Wykład 2
ASTRONOMICZNE UKŁADY WSPÓŁRZĘDNYCH
Przegląd najważniejszych układów astronomicznych

Tadeusz Jan Jopek

Instutut Obserwatorium Astronomiczne, Wydział FizykiUAM

Semestr II

(Uaktualniono 2015.03.03)

Część I

Klasyfikacja astronomicznych układów współrzędnych.

Układy współrzednych (1)

Definicja

Układ współrzędnych definiujemy poprzez wybór bieguna współrzędnej polarnej θ oraz płaszczyzny odniesienia współrzędnej azymutalnej ψ.
Ale nie do końca, potrzeba jeszcze umiejscowienia początku układu, identycznego ze środkiem sfery. Wyróżniamy tu:
- układ współrzędnych topocentrycznych, o początku na powierzchni Ziemi,
- układ współrzędnych geocentrycznych, o początku w środku masy Ziemi,
- układ heliocentryczny, o początku w centrum Słońca,
- układ barycentryczny, o poczatku w barycentrum Układu Słonecznego,
- układ lunocentryczny, o początku w centrum Księżyca,
- układ galaktocentryczny, o początku w środku mas Galaktyki,
- ....

Układy współrzednych (2)

Definicja

W każdym z tych początków można dokonać wyboru bieguna układu i płaszczyzny odniesienia i w rezultacie otrzymać:
- współrzędne horyzontalne,
- współrzędne równikowe godzinne,
- współrzędne równikowe ekwinokcjalne,
- współrzędne równikowe umowne,
- współrzedne ekliptyczne,
- wspołrzędne galaktyczne.

Każdy układ współrzędnych sferycznych możne być zastąpiony przez jego prostokątny ekwiwalent (odpowiednio lewo lub prawo skrętny).

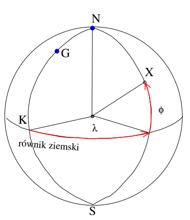
Układy współrzednych (3)

Definicja

Układy współrzędnych wykorzystywane są zależnie od potrzeby, np.:
- katalogi zestawiane są we współrzędnych równikowych,
- nastawę teleskopu przygotowuje się w układzie horyzontalnym lub godzinnym,
- ruch ciał Układu Słonecznego dogodnie jest badać w układzie ekliptycznym,
- etc.

- Wobec takiej rożnorodności, w celu ułatwienia astronomom współpracy koniecznym było wprowadzenie pewnych standardów.

Dygresja: współrzędne na powierzchni sferycznej Ziemi



Na powierzchni Ziemi położenie wyznaczone jest za pomocą pary (λ, ϕ) — długości i szerokości geograficznej. Są to współrzędne określone względem układu o:
- biegunie w północnym biegunie *N* ziemskiej sfery,
- płaszczyźnie odniesienia *NGK* pokrywającej się z płaszczyzną południka podstawowego instrumentu w Obserwatorium Greenwich.

Współrzędne λ, ϕ zdefiniowane są jako kąty:

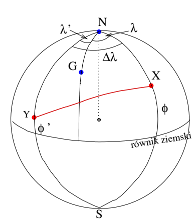
$$\lambda = GNX, \quad \phi = 90^\circ - NX$$

przyjmujące wartości z przedziałów:

$$-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ \quad -90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

Ujemna wartość długości geograficznej dotyczy punktów położonych na zachód od Greenwich.

Odległość punktów na powierzchni Ziemi



Odległość punktów na sferze.

Dane punkty $X(\lambda, \phi)$ i $Y(\lambda', \phi')$. Najkrótszą między nimi dległość mierzymy wzdłuż boku *XY* (fragment koła wielkiego) $\triangle NXY$.
W trójkącie tym znamy:

$$NX = 90^\circ - \phi \quad NY = 90^\circ - \phi'$$
$$GNX = \lambda \quad YNG = -\lambda' \quad YNX = \lambda - \lambda'$$

Korzystając ze wzoru cosinusów mamy

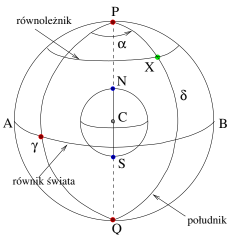
$$\cos XY = \sin\phi \sin\phi' + \cos\phi \cos\phi' \cos(\lambda - \lambda')$$
$$XY = \arccos(\sin\phi \sin\phi' + \cos\phi \cos\phi' \cos(\lambda - \lambda'))$$

Wyznaczona dległość będzie w radianach. Do jednostek liniowych (jednostek długości) przejdziemy znając długość promienia Ziemi. Mierząc długość w milach morskich ($1\ \mathrm{mila} = 1.855\ \mathrm{km}$) problem upraszcza się, bowiem jednostkę tę wybrano tak by łuk na powierzchni Ziemi o długości 1 mili morskiej odpowiadał kątowi $1'$ rozpiętemu względem środka Ziemi.

Część II

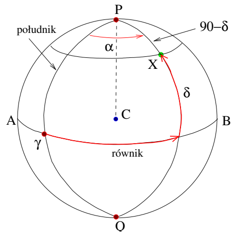
Astronomiczne układy współrzędnych.

Układ współrzędnych równikowych



- Astronomiczny układ współrzędnych równikowych zdefiniowany jest w sposób bardzo podobny do omówionego wyżej dla powierzchni Ziemi.
- Rysunek ilustruje sferę niebieską oraz umieszczoną w jej wnętrzu kulę ziemską. Przedłużenie osi obrotu Ziemi *NS*, przebija sferę niebieską w *P* i *Q* — północnym i południowym biegunie świata.
- Rozciągnięta w przestrzeni płaszczyzna równika ziemskiego przecina sferę niebieską wzdłuż koła wielkiego zwanego równikiem świata.
- Koła małe równoległe do równika są równoleżnikami, a wszystkie koła wielkie przecinajace się w biegunach świata są południkami.

Współrzędne równikowe ekwinokcjalne



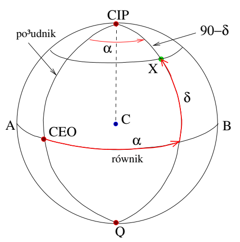
Definicja (1)

- biegun świata *P* jest biegunem układu,
- płaszczyzną odniesienia rektascensji jest płaszczyzna południka $P\Upsilon Q$,
- współrzędne równikowe punktu *X* definiujemy jako kąty:

$$\begin{aligned} \delta &= 90^\circ - PX \\ \alpha &= \Upsilon PX \end{aligned} \tag{1}$$

- rektascensja α mierzona jest wzdłuż równika w kierunku antyzegarowym dla obserwatora znajdującego się na północnym biegunie świata *P*.
- deklinację δ mierzymy w płaszczyźnie południka obiektu *X*

Współrzędne równikowe umowne



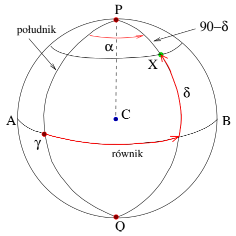
Definicja

- biegunem układu jest *CIP* — niebieski biegun pośredni,
- miejsce punktu równonocy wiosennej zajmuje *CEO* — niebieski początek efemerydalny,
- współrzędne równikowe punktu *X* definiujemy jako kąty:

$$\begin{aligned} \delta &= 90^\circ - PX \\ \alpha &= \angle(CEO - CIP - X) \end{aligned} \tag{2}$$

- rektascensja α mierzona jest wzdłuż równika w kierunku antyzegarowym dla obserwatora znajdującego się w biegunie *CIP*.
- deklinację δ mierzymy w płaszczyźnie południka obiektu *X*

Współrzędnych równikowe c.d.



Definicja

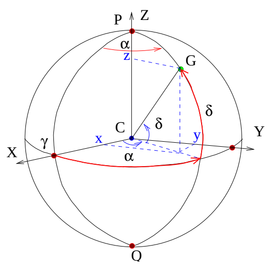
- współrzędne α, δ przyjmują wartości z przedziałów:

$$\begin{aligned} -90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ \\ 0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ \end{aligned} \tag{3}$$

- tradycyjną miarą rektascensji są jednostki czasu a nie stopnie. Pamiętając, że $24^h = 360^\circ$, mamy między nimi zależności:

$$\begin{aligned} 1^h &= 15^\circ & 1^\circ &= 4^m \\ 1^m &= 15' & 1' &= 4^s \\ 1^s &= 15'' & 1'' &= 1/15^s \end{aligned} \tag{4}$$

Współrzedne równikowe



Współrzędne prostokątne

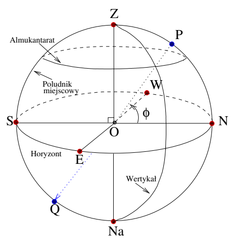
Obok sferycznych stosowane są równikowe współrzędne prostokątne (x, y, z) określone względem układu osi *XYZ*.

Dla sfery jednostkowej, współrzędnym (α, δ) punktu *G* odpowiadają współrzędne (x, y, z):

$$\begin{aligned} x &= \cos\delta\cos\alpha \\ y &= \cos\delta\sin\alpha \\ z &= \sin\delta \end{aligned} \tag{5}$$

Współrzędne rownikowe α, δ oraz x, y, z mają bardzo pożądaną własność — ich wartości nie zmieniają się w efekcie ruchu wirowego Ziemi.

Współrzedne horyzontalne (1)

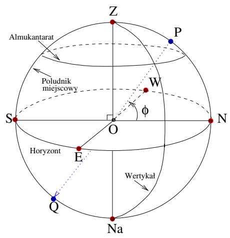


Definicja

Dana jest sfera rozpięta nad obserwatorem *O* gdzieś na północnej półkuli ziemskiej:

- kierunek lokalnej grawitacji (kierunek pionu) a ściślej jego przedłużenie, przebija sferę w zenicie *Z* i nadirze *Na*,
- koło wielkie o biegunach w *Z* i *Na* nazywamy horyzontem,
- koła wielkie przecinajace się w *Z* i *Na* nazwano kołami wierzchołkowymi albo wertykałami,
- koła małe o biegunach w *Z* i *Na* nazywane są almukantaratami,
- prosta przechodząca przez *O*, równoległa do ziemskiej osi rotacji tzw. oś świata przebija sferę w *P* i *Q*, północnym południowym biegunie świata,

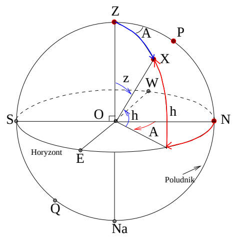
Współrzędne horyzontalne (2)



Definicja

- nachylenie osi świata do horyzontu jest równe szerokości geograficznej ϕ obserwatora O,
- koło wielkie ZP nosi miano południka miejscowego albo południka obserwatora,
- południk miejscowy przecina horyzont w punktach północy i południa N i S leżących na tej samej średnicy,
- punkty wschodu i zachodu (E, W) znajdują się w odległości kątowej 90° od S i N,
- Punkty N, E, S, W nazywane są punktami kardynalnymi horyzontu,
- wertykały przechodzące przez punkty W i E nazwano pierwszymi wertykałami.

Współrzędne horyzontalne (3)



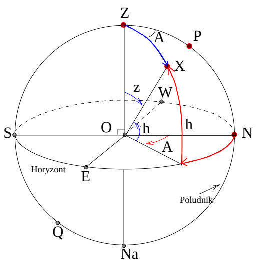
Definicja (1)

- biegunem układu jest zenit Z,
- płaszczyzną odniesienia azymutu jest płaszczyzna południka $ZPNaQS$,
- współrzędne horyzontalne A, z, h punktu X definiujemy jako kąty:

$$\begin{aligned} z &= ZX \\ h &= 90^\circ - z \\ A &= PZX \end{aligned} \tag{6}$$

- azymut A mierzony jest od punktu północy N w stronę punktu wschodu E,
- odległość zenitalną z i wysokość h mierzymy w płaszczyźnie wertykału ZX obiektu X,

Współrzędne horyzontalne (4)



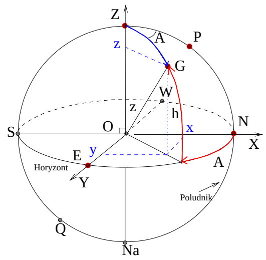
Definicja (2)

- współrzędne A, z, h przyjmują wartości z przedziałów:

$$\begin{aligned} 0 \le z &\le 180^\circ \\ -90^\circ \le h &\le 90^\circ \\ 0^\circ \le A &\le 360^\circ \end{aligned}$$

Współrzędne horyzontalne mają lokalny, miejscowy charakter, co oznacza zależność A, z, h od wyboru położenia punktu O na powierzchni Ziemi. Dla ustalonego miejsca O, w wyniku ruchu dobowego sfery wartości współrzędnych horyzontalnych ulegają zmianom w czasie.

Współrzędne prostokątne horyzontalne



Definicja (3)

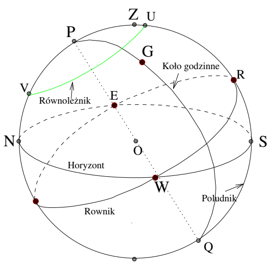
Dla sfery jednostkowej współrzędnym (A, h) punktu G odpowiadają współrzędne (x, y, z):

$$\begin{aligned} x &= \cos h \cos A \\ y &= \cos h \sin A \\ z &= \sin h \end{aligned} \tag{7}$$

Układ horyzontalny jest układem lewoskrętnym, czego nie da się uniknąć jeśli współrzędna A ciała niebieskiego ma wzrastać zgodnie z kierunkiem dobowego ruchu sfery.

Współrzędne godzinne (1)

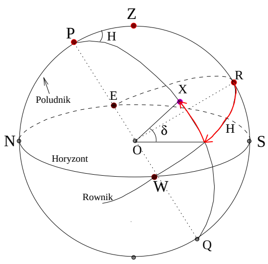
Układ współrzędnych godzinnych jest hybrydą układu równikowego i horyzontalnego. Jego biegunem jest północny biegun świata a płaszczyzną odniesienia współrzędnej azymutalnej jest południk miejscowy $PZSQ$.



Definicje

- koła wielkie przechodzące przez bieguny świata np. PGQ, nazwane kołami godzinnymi,
- koła małe o biegunach w P i Q, noszą miano równoleżników deklinacji.

Współrzędne godzinne (2)



Definicja (1)

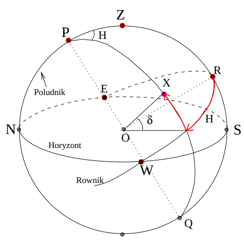
- biegunem układu jest północny biegun świata P,
- płaszczyzną odniesienia kąta godzinnego jest płaszczyzna południka obserwatora (koło wielkie $PZSQ$),
- współrzędne godzinne $\mathcal{H}, \delta$ punktu X definiujemy jako kąty:

$$\begin{aligned} \delta &= 90^\circ - PX \\ \mathcal{H} &= ZPX \end{aligned} \tag{8}$$

- a ich dziedzina:

$$\begin{aligned} -90^\circ \le \; &\delta \le 90^\circ \\ 0 \le \; &\mathcal{H} \le 24^h \end{aligned} \tag{9}$$

Współrzędne godzinne (3)

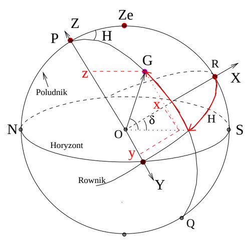


Definicja (2)

- kąt godzinny $\mathcal{H}$ jest kątem dwuściennym pomiędzy płaszczyznami kół godzinnych $PZSQ$ i PXQ; wartości $\mathcal{H}$ wzrastają w stronę punktu zachodu W, zgodnie z dobowym ruchem sfery,
- deklinację δ mierzymy w płaszczyźnie koła godzinnego obiektu X, poczynając od płaszczyzny równika; na półsferze północnej $\delta > 0$.

- Układ godzinny jest związany z miejscem obserwacji ale w mniejszym stopniu, bowiem jedynie kąt godzinny zależy od wyboru miejsca obserwacji i czasu. Wartość deklinacji obiektu nie ulega zmianie na wskutek ruchu wirowego sfery.

Współrzędne godzinne prostokątne (4)



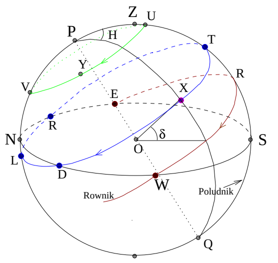
Definicja (3)

Dla sfery jednostkowej współrzędnym $(\mathcal{H}, \delta)$ punktu G odpowiadają współrzędne (x, y, z):

$$\begin{aligned} x &= \cos\delta \cos\mathcal{H} \\ y &= \cos\delta \sin\mathcal{H} \\ z &= \sin\delta \end{aligned} \tag{10}$$

Układ godzinny jest układem lewoskrętnym, czego nie da się uniknąć jeśli współrzędna KG ciała niebieskiego ma wzrastać zgodnie z kierunkiem dobowego ruchu sfery.

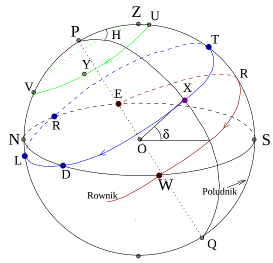
Dygresja: ruch dobowy sfery (1).



Ruch dobowy gwiazd

- sfera obraca się jednostajnie wokół osi świata *PQ* z szybkością $\omega = 15$ [°/*godz*],
- dobowe trajektorie gwiazd są równoleżnikami np. *UYV*, *LRTD*, albo równikiem świata *ERW*,
- punkt *T* równoleżnika gwiazdy *X* o największej wysokości nazywamy punktem kulminacji górnej, punkt o najmniejszej wysokości nazywamy punktem kulminacji dolnej,
- punkty o zerowej wysokości to miejsca wschodu i zachodu obiektu, wypadające po stronie punktów *E* i *W* odpowiednio.

Dygresja: ruch dobowy sfery (2).



Ruch dobowy gwiazd cd.

- w wyniku ruchu dobowego wzrasta kąt godzinny i azymut, wysokość oscyluje pomiędzy wartościami odpowiadającym kulminacjom, deklinacja gwiazdy nie zmienia się,
- gwiazdy o deklinacjach:

$$\delta > 90° - \phi, \quad \phi > 0 \tag{11}$$

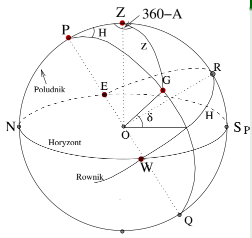
tzw. okołobiegunowe mają trajektorie w całości położone nad horyzontem

- gwiazdy o deklinacjach:

$$-\delta > 90° - \phi, \quad \phi > 0 \tag{12}$$

zawsze przebywają pod horyzontem.

Dygresja: rozwiązanie trójkąta paralaktycznego *PZG* (1).



Przemiana współrzędnych A, h i $\mathcal{H}$, δ

- trójkąt sferyczny *PZG* tworzą: obiekt *G* oraz bieguny obu układów: *P* i *Z*,
- z definicji obu układów mamy:

$$PZG = 360° - A \qquad ZPG = \mathcal{H}$$
$$ZG = z \qquad PG = 90° - \delta$$
$$PZ = 90° - \phi,$$

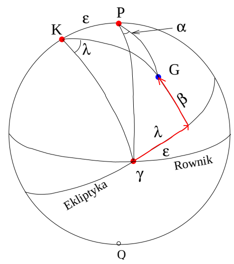
- a ze wzoru cosinusów:

$$\sin\delta = \cos z \sin\phi + \sin z \cos\phi \cos A$$
$$\cos z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\mathcal{H}$$

- w celu normalizacji kątów A i $\mathcal{H}$ mamy:

$$180° \le A \le 360° \quad \Leftrightarrow \quad 0^h \ge \mathcal{H} \le 12^h$$
$$0° < A < 180° \quad \Leftrightarrow \quad 12^h < \mathcal{H} < 24^h$$

Współrzędne ekliptyczne



Definicja

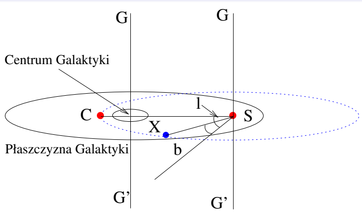
- biegun układu — północny biegun ekliptyki *K* odległy o $\varepsilon = 23.5°$ od północnego bieguna świata *P*,
- punkt zerowy długości ekliptycznej — punkt równonocy wiosennej ♈,
- współrzędne ekliptyczne punktu *G* definiujemy jako kąty:

$$\beta = 90° - KG, \quad \lambda = ♈KG \tag{13}$$

- długość ekliptyczną λ mierzymy wzdłuż ekliptyki w kierunku rocznego ruchu Słońca, szerokość ekliptyczną β mierzymy w płaszczyźnie południka *KG* obiektu *G*, przy czym

$$-90° \le \beta \le 90°, \quad 0 \le \lambda \le 360°$$

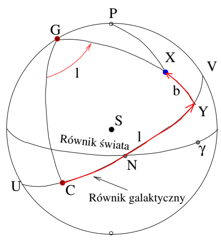
Współrzędne galaktyczne (1)



Definicje

- Układ współrzędnych galaktycznych zdefiniowany jest w oparciu o bieguny *G*, *G′* równika galaktycznego położonego w płaszczyźnie Galaktyki,
- początkiem układu zwykle jest środek Słońca *S* lub barycentrum Układu Słonecznego,

Współrzędne galaktyczne (2)



Definicja (1)

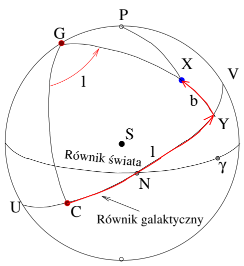
- biegunem układu jest północny biegun galaktyczny *G*,
- punktem zerowym długości galaktycznej jest punkt *C*, będący rzutem środka galaktyki na równik galaktyczny,
- współrzędne galaktyczne punktu *X*:

$$b = 90° - GX, \quad l = CGX \tag{14}$$

- długość galaktyczna l mierzona jest w płaszczyźnie równika galaktycznego, antyzegarowo względem bieguna *G*, szerokość galaktyczną b mierzymy w płaszczyźnie południka galaktycznego *GX* obiektu *X*, przy czym:

$$-90° \le b \le 90°, \quad 0 \le l \le 360°$$

Współrzędne galaktyczne (3)



Definicja (2)

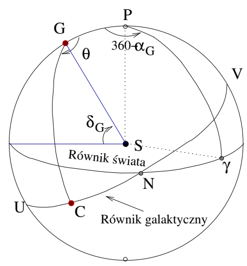
- zdefiniowany układ jest tzw. nowym układem galaktycznym wprowadzonym drogą rezolucji MUA w roku 1959,
- przed rokiem 1959 obowiązywał stary układ, w którym punktem zerowym długości galaktycznej był punkt *N*, punkt przecięcia równika galaktycznego i równika świata,
- w celu rozróżnienia współrzędnych w obu układach stosuje się oznaczenia:

$$(l^{II}, b^{II})$$

$$(l^{I}, b^{I})$$

odpowiednio, na nowe i stare współrzędne galaktyczne.

Współrzędne galaktyczne (4)



Definicja (3)

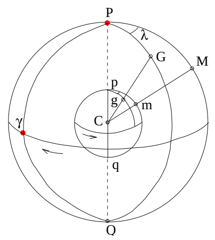
- nowy układ galaktyczny, względem układu równikowego ekwinokcjalnego zdefiniowany jest za pośrednictwem trzech kątów:

$$\begin{aligned} &\text{B1950} \\ &\alpha_G = 12^h49^m \\ &\delta_G = 27°24' \\ &\theta = 123° \\ &\text{J2000} \\ &\alpha_G = 12^h51^m26.282^s \\ &\delta_G = 27°07'42.01'' \\ &\theta = 122.932° \end{aligned} \tag{15}$$

Część III

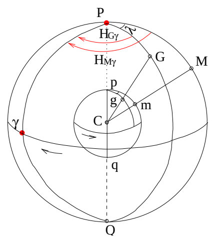
Skale czasu gwiazdowego i słonecznego.

Skala czasu gwiazdowego (1)



- p i q oznaczają geograficzne bieguny ziemskie, przedłużenia odcinków Cp i Cq przebijają niebieską sferę w P, Q — w północnym i południowym biegunie świata,
- g oznacza Greenwich a punkt m obserwatora na powierzchni Ziemi na długości geograficznej λ.
- półproste Cg i Cm przebijają sferę w punktach G i M; G jest zenitem horyzontu obserwatora w Greenwich, łuk PGQ jest południkiem miejscowym tegoż obserwatora,
- podobnie łuk PMQ jest południkiem miejscowym obserwatora w miejscu m,
- kąt sferyczny GPM wynosi λ.

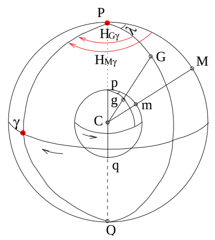
Skala czasu gwiazdowego (2)



- względem obserwatora w g, kąt godzinny punktu barana wynosi $GP\Upsilon = \mathcal{H}_{G\Upsilon}$.
- względem obserwatora w m, kąt godzinny punktu barana wynosi $\mathcal{H}_{M\Upsilon} = MP\Upsilon$,
- co pociąga:

$$\mathcal{H}_{M\Upsilon} = \mathcal{H}_{G\Upsilon} + \lambda \tag{16}$$

Skala czasu gwiazdowego (3)



Definicje

- miejscowy czas gwiazdowy jest równy kątowi godzinnemu punktu Υ, czyli czas gwiazdowy w Greenwich:

$$\mathcal{CG}_G = \mathcal{H}_{G\Upsilon}$$

- czas gwiazdowy obserwatora w m:

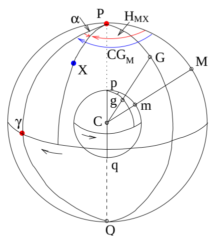
$$\mathcal{CG}_M = \mathcal{H}_{M\Upsilon}$$

- a wobec (16), mamy:

$$\mathcal{CG}_M = \mathcal{CG}_G + \lambda \tag{17}$$

- jednostką czasu gwiazdowego jest doba gwiazdowa równa interwałowi czasu między dwiema kulminacjami górnymi punktu równonocy wiosennej Υ.

Rektascensja i kąt godzinny



Definicje

Czas gwiazdowy jest znakomitym łącznikiem między rektascensją i kątem godzinnym obiektu.

- gwiazda X o rektascensji $\mathcal{RA}_X = \alpha$, względem obserwatora w m ma kąt godzinny $MPX = \mathcal{H}_{MX}$.
- z rysunku widzimy, że:

$$\mathcal{CG}_M = \mathcal{H}_{MX} + \mathcal{RA}_X \tag{18}$$

- Równanie (18) jest prawdziwe dla dowolnego ciała niebieskiego i dowolnego obserwatora na powierzchni Ziemi i służy do przemiany (transformacji) współrzędnych godzinnych w równikowe i odwrotnie.

Prawdziwy czas słoneczny (1)

- Skala czasu określona za pomocą kąta godzinnego punktu barana Υ, aczkolwiek bardzo regularna i przydatna w wielu zastosowaniach, nie nadaje się do regulacji działalności człowieka,
- czas cywilny powinien zależeć od kąta godzinnego Słońca, obiektu towarzyszącego człowiekowi w życiu codziennym,
- koncepcję czasu opartą o obserwacje Słońca nazwano czasem słonecznym, jej podstawową jednostkę dobę słoneczną zdefiniowano jako interwał pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami Słońca na południku obserwatora,
- w skali czasu słonecznego mierzony jest kąt godzinny Słońca (ściśle środek jego tarczy), stąd mówimy o czasie słonecznym prawdziwym.

Prawdziwy czas słoneczny (2)

Definicje

- definicja skali czasu słonecznego prawdziwego ma postać

$$\textit{Miejscowy prawdziwy czas sloneczny} = 12^h + \mathcal{H}_{M\odot}$$

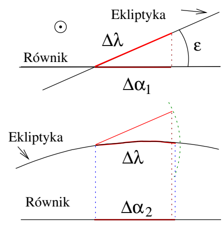
- dla obserwatora w m czas słoneczny i gwiazdowy wiążą się za pomocą równania (18), w którym Słońce zastępuje punkt X:

$$\textit{Miejscowy prawdziwy czas sloneczny} = 12^h + \mathcal{CG}_M - \mathcal{RA}_\odot \tag{19}$$

- w interwale jednego roku zwrotnikowego rektascensja Słońca powiększa się o 24^h, i dlatego, w okresie tym liczba dób gwiazdowych jest o jeden większa aniżeli liczba dób słonecznych. Zał. 1

- Skala prawdziwego czasu słonecznego jest złożeniem ruchu wirowego i orbitalnego Ziemi co jest powodem jej nieregularności.

Niejednostajność czasu słonecznego prawdziwego

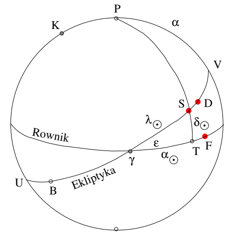


Nierównomierność skali prawdziwego czasu słonecznego wynika z:

- niejednostajności kątowego ruchu orbitalnego Ziemi (E); np. w peryhelium ruch przebiega szybciej niż w aphelium,
- nachylenia orbity pozornego rocznego ruchu Słońca; ekliptyka tworzy z równikiem świata kąt ε; rzuty dwóch identycznych łuków na ekliptyce mają na równiku różne długości;

- Oba efekty powodują nierównomierne przyrosty rektascensji Słońca na tyle duże, że wyklucza to wykorzystanie prawdziwego czasu słonecznego do regulacji życia cywilnego mieszkańców Ziemi.

Usuwanie niejednostajności czasu słonecznego prawdziwego (1)



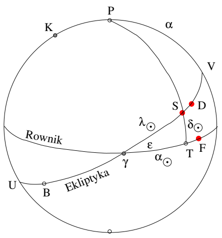
Założenia, definicje

- τ — moment przejścia Ziemi przez aphelium, Słońce jest wówczas w B,
- $n = 360^\circ / rok$ — średnia kątowa prędkość Ziemi na orbicie,
- punkt D — dynamiczne słońce średnie, fikcyjny obiekt poruszający się po ekliptyce z prędkością n, przez B przechodzi w tej samej chwili co Słońce,
- w chwili t prawdziwe Słońce znajduje się w S a słońce dynamiczne w D, :

$$BD = n(t - \tau)$$

- Pomysł z dynamicznym słońcem usuwa nieregularności w przyrostach długości ekliptycznej. Niestety nie usuwa wpływów nachylenia ekliptyki do równika.

Usuwanie niejednostajności czasu słonecznego prawdziwego (2)



Założenia, definicje

- punkt F — fikcyjne słońce średnie, porusza się po równiku ze stałą prędkością n, przechodzi przez punkty równonocy jednocześnie ze słońcem dynamicznym,
- w momencie t, fikcyjne słońce znajduje się w F, wówczas na mocy definicji obu słońc:

$$\Upsilon F = \Upsilon D$$

- Fikcyjne słońce średnie jest punktem o jednostajnie zmieniającej się rektascensji, zatem, nadaje się do realizacji skali czasu słonecznego średniego pozbawionej zasadniczych nieregularności. ▸ Zał. 2

Średni czas słoneczny (1)

Definicja

- Skala czasu słonecznego średniego:

$$\textit{Miejscowy sredni czas sloneczny} \; = 12^h + \mathcal{H}_{MS\odot}$$

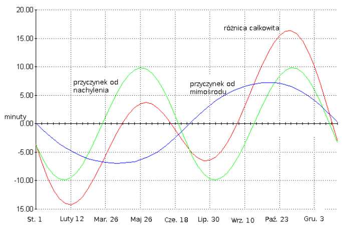
gdzie $\mathcal{H}_{MS\odot}$ jest kątem godzinnym słońca średniego w danym miejscu obserwacji,

- podobnie do (19), czas gwiazdowy i czas średni słoneczny związane są zależnością:

$$\textit{Miejscowy sredni czas sloneczny} \; = +12^h + \mathcal{CG}_M - \mathcal{RA}_{S\odot} \tag{20}$$

gdzie $\mathcal{RA}_{S\odot}$ jest rektascensją słońca średniego,

Średni czas słoneczny (2)



Definicja

Różnica między czasem słonecznym prawdziwym i średnim nosi nazwę równania czasu. Za pomocą równań (19) i (20) można ją przedstawić jako

$$R.czasu = \mathcal{RA}_{S\odot} - \mathcal{RA}_{\odot} \tag{21}$$

Różnica (21) zmienia się w złożony sposób osiągając w maksimum wartość około 17 minut, co uzasadnia potrzebę wprowadzenia czasu średniego.

Czas uniwersalny UT

Definicja

- Czas średni słoneczny dla południka Greenwich nazwano czasem uniwersalnym (UT),
- dla obserwatora w miejscu o wschodniej długości geograficznej λ, będzie:

$$\textit{Miejsc. sr. czas sloneczny} \; = UT + \lambda \tag{22}$$

Czas strefowy

Definicja

- Miejscowy czas słoneczny jest skalą czasu lokalną, określoną dla otoczenia jednego południka. Tymczasem w życiu codziennym wymagana jest synchronizacja czasu na dużym obszarze,
- dlatego ziemski glob podzielono na strefy czasowe o szerokości 15° oddzielone od siebie tzw. południkami standardowymi,
- wewnątrz każdej strefy obowiązuje ten sam czas słoneczny średni środkowego południka strefy zwany czasem strefowym:

$$\textit{Czas strefowy} = UT + \lambda_S \tag{23}$$

gdzie λ_S jest wschodnią długością standardowego południka danej strefy.

- ponieważ południki standardowe rozmieszczone są równomiernie co 15° w długości, dlatego pomiędzy dwiema sąsiednimi strefami różnica czasu wynosi zawsze jedną godzinę.

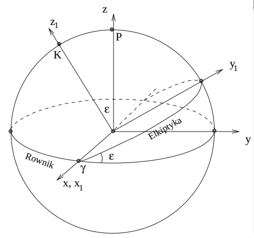
▸ Leć

Część IV

Transformacje współrzędnych, ujęcie macierzowe.

Współrzędne ekliptyczne i równikowe Współrzędne horyzontalne i godzinne Współrzędne godzinne i równikowe Współrzędne równikowe i galaktyczne

Przemiana współrzędnych (λ, β) i (α, δ).



Definicje

- Transformacja (α, δ) ->(λ, β):

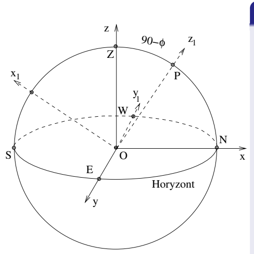
$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{\lambda,\beta} = \mathbf{p}(\varepsilon) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\alpha,\delta} \quad (24)$$

- transformacja odwrotna:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\alpha,\delta} = \mathbf{p}(-\varepsilon) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{\lambda,\beta} \quad (25)$$

Współrzędne ekliptyczne i równikowe Współrzędne horyzontalne i godzinne Współrzędne godzinne i równikowe Współrzędne równikowe i galaktyczne

Przemiana współrzędnych (A, h) i $(\mathcal{H}, \delta)$.



Definicje

- Transformacja (A, h) ->$(\mathcal{H}, \delta)$:

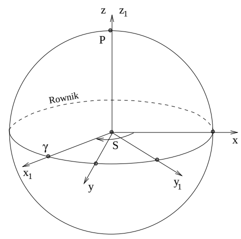
$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{\mathcal{H},\delta} = \mathbf{q}(\phi-90^\circ)\mathbf{r}(180^\circ) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{A,h} \quad (26)$$

- transformacją odwrotną będzie:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{A,h} = \mathbf{r}(-180^\circ)\mathbf{q}(90^\circ-\phi) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{\mathcal{H},\delta} \quad (27)$$

Współrzędne ekliptyczne i równikowe Współrzędne horyzontalne i godzinne Współrzędne godzinne i równikowe Współrzędne równikowe i galaktyczne

Przemiana współrzędnych $(\mathcal{H}, \delta)$ i (α, δ).



Definicje

- Transformacja $(\mathcal{H}, \delta)$ ->(α, δ):

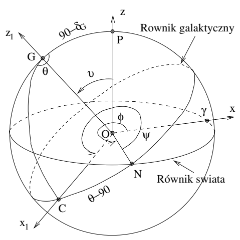
$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{\alpha,\delta} = \mathbf{r}(-S)\mathbf{M}_y \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\mathcal{H},\delta} \quad (28)$$

- transformacja odwrotna ma postać:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\mathcal{H},\delta} = \mathbf{M}_y\mathbf{r}(S) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{\alpha,\delta} \quad (29)$$

Współrzędne ekliptyczne i równikowe Współrzędne horyzontalne i godzinne Współrzędne godzinne i równikowe Współrzędne równikowe i galaktyczne

Przemiana współrzędnych (α, δ) i (l, b) (1).



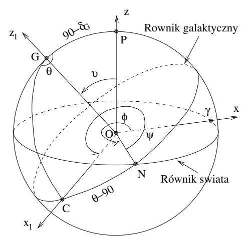
Definicje

- Transformacja (α, δ) -> (l, b):

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{l,b} = \mathbf{r}(90^\circ-\theta)\mathbf{p}(90^\circ-\delta_G) \mathbf{r}(\alpha_G+90^\circ) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\alpha,\delta} \quad (30)$$

Współrzędne ekliptyczne i równikowe Współrzędne horyzontalne i godzinne Współrzędne godzinne i równikowe Współrzędne równikowe i galaktyczne

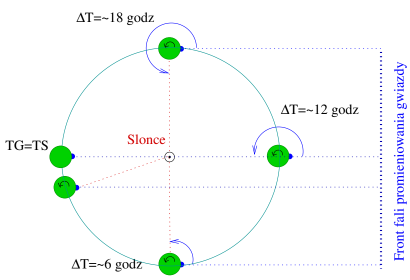
Przemiana współrzędnych (α, δ) i (l, b) (2).



Definicje

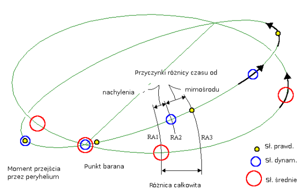
- Transformacja (l, b) -> (α, δ):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\alpha,\delta} = \mathbf{r}(270^\circ-\alpha_G)\mathbf{p}(\delta_G-90^\circ) \mathbf{r}(\theta-90^\circ) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}_{l,b} \quad (31)$$

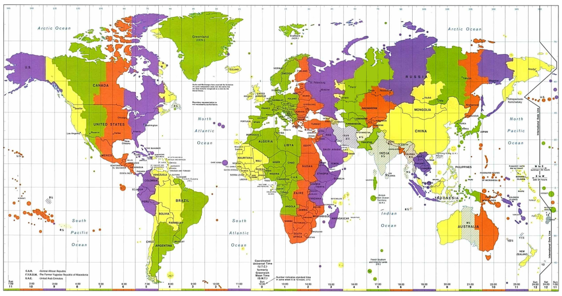


Ilustracja narastania różnicy wskazań czasu obserwowanego za pomocą słońca i gwiazd.

Powrót



Powrót



Arctic Ocean
North Atlantic Ocean
South Atlantic Ocean
South Pacific Ocean
North Pacific Ocean
Indian Ocean
Greenland (DEN.)
U.S.
CANADA
UNITED STATES
MEXICO
BRAZIL
ARGENTINA
RUSSIA
CHINA
MONGOLIA
INDIA
AUSTRALIA
INDONESIA
ALGERIA
LIBYA
EGYPT
SUDAN
ZAIRE
KAZAKHSTAN
JAPAN
NEW ZEALAND
International Date Line
C.A.R. -Central African Republic
F.Y.R.O.M. -The Former Yugoslav Republic of Macedonia
U.A.E. -United Arab Emirates
Coordinated Universal Time (U.T.C.) formerly Greenwich Mean Time (G.M.T.)
Number indicates standard time in zone when it is 12 noon, UTC

Powrót