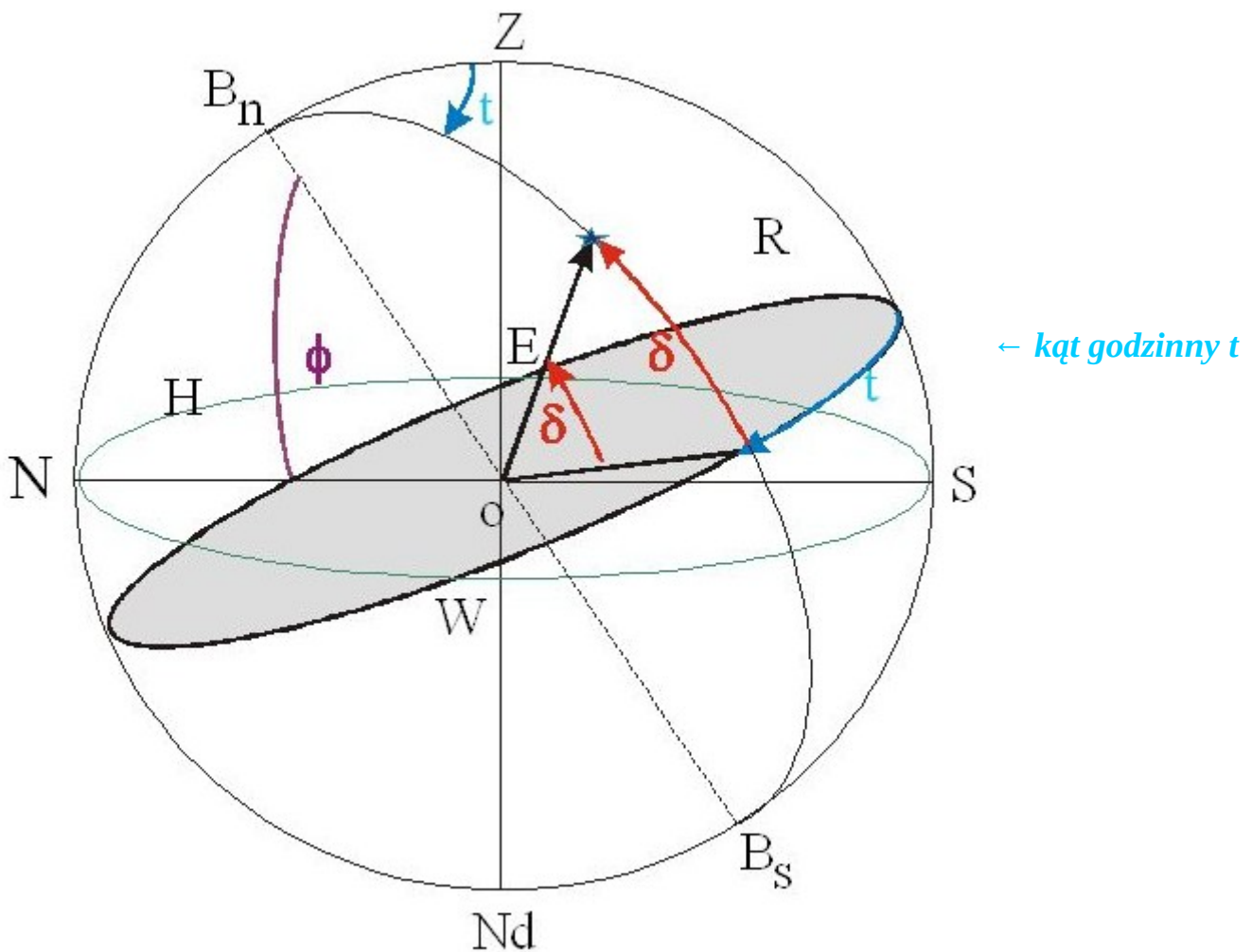


Układ równikowy I (godzinny)

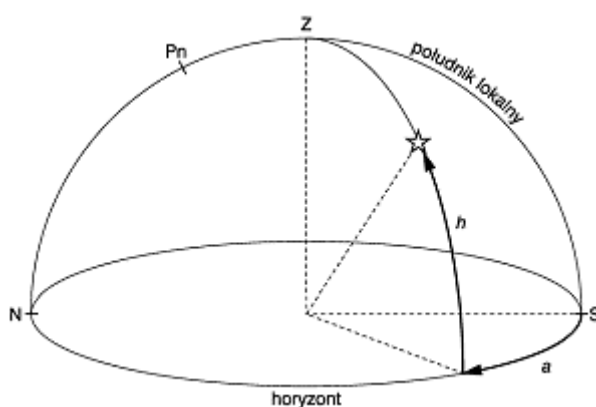
- Dwie współrzędne: δ (**deklinacja**), t (**kąt godzinny**)
- Jest związany z układem współrzędnych geograficznych - oba korzystają one z tej samej płaszczyzny podziału sfery (płaszczyzna równika taka sama jak płaszczyzna równika niebieskiego)
- **Równik niebieski** tworzy z **horyzontem** kąt równy 90 stopni – ϕ (szerokość geograficzna)
- **Deklinacja** – kąt tworzony przez kierunek ku ciału na niebie (koło wielkie zaznaczone częściowo czerwonym łukiem na rysunku) z płaszczyzną równika niebieskiego
- **Kąt godzinny** - kąt zawarty między płaszczyzną lokalnego (miejscowego) południka a płaszczyzną koła godzinnego przechodzącego przez dany obiekt
- **Kąt godzinny**: odmierzamy wzdłuż równika niebieskiego, w kierunku zgodnym z ruchem sfery niebieskiej (od południa przez zachód, północ i wschód (na rysunku 1: S → W → N → E))
- **Kąt godzinny** jest często wyrażany w mierze czasowej (0^h do 24^h)
- **Kąt godzinny** zmienia się równomiernie w czasie (rośnie) z tą samą prędkością, co ruch sfery niebieskiej zachodzący na skutek ruchu obrotowego Ziemi wokół własnej osi.



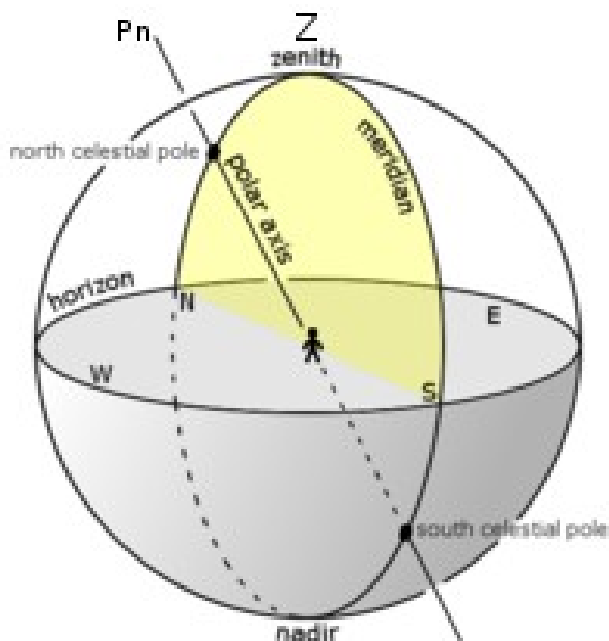
Rys. 1. Deklinacja i kąt godzinny.

→ Dlaczego t (**kąt godzinny**) zmienia się z czasem?

- **Południk lokalny (inne nazwy: miejscowy, niebieski)** **nie zmienia się z czasem**, ale jest związany z lokalizacją obserwatora
- **Południk lokalny** to południk, na którym odbywają się kulminacje (górowania i dołowania) wszystkich ciał niebieskich
- **Południk lokalny** definiuje płaszczyzna, w której leży prosta pionowa (kierunek pionu w układzie horyzontalnym) i oś świata (układ równikowy), i która jest prostopadła do płaszczyzny równika (i jednocześnie do płaszczyzny horyzontu!). Południk niebieski przecina więc punkty: zenit, nadir, bieguny niebieskie, oraz punkty kardynalne południa (S) i północy (N)



Rys. 2. Południk lokalny w układzie horyzontalnym.



Rys. 3. Płaszczyzna południka lokalnego (ang. **meridian**) w układzie horyzontalnym – kolor żółty. Przechodzi ona przez zenit, nadir, bieguny N (ang. **north celestial pole**) i S sfery niebieskiej, oraz punkty S i N.

- **Kąt godzinny** może być uważany za sposób pomiaru czasu od górnej **kulminacji** danego ciała na niebie, czyli momentu, w którym ciało to było (chwilowo) najwyżej na południku lokalnym
- **Kulminacje** (górną i dolną) odbywają się zawsze na tym samym okręgu wielkim, czyli na południku lokalnym. Ciała niebieskie mają wówczas najwyższą/najniższą wysokość podczas całego obrotu sfery niebieskiej
- Gdy dane ciało znajduje się (chwilowo) na południowym łuku południka lokalnego, jego kąt godzinny = 0
- **Płaszczyzna koła godzinnego przechodzącego przez dany obiekt** → **zmienia się z czasem na skutek obrotu sfery niebieskiej!** Ciało może być na skutek ruchu Ziemi w różnych odległościach od południka lokalnego. Koło godzinne jest związane z równikiem niebieskim i biegunami, nie horyzontem i zenitem. Dane ciało **nie** znajduje się cały czas na południu lokalnym.

Dlatego **kąt godzinny** zmienia się w czasie, np. w ciągu nocy, gdy obserwujemy jakiś obiekt. **Południk lokalny** **nie zmienia się**, ale zmienia się koło godzinne, na którym w danym momencie jest obiekt w układzie równikowym I.

Układ równikowy II (równonocny)

- Dwie współrzędne: δ (**deklinacja**), α (**rektascensja**)
- Jest związany z układem współrzędnych geograficznych - oba korzystają one z tej samej płaszczyzny podziału sfery (płaszczyzna równika taka sama jak płaszczyzna równika niebieskiego)
- **Deklinacja** – kąt tworzony przez kierunek ku ciału na niebie (koło wielkie zaznaczone częściowo czerwonym łukiem na rysunku) z płaszczyzną równika niebieskiego
- **Rektascensja** - kąt zawarty między płaszczyzną południka przechodzącego przez punkt Barana a płaszczyzną koła godzinnego przechodzącego przez dany obiekt (lub: kąt pomiędzy południkiem przechodzącym przez punkt Barana a południkiem przechodzącym przez obiekt)
- **Rektascensja**: odmierzamy wzdłuż równika niebieskiego, w kierunku przeciwnym do ruchu sfery niebieskiej (wzrasta w kierunku wschodnim, zgodnym z rocznym ruchem Słońca na tle gwiazd)
- **Rektascensja nie zmienia się w czasie, zgodnie z ruchem sfery niebieskiej**, jak kąt godzinny
- **Dana gwiazda ma zawsze tę samą rektascensję, niezależnie od pory dnia czy nocy.**
- Punkt początkowy liczenia rektascensji – **punkt Barana** - jest sztywno związany z punktem, który sam także uczestniczy w ruchu dziennym gwiazd, więc żadna ze współrzędnych układu równikowego II nie zmienia się na skutek ruchu obrotowego Ziemi (jeśli położenie punktu Barana zmienia się w ciągu doby, to zmienia się tak samo jak położenie danej gwiazdy)

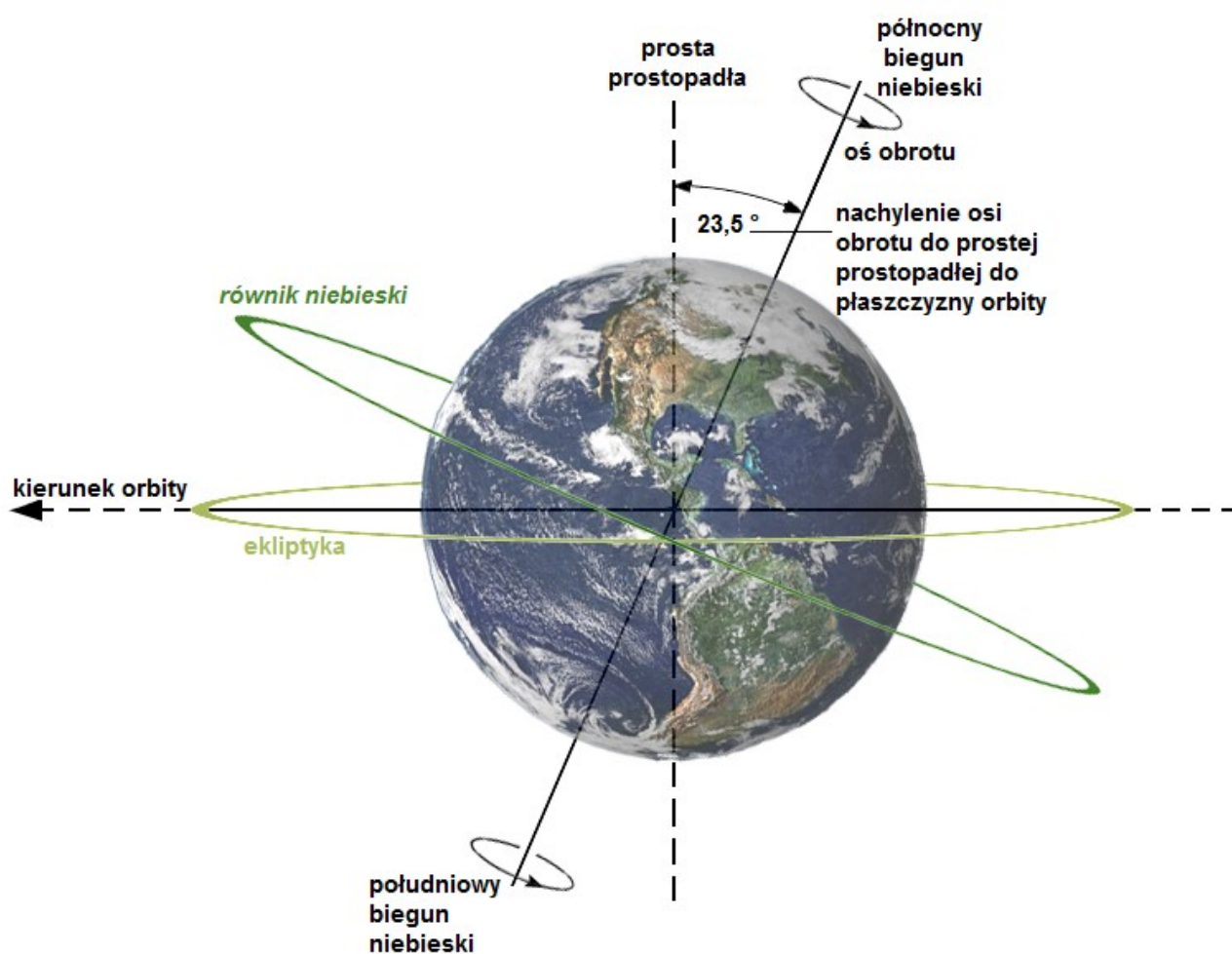
Punkt Barana to jeden z dwóch punktów, w których **równik niebieski** przecina się z **ekliptyką** – pozorną, roczną drogą Słońca na niebie.

Moment przejścia Słońca przez punkt Barana = początek astronomicznej wiosny.

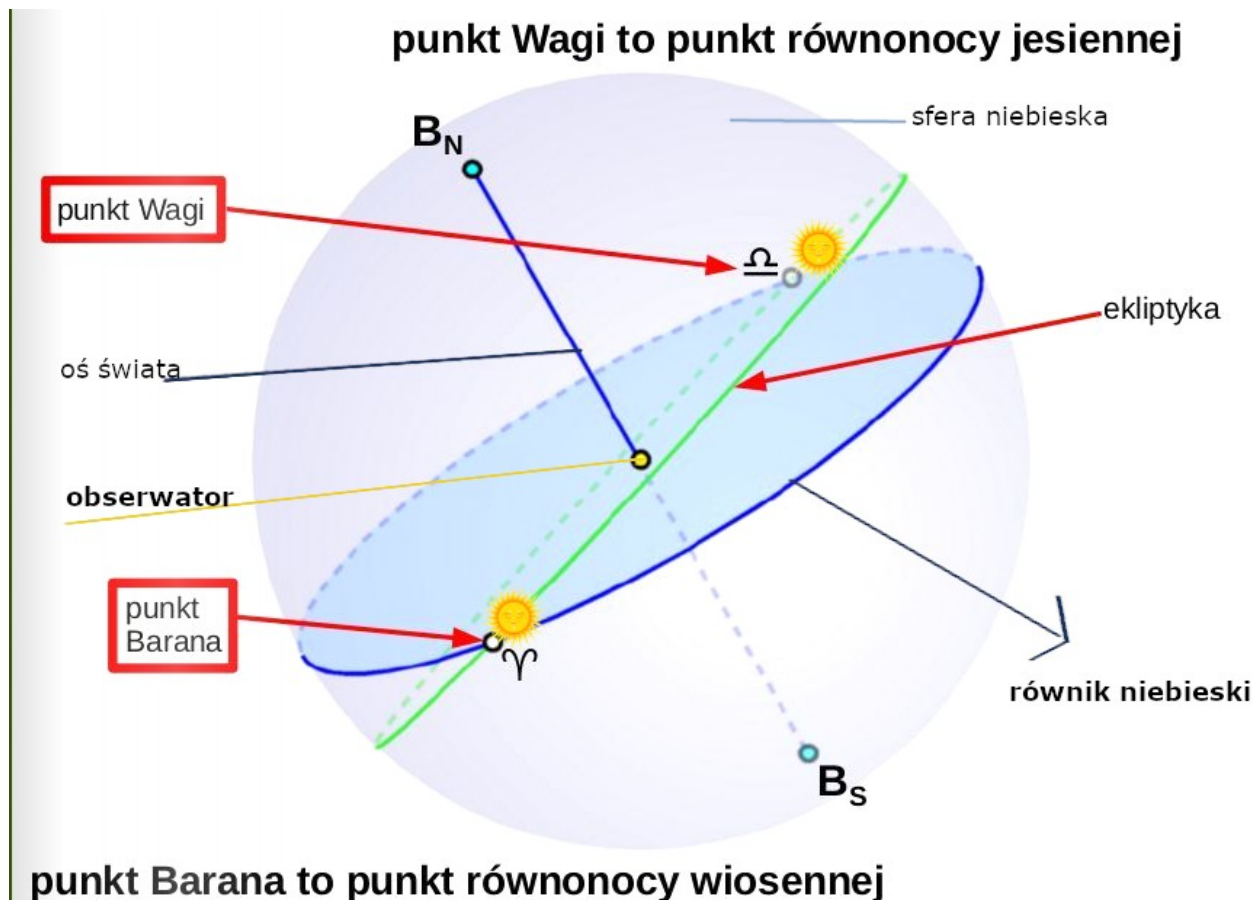
Moment przejścia Słońca przez przeciwległy punkt Wagi,

6 m-cy później = początek astronomicznej jesieni.

- **Układ równonocny:** położenie obiektu nie ulega zmianie wskutek ruchu dziennego sfery niebieskiej i nie zależy od miejsca obserwacji
- → kierunek podstawowy (do liczenia rektascensji) wyznacza „jakiś” punkt na obracającej się sferze niebieskiej
- Tym punktem nie może być żadna gwiazda, bo ona też zmieniałaby położenie na skutek obrotu Ziemi!
- Ale: kierunek osi obrotu Ziemi i płaszczyzna, w której odbywa się ruch Ziemi względem Słońca, nie ulegają zmianie podczas doby. Tą płaszczyznę wyznacza **ekliptyka** – koło wielkie, na jakim w ciągu roku pozornie porusza się Słońce obserwowane z Ziemi.
- **Ekliptyka** jest nachylona do równika niebieskiego (i równika Ziemi) pod kątem ok. 23,5 stopnia. Kąt ten definiuje „przechył” Ziemi na jej orbicie wokół Słońca.
- **Ekliptyka** przecina zatem równik niebieski → istnieją dwa punkty wspólne dla równika niebieskiego i ekliptyki - Punkt Barana i punkt Wagi
- Punkt Barana i punkt Wagi (inaczej: punkty równonocy) mają stałe położenie na niebie stałe → dlatego stały się podstawą wyznaczenia kierunku podstawowego (i **rektascensji**) w **układzie współrzędnych równonocnych**.



Rys. 4. Położenie równika niebieskiego i ekliptyki.



Rys. 5. Położenie równika niebieskiego i ekliptyki – **uwaga!** Tu równik niebieski nie przecina się, jak poprzednio, z horyzontem, a z ekliptyką!

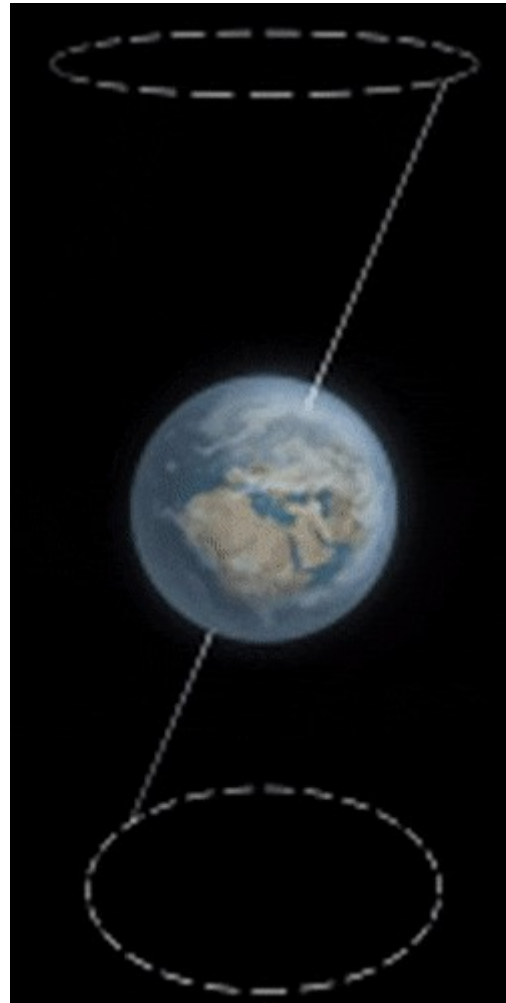
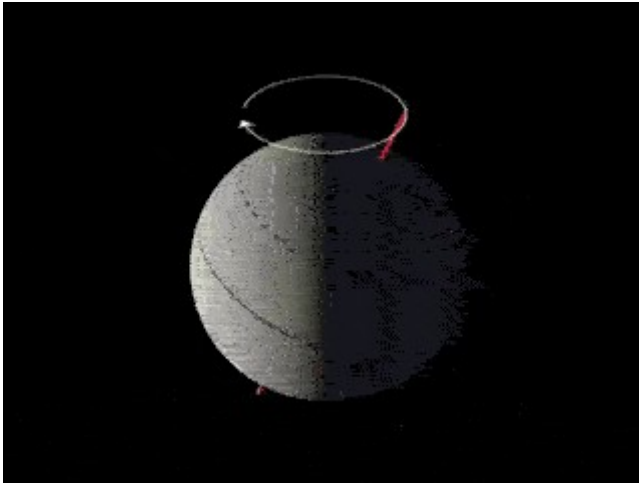
- Kierunkiem podstawowym w tym układzie jest kierunek ku punktowi Barana
- **Rektascensja danego obiektu + jego kąt godzinny = kąt godzinny punktu Barana**
- W wyniku **precesji** punkt Barana przesuwa się wzdłuż ekliptyki dokonując pełnego obiegu w ciągu 26 tysięcy lat
- Precesję osi ziemskiej powodują: wpływ grawitacyjny Słońca, Księżycy i planet, nie do końca idealnie kulisty kształt Ziemi
- *Polaris* nie zawsze była **Gwiazdą Polarną** – ok 400 r. 0 r. p.n.e. był to Kochab (*Beta Ursae Minoris*), około 2600 r. p.n.e. - Thuban (*Alfa Draconis*), itd. W przyszłości będzie nią Vega
- Na skutek precesji tak samo zmienia się dokładnie położenie **punktu Barana**

- Gdyby nie precesja, i fakt, że **punkt Barana** bardzo powoli zmienia jednak swoje położenie na tle dalekich gwiazd, położenia obiektów w tym układzie byłyby w przybliżeniu niezmiennie w czasie
- Te współrzędne – **deklinacja i rektascensja** – są więc powszechnie stosowane na mapach nieba, do uniwersalnego określania pozycji gwiazd
- Ponieważ jednak nie są one idealnie stałe w czasie, co pewien czas, np. 50 lat, uaktualnia się.
- Dlatego w atlasach nieba i katalogach obiektów astronomicznych można spotkać się z podawaniem **epoki astronomicznej**. Epoka to czasu, dla którego dość dobrze określone są dane współrzędne astronomiczne (tu: RA i DEC)
- Dziś wciąż jest używana epoka: J2000 (stan nieba na 1 stycznia 2000 roku, o 12:00) - **epoka Juliańska**
- Wcześniej długo obowiązywała – i dalej można spotkać w bazach danych i atlasach nieba: **epoka Besseliańska** (B1950.0)
- Jeszcze wcześniej, np. w katalogu BD – obowiązywała epoka B1855.0, a w Katalogu Drapera używa się epoki B1900.0
- Co dalej, po roku 2030, 2050 ??? (pewnie zostaną z czasem rozważone kolejne zmiany)

Prowadząc każde obserwacje, badania naukowe, testy oprogramowania itp.
 - należy zawsze sprawdzić, z jaką epoką astronomiczną mamy do czynienia.
 Inaczej możemy uzyskać duży błąd w danych.

Precesja: <https://makeagif.com/gif/precession-of-the-earth-XZ646S>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Precesja#/media/Plik:Precession_animation_small_new.gif



Rys. 6. Ilustracje precesji osi ziemskiej.

Kulminacje ciał niebieskich

- Gdy obiekt znajduje się na południowej części południka miejscowego, jego kąt godzinny = 0, a jego rektascensja = kąt godzinny punktu Barana (bo: **rektascensja obiektu + jego kąt godzinny = kąt godzinny punktu Barana**)
- Gdy gwiazda poruszając się na sferze niebieskiej przecina południk po stronie zenitu, ma miejsce jej kulminacja górna nad horyzontem (inaczej: górowanie)
- Gdy przecina południk po stronie przeciwnej - kulminacja dolna
- Jeśli kulminacja górna i dolna gwiazdy zachodzą w danym miejscu na Ziemi ponad horyzontem, to jest to **gwiazda okołobiegunowa** (nigdy nie zachodzi, nigdy nie wchodzi)

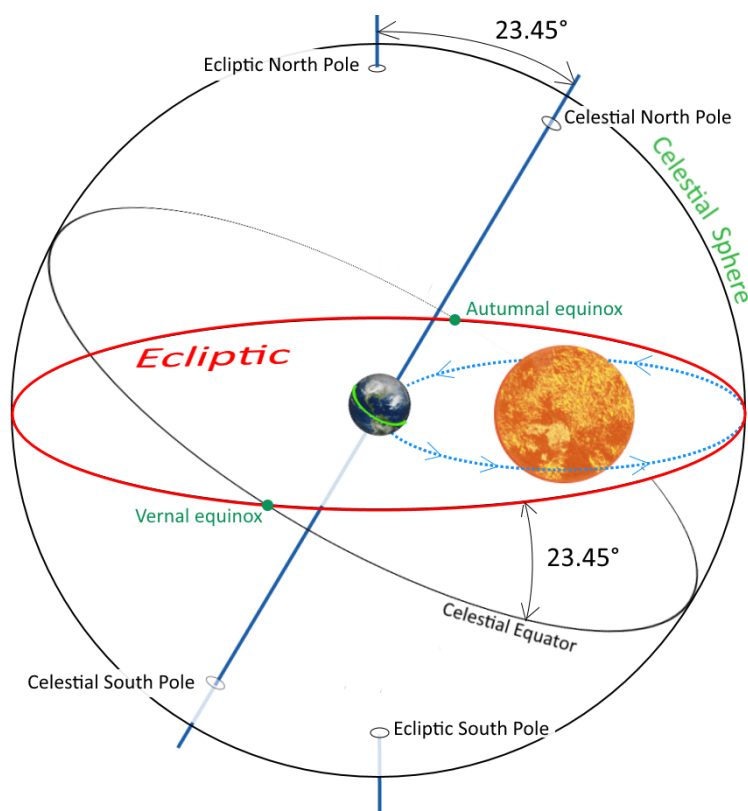
Dla takich gwiazd: wysokość dołowania jest ≥ 0 , $\varphi + \delta - 90^\circ \geq 0 \rightarrow \delta \geq 90^\circ - \varphi$
 \rightarrow okołobiegunowymi są tylko te gwiazdy, których deklinacje są $\geq 90^\circ - \varphi$

Gwiazdy, których górowanie i dołowanie zachodzą dla danego m-ca na Ziemi pod horyzontem, to w tym miejscu **gwiazdy nigdy nie wschodzące**. Ich Deklinacja: $90^\circ - \varphi > \delta > \varphi - 90^\circ$

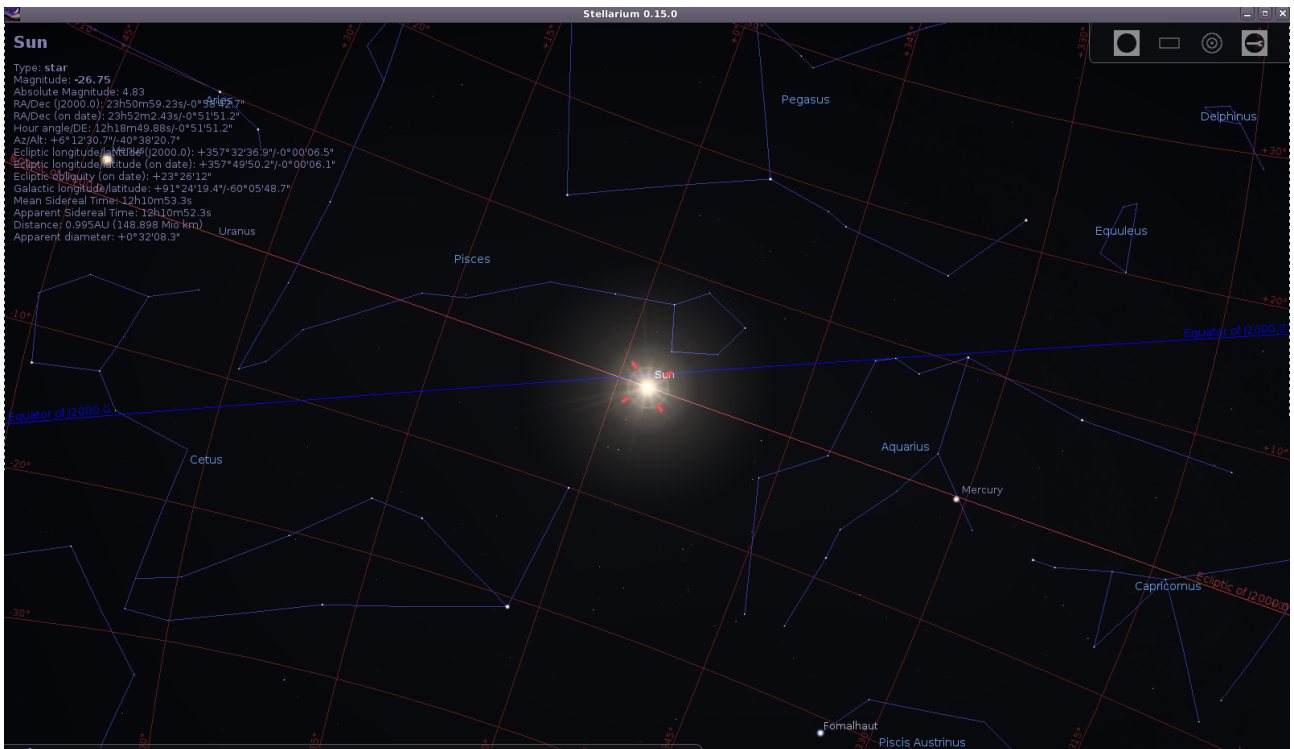
Wpływa na to oczywiście szerokość geograficzna miejsca obserwacji!

Układ współrzędnych ekliptycznych

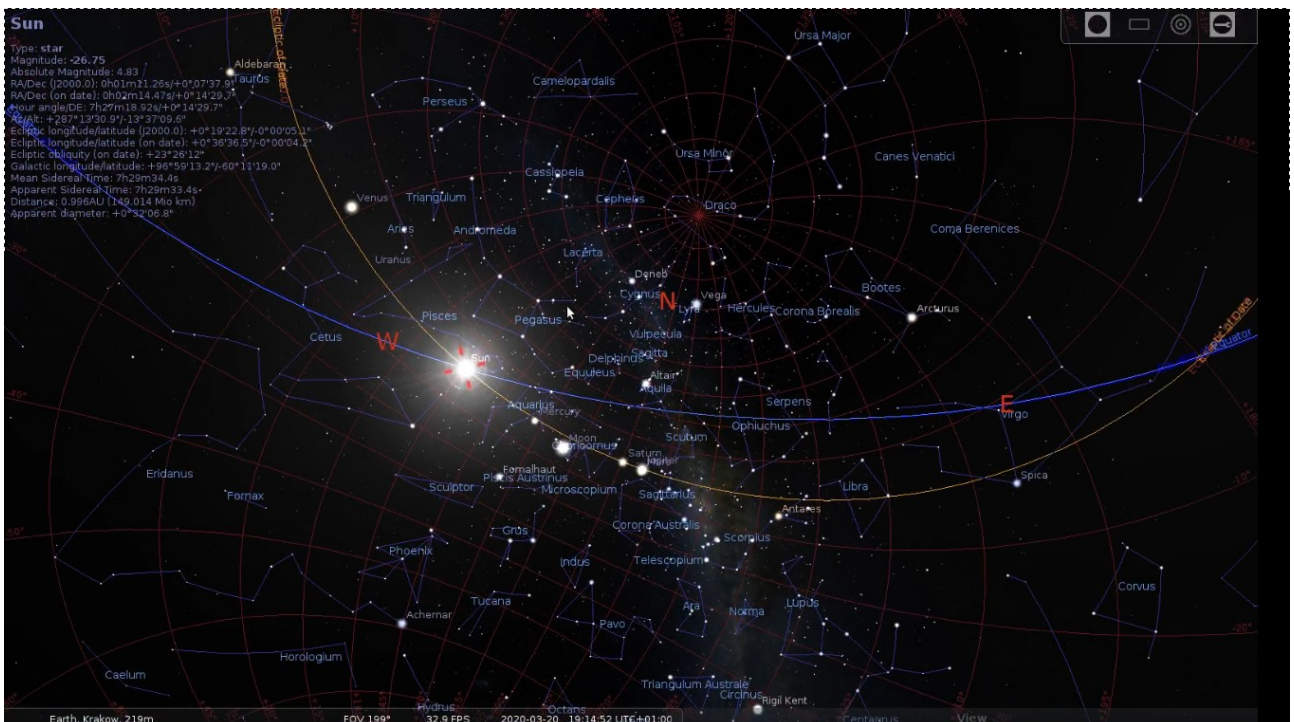
- Współrzędne: długość i szerokość ekliptyczna. **Szerokość ekliptyczna** – kąt między płaszczyzną ekliptyki a kierunkiem do danego ciała niebieskiego ($+90^\circ - -90^\circ$) wartości dodatnie mają gwiazdy leżące w półsferyze północnej
- **Długość ekliptyczna** – kąt dwuścienny między płaszczyznami kół wielkich prostopadłych do płaszczyzny ekliptyki, z których jedno przechodzi przez punkt Barana, a drugie przez dane ciało niebieskie. Liczona od punktu Barana w kierunku ruchu rocznego Słońca ($0^\circ - 360^\circ$)
- Na skutek zjawiska **precesji** długość ekliptyczna wszystkich obiektów na niebie rośnie o około 50 sekund rocznie, szerokość ekliptyczna jest stała
- Na skutek **precesji** zmieniają się także deklinacja i rektascensja gwiazd i innych obiektów na niebie (poza Układem Słonecznym)
- Planety i Słońce są zawsze blisko ekliptyki - mają bliską zeru lub zerową szerokość ekliptyczną → układ ekliptyczny jest przydatny do badania położenia Słońca i planet.
- Na skutek precesji **punt Barana** leży już obecnie w konstelacji **Ryb** (!), cofa się po ekliptyce (równiku) o ok. $50''/\text{rok}$



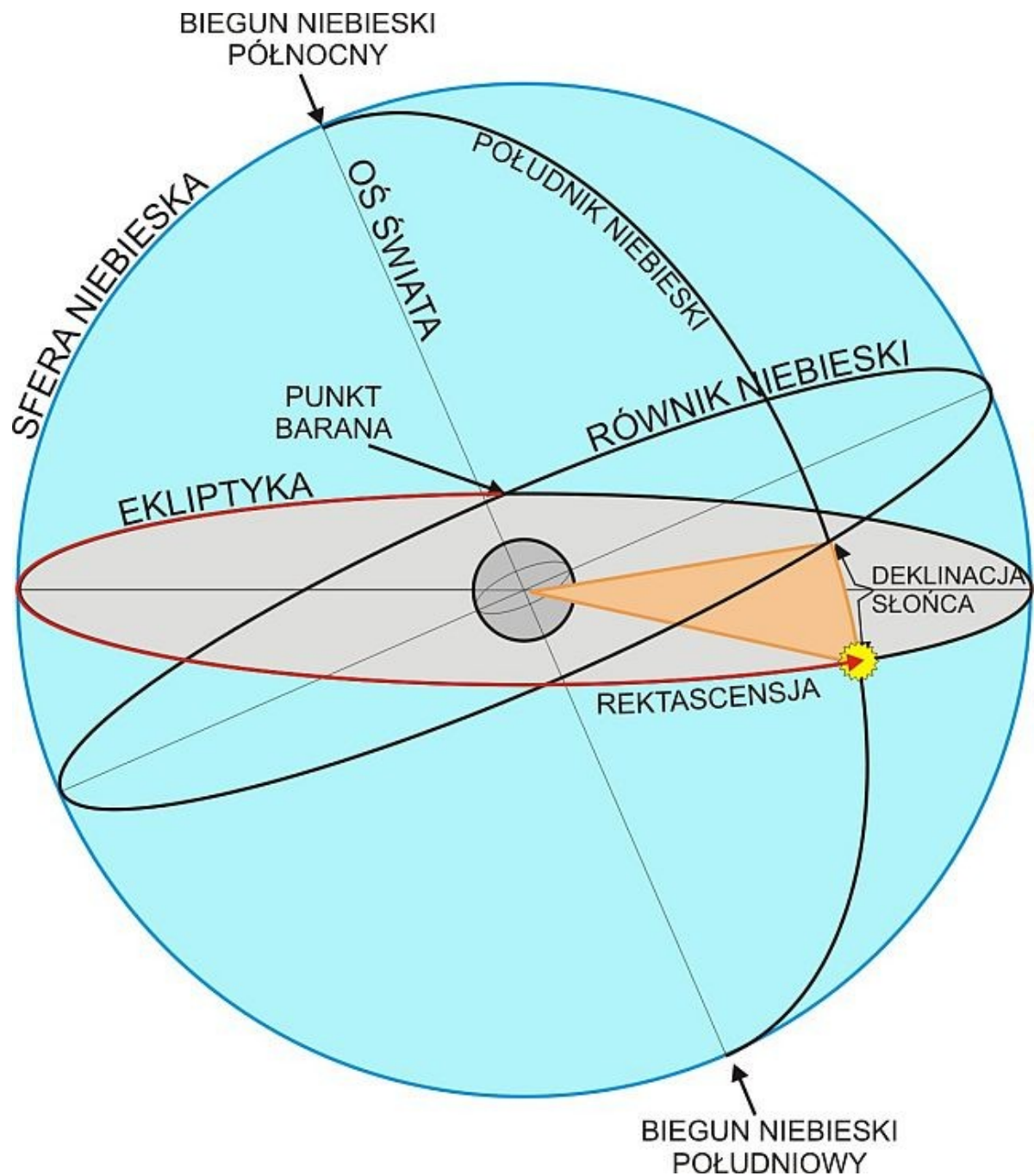
Rys. 7. Położenie równika niebieskiego i ekliptyki. Ekliptyka jako „płaszczyzna” ruchu Ziemi wokół Słońca. Vernal equinox - punkt równonocy wiosennej (Barana). Autumnal equinox – punkt Wagi. Celestial equator – równik niebieski, Ecliptic – ekliptyka, Ecliptic North Pole – Północny biegun ekliptyczny (nie jest tożsamy z biegunem niebieskim (tu: Celestial North Pole) z ukł. równikowego!)



Rys. 8. Słońce zbliżające się do przecięcia ekliptyki z równikiem niebieskim w punkcie równonocy wiosennej (Barana). 18 III 20202, północ. Źródło: Stellarium.



Rys. 9. Słońce w punkcie przecięcia ekliptyki z równikiem niebieskim - w punkcie równonocy wiosennej (Barana). 20 III 20202, północ. Źródło: Stellarium.



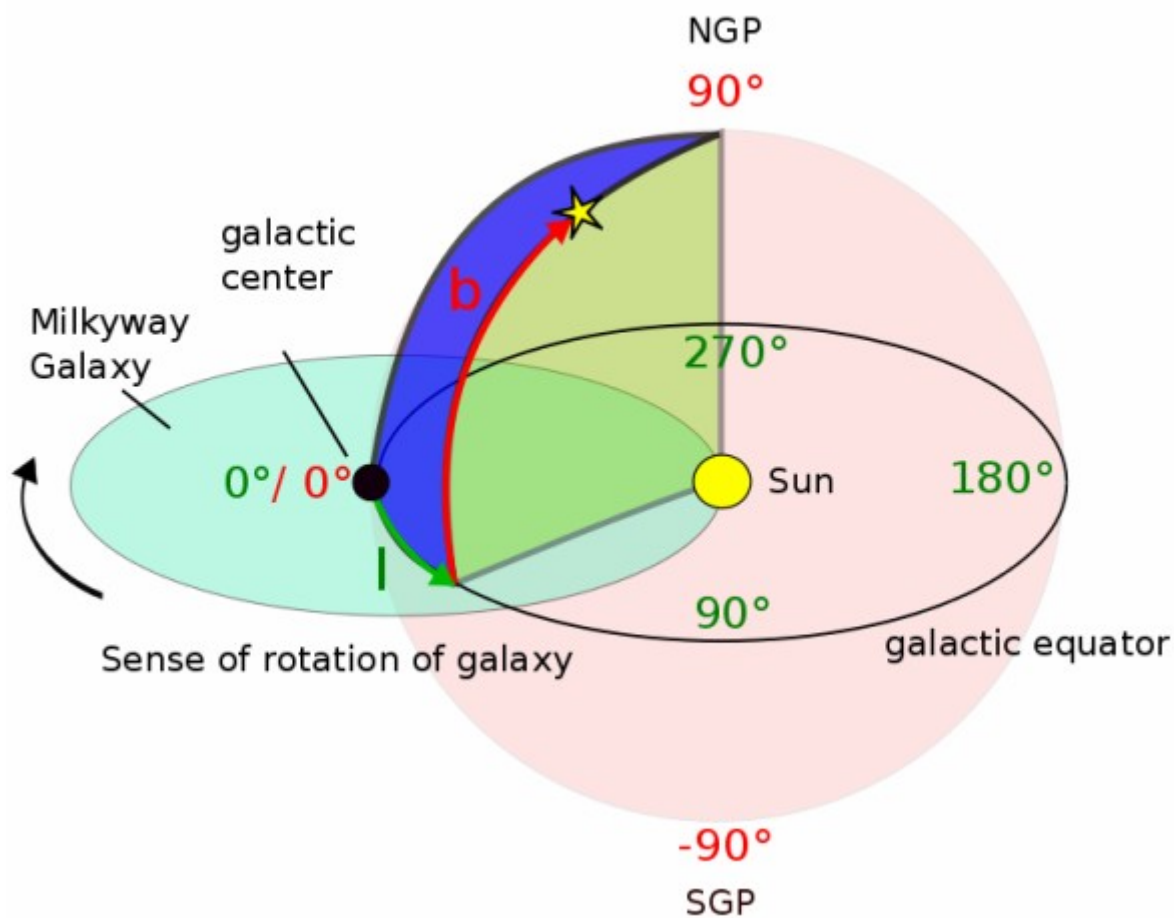
Rys. 10. Czy deklinacja i rektascensja Słońca i planet Układu Słonecznego (US) też są niezmiennie? Nie, ponieważ ciała te wykonują znacznie bardziej złożony ruch na niebie niż tylko ruch sfery niebieskiej w przypadku pozornie „przyczepionych” do niej gwiazd. Są to ciała astronomiczne lokalne, krążące dużo bliżej Ziemi. Dlatego starożytni Grecy nazywali na przykład planety US „gwiazdami błędzącymi” po niebie – nie miały one na nim stałej pozycji, tak jak gwiazdy na sferze niebieskiej.

Planety US znajdują się na niebie zawsze w pobliżu ekliptyki – bo są one zawsze blisko Słońca, dookoła którego krążą. Księżyc natomiast, wykonujący znacznie bardziej złożony ruch wokół Ziemi, pod dużym kątem do ekliptyki – i będący dużo bliżej obserwatora na Ziemi – pojawia się na niebie w bardzo różnych miejscach.

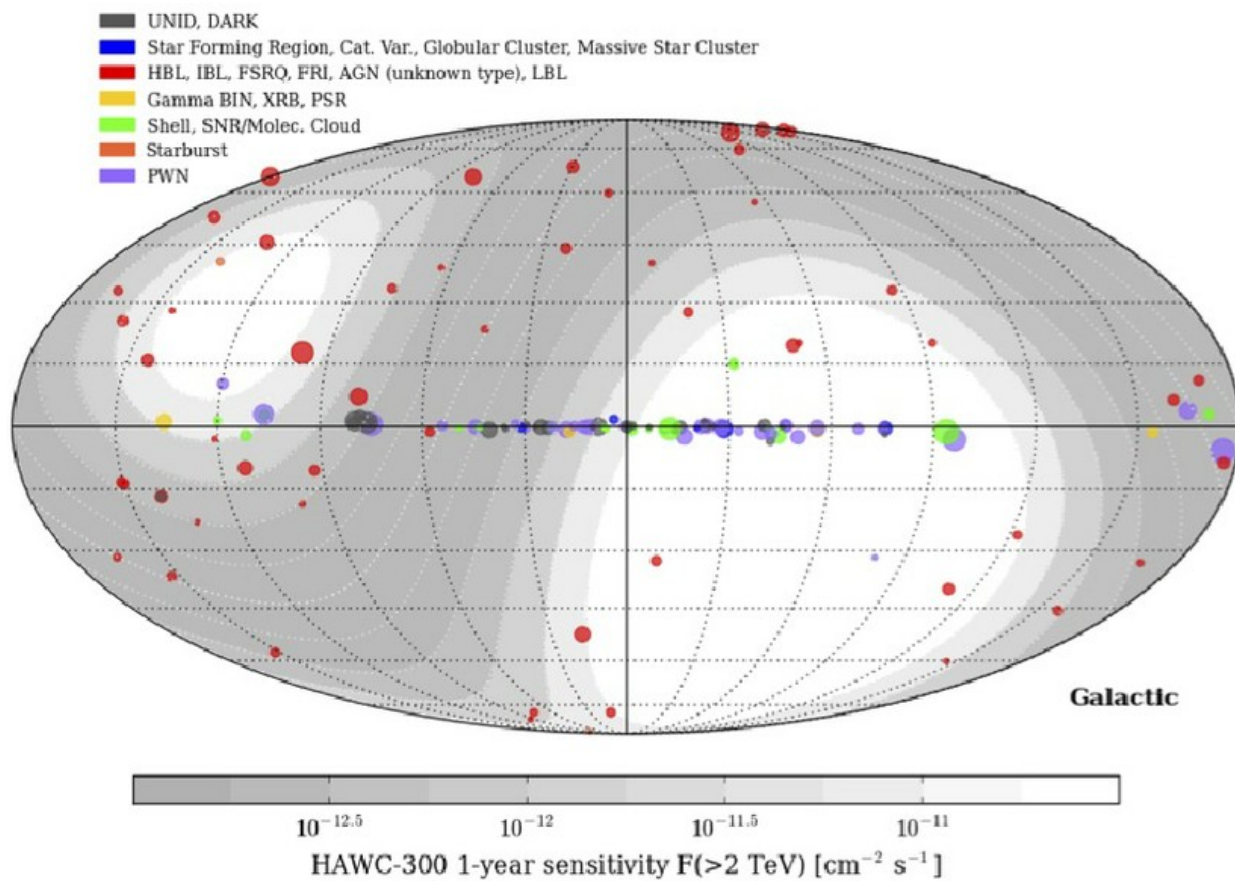
- Przeliczenia z ukł. ekliptycznego na równikowy → wykład AOIS (M. Soida)

Układ galaktyczny

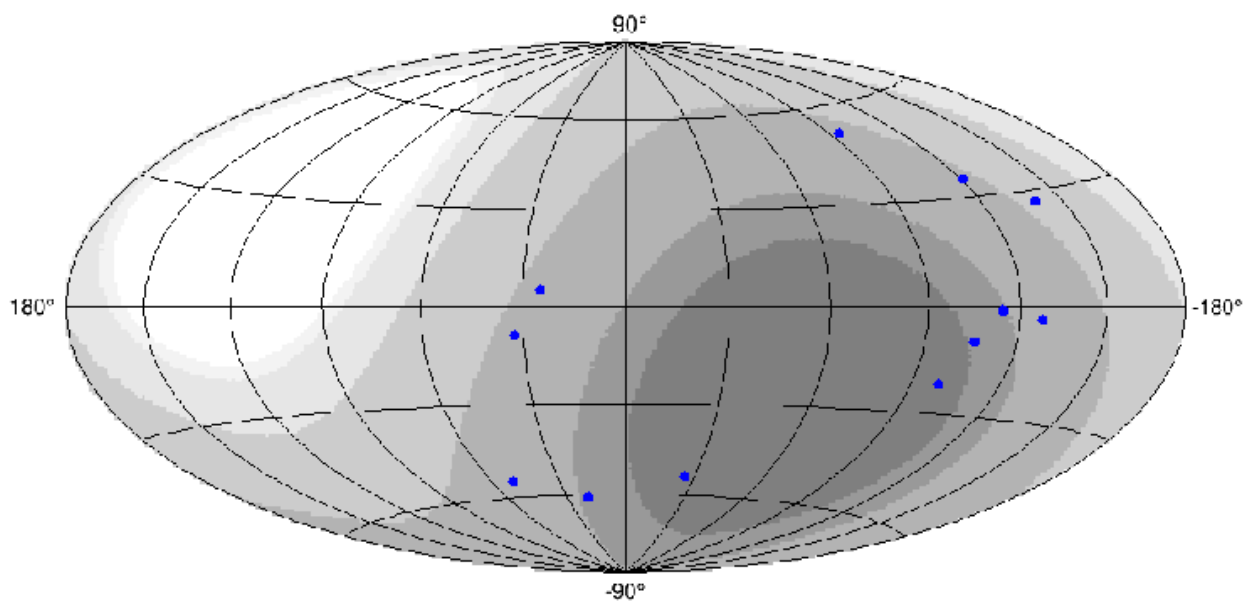
- Płaszczyzną podstawową jest płaszczyzna równika naszej Galaktyki
- Wyznacza ją maksymalna gęstość obserwowanej materii w Drodze Mlecznej (równik galaktyczny wyznaczono na podstawie obserwacji zagęszczeń wodoru międzygwiazdowego (linia 21 cm – 1420 MHz)
- Bieguny Galaktyczne (północny BGN, południowy BGS) definiują punkty przecięcia sfery niebieskiej z prostą prostopadłą do równika galaktycznego
- Kierunek podstawowy - kierunek ku centrum naszej Galaktyki
- Współrzędne: długość i szerokość galaktyczna
- Centrum Galaktyki – utożsamia się je z położeniem radioźródła Sgr A (*Sagittarius A*) leżącego w obserwowanym centrum Drogi Mlecznej, w gwiazdozbiore
- Układ ten stosowany głównie w pracach i badaniach opisujących naszą Galaktykę, np. w jej mapach, lub jej miejsca w kosmosie na tle innych, dalszych galaktyk



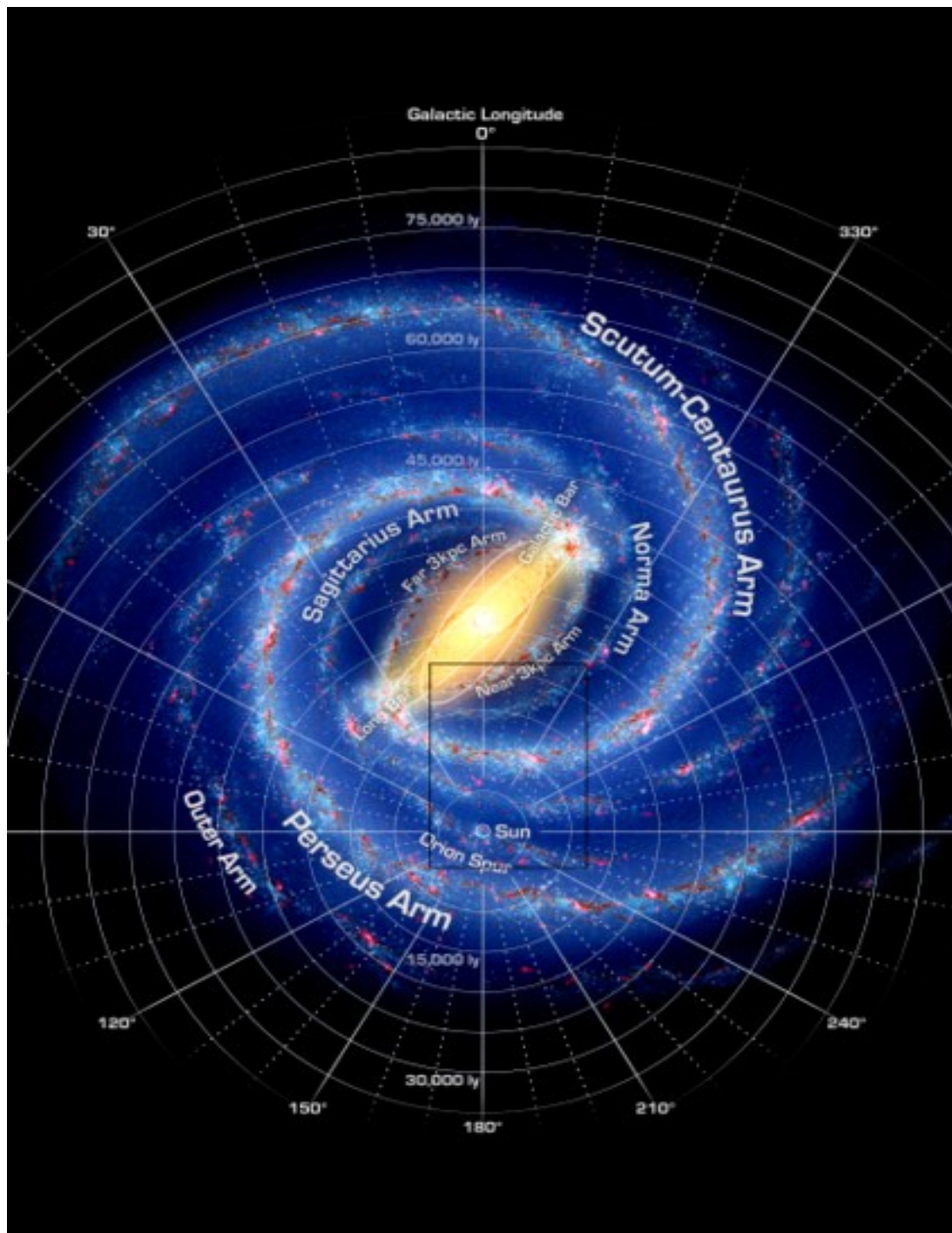
Rys. 11. Współrzędne galaktyczne – schemat



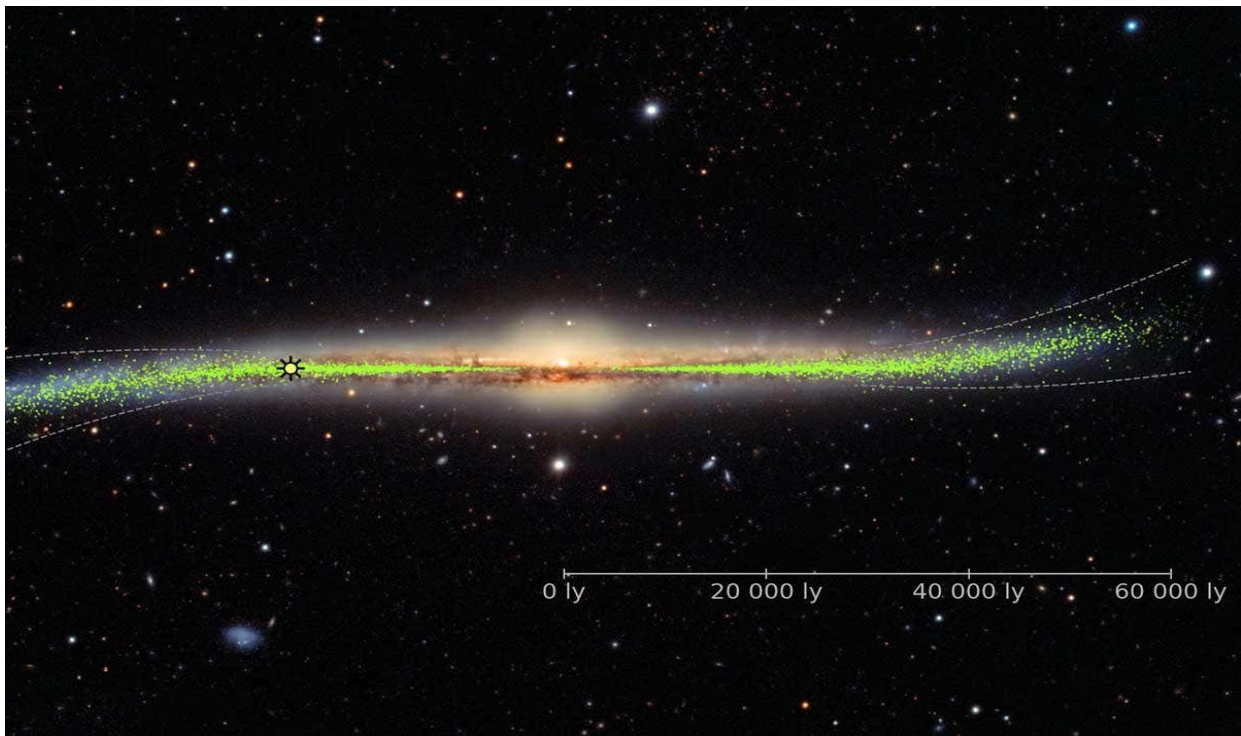
Rys. 11. Współrzędne galaktyczne – pokrycie nieba obiektami obserwowanymi przez HAWC (High-Altitude Water Cherenkov Gamma Ray Observatory)



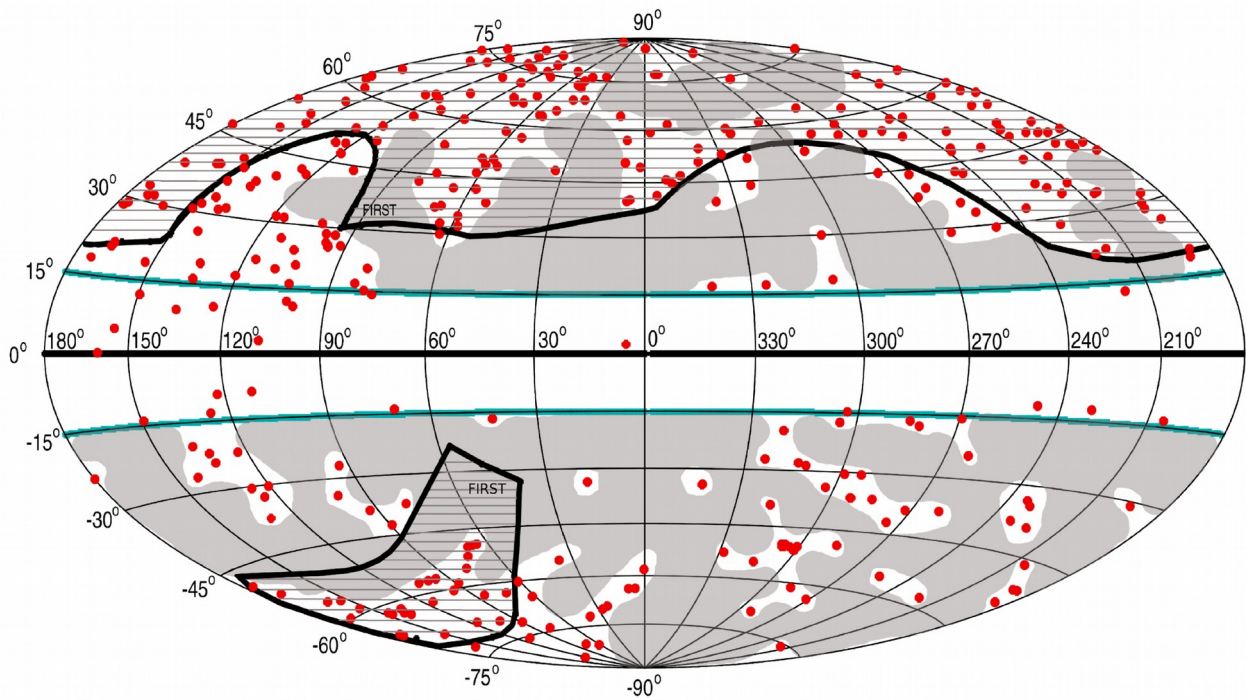
Rys. 12. Mapa nieba we współrzędnych galaktycznych pokazująca pozycje 12 wybranych FRB – szybkich rozbłysków radiowych (niebieskie kropki).



Rys. 13. Długość galaktyczna, położenie Układu Słonecznego w Drodze Mlecznej



Rys. 14. Nowa mapa rozkładu materii w Drodze Mlecznej, pokazująca, jak bardzo dysk naszej Galaktyki jest zakrzywiony (rok 2019, <https://www.newscientist.com/article/2212350-best-ever-map-of-milky-way-shows-our-galaxy-is-warped-in-an-s-shape/>)



Rys. 15. Rozkład gigantycznych radioźródeł na sferze niebieskiej we współrzędnych galaktycznych. Niebieskie linie na szerokości galaktycznej $b = \pm 15$ wyznaczają płaszczyznę Galaktyki, gdzie detekcja radioźródeł jest znacznie utrudniona z powodu wysokiej ekstynkcji galaktycznej. Szare regiony poza płaszczyznę Galaktyki to obszary, w których nie zostały znalezione żadne giganty. Więcej: <http://www.oa.uj.edu.pl/AOM/aom20jan.pl.html>