

The background is a dark, textured celestial globe with zodiac signs and grid lines. A semi-transparent horizontal band is overlaid across the middle, containing the title. A purple circle with the number '2' is positioned above the title. A realistic image of Earth from space is visible on the left side, partially overlapping the globe.

2

UKŁADY WSPÓŁRZĘDNYCH

UKŁAD HORYZONTALNY

Taki układ współrzędnych potrzebny jest do umiejscowienia każdego ciała niebieskiego, które widzimy. Jest on uzależniony od naszej pozycji w chwili obserwacji. Każdy obserwator w niedalekim od nas miejscu będzie widział niemal to samo co my, jednak na innej wysokości i w innym namiarze. Obserwator w miejscu odległym zobaczy inną konfigurację wszystkiego, co jest na niebie.

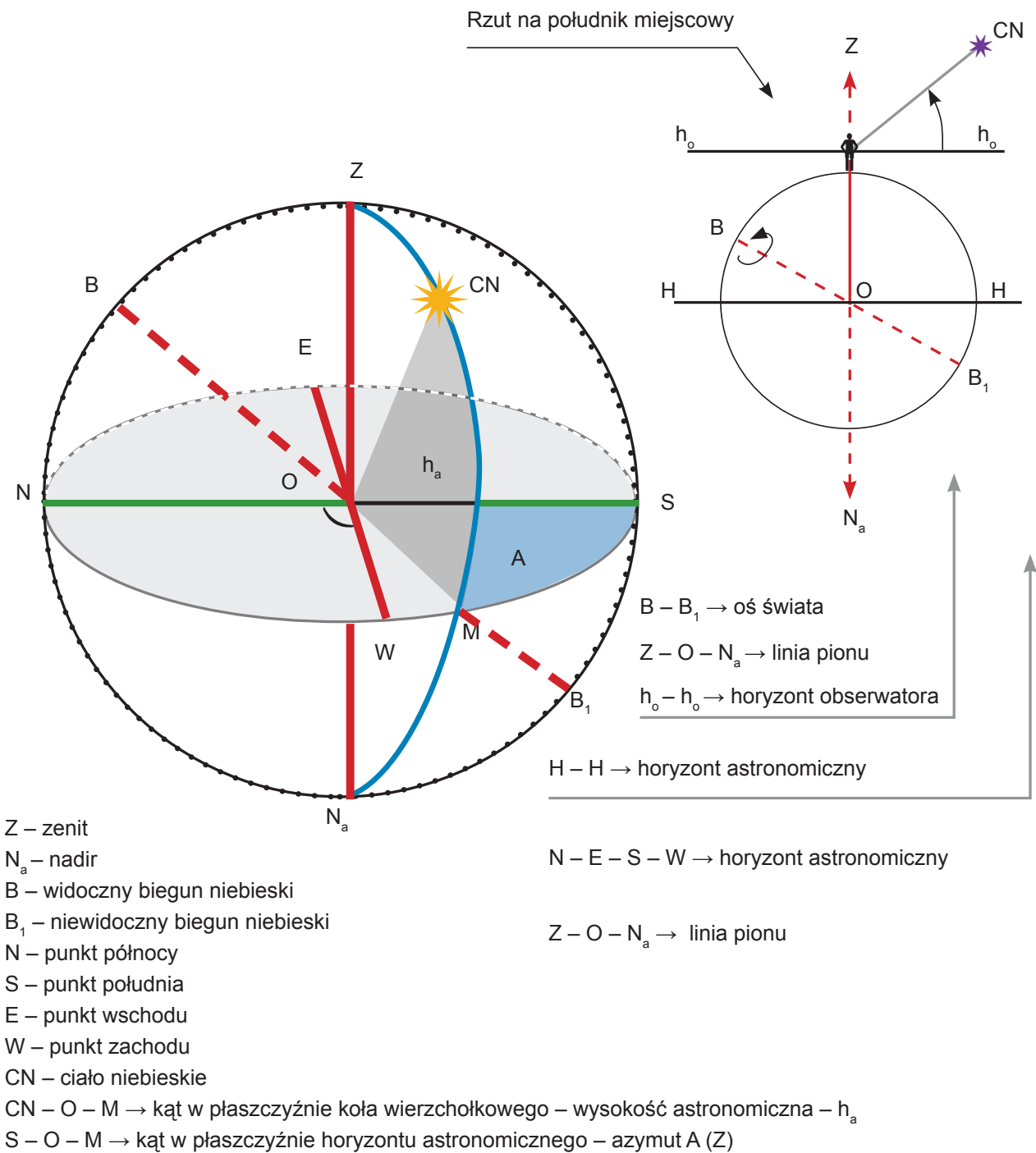
Punktem centralnym tego układu jesteśmy my sami. Znajdujemy się na powierzchni ziemi, jednak biorąc pod uwagę stosunek wielkości naszej planety do bezmiaru wszechświata, możemy ją potraktować jak punkt. Jako obserwator stoimy na niej normalnie, czyli głową do góry. Wszystko, co zobaczymy na niebie ponad tzw. horyzontem – czy w dzień, czy w nocy – jest w różnych od nas odległościach. Nie ma to żadnego znaczenia dla nawigatora. Potraktujemy wszystkie ciała niebieskie, jakby były zawieszane na olbrzymiej kuli – **sferze niebieskiej**. To jest świat taki, jakim go widzimy. Nasz horyzont też jest normalny, czyli poziomy. Wokół Ziemi rozciąga się nieboskłon dla uproszczenia przyjęty jako sfera, na której są wszystkie gwiazdy, planety, Słońce i Księżyc. Tak to widzimy i ten nasz świat (każdego obserwatora) jest podstawą **układu horyzontalnego współrzędnych**.

Można przeprowadzić linię od środka Ziemi przez miejsce, gdzie stoimy, aż do przecięcia z teoretyczną sferą niebieską. Nad głową obserwatora linia ta, zwana **linią pionu**, wyznaczy na sferze niebieskiej **zenit**. Punkt po stronie przeciwnej nazwiemy **nadirem** (nadir nas nie interesuje, bo jest po niewidocznej stronie horyzontu).

- ▶ Prostopadle do linii pionu, przez oko obserwatora, można przeprowadzić teoretyczną płaszczyznę poziomą – **horyzont obserwatora** (H_0).
- ▶ Również teoretycznie powyżej tej właśnie płaszczyzny mierzymy sekstantem wysokość ciała niebieskiego.

- ▶ Wyniki obliczeń podane w Tablicach Nawigacyjnych odnoszą się jednak do płaszczyzny **horyzontu astronomicznego** przechodzącego przez środek Ziemi. Obie płaszczyzny dzieli odległość promienia Ziemi. Będziemy musieli zmierzoną wysokość poprawić.
- ▶ Przedłużenie osi ziemskiej (osi obrotu naszej planety) wyznaczy na sferze niebieskiej dwa bieguny niebieskie: B oraz B_1 . Tę przedłużoną na skalę wszechświata linię będziemy nazywać **osią świata**.
- ▶ Sferę niebieską można podzielić wzdłuż osi świata nieskończoną liczbą płaszczyzn, które będą miały dwa punkty wspólne: bieguny niebieskie. Te płaszczyzny to **koła wierzchołkowe**. Tylko jedna taka płaszczyzna przechodzi jednocześnie przez oba bieguny oraz zenit i nadir – nazwiemy ją **południkiem niebieskim** lub **miejscowym** (lokalnym). Bieguny ziemskie są wspólne dla wszystkich, ale każdy obserwator na Ziemi ma swój zenit; więc również swój miejscowy południk niebieski. Jest on odwzorowaniem południka ziemskiego obserwatora.
- ▶ Przecięcie płaszczyzny południka niebieskiego (lokalnego, miejscowego) z płaszczyzną horyzontu astronomicznego wyznacza **punkt północy** (N – po stronie bieguna północnego) oraz **punkt południa** (S – po stronie bieguna południowego). Linia łącząca te dwa punkty wyznacza kierunek północ – południe na płaszczyźnie horyzontu.
- ▶ Od punktu N lub punktu S w płaszczyźnie horyzontu mierzymy **azymut**. W nawigacji jest to **namiar**.
- ▶ Kierunek od środka płaszczyzny horyzontu astronomicznego do ciała niebieskiego (czyli w górę) określa jego **wysokość astronomiczną** (H_a).

Azymut i wysokość astronomiczna są współzależnymi określającymi położenie ciał niebieskich w odniesieniu do pozycji obserwatora.

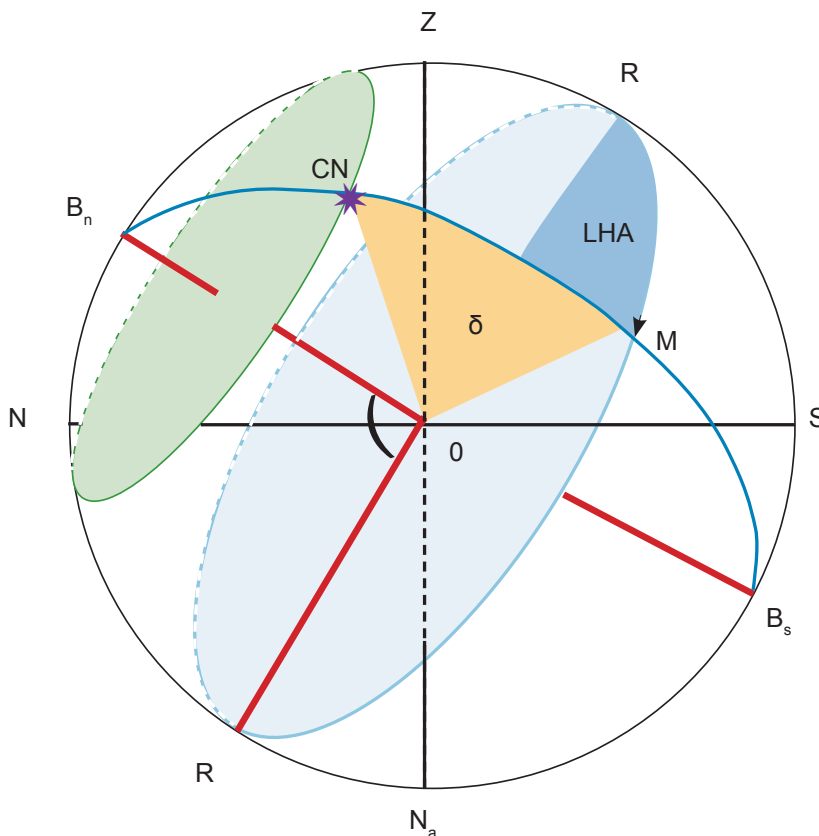


Układ horyzontalny (obserwatora).

UKŁAD RÓWNIKOWY I (CZĘŚCIOWO ZALEŻNY)

Układ horyzontalny określa parametry położenia wszystkiego, co widzi każdy obserwator, w powiązaniu z jego pozycją. Jak łatwo sobie

wyobrazić, każdy punkt na Ziemi ma swój własny zenit wyznaczony przez linię pionu, a w związku z tym także własną płaszczyznę horyzontu do tej linii prostopadłą. Z tego powodu układ ten nie jest uniwersalny.



$B_N - B_S \rightarrow$ oś świata

$R - R \rightarrow$ płaszczyzna równika niebieskiego

$B_N - Z - R - S - B_S - N_a - R - N \rightarrow$ płaszczyzna południka niebieskiego (miejscowego)

$CN - O - M \rightarrow$ kąt mierzony między płaszczyzną równika a kierunkiem na ciało niebieskie – deklinacja – Dec. lub δ

$R - O - M \rightarrow$ kąt mierzony między punktem na równiku pod zenitem w kierunku na zachód do płaszczyzny koła, na którym jest CN, to miejscowy kąt godzinny (*Local Hour Angle*) – LHA lub w niektórych tablicach t

Układ równikowy (częściowo zależny).

Wyobraźmy sobie, że wszechświat jest taki, jak go widzimy, gdy stoimy w pewnym punkcie na powierzchni ziemi. Możemy zaobserwować wszystko to, co jest ponad naszym widnokresem. Tak właśnie powinniśmy orientować nasze rysunki – z pionową linią pionu i zenitem na górze). Nad głową mamy zenit, a nasz horyzont jest poziomy. Zwróćmy uwagę na to, co od nas nie zależy, a jest wspólne dla wszystkich. To są teoretyczne atrybuty naszej Ziemi: oś ziemską (oś jej ruchu obrotowego) i równik.

Wiemy już z poprzedniego rozdziału, że przedłużając oś ziemską do przecięcia ze sferą niebieską, uzyskamy oś świata i wyznaczone przez nią dwa bieguny niebieskie. Biegun niebieski będzie w naszym zenicie tylko w przypadku, gdy stoimy dokładnie na biegunie ziemskim. W takiej pozycji oś świata i linia pionu będą tożsame.

Jak już było powiedziane, oś Ziemi, po przedłużeniu do teoretycznej sfery niebieskiej, wyznaczy dwa bieguny niebieskie. Po stronie ziemskiego bieguna północnego – **biegun niebieski B_N** , a po stronie ziemskiego bieguna południowego – **biegun niebieski B_S** . Prostopadłe do osi Ziemi wyznaczyliśmy płaszczyznę równika przechodzącą przez jej środek. Rozciągnięcie tej płaszczyzny do (teoretycznej) sfery niebieskiej wyznaczy płaszczyznę **równika astronomicznego**.

- ▶ Tak jak na kuli ziemskiej płaszczyzna równika astronomicznego jest prostopadła do linii łączącej oba bieguny niebieskie – osi świata.
- ▶ Nieskończenie wiele kół wielkich (koło wielkie to takie, którego płaszczyzna przechodzi przez środek kuli) można przeprowadzić przez oba bieguny, ale tylko jedno z nich przejdzie przez pozycję konkret-

nego obserwatora, przez jego zenit. Już to znamy; jest to **płaszczyzna południka niebieskiego** (lokalnego, miejscowego). To pojęcie wystąpiło w układzie horyzontalnym. Jest to element wspólny dla obu układów, gdyż mamy w nim zarówno zenit i nadir, jak i oba bieguny niebieskie.

- ▶ Południk miejscowy jest odwzorowaniem południka geograficznego ziemskiego, na którym stoi obserwator.
- ▶ Wszystkie koła wielkie przechodzące przez bieguny niebieskie nazywamy w astronomii **kołami godzinnymi**. Jest ich nieskończenie wiele, a jedno z nich przechodzi przez ciało niebieskie, którym się właśnie interesujemy.
- ▶ W płaszczyźnie równika astronomicznego od punktu pod zenitem (czyli od płaszczyzny południka miejscowego obserwatora) można wyznaczyć kąt dwuścienny do koła wielkiego, na którym ciało niebieskie znajduje się w chwili pomiaru. Mierzymy go zawsze na zachód. Taka współrzędna to **miejscowy kąt godzinny** (*Local Hour Angle*, LHA). Miejscowy (albo też lokalny) dlatego, że mierzony jest od południka, na którym stoi obserwator.
- ▶ Od płaszczyzny równika astronomicznego w górę lub w dół (to znaczy w stronę biegunów) do położenia ciała niebieskiego określamy **deklinację**.
- ▶ Układ jest częściowo zależny, gdyż miejscowy kąt godzinny mierzymy od płaszczyzny lokalnego południka. Różne pozycje obserwatorów spowodują odmienne płaszczyzny kół wielkich określających początkowy punkt odmierzania. Równik astronomiczny jest wspólny dla wszystkich.

Współrzędnymi w tym układzie są miejscowy kąt godzinny (*Local Hour Angle*, LHA) oraz deklinacja (*Declination*).

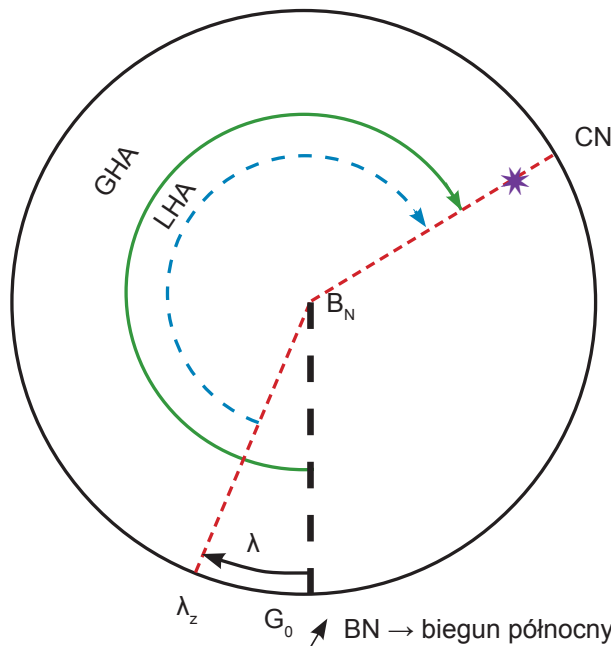
UKŁAD RÓWNIKOWY II (NIEZALEŻNY)

W poprzednim układzie współrzędnych (równikowy I) pojawiła się deklinacja jako jedna ze współrzędnych. Wartość ta jest liczona od równika wspólnego dla wszystkich, a to oznacza jej niezależność od pozycji obserwatora (równik jest tylko jeden). Taką współrzędną możemy znaleźć w Roczniku Astronomicznym (*Nautical Almanac*) dla wszystkich przydatnych w nawigacji ciał niebieskich z dokładnością wystarczającą dla naszych obliczeń. Deklinacja pozostaje więc również w tym układzie jako element określający położenie ciała niebieskiego.

Z drugą współrzędną mamy natomiast kłopot. Płaszczyzna podstawowa do jej wyznaczenia to południk miejscowy, a ten dla każdego obserwatora jest inny. Wspólny jest tylko dla nawigatorów, którzy w jednym momencie stoją na tym samym południku ziemskim, czyli ich długość geograficzna jest taka sama.

Miejscowy kąt godzinny liczony od południka miejscowego, który jest odbiciem na sferze niebieskiej południka geograficznego obserwatora, jest współrzędną ściśle związaną z pozycją. Nie jest uniwersalny dla wszystkich. Nie da się w ten sposób przedstawić położenia ciała niebieskiego w sposób jednoznaczny.

Aby usunąć tę niedogodność, wymyślono pewien sposób. W Roczniku Astronomicznym podaje się tę współrzędną, licząc ją od południka 0°, czyli od Greenwich na zachód. Znajdziemy ją pod skrótem **GHA** (*Greenwich Hour Angle*) – to **gryniczowski kąt godzinny**. Pamiętamy ze szkoły, że ten umowny (wspólny dla wszystkich) południk był wcześniej w innych miejscach. Po wojnach napoleońskich Wielka Brytania została królową mórz i brytyjski południk okazał się najważniejszy. Tak pozostało do tej pory, mimo że większość brytyjskich dział dawno już jest w muzeach. Niezależnie od wszystkiego mamy jeden punkt odniesienia i wszyscy to uznali, aby była powszechna jednolitość.

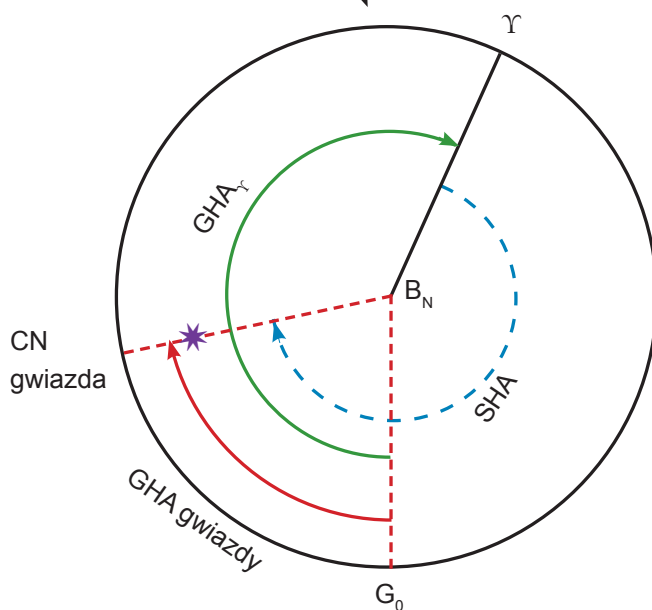


GHA → *Greenwich Hour Angle*

G_0 → rzut południka Greenwich

- odcytujemy w Roczniku. Podawany jest dla Słońca, Księżyca, planet oraz punktu Barana
- znając swoją orientacyjną długość geograficzną łatwo znajdziemy LHA – kąt, którego szukamy

λ_z G_0 BN → biegun północny. Rzut z góry na płaszczyznę równika
SHA – *Sideral Hour Angle* → stosowany przy określaniu położenia gwiazd



- odcytujemy z Rocznika SHA gwiazdy liczone od punktu Barana
- odcytujemy GHA punktu Barana
- możemy odnieść gwiazdę do południka Greenwich i obliczyć GHA gwiazdy

Mając GHA gwiazdy i znając orientacyjną długość geograficzną, obliczymy LHA gwiazdy.
Wszystkie współrzędne – GHA, SHA, LHA – liczone są w kierunku na zachód.

„Poziołe” współrzędne niezależne.

Taką współrzędną równikową należało jeszcze uniezależnić całkowicie od czegokolwiek, co ziemskie (południk zero jest linią umowną). Przyjęto więc dodatkowo jeszcze jeden punkt początkowy. Za taki punkt uznano jedno z dwu miejsc przecięcia równika astronomicznego z ekliptyką (tym ostatnim pojęciem nie będziemy się zajmować) i nazwano go **punktem Barana** (ARIES, Υ). Od tego punktu w kierunku na zachód mierzymy **gwiazdowy kąt godzinny SHA** (*Sideral Hour Angle*).

W ten sposób uzyskano dwie niezależne współrzędne mierzone w płaszczyźnie równika astronomicznego. Zarówno jedna, jak i druga jest używana dla potrzeb astronawigacji.

Współrzędnymi w układzie równikowym II są deklinacja (Dec.) oraz grynichowski kąt godzinny (*Greenwich Hour Angle*, GHA) albo gwiazdowy kąt godzinny (*Sideral Hour Angle*, SHA).

- ▶ Punktem Barana nie musimy się zajmować, jeśli nie interesują nas pozycje z gwiazd. Słońce, Księżyc i planety określane są przez GHA i oczywiście deklinację.
- ▶ W Roczniku Astronomicznym znajdziemy dla wszystkich przydatnych nam ciał niebieskich deklinacje (Dec., δ) oraz GHA lub SHA (SHA w przypadku gwiazd).
- ▶ Przyda się nam umiejętność przeliczania odczytanych wartości GHA lub SHA na LHA odniesione do naszej pozycji.
- ▶ Punktem wyjścia do użycia jakichkolwiek tablic jest odczytanie w Roczniku wartości GHA dla momentu pomiaru, a następnie obliczenie wartości LHA odnoszącego się do naszej pozycji zliczonej.
- ▶ Szkice obrazują rzut na płaszczyznę równika astronomicznego od strony bieguna północnego.

Jeśli chcemy skorzystać z Tablic Nawigacyjnych jakiegokolwiek rodzaju, musimy znać deklinację (Dec.) oraz miejscowy kąt godzinny (LHA) ciała niebieskiego w chwili pomiaru.

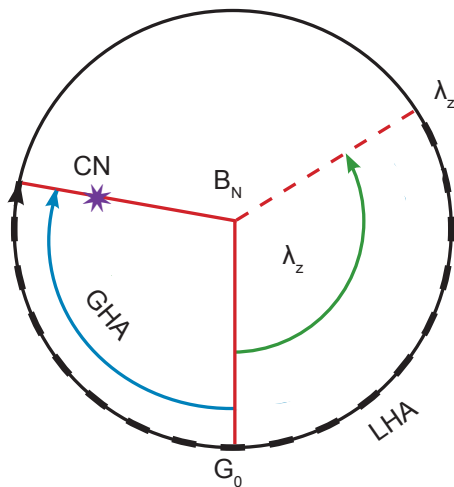
Deklinację znajdziemy w Roczniku i po dokonaniu prostej interpolacji będziemy mieli gotowy wynik jako argument wejściowy do obliczeń. Drugą współrzędną musimy obliczyć sami. Odczytamy GHA jako wartość uniwersalną (podawaną od południka zerowego, podobnie jak długość geograficzną, jednak mierzoną w systemie okrężnym w kierunku zachodnim) i musimy ją odnieść do naszego położenia – do naszej długości zliczonej, chociaż wiemy, że jest ona tylko orientacyjna. Tablice są tak skonstruowane, że to wystarczy.

PRZELICZANIE WSPÓŁRZĘDNYCH

Żadnych wzorów, znaków ani algebry. Rysujemy szkic z konkretną sytuacją, w jakiej jesteśmy w danej chwili.

Po odczytaniu z Rocznika GHA ciała niebieskiego rysujemy okrąg – płaszczyznę równika astronomicznego widzianą od strony naszego bieguna. To znaczy, że biegun północny będzie w środku okręgu, jeśli jesteśmy na półkuli północnej.

Południk zerowy (Greenwich) wrysujemy w otrzymany okrąg zawsze jednakowo: od środka symbolizującego widoczny biegun niebieski w dół szkicu tak, jak na ilustracji. Jeśli długość geograficzna jest zachodnia, to w lewo, jeśli wschodnia, to w prawo od niego rysujemy nasz południk, uwzględniając zliczoną długość geograficzną, z pewnością mniej lub bardziej niedokładną. Zdajemy sobie sprawę z tego, że będzie to tylko orientacyjne położenie w stosunku do naszego



CN → Słońce, Księżyc, planeta

G_0 → południk Greenwich

GHA → odczytany z Rocznika

B_N → biegun niebieski N

λ_z → długość zliczona wschodnia

Z takiej sytuacji wynika zależność:

$$\widehat{LHA} = \widehat{GHA} + \widehat{\lambda_z}$$

CN → Słońce, Księżyc, planeta

G_0 → południk niebieski Greenwich

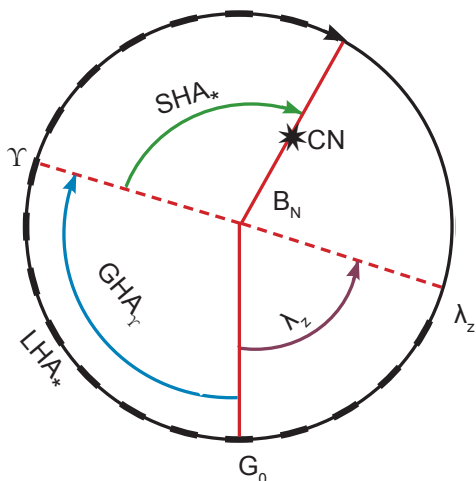
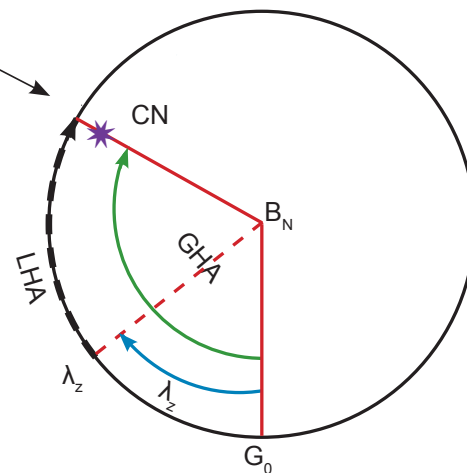
GHA → odczytany z Rocznika

B_N → biegun niebieski N

λ_z → długość zliczona zachodnia

Z takiej sytuacji wynika zależność:

$$\widehat{LHA} = \widehat{GHA} - \widehat{\lambda_z}$$



CN → gwiazda, z Rocznika odczytamy SHA

SHA_* → odczytany z Rocznika dla danej gwiazdy

GHA_γ → odczytany z Rocznika dla ARIES

λ_z → długość geograficzna zliczona wschodnia

W takiej sytuacji mamy zależność:

$$\widehat{LHA_*} = \widehat{\lambda_z} + \widehat{GHA_\gamma} + \widehat{SHA_*}$$

To tylko przykłady obliczeń LHA, operując łukami (kątami) bez znaków.

Przykłady numerycznego obliczania LHA.

rzeczywistego południka. Gdybyśmy mieli dokładną długość, nie byłoby potrzeby określać pozycji metodami astronomicznymi. Zliczona musi nam wystarczyć.

Wykonując szkic, starajmy się zachować proporcje między występującymi na nim kątami, aby nie zafałszować ostatecznego obrazu sytuacji.

Wszystkie współrzędne astronomiczne, jakich używamy w nawigacji, mierzone w płaszczyźnie równika astronomicznego, odmierzają się na zachód. Znaczą to, że na półkuli północnej zgodnie z ruchem wskazówek zegara, patrząc od strony bieguna.

Odczytany z Rocznika Astronomicznego GHA Słońca, Księżyca lub planety nanosimy na kółko, odmierzając od Greenwich na zachód w systemie okrężnym. W ten sposób znajdujemy koło godzinne (południk), na jakim ciało niebieskie było w momencie pomiaru.

LHA – kąt, którego poszukujemy, odmierzają się od naszego południka również na zachód. Jeśli zmierzaliśmy wysokość gwiazdy, pamiętajmy, że jej współrzędna – SHA – jest podawana od południka (koła godzinnego) punktu Barana (ARIES), a nie od Greenwich. Położenie punktu Barana, czyli GHA_{ARIES}

znajdujemy na lewych stronach Rocznika. Odmierzając na szkicu od Greenwich na zachód kąt równy odczytanej wartości, naniemy koło godzinne punktu Barana. Następnie musimy obliczyć LHA gwiazdy, widząc na szkicu wzajemne położenie wszystkich elementów. Każda sytuacja jest inna i za każdym razem sposób obliczenia LHA wyniknie wprost z wykonanego rysunku.

Szkice, różne dla każdej kolejnej sytuacji, mają nam pokazać wzajemne położenie południka Greenwich, południka naszej długości zliczonej oraz koła godzinnego ciała niebieskiego użytego do pomiaru. W przypadku pomiaru gwiazd wystąpi jeszcze jeden element: położenie punktu Barana. Z takiego szkicu możemy odczytać sposób obliczenia LHA.