od południka na zachód (S-W-N-E).

Kąt godzinny wyrażamy skali czasowej (0h – 24h).

Wartość „ t ” zmienia się jednostajnie w czasie (zależy od ruchu dobowego sfery) a przez południk miejscowy jest związany z miejscem obserwacji.

Układ godzinny jest lokalny:
 t zależy od miejsca obserwacji.

Układ równikowy godzinny wiąże się z pomiarem czasu.



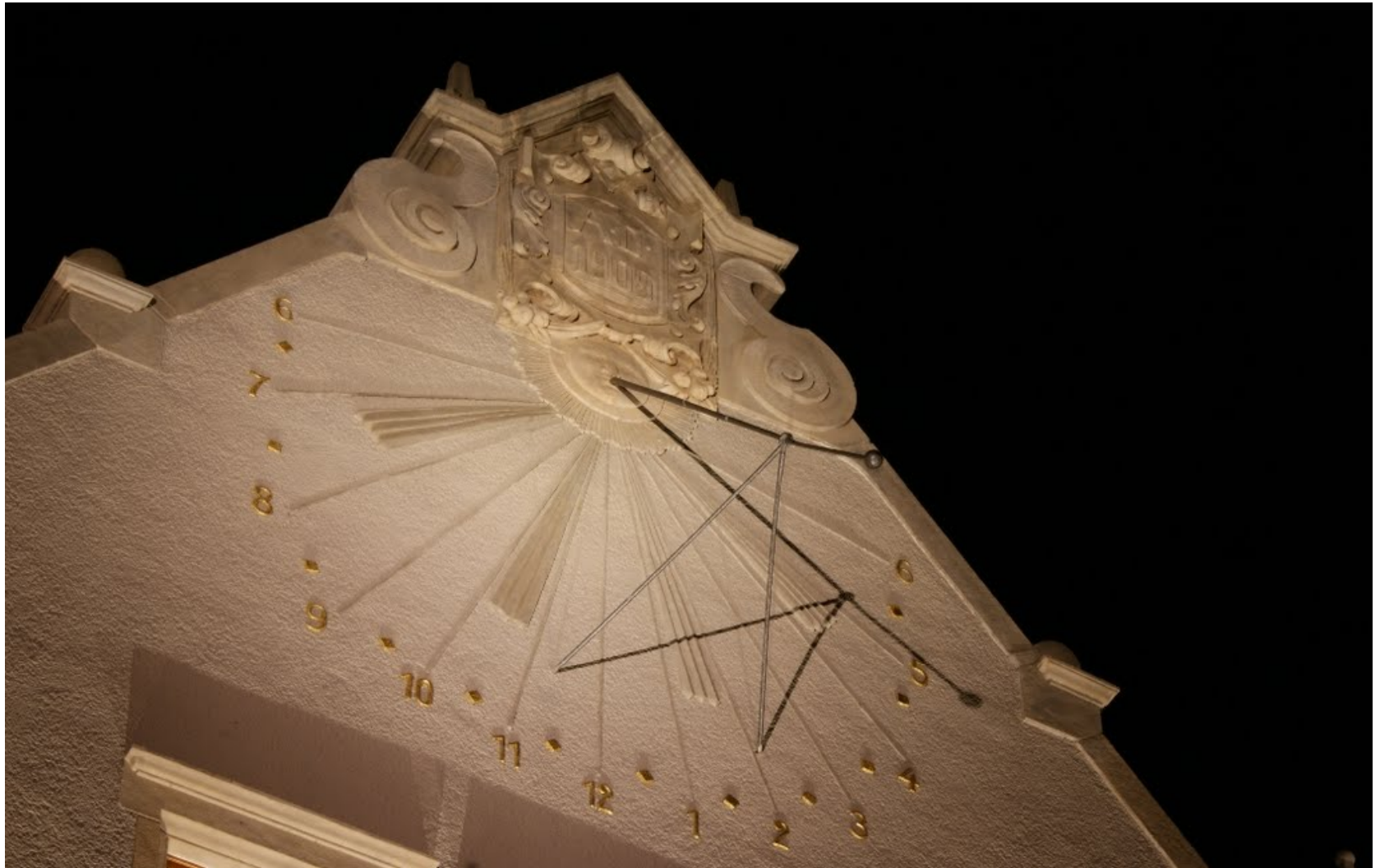
Kąt godzinny Słońca wyznacza lokalny czas słoneczny!
lokalny czas słoneczny = kąt godzinny Słońca + 12h

Zegar słoneczny



Wskazówka biegunowa oraz fragment miniaturowej sfery niebieskiej z nacięciami wzdłuż równika niebieskiego.

Zegar słoneczny na ścianie Collegium Minus



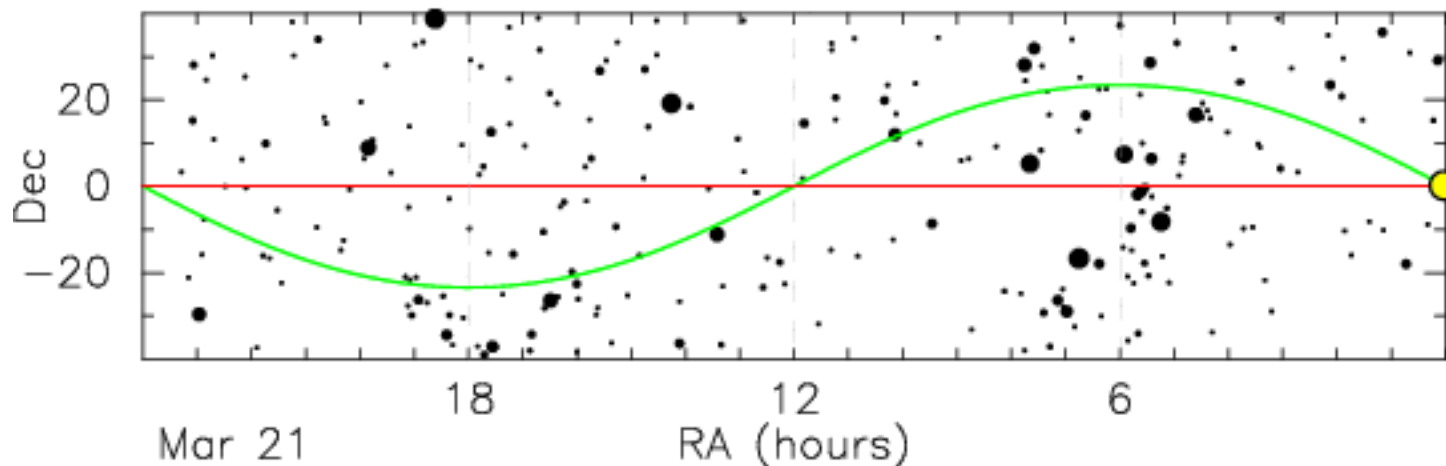
Roczny ruch Słońca

Słońce w ciągu roku systematycznie przesuwa się na tle gwiazd z zachodu na wschód okrążając całe niebo w ciągu roku.

Ten ruch Słońca na sferze niebieskiej nosi nazwę: **ruchu rocznego**.

Jest on odbiciem rzeczywistego ruchu Ziemi wokół Słońca.

Orbita Ziemi wyznacza płaszczyznę ekliptyki.



Ekliptyka - koło wielkie na sferze niebieskiej po którym porusza się Słońce.

Stellarium

Ekliptyka

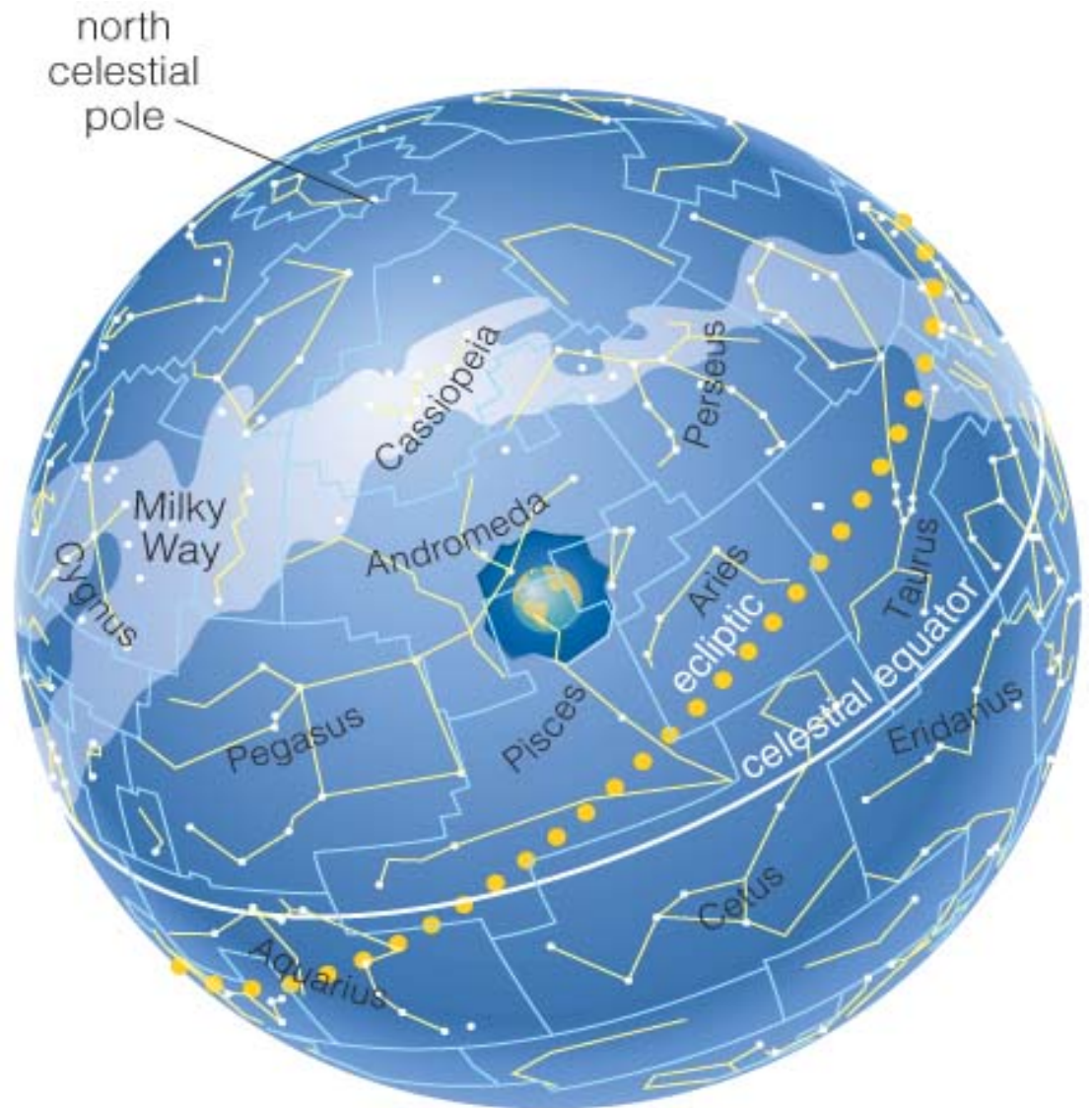
Punkty równonocy - punkty przecięcia ekliptyki z równikiem niebieskim.

Punkt równonocy wiosennej (Punkt Barana)

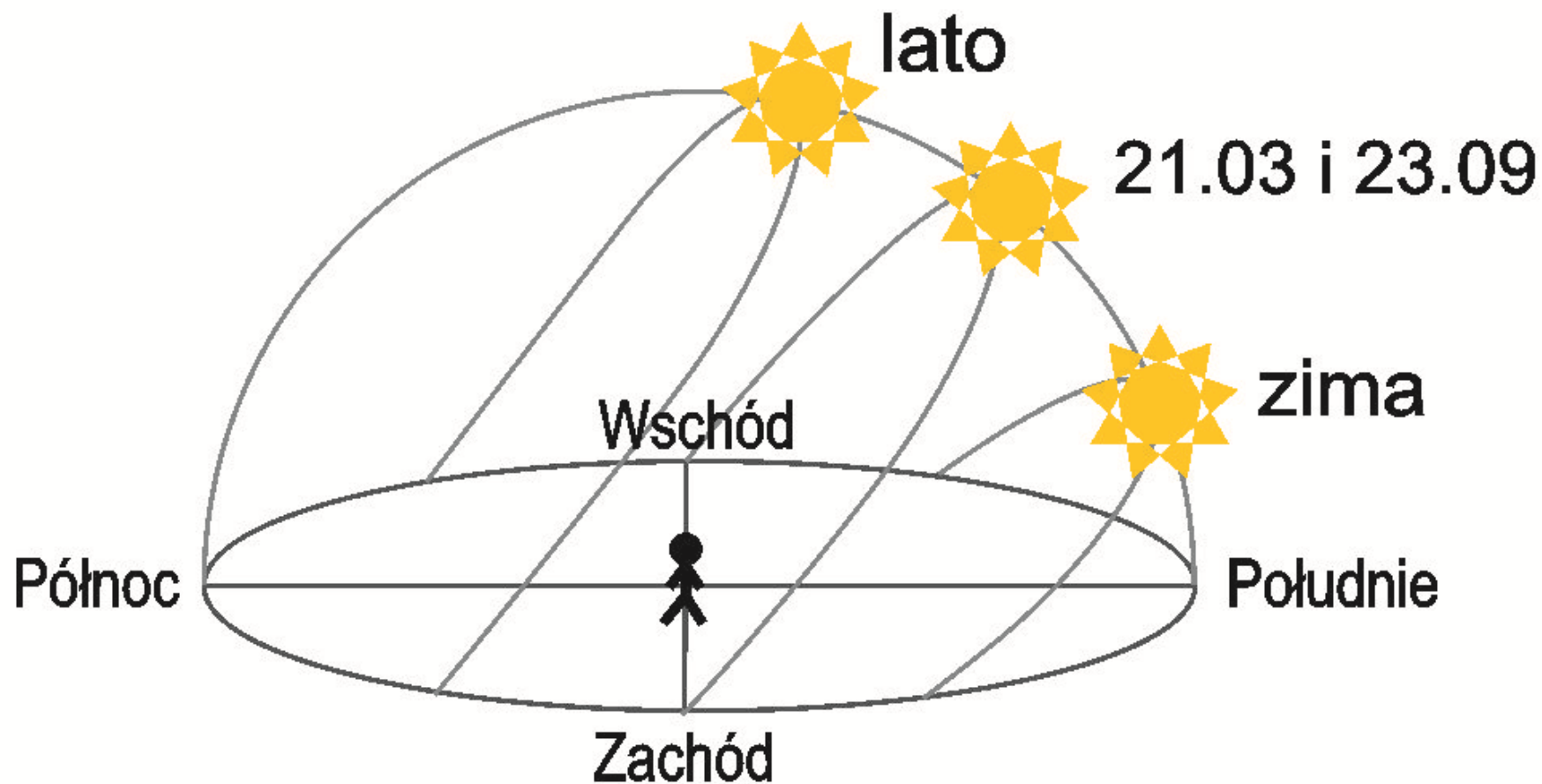
punkt, w którym Słońce przechodzi z półkuli południowej na północną (ok. 21 marca).

Punkt równonocy jesiennej (Punkt Wagi)

punkt, w którym Słońce przechodzi z półkuli północnej na południową (ok. 23 września).

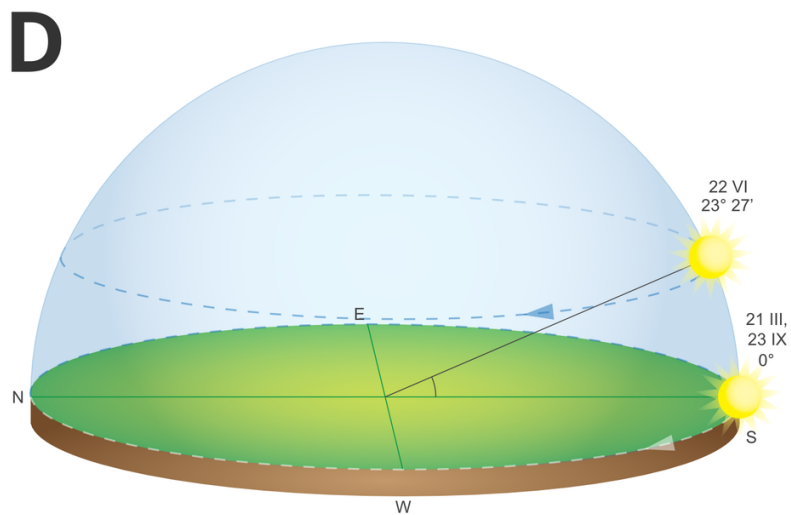
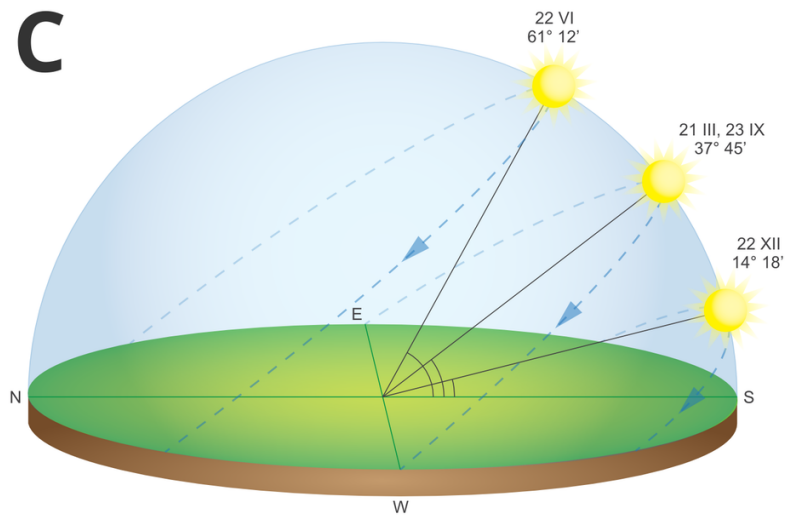
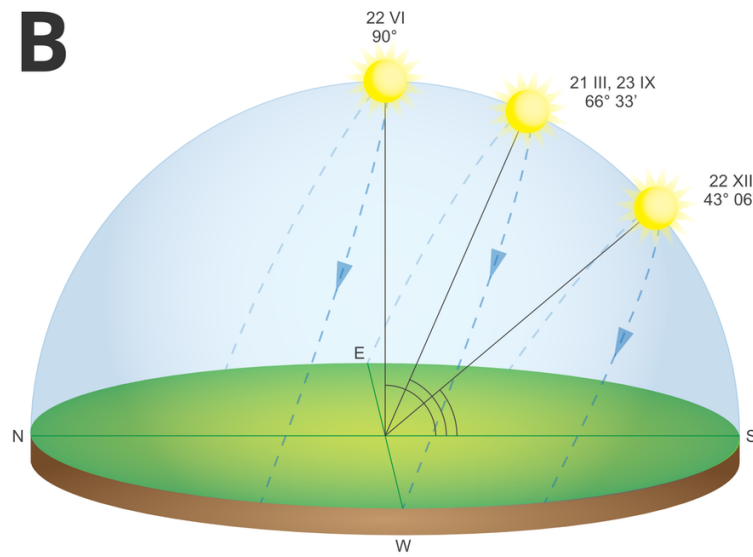
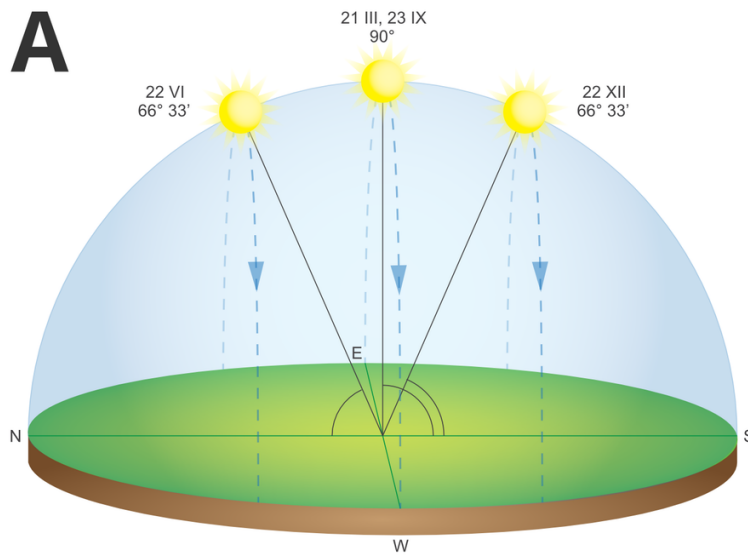


Ruch roczny Słońca



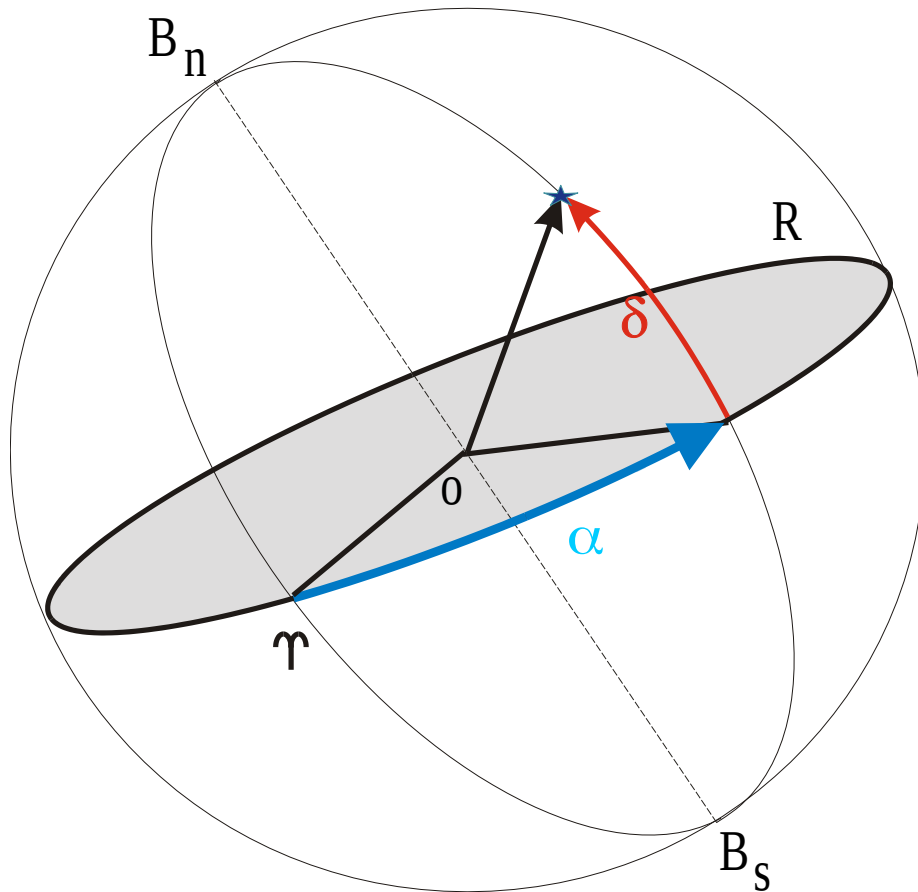
Ruch roczny Słońca w układzie horyzontalnym.

Ruch roczny Słońca



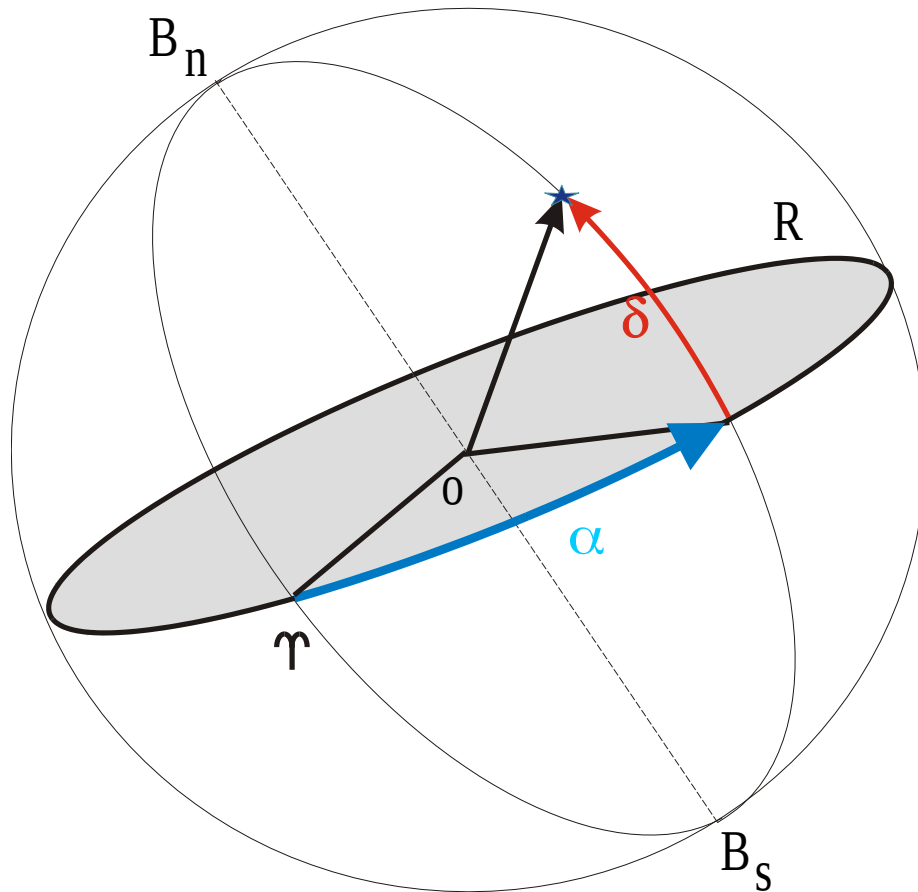
Ruch roczny Słońca w układzie horyzontalnym z różnych szerokości geograficznych.

Układ równikowy równonocny



- oś główna: oś świata,
- środek układu: środek Ziemi;
- +biegun: B_N ;
- -biegun: B_S ;
- koło podstawowe:
równik niebieski,
- półkole początkowe:
połowa koła godzinowego
przechodzącego przez
punkt Barana.

Współrzędne w układzie równonocnym



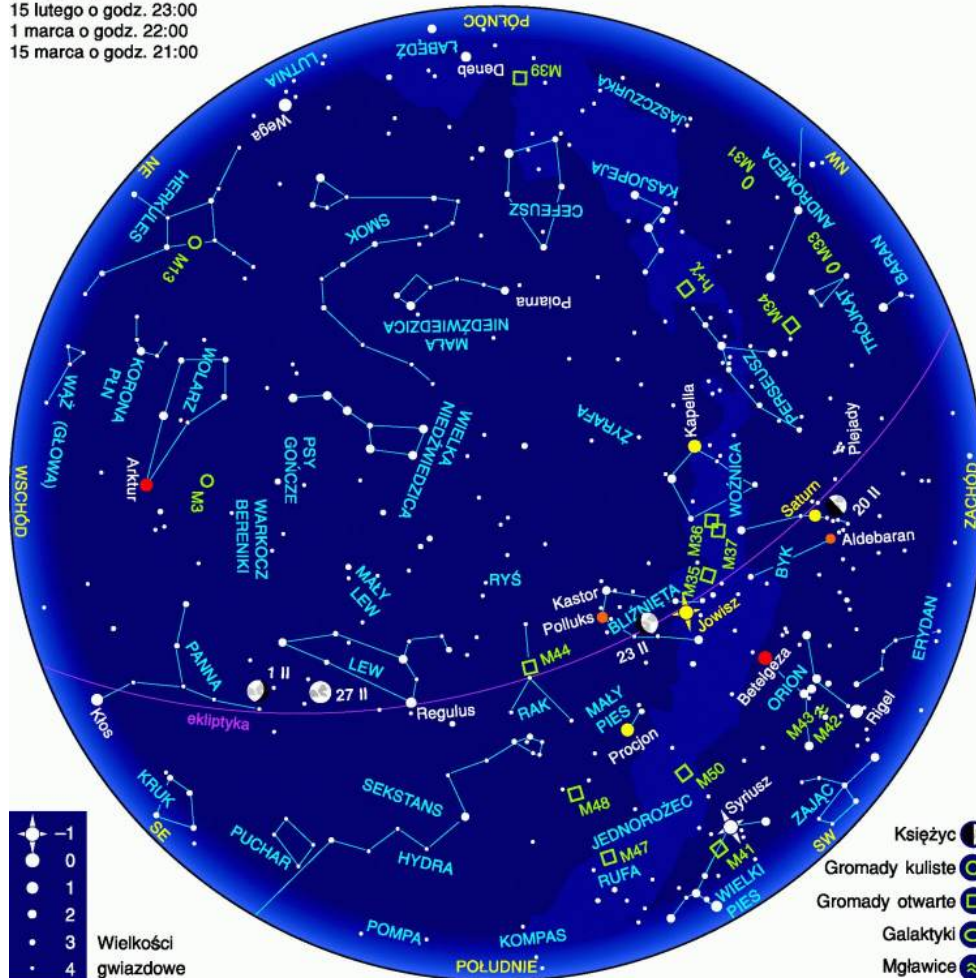
Deklinacja δ – jak w układzie godzinny.

Rektascensja α - kąt dwuścienny między półkolem godzinny przechodzącym przez punkt równonocy wiosennej i półkolem godzinny przechodzącym przez dane ciało niebieskie (lub odpowiadający mu łuk na równiku).

Rektascensję liczymy od punktu równonocy wiosennej w kierunku ruchu rocznego Słońca, to jest z zachodu na wschód, czyli przeciwnie niż kąt godzinny.

Rektascensję wyrażamy w mierze czasowej od 0^h do 24^h .

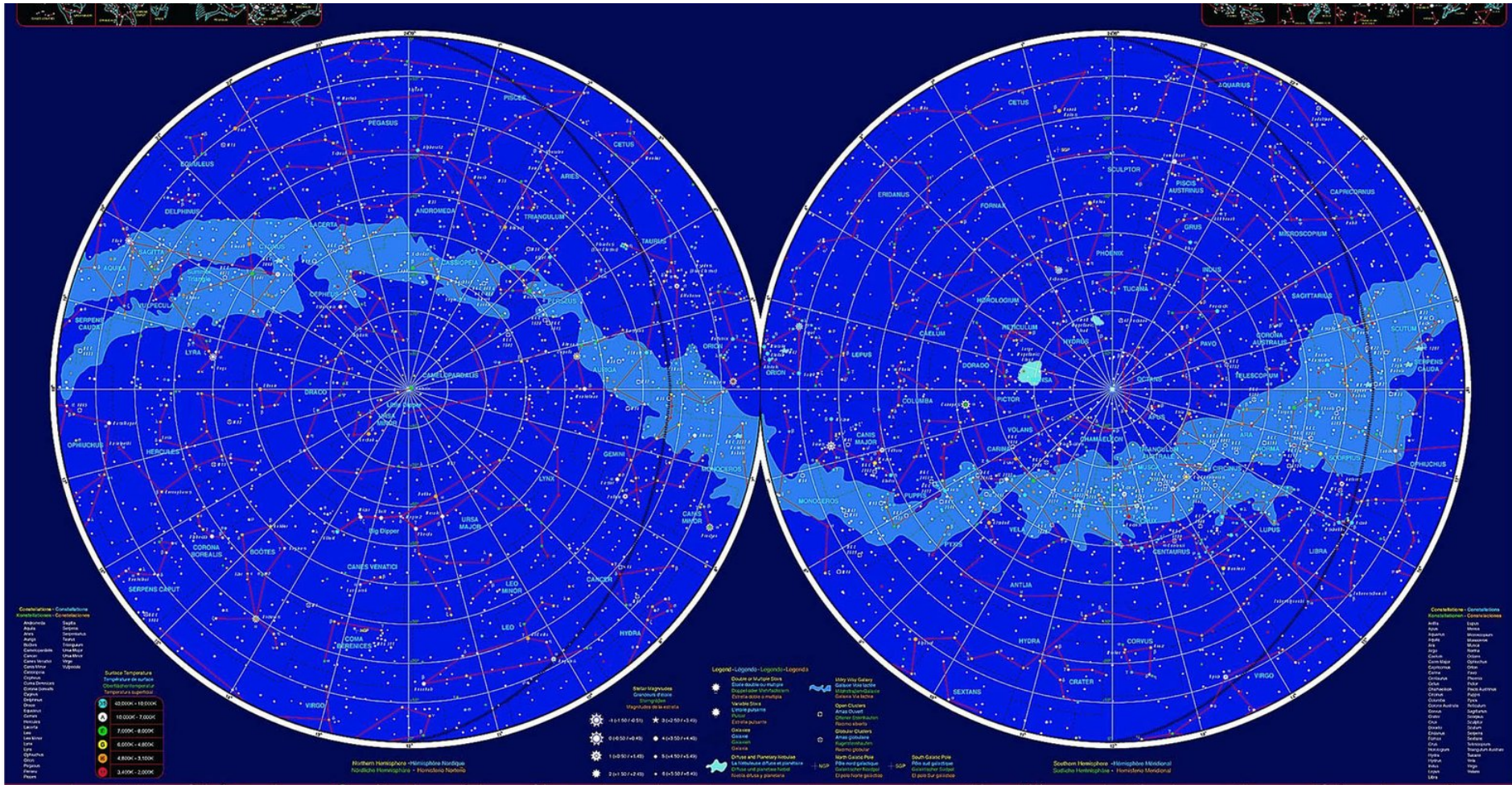
Tak wygląda niebo
1 lutego o godz. 24:00
15 lutego o godz. 23:00
1 marca o godz. 22:00
15 marca o godz. 21:00



Współrzędne w układzie równonocnym nie są lokalne - nie zależą od miejsca obserwacji!

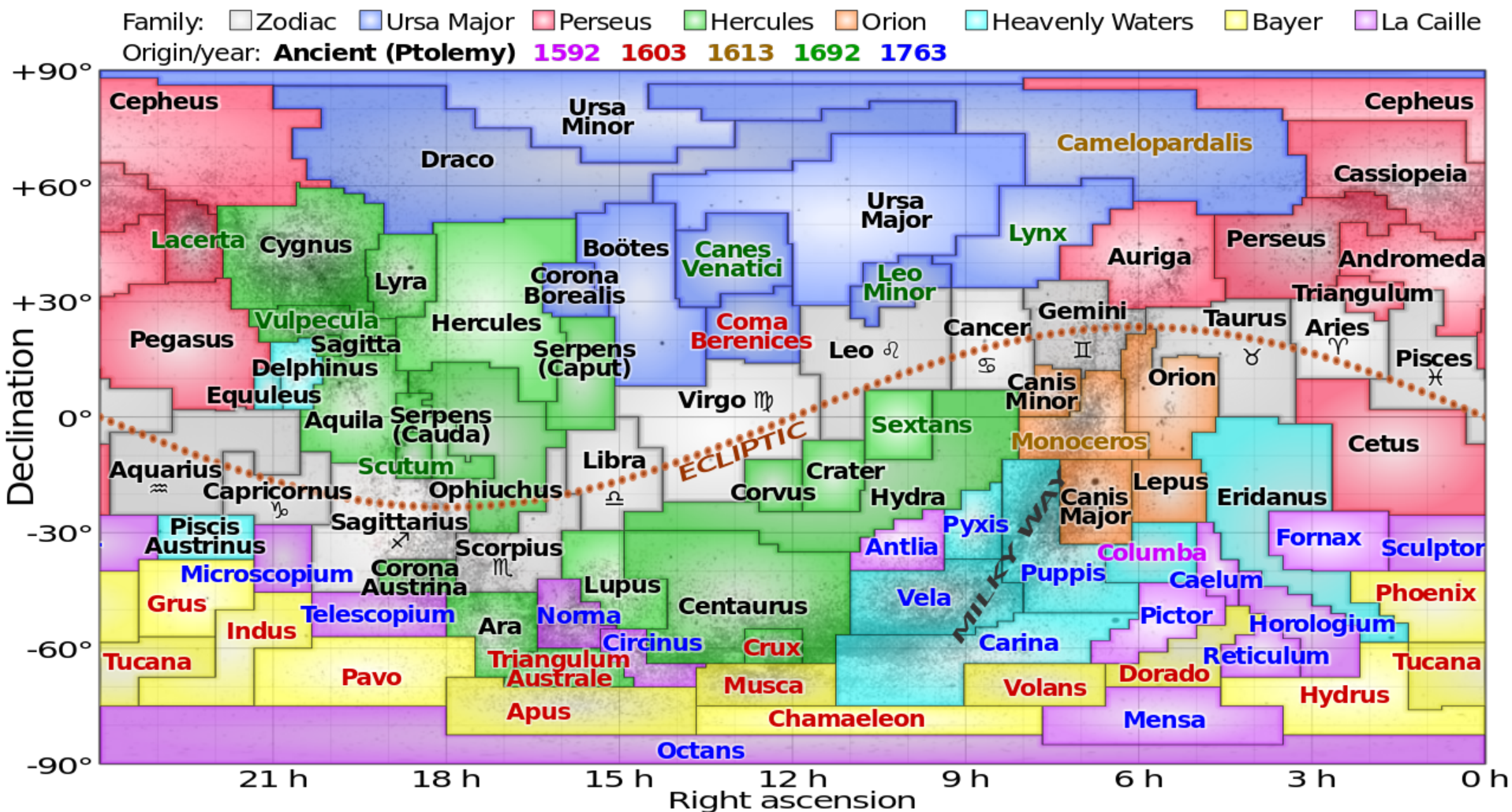
Układ ten można wykorzystać do sporządzenia mapy i atlasów nieruchomych obiektów niebieskich, które będą aktualne przez nawet setki lat.

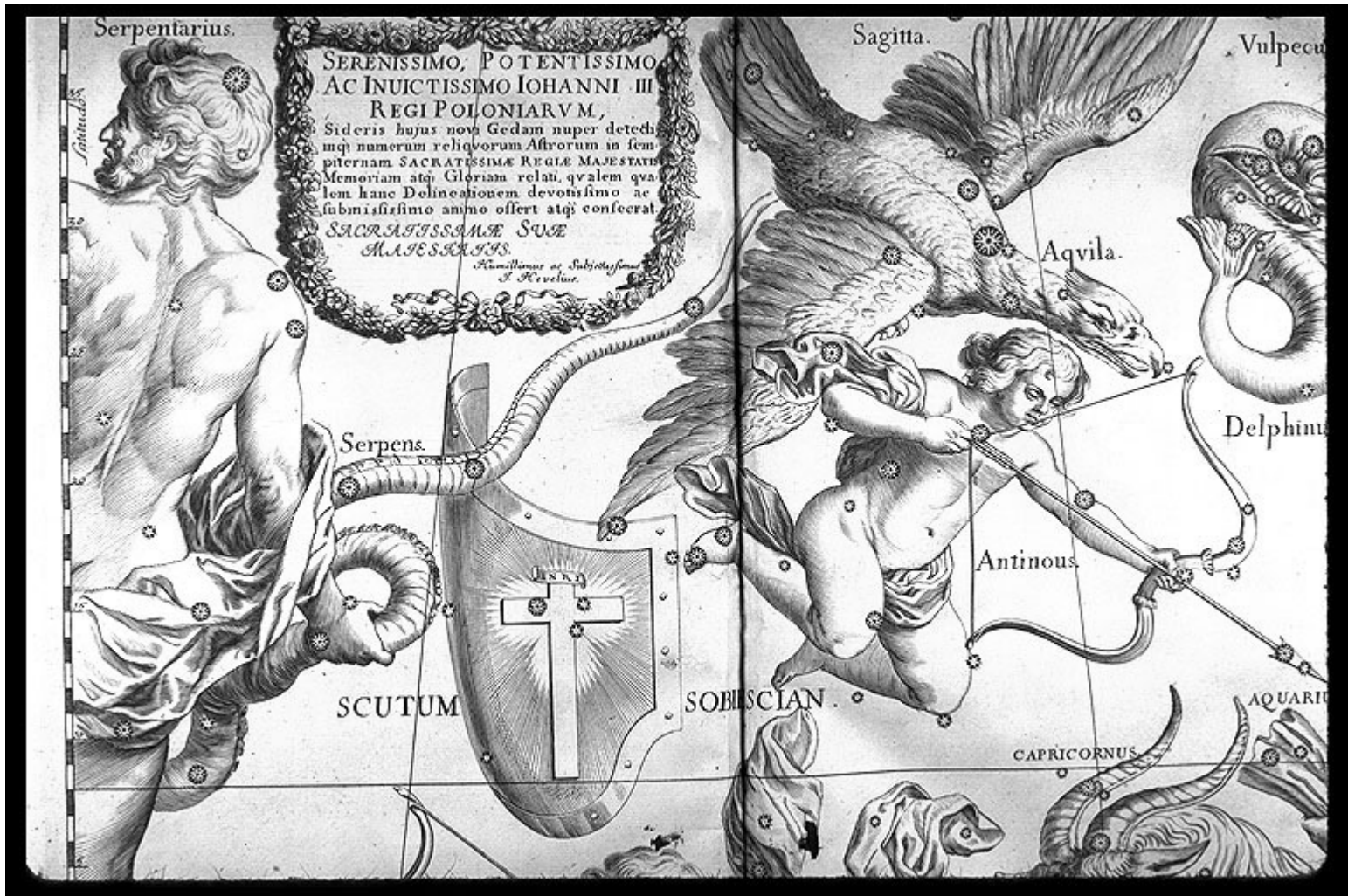
Mapa nieba z siatką współrzędnych równikowych



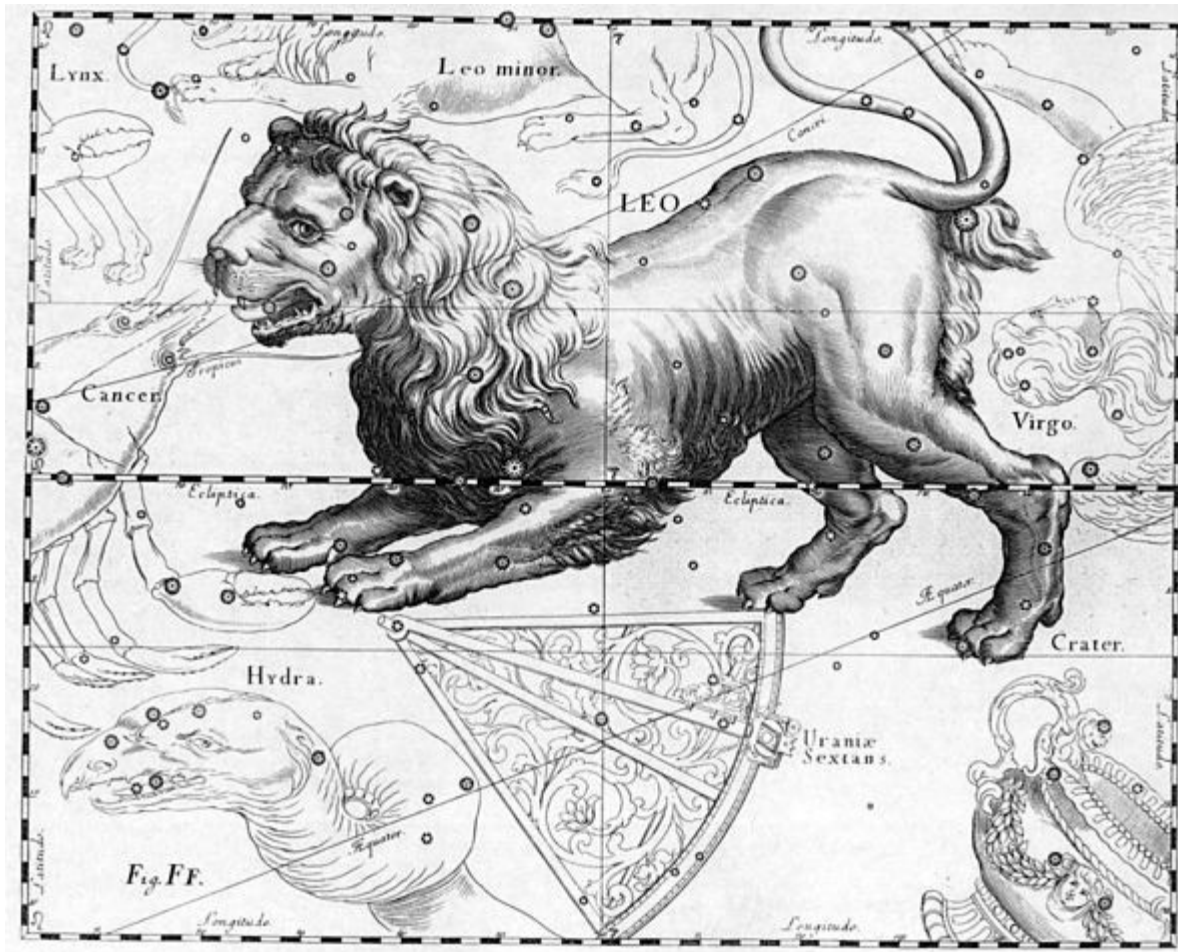
Gwiazdozbiory

W 1922r zamknięto listę 88 gwiazdozbiorów i określono ich granice wzdłuż południków i równoleżników niebieskich.

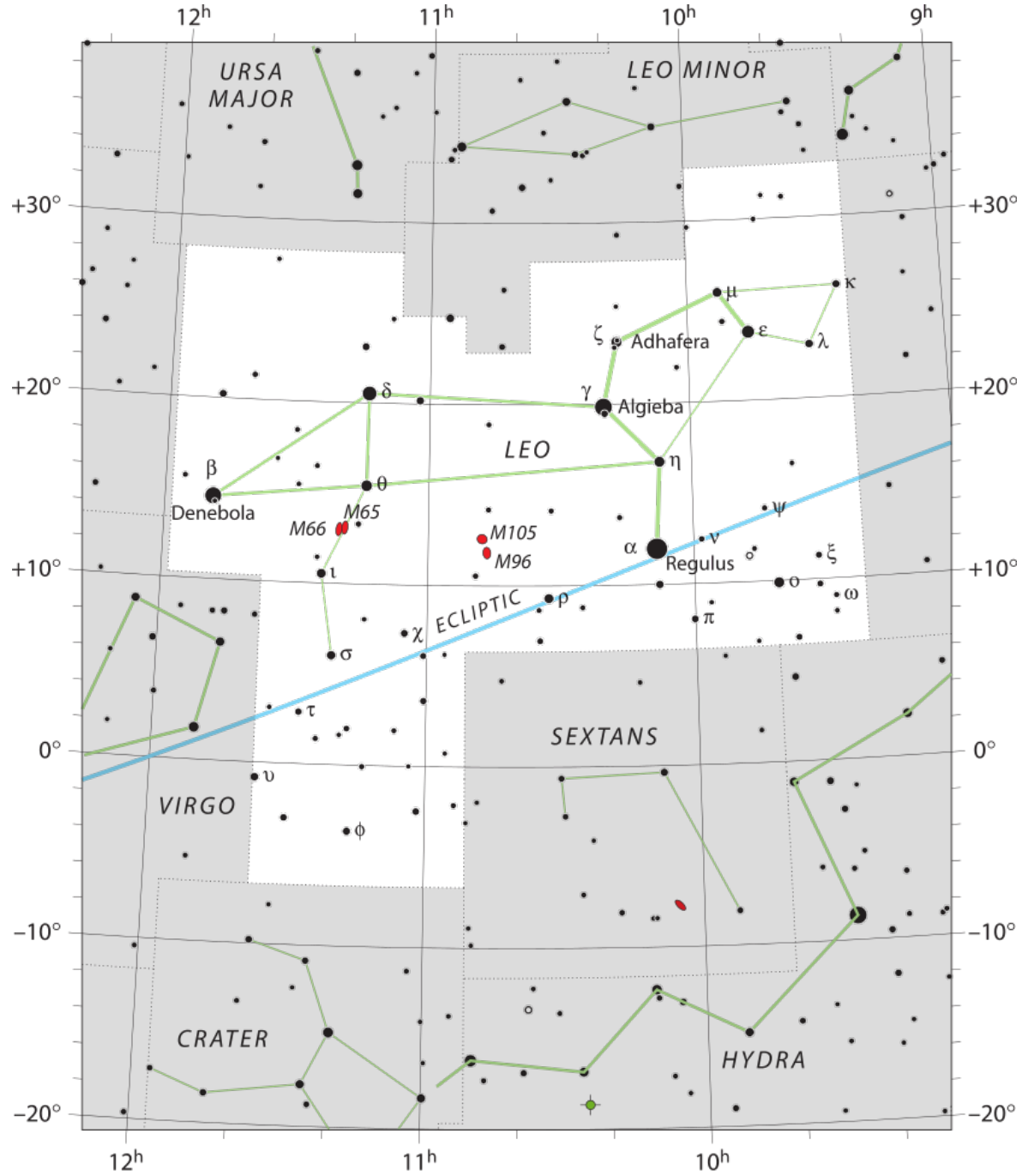




Tarcza Sobieskiego



Fragment mapy Heweliusza (1611-1687)



Gwiazdozbiory zodiaku

Gwiazdozbiory przez które przechodzi Słońce podczas pozornego ruchu rocznego na sferze.

Gwiazdozbiory przez które przechodzi ekliptyka.

Obecnie mamy 13 gwiazdozbiorów zodiaku.

Znaki zodiaku

30-sto stopniowe fragmenty ekliptyki,

obecnie nie związane z gwiazdozbiorami.

Rozróżnia się 12 znaków zodiaku.

Astrometria

Dział astronomii zajmujący się pomiarem pozycji obiektów na sferze niebieskiej, czyli wyznaczaniem współrzędnych sferycznych (zwykle w układzie równikowym).

Jakie jest znaczenie astrometrii?

1. Praktyczne – „gdzie wycelować teleskop”.
2. Naukowe – szukanie odpowiedzi na pytanie:
dlaczego dany obiekt porusza się tak a nie inaczej?

Dzięki pomiarom astrometrycznym obiektów niebieskich:

- odkryto precesję osi Ziemi
- zmierzono odległości do najbliższych gwiazd
- odkryto prawo grawitacji Newtona
- odkryto białe karły
- odkryto wiele innych obiektów nie widocznych bezpośrednio w teleskopie
- potwierdzono teorię względności Einsteina
- wyznaczono przypuszczalne pozycje wielu czarnych dziur w tym w centrum Drogi Mlecznej

Pierwsze katalogi pozycji ciał niebieskich zawierały kilkaset obiektów pomierzonych gołym okiem z dokładnością rzędu 100 sekund łuku.

Najnowsza misja kosmiczna GAIA zmierza do tego by dokonać pomiarów pozycji i odległości ok. miliarda obiektów z dokładnością 0.000001 sekundy łuku!

Misja GAIA

Galaktyka