

Układy współrzędnych w astronomii

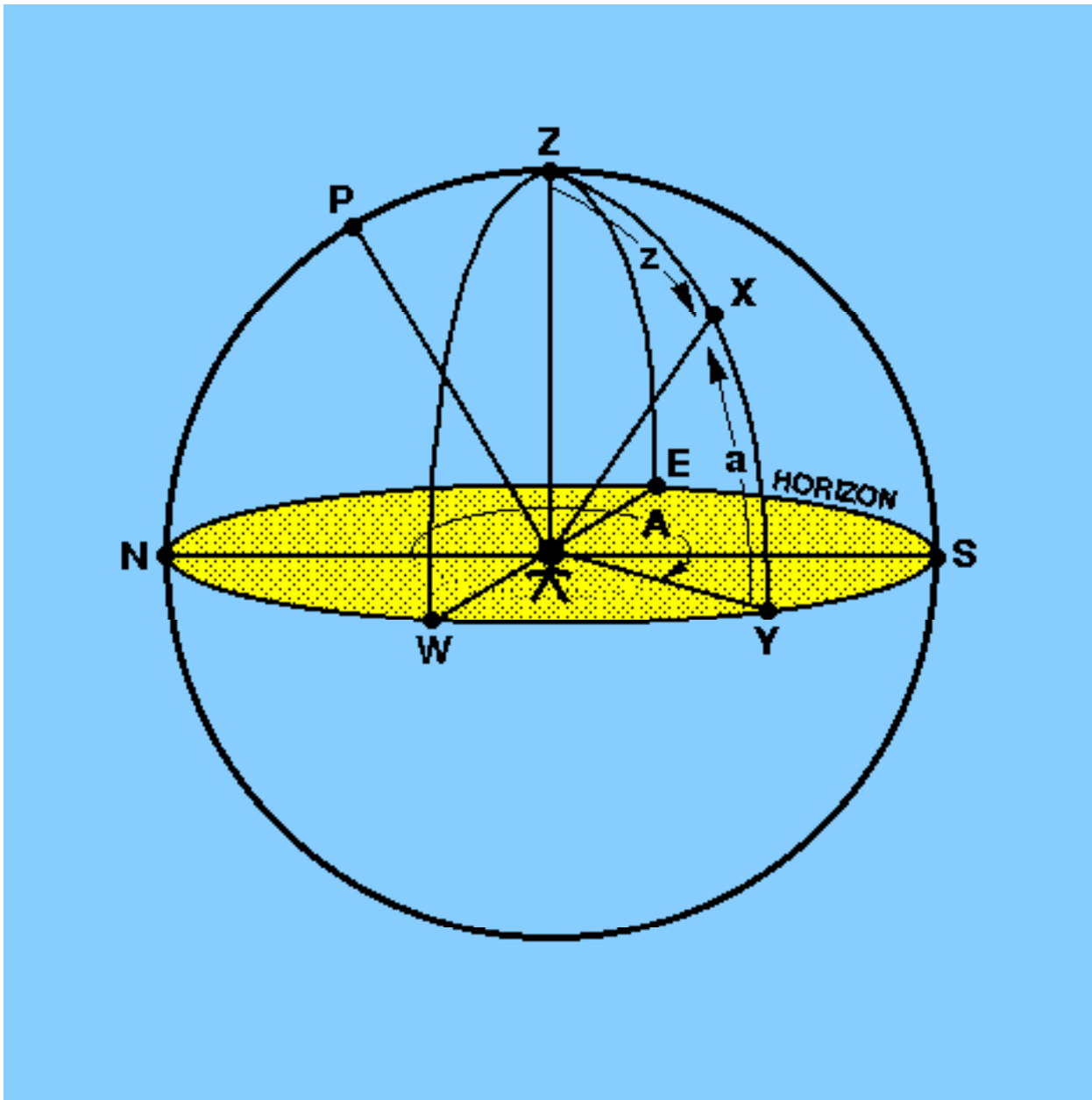
Aby jednoznacznie opisać położenie jakiegoś ciała w przestrzeni 3-wymiarowej, musimy podać trzy niezależne od siebie liczby, zwane współrzędnymi. W praktyce najczęściej stosuje się trzy typy układów: prostokątne, walcowe i sferyczne. W astronomii najczęściej stosuje się te ostatnie. Jeśli chcemy odnaleźć położenie jakiegoś ciała na niebie, najczęściej nie interesuje nas jego odległość, czyli wystarczy stosować 2-wymiarowe współrzędne sferyczne – podobnie jak w przypadku współrzędnych geograficznych. Położenia wszystkich ciał są rzutowane na **sferę niebieską**, czyli hipotetyczną sferę o nieskończonym promieniu, w środku której znajduje się obserwator.

W astronomii zwykle stosuje się sześć układów, z których dwa są związane z miejscem obserwacji, dwa z punktami równocy i dwa z naszą Galaktyką.

1. Układy związane z miejscem obserwacji.

1a. Układ współrzędnych horyzontalnych

Jest to układ oparty o płaszczyznę horyzontu. Rolę długości geograficznej (czyli kąta mierzonego wzdłuż płaszczyzny) pełni **azymut A** , czyli **kąt między rzutem obiektu na płaszczyznę horyzontu a południem, mierzony zgodnie z ruchem wskazówek zegara**. Rolę szerokości geograficznej pełni **wysokość h** , czyli **kąt wzniesienia obiektu nad płaszczyznę horyzontu**. Obiekty będące nad horyzontem mają wysokość dodatnią a pod horyzontem – ujemną.

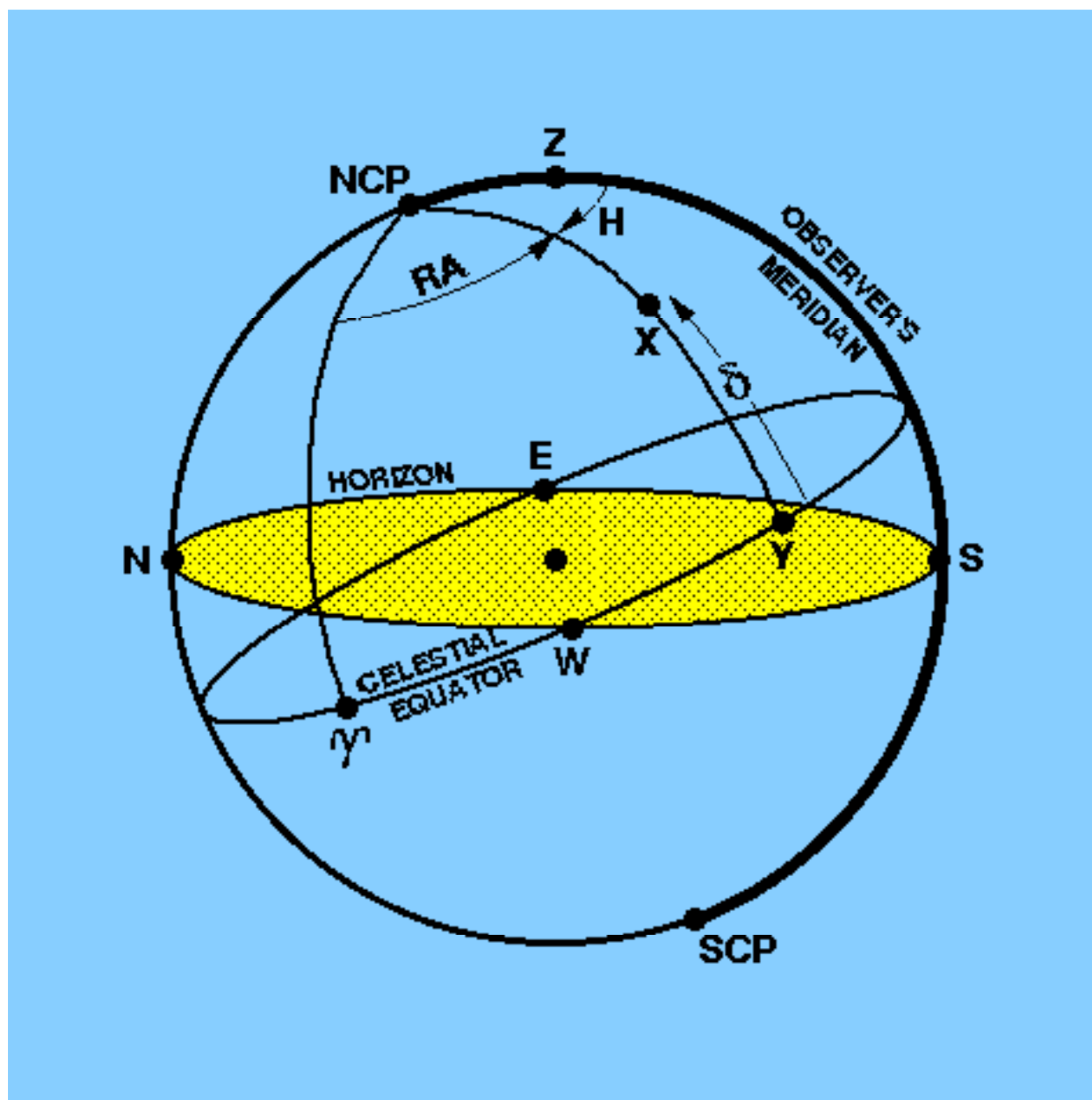


Współrzędne horyzontalne

1b. Układ równikowy I (godzinny)

Jest to układ oparty o płaszczyznę **równika niebieskiego**, będącą jednocześnie płaszczyzną równika ziemskiego. Rolę długości geograficznej pełni **kąt godzinny t** , czyli **kąt między rzutem obiektu na płaszczyznę równika a południem**, mierzony zgodnie z **ruchem wskazówek zegara**. Rolę szerokości geograficznej pełni **deklinacja δ** , czyli **kąt wzniesienia obiektu nad płaszczyznę równika**. Obiekty będące nad równikiem mają wysokość dodatnią a pod równikiem – ujemną.

Podane definicje azymutu i kąta godzinnego są **astronomiczne**, czyli kąt jest liczony od południa. W geodezji te kąty są mierzone od północy, czyli różnią się o 180° .



Współrzędne równikowe

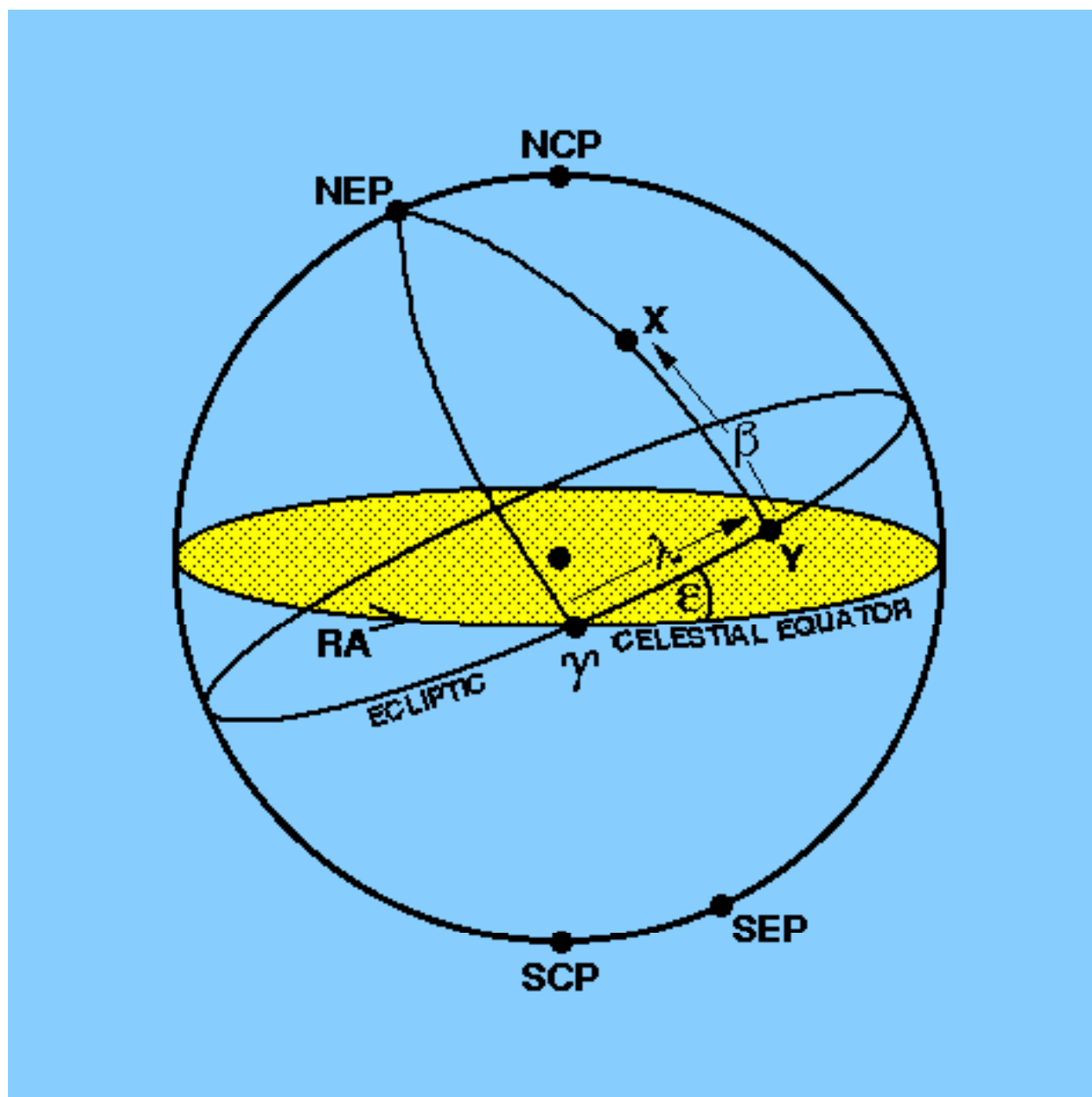
2. Układy związane z punktami równonocy.

2a. Układ równikowy II (równikowy)

Rektascensja α to kąt między punktem równonocy wiosennej a rzutem obiektu na równik niebieski, mierzony przeciwnie do ruchu wskazówek zegara (czyli stanowi pełną analogię długości geograficznej). Deklinacja δ jest mierzona tak samo, jak w układzie równikowym I. Między kątem godzinnym a rektascensją zachodzi relacja

$$t + \alpha = S$$

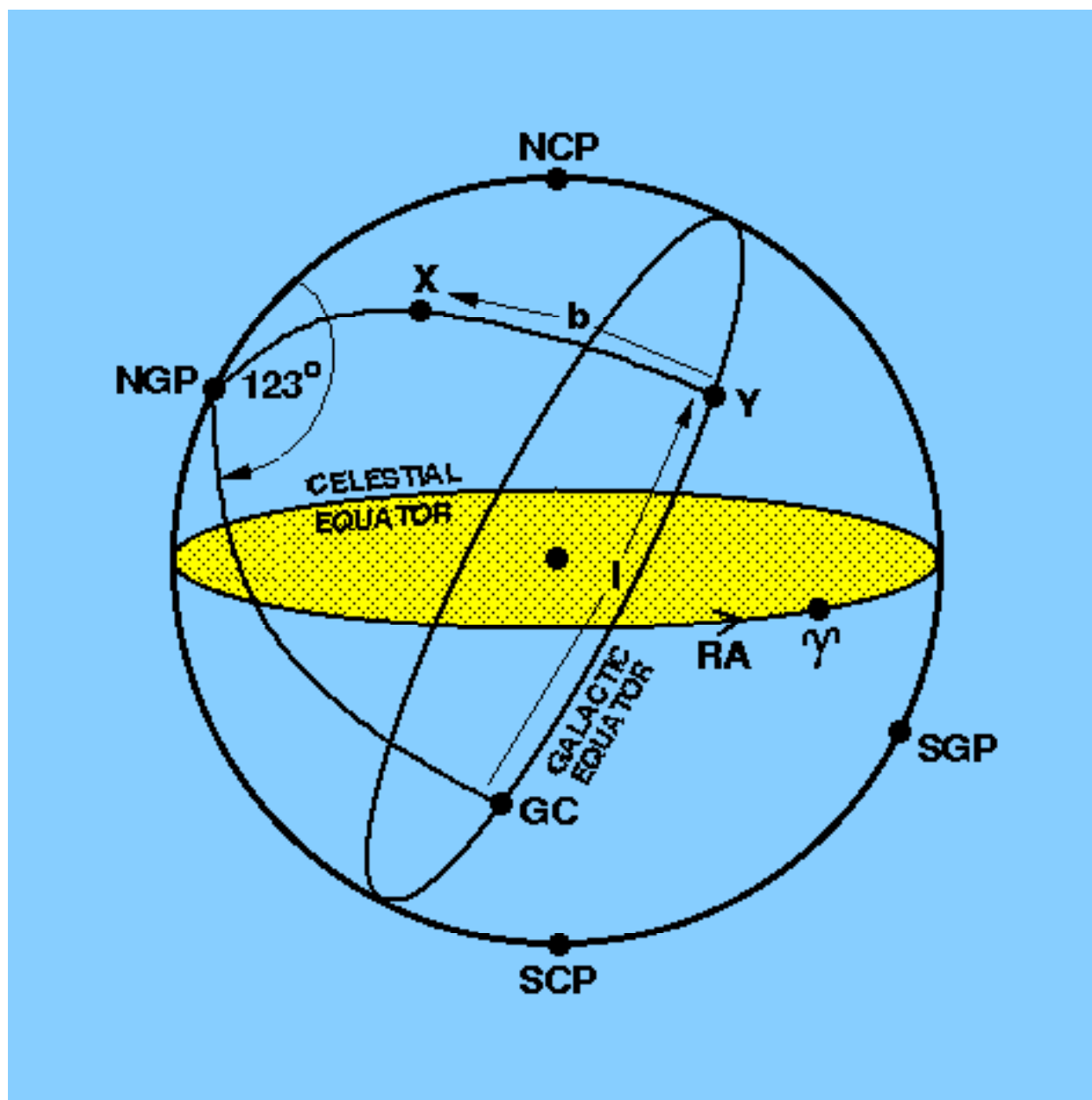
gdzie t to kąt godzinny, α to rektascensja a S to tzw. czas gwiazdowy.



Współrzędne ekliptyczne

2b. Układ ekliptyczny

Jest to układ podobny do równikowego, ale zamiast o równik niebieski oparty o ekliptykę. **Długość ekliptyczna λ** to kąt między punktem równonocy wiosennej a rzutem obiektu na ekliptykę, mierzony przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. **Szerokość ekliptyczna β** to kąt wzniesienia obiektu nad płaszczyzną ekliptyki.



Współrzędne galaktyczne

3. Układy związane z Galaktyką.

3a. Układ galaktyczny I

Układ ten obowiązywał do roku 1960. Był on oparty o płaszczyznę Drogi Mlecznej, czyli naszej Galaktyki.

$$\Rightarrow \text{biegun N: } \alpha_{1900} = 0^{\text{h}}40^{\text{m}}, \delta_{1900} = +28^{\circ}$$

$$\Rightarrow \text{biegun S: } \alpha_{1900} = 12^{\text{h}}40^{\text{m}}, \delta_{1900} = -28^{\circ}$$

$$\Rightarrow \text{początek układu: } \alpha_{1900} = 18^{\text{h}}40^{\text{m}}, \delta_{1900} = 0$$

W oparciu o te punkty zdefiniowano **długość galaktyczną** l^I i **szerokość galaktyczną** b^I (definicja analogiczna do długości i szerokości ekliptycznej).

3b. Układ galaktyczny II

Postęp w obserwacjach umożliwił dokładniejsze wyznaczenie położenia biegunów galaktycznych. Zgodnie z rezolucją Międzynarodowej Unii Astronomicznej z 1960 r.

$$\Rightarrow \text{biegun N: } \alpha_{1950} = 12^{\text{h}}49^{\text{m}}, \delta_{1900} = +27^{\circ}.4$$

$$\Rightarrow \text{początek układu: } l^I = 327^{\circ}.7, b^I = -1^{\circ}.4$$

W oparciu o te punkty zdefiniowano długość i szerokość galaktyczną l^{II} , b^{II} .

4. Miara czasowa kąta.

Niektóre współrzędne, zwłaszcza kąt godzinny i rektascensję, z przyczyn praktycznych na ogół przedstawia się w tzw. mierze czasowej. 360° to 24^h , 15° to 1^h , 1° to 4^m , $15'$ to 1^m , $1'$ to 4^s a $15''$ to 1^s . Na przykład

$$\begin{aligned} 241^\circ 15' 31'' &= \\ &= (16 \cdot 15 + 1)^\circ + (1 \cdot 15 + 0)' + (2 \cdot 15 + 1)'' = \\ &= 16^h + (1 \cdot 4 + 1)^m + (0 \cdot 4 + 2)^s + 1 \cdot \frac{1}{15}^s = \\ &= 16^h 5^m 2 \frac{1}{15}^s \end{aligned}$$

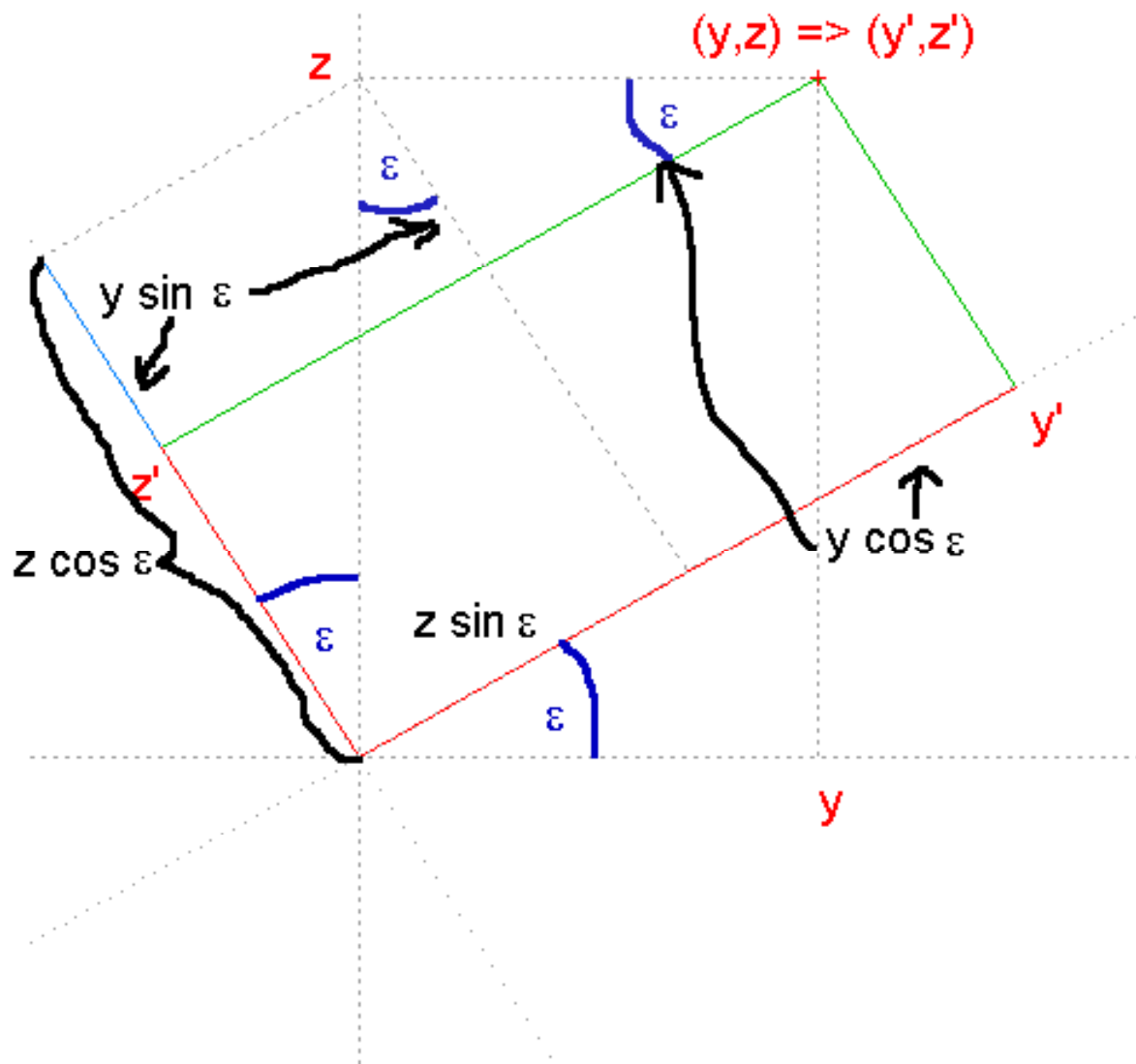
5. Zamiana między układami.

Prawdopodobnie najłatwiejszą metodą na wyprowadzenie wzorów na zamianę między układami współrzędnych (np. równikowymi i ekliptycznymi) jest skorzystanie ze wzorów na obrót układu współrzędnych prostokątnych (x,y,z) . Załóżmy, że układ obracamy wokół osi x o kąt ϵ w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Wtedy współrzędna x pozostaje bez zmian, zaś współrzędne y i z zmieniają się według równań

$$y' = y \cos \epsilon + z \sin \epsilon$$

$$z' = z \cos \epsilon - y \sin \epsilon$$

Wzory na zamianę współrzędnych wraz z ich wyprowadzeniem można znaleźć na wydrukach.



Obrót układu współrzędnych prostokątnych

6. Precesja i nutacja.

Precesja to ruch osi obrotu, w tym przypadku osi Ziemi, wywołany przez siłę zewnętrzną, w tym przypadku głównie oddziaływanie Księżyca. Powody są dwa: orbita Księżyca jest nachylona w stosunku do ekliptyki oraz Ziemia nie jest idealną kulą.

W przybliżeniu bieguny nieba zataczają koła o promieniu ϵ (obecnie ok. $23^{\circ}26'$) wokół biegunów ekliptyki z okresem ok. 26 tys. lat. Oznacza to, że nawet jeśli obiekt ma zaniedbywalnie mały ruch własny to powoli zmienia swe współrzędne związane z punktami równonocy. Nb. m.in. dlatego wprowadzono współrzędne galaktyczne.

Najprościej rzecz wyrazić we współrzędnych ekliptycznych, gdyż w pierwszym przybliżeniu szerokość ekliptyczna jest stała

a długość ekliptyczna zwiększa się o $50''.3$ na rok. W rzeczywistości jest to bardziej skomplikowane, gdyż położenie biegunów ekliptyki nie jest stałe.

Nutacja to są okresowe wahania osi obrotu Ziemi względem ekliptyki. Można wyróżnić dwie składowe:

⇒ nutację w długości $\Delta\psi$ (wahania wzdłuż kierunku ruchu)

⇒ nutację nachylenia $\Delta\varepsilon$ (wahania poprzeczne)

Te pierwsze zwykle nie przekraczają $20''$ a te drugie $10''$. Główne wyrazy ich rozwinięcia wyglądają następująco:

$$\Delta\psi \simeq -17''.2 \sin \Omega, \quad \Delta\varepsilon \simeq 9''.2 \cos \Omega,$$

gdzie Ω to średnia długość węzła wstępującego orbity Księżyca

(czyli punktu, w którym orbita Księżyca wstępuje nad ekliptykę). To pierwsze stanowi poprawkę do długości ekliptycznej a to drugie do nachylenia ekliptyki do równika, szerokość ekliptyczna jest bez zmian.

Warto nadmienić, że nutacja w długości również wpływa na czas gwiazdowy

$$S = S_0 + \Delta\psi \cos \varepsilon$$

(poprawka w granicach 1^s.1).