

Astronomia

Wykład III



Wykład dla studentów geografii

Waldemar Ogłóza

www.as.up.krakow.pl

>> „dla studentów”



Ruch obrotowy Ziemi

Efekty ruchu wirowego Ziemi

- Zjawisko dnia i nocy
- Spłaszczenie Ziemi przez siłę odśrodkową bezwładności
- Zależność ciężaru od szerokości geograficznej
- Siła Coriolisa
- Zmiana płaszczyzny wahań wahadła Foucaulta

Zmierzchy i świty

Zjawisko:

- Zachód, wschód

Wysokość Słońca :

$$h = 0^0$$

uwzględniając refrakcję i rozmiar tarczy

$$h = -51'$$

- Zmierzch cywilny

$$0^0 > h \geq -6^0 \quad \text{Jest jasno}$$

- Zmierzch nautyczny
(żeglarski)

$$-6^0 > h \geq -12^0$$

Nie można czytać bez światła

- Zmierzch
astronomiczny

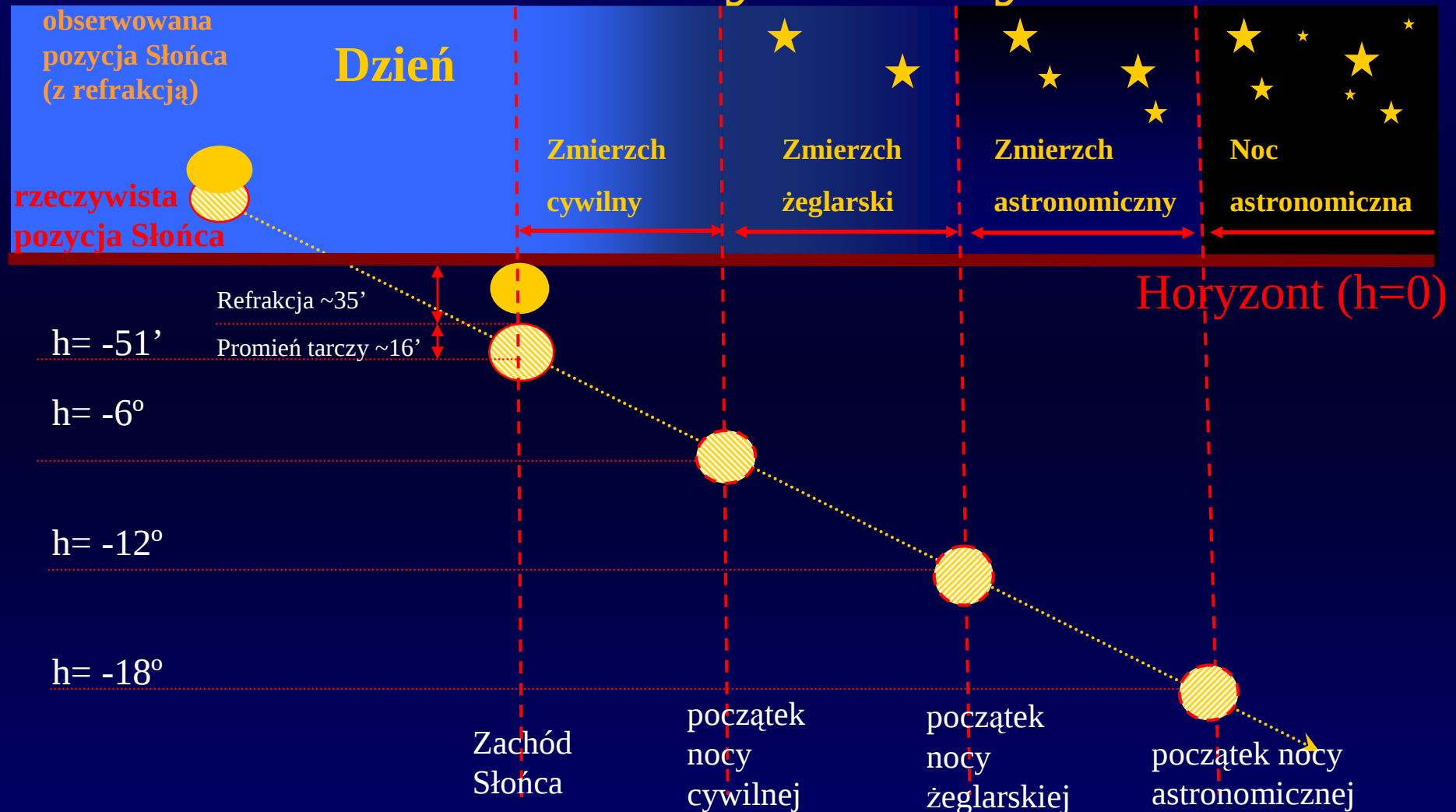
$$-12^0 > h \geq -18^0 \quad \text{Widać jasne gwiazdy}$$

- Noc astronomiczna

$$-18^0 > h$$

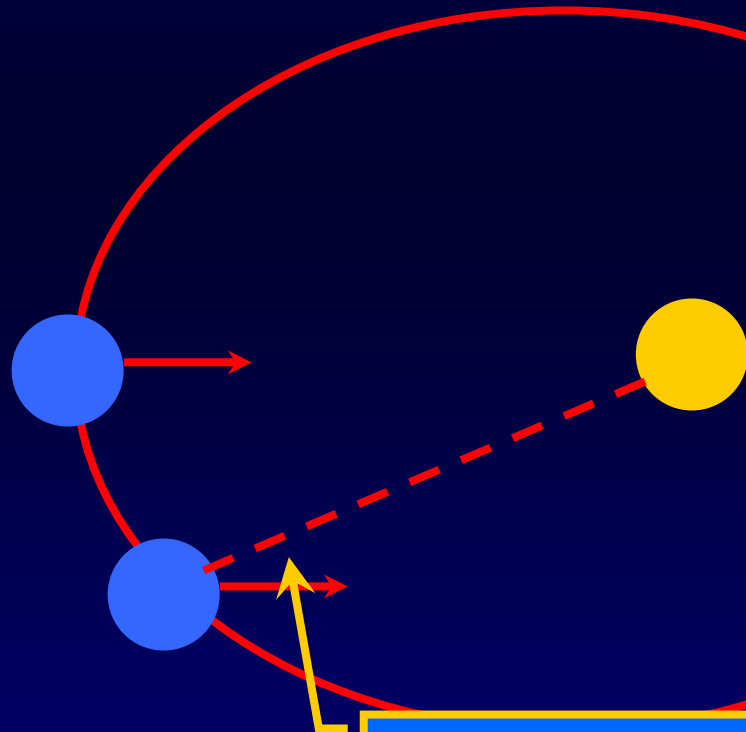
Nie widać żadnej części oświetlonej
atmosfery ziemskiej

Zmierzchy i świty



Obrót Ziemi

- Okres obrotu Ziemi trwa 23h 56m 04.09s
- Ziemia obraca się z zachodu na wschód



Ponieważ Ziemia przemieszcza się wokół Słońca, to po obrocie o kąt 360° musi obrócić się jeszcze dodatkowo o ok. 1° aby Słońce wróciło na swoją pozycję. Trwa to około 4 minut. Zatem doba słoneczna trwa 24^h i jest dłuższa od doby gwiazdowej

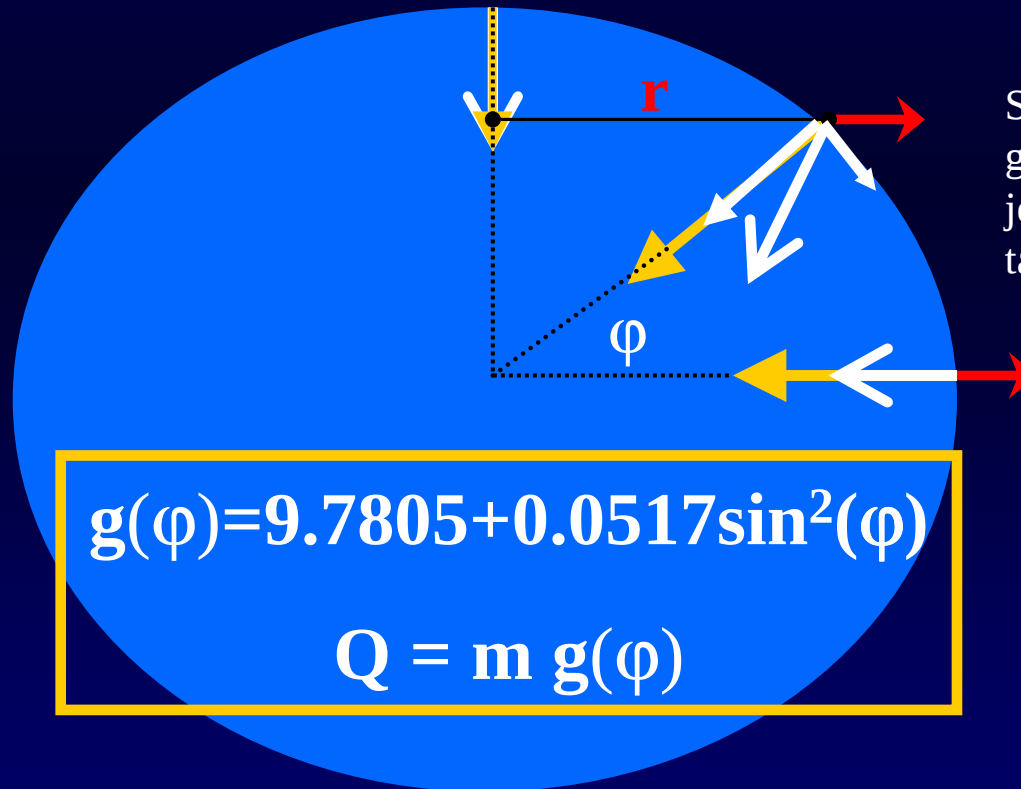
Kąt $\sim 1^\circ$ (zależy od pozycji Ziemi na orbicie)

Siła odśrodkowa bezwładności

$$\vec{F}_{\text{odś}} = mv^2/r$$

$$\vec{F}_g = mg_{\text{graw}}$$

$$\vec{Q} = \vec{F}_g - \vec{F}_{\text{odś}}$$



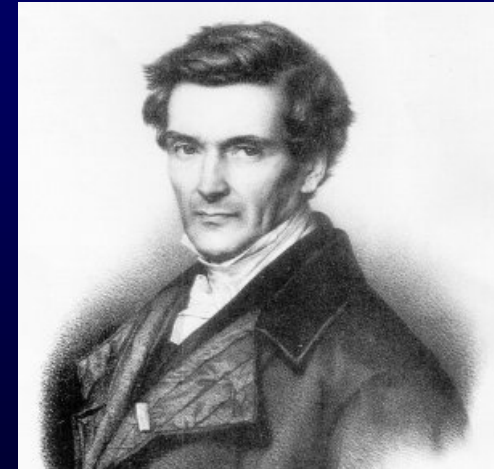
Składowa równoległa do
gruntu siły wypadkowej Q
jest równoważona przez
tarcie

g – przyspieszenie

Q – ciężar

φ – szer. geog.

Siła Coriolisa



- Jest obecna we wszystkich układach obracających się z jakąś prędkością kątową $\vec{\omega}$
- Dotyczy wszystkich ciał poruszających się z liniową prędkością $\vec{v}$
- Wartość i zwrot siły Coriolisa określa iloczyn wektorowy (symbol: $\times$) wektorów $\vec{v}$ i $\vec{\omega}$

$$\vec{F} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Iloczyn wektorowy

- Wartość siły (długość wektora) wynosi: $F = |\vec{F}| = 2m \mathbf{v} \omega \sin(\alpha)$ gdzie:

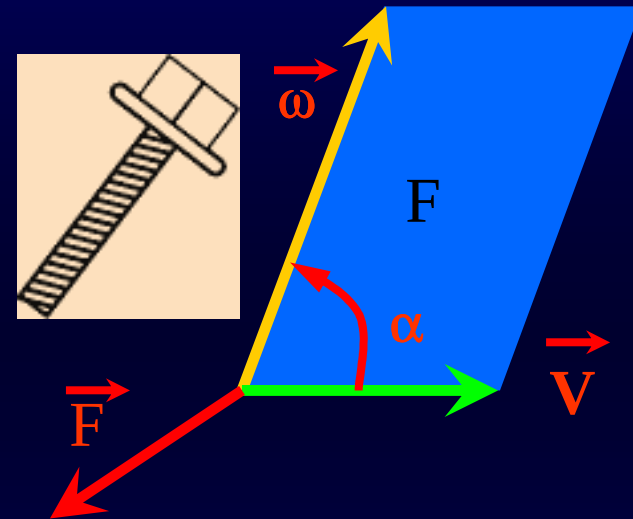
v - wartość prędkości

ω - wartość prędkości kątowej $[\text{radian} / \text{s}]$

α - kąt pomiędzy wektorami $\vec{v}$ i $\vec{\omega}$

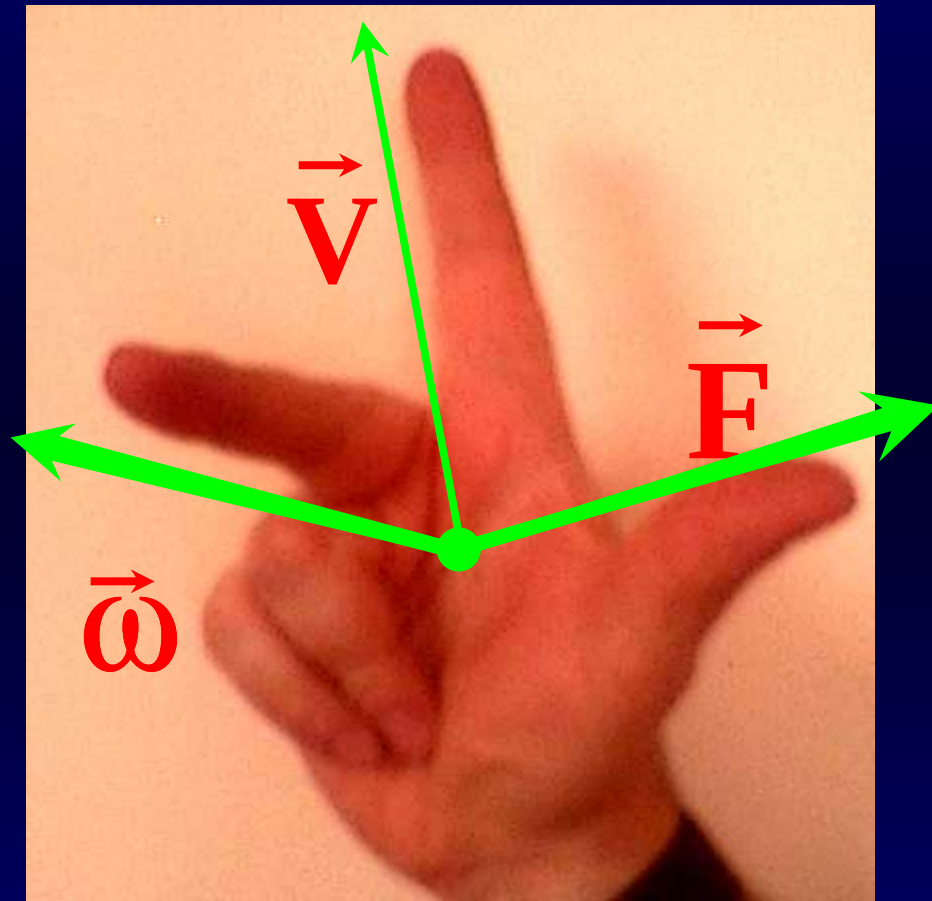
- Zwrot określa reguła wektorów prawoskrętnych

(tzw. reguła **prawej** śruby)

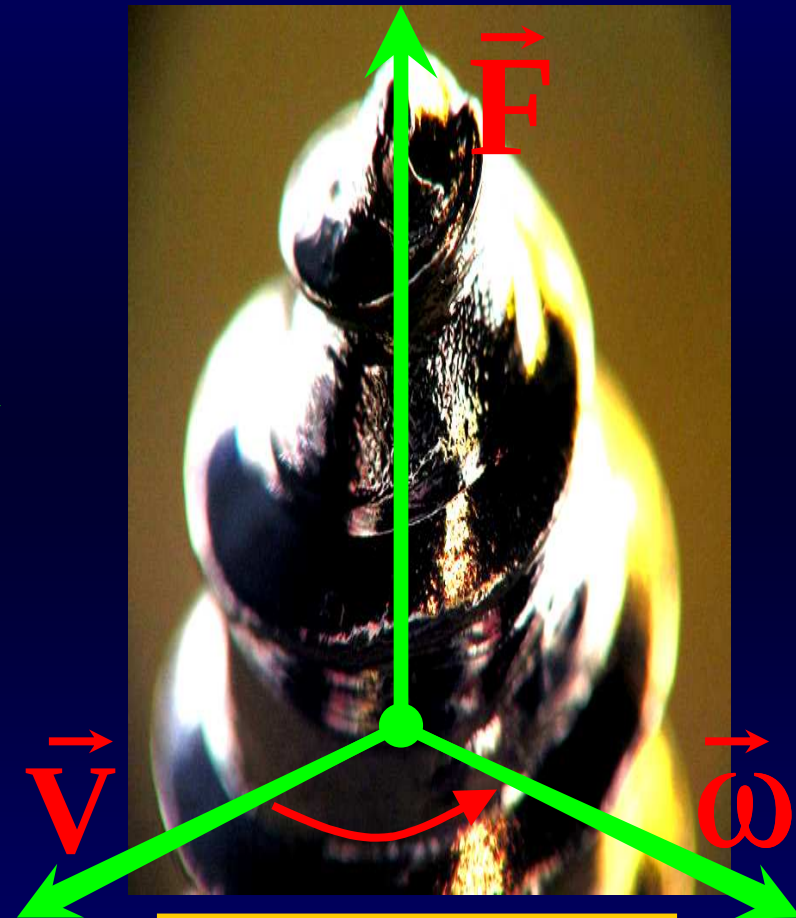


$$\vec{F} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Reguła 3 palców | Reguła śruby!!!



PRAWA RĘKA



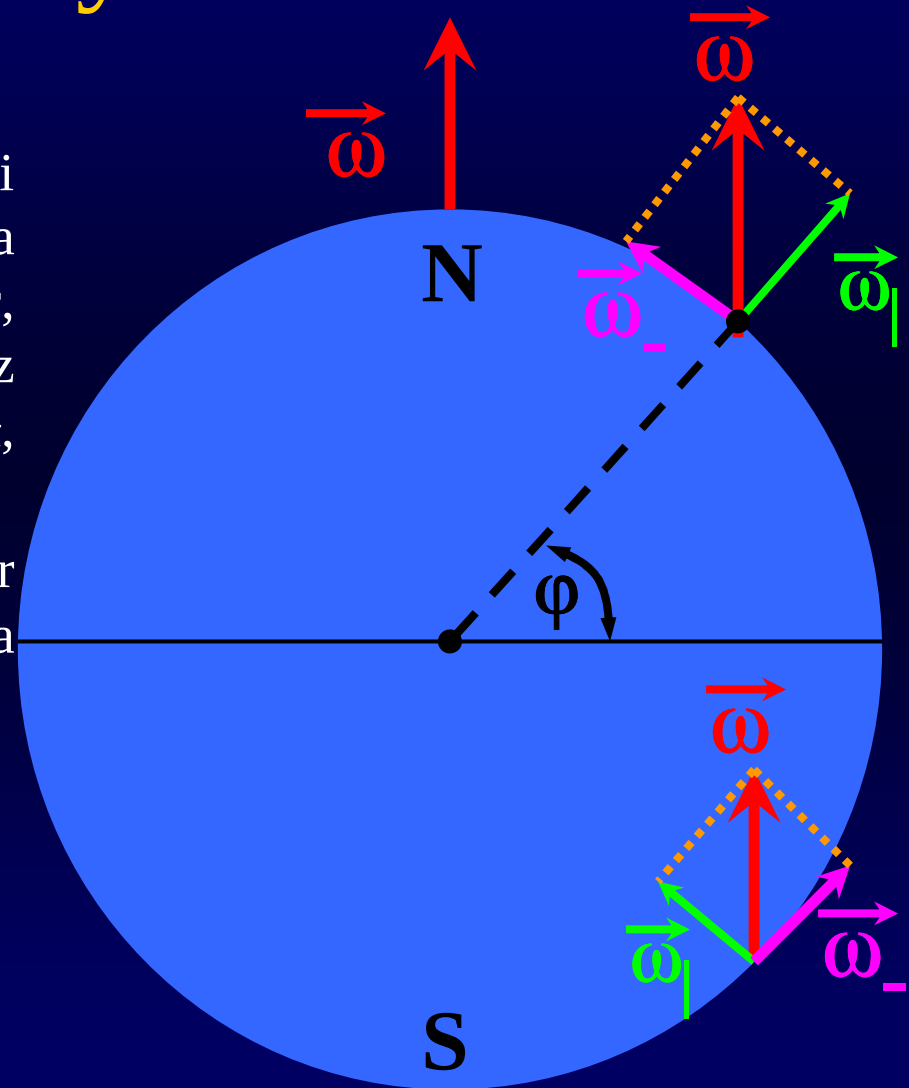
PRAWA ŚRUBA

Składowe siły Coriolisa

- Na powierzchni Ziemi najczęściej mamy do czynienia z ruchami w poziomie (wiatr, rzeki, pojazdy itp.) oraz z ruchami w pionie (spadek ciał, konwekcja powietrza)
- Wygodnie jest rozłożyć wektor $\vec{\omega}$ na składową pionową $\vec{\omega}_\parallel$ i na składową poziomą $\vec{\omega}_\perp$

$$\omega_\parallel = \omega \sin(\varphi)$$

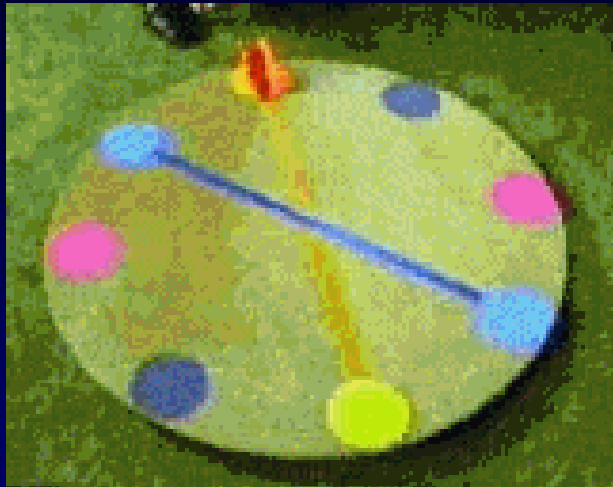
$$\omega_\perp = \omega \cos(\varphi)$$



Ruch w poziomie na półkuli północnej

Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_\parallel$

- Składowa siły Coriolisa pomiędzy poziomym wektorem prędkości $\vec{v}$ i wektorem $\vec{\omega}_\parallel$ powoduje zbaczenie wszystkich ciał w prawo od kierunku ich ruchu
- Zobacz: www.as.up.krakow.pl/edu/prezentacje.html >> coriolis.ppt



Ruch w poziomie na półkuli północnej

Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_l$

Efekty na półkuli północnej:

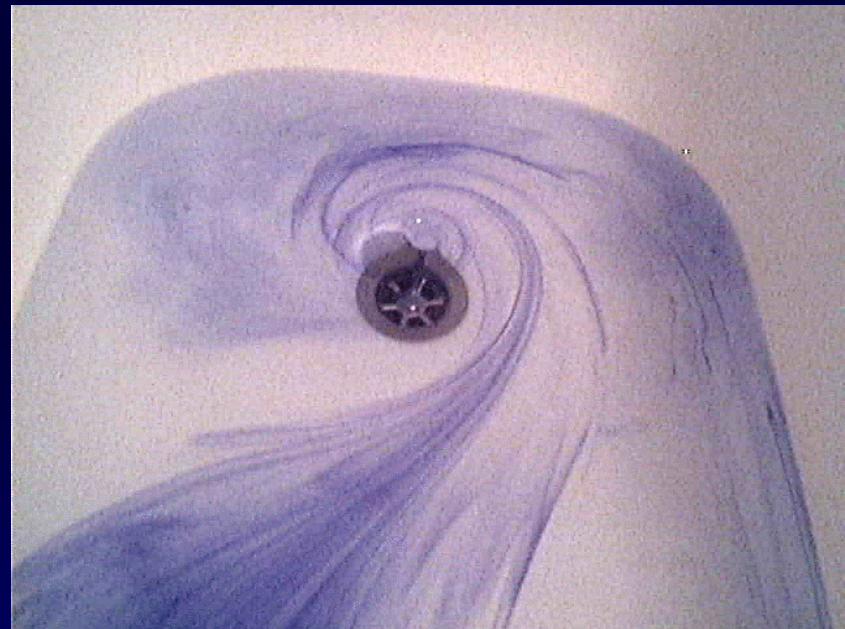
- Ruch mas powietrza
- Podmywanie prawych brzegów rzek (niezależnie od kierunku w jakim płyną)
- Szybsze ścieranie się prawych szyn kolejowych
- Odchylenie pocisków

• Na równiku $\vec{\omega}_l$ znika !

Ruch w poziomie na półkuli północnej Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_\parallel$

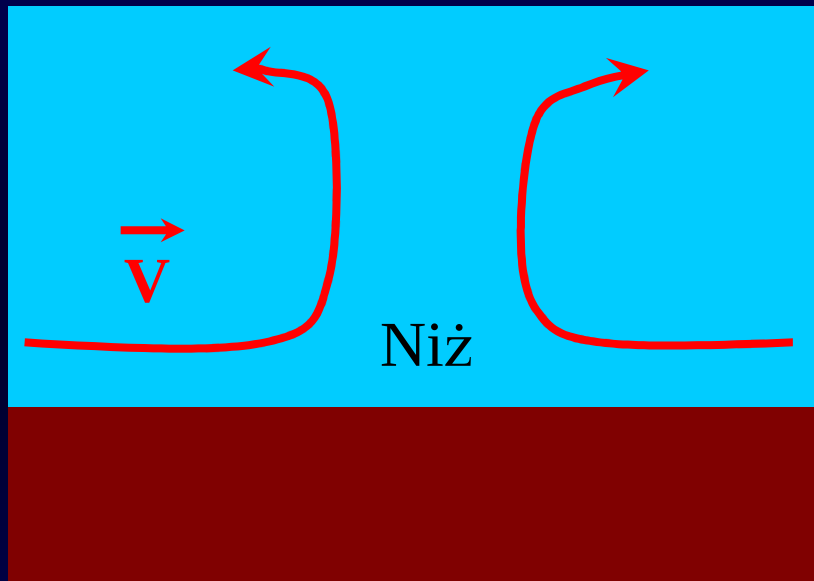


Ruch w poziomie na półkuli północnej Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_l$

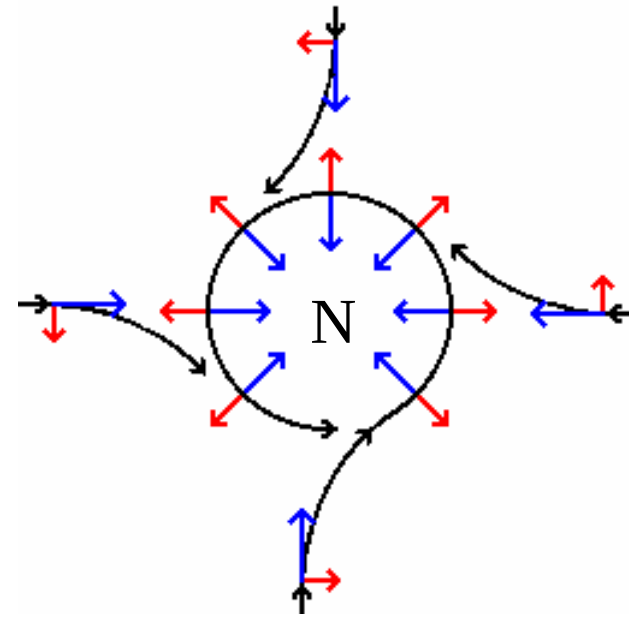


Ruch w poziomie na półkuli północnej

Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_l$



Widok z boku

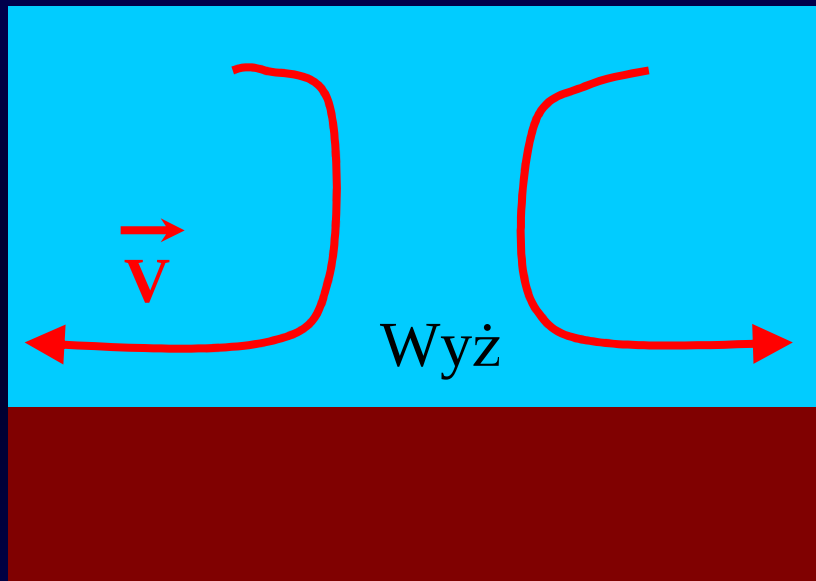


Widok z góry

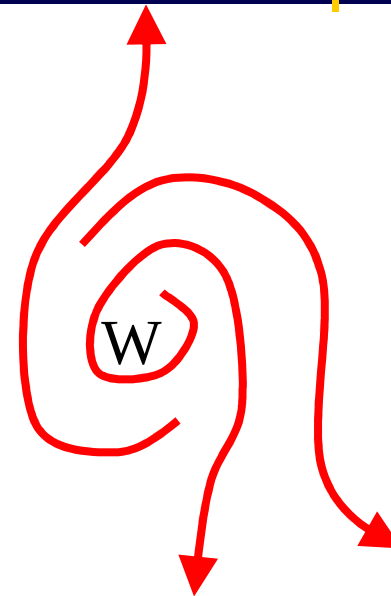
Ruch przeciwny do
wskazówek zegara

Ruch w poziomie na półkuli północnej

Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_l$



Widok z boku



Widok z góry

Ruch zgodnie ze
wskazówkami zegara

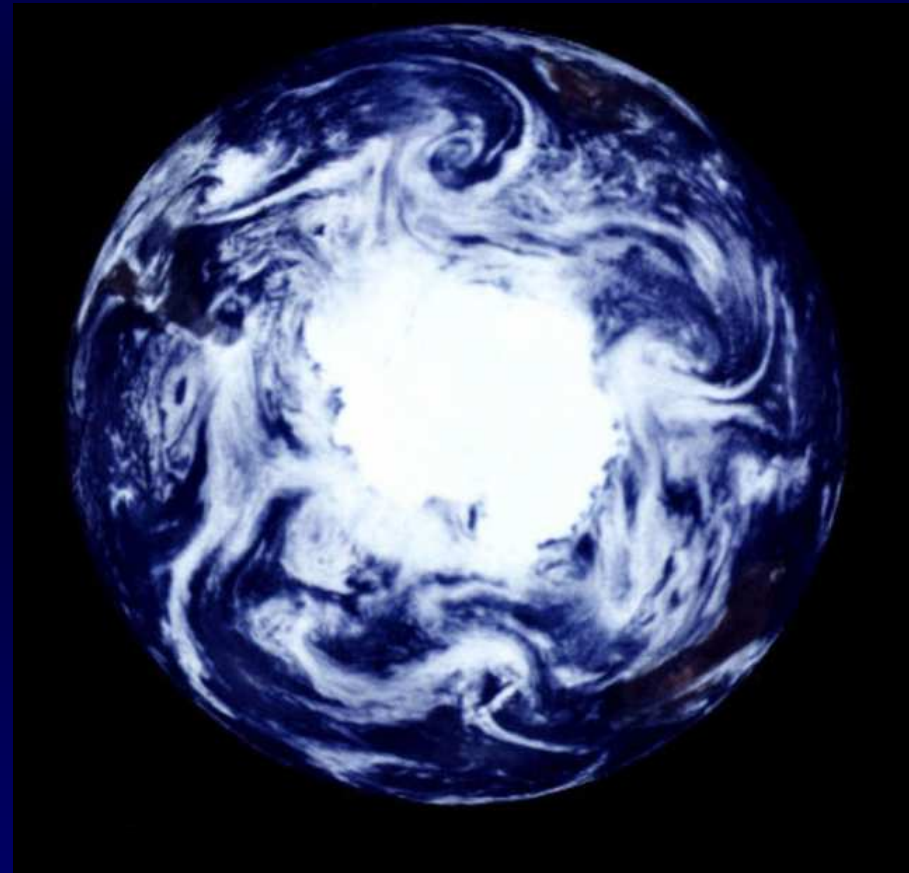
Na półkuli południowej jest odwrotnie!

Na półkuli północnej w niżu barycznym powietrze krąży przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara a na południowej – zgodnie ze wskazówkami zegara.

Półkula północna.

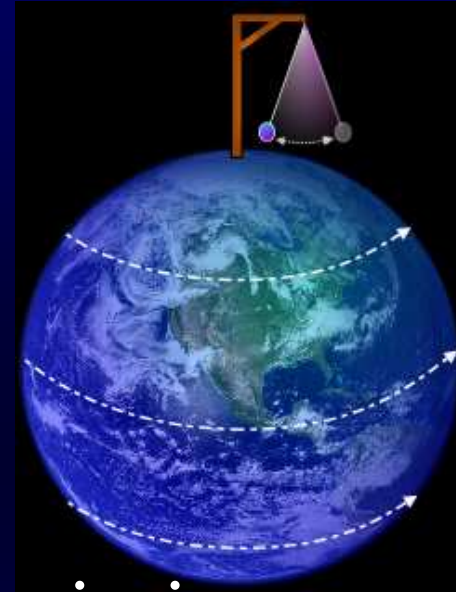


Półkula południowa



Wahadło Foucaulta

- Na biegunie płaszczyzna wahań jest stała w przestrzeni (zasada zachowania momentu pędu)
- Dla obserwatora związanego z wirującą Ziemią płaszczyzna wahań będzie się pozornie skręcać a okres jej obrotu będzie równy okresowi obrotu Ziemi

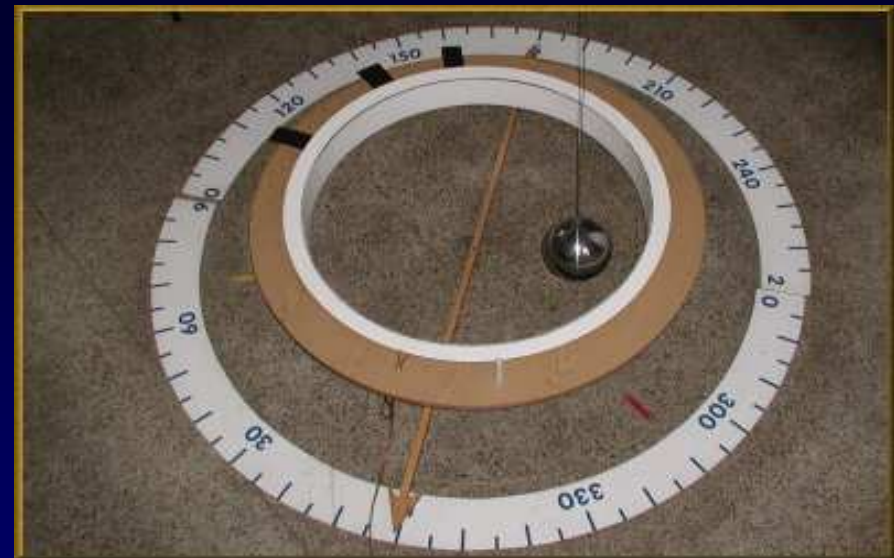
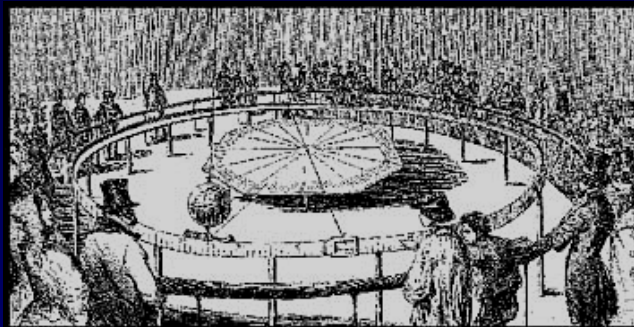
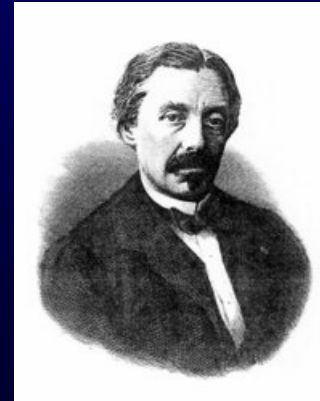
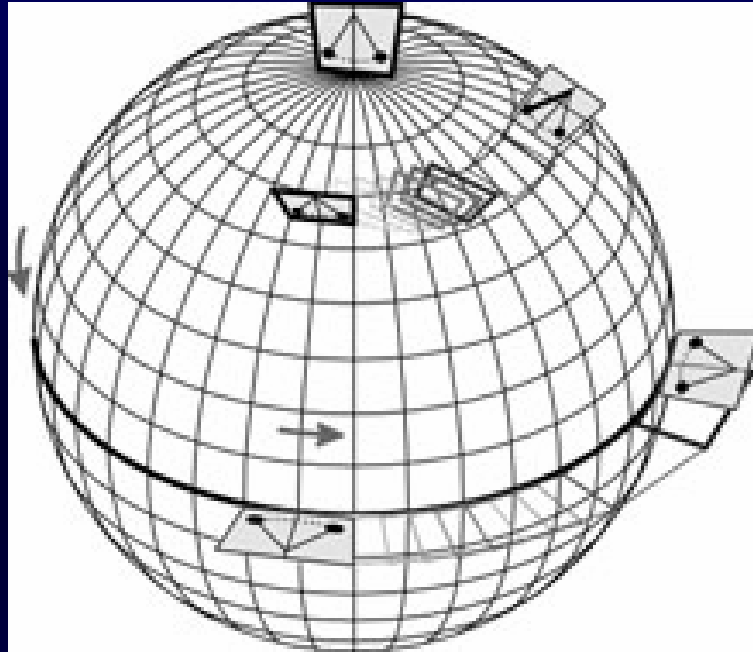


Wahadło Foucaulta

- Poza biegunem płaszczyzna wahań nie może być stała gdyż porusza się punkt zamocowania wahadła
- Zaobserwowano, że poza biegunem okres obrotu płaszczyzny wahań będzie zależał od szerokości geograficznej φ :

$$P = T / \sin (\varphi) = (23\text{h } 56\text{m } 04.09\text{s}) / \sin (\varphi)$$

Jean Bernard Léon Foucault i jego wahadło



Ruch w poziomie na półkuli północnej

Oddziaływanie ze składową $\vec{\omega}_-$

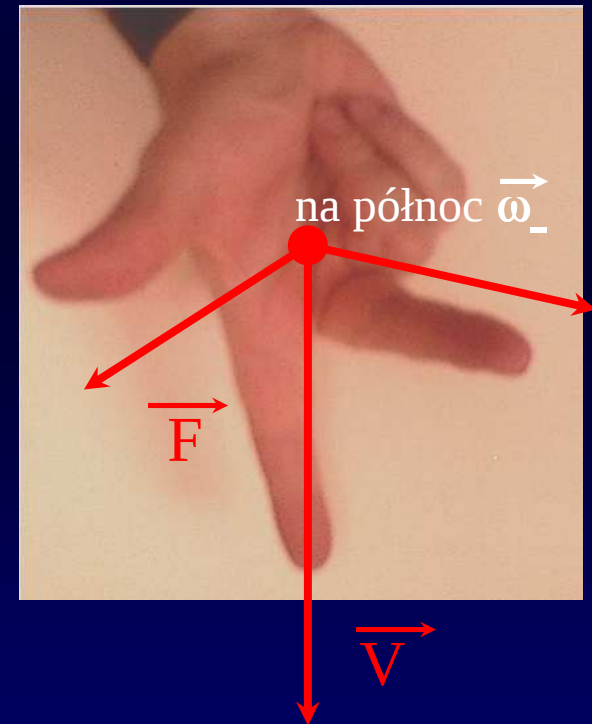
Oddziaływanie to powoduje zmianę ciężaru ciała, w zależności od kierunku ruchu ciała

Wektory $\vec{v}$ i $\vec{\omega}_-$ leżą poziomo, zatem wektor siły $\vec{F}$ jest skierowany pionowo

Ruch na wschód ciężar maleje, na zachód ciężar rośnie

Ruch w PIONIE na półkuli północnej

- Znika oddziaływanie z wektorem $\vec{\omega}_\parallel$ bo $\sin(\alpha) = 0$ ($\alpha=0^\circ$ lub $\alpha=180^\circ$)
- Oddziaływanie z wektorem $\vec{\omega}_\perp$ (skierowanym na północ) powoduje odchylenie toru ciała od linii pionu
- Jeśli ciało spada odchylane jest na wschód
- Jeśli się wznosi to odchylane jest na zachód



Czas i kalendarz

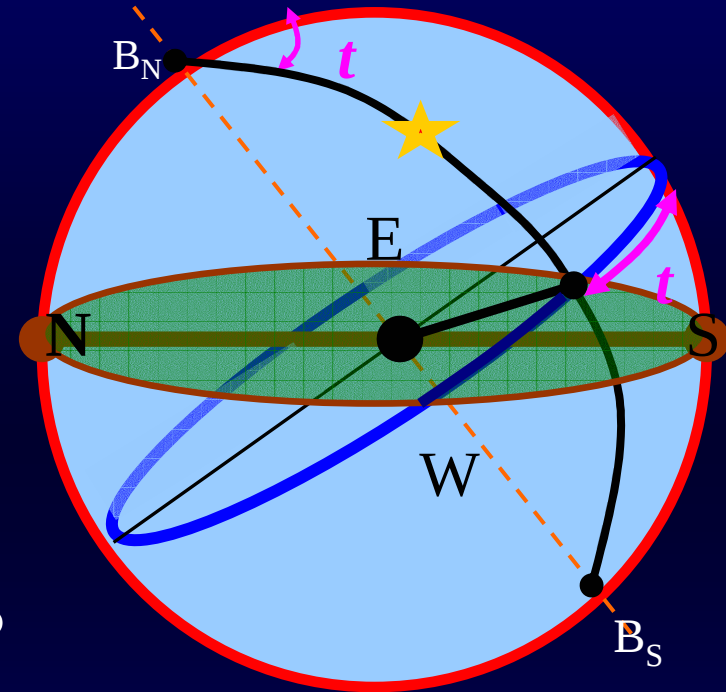
Czas a kąt godzinny

Kąt godzinny to kąt t pomiędzy płaszczyzną południka niebieskiego a płaszczyzną wyznaczoną przez oś świata i obiekt na niebie

Czas astronomiczny jest wyznaczony przez Kąt Godzinny różnych obiektów:

Punkt Barana (Υ) - Czas gwiazdowy	T^*
Słońce $+12^h$ - Czas prawdziwy słoneczny	$T_{P\odot}$
Słońce średnie $+12^h$ - Czas miejscowy (średni słoneczny)	$T_{S\odot}$

Są to czasy lokalne tj. zależą od długości geograficznej obserwatora !!!



Czas gwiazdowy T^*

(lokalny to znaczy zależny od długości geograficznej!)

Doba gwiazdowa:

Okres po którym gwiazdy wracają na to samo miejsce na sferze niebieskiej

W tym czasie Ziemia obraca się o 360°

Czas gwiazdowy jest równy
kątowi godzinnemu punktu Barana γ
(punkt równonocy wiosennej)

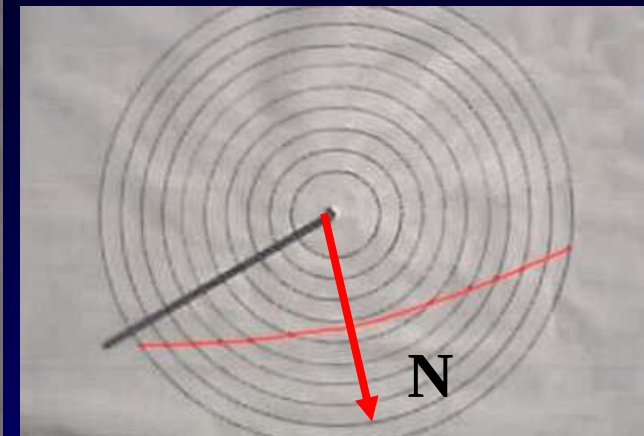
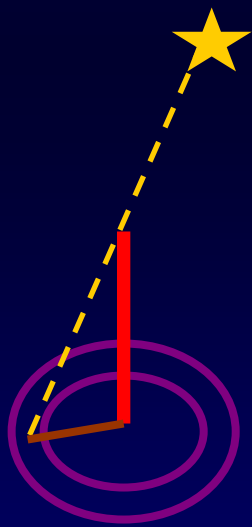
$$T^* = t_{p. B.} = t_\gamma$$



Pomiary czasu z obserwacji Słońca

Gnomon - najstarszy zegar ma kilka wad:

- niejednorodny ruch cienia
- zmiana długości cienia



Zegary słoneczne



Zegary słoneczne:

- „gnomon” równoległy do osi świata
- jednostajny ruch cienia
- odczyt w pobliżu płaszczyzny równika



Czas prawdziwy słoneczny $T_{p\odot}$ (lokalny!)

Zegary słoneczne wskazują czas prawdziwy słoneczny $T_{p\odot}$.

$$T_{p\odot} = t_{p\odot} + 12^h$$

gdzie $t_{p\odot}$ to kąt godzinny Słońca prawdziwego

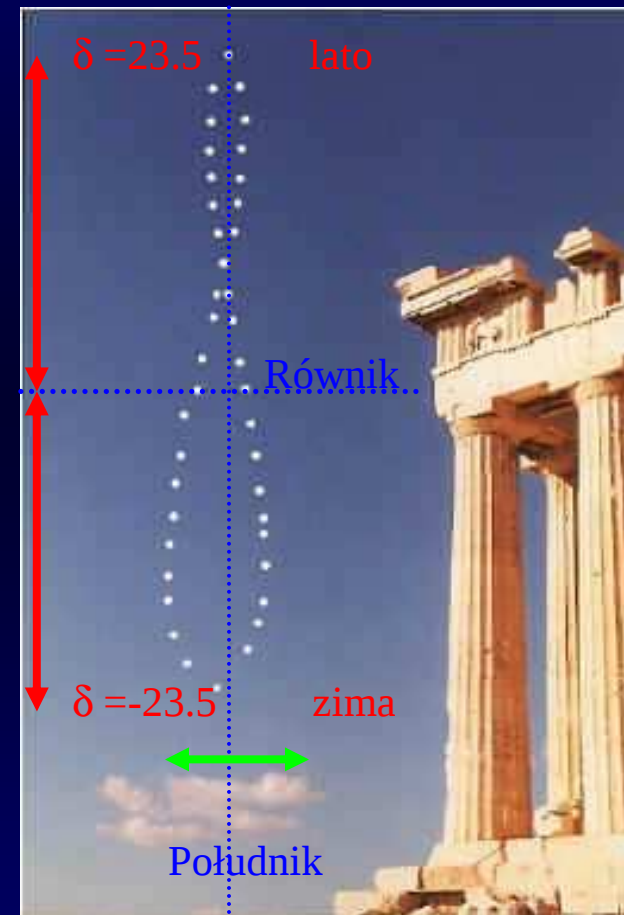


Zegary słoneczne źle chodzą!!

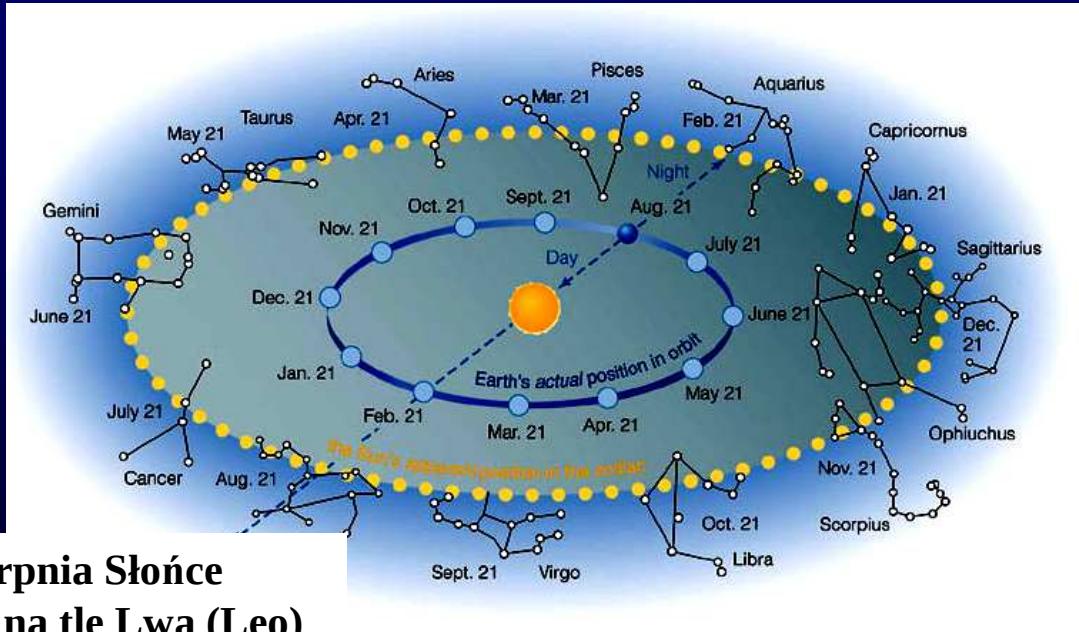
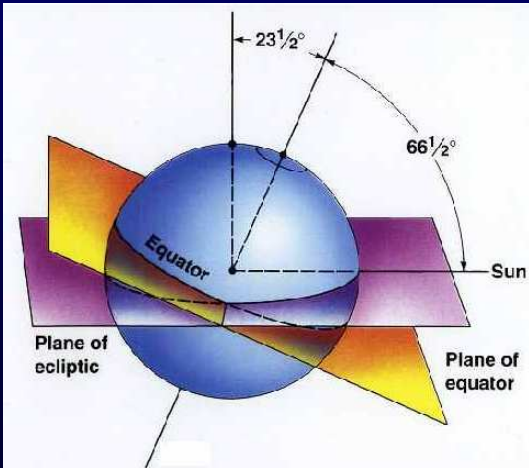
Analemma – rejestracja pozycji Słońca dokładnie o tej samej godzinie w ciągu roku (np. 12)

Słońce sezonowo zmienia wysokość nad horyzontem (zmiana deklinacji od $\delta = -23.5^\circ$ do $\delta = 23.5^\circ$)

Czasem Słońce spóźnia się i nie zdąża wrócić na swoje miejsce na niebie a czasem spieszy i znajduje się już za południkiem niebieskim



Ekliptyka



21 Sierpnia Słońce widać na tle Lwa (Leo)

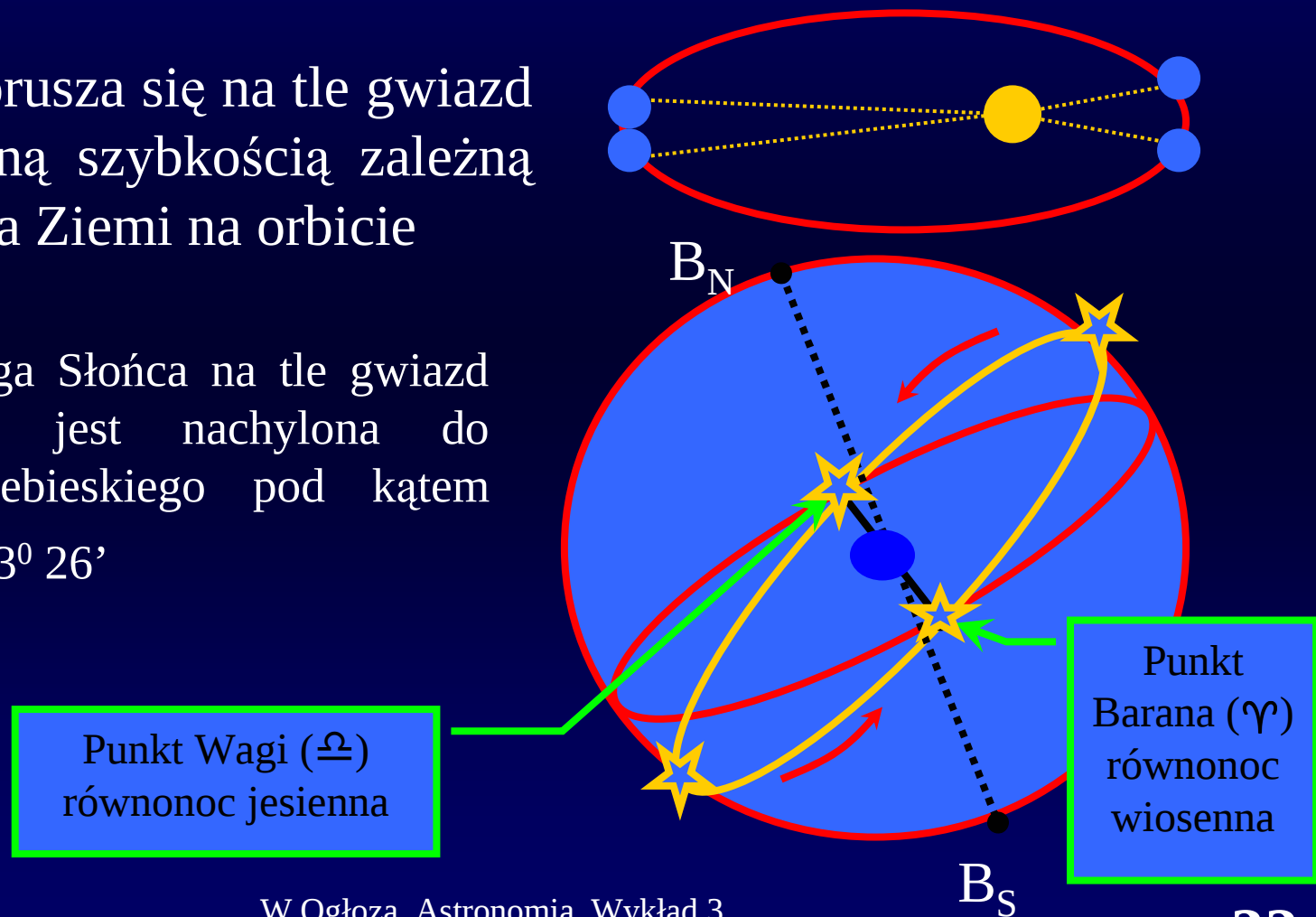
EKLIPTYKA:

- Roczna droga Słońca na tle gwiazd.
- Koło wielkie na sferze niebieskiej nachylone do równika.
- Przecina się z równikiem niebieskim w punktach Barana i Wagi
- Efekt projekcji ruchu obiegowego Ziemi .
- Płaszczyzna ekliptyki to inaczej płaszczyzna orbity Ziemi.
- Równanie ekliptyki $\delta = \arcsin (\sin \alpha \sin \varepsilon)$,

Zegary słoneczne źle chodzą!!

Słońce porusza się na tle gwiazd ze zmienną szybkością zależną od miejsca Ziemi na orbicie

Roczna droga Słońca na tle gwiazd (**Ekliptyka**) jest nachylona do równika niebieskiego pod kątem równym $\sim 23^{\circ} 26'$

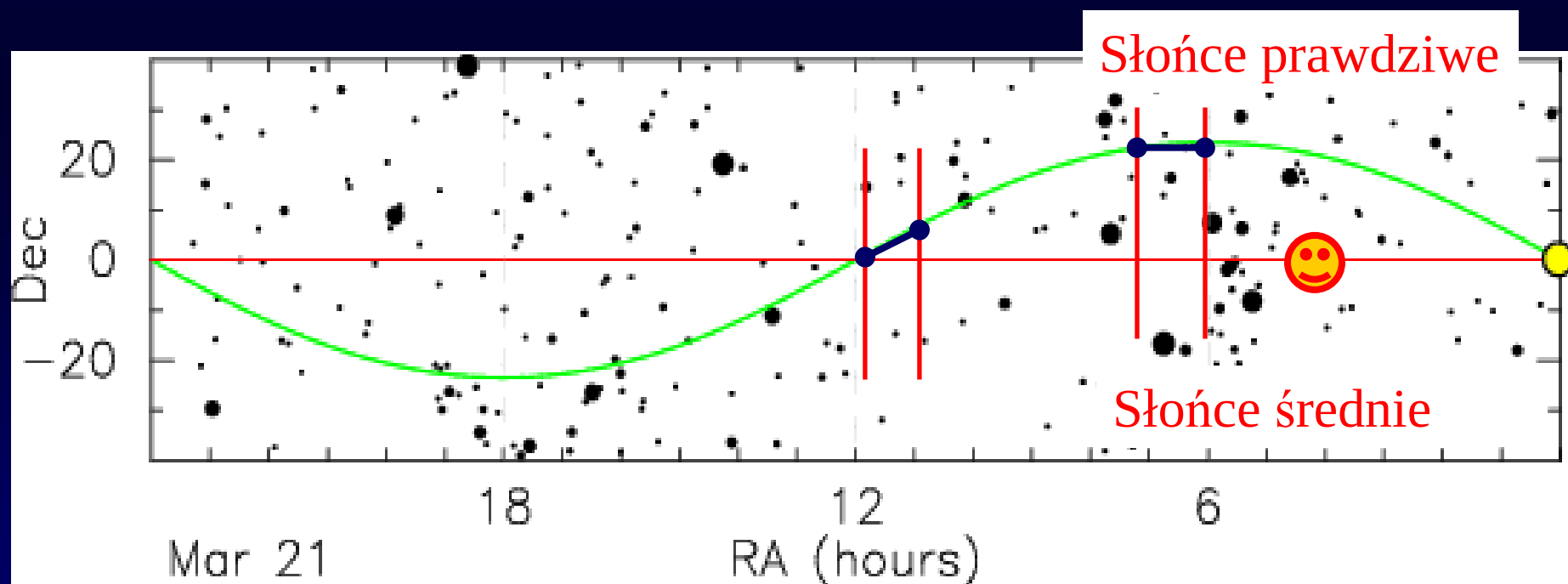


Roczny ruch Słońca po ekliptyce

Rzut dobowej drogi Słońca na **ekliptyce** na **równik niebieski** ma zmienną długość, zależną od pory roku.

Słońce Średnie to punkt poruszający się po równiku niebieskim ze stałą prędkością kątową.

Prędkość ta jest równa średniej prędkości słońca prawdziwego w rektascensji w czasie roku



Czas średni słoneczny $T_{s\odot}$ (lokalny!) inaczej Czas Miejsowy

- Czas $T_{s\odot}$ zmienia się jednostajnie zgodnie z jednostajnym ruchem umownego „słońca średniego” po równiku niebieskim
- $T_{s\odot}$ jest równy kątowi godzinnemu słońca średniego plus 12^h

$$T_{s\odot} = t_{s\odot} + 12^h$$

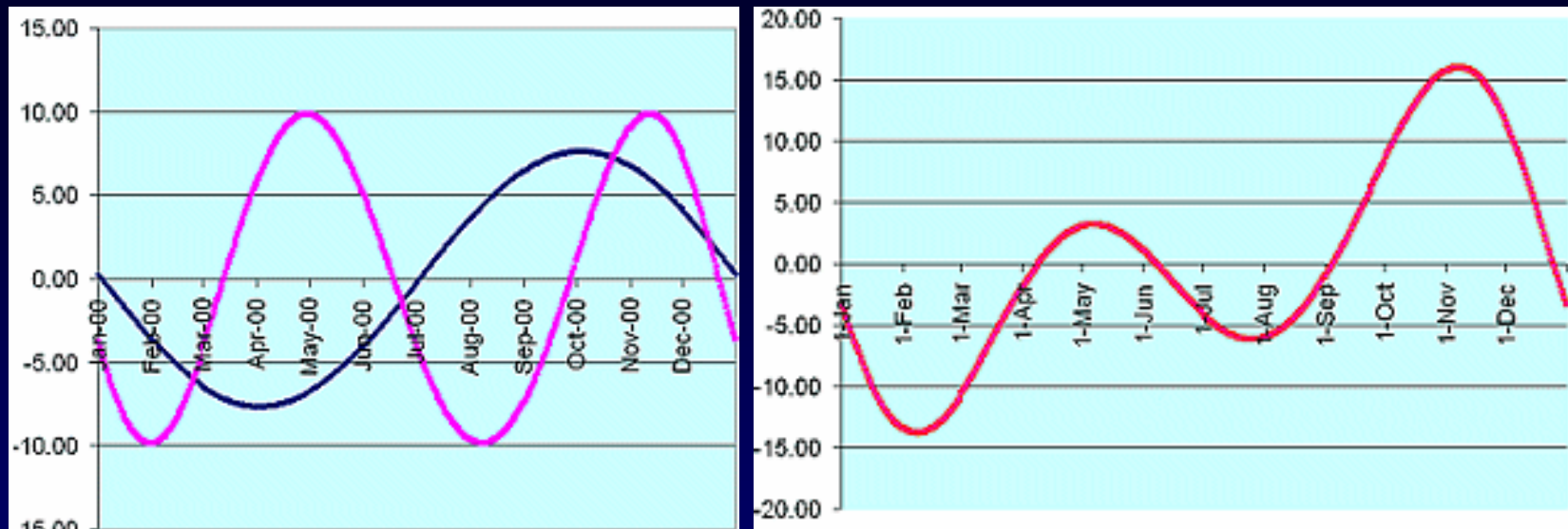
- Gdyby słońce średnie mogło naprawdę świecić to zegary słoneczne wskazywałyby czas średni słoneczny

Równanie czasu (R)

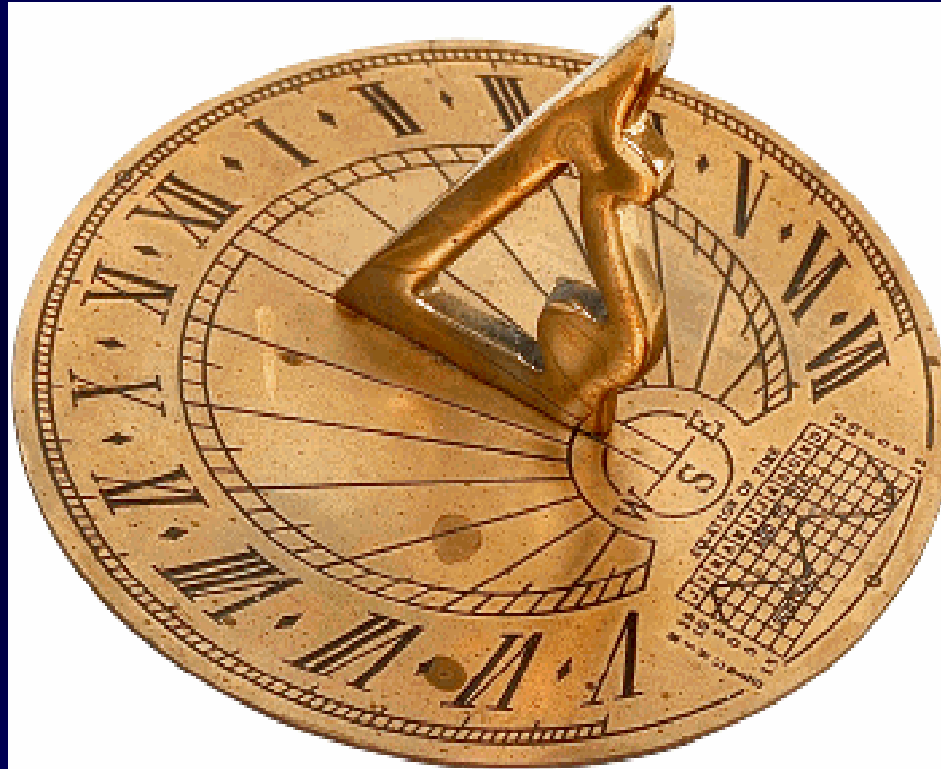
Równanie czasu R to różnica pomiędzy czasami $T_{p\odot}$ i $T_{s\odot}$

$$T_{p\odot} = T_{s\odot} + R$$

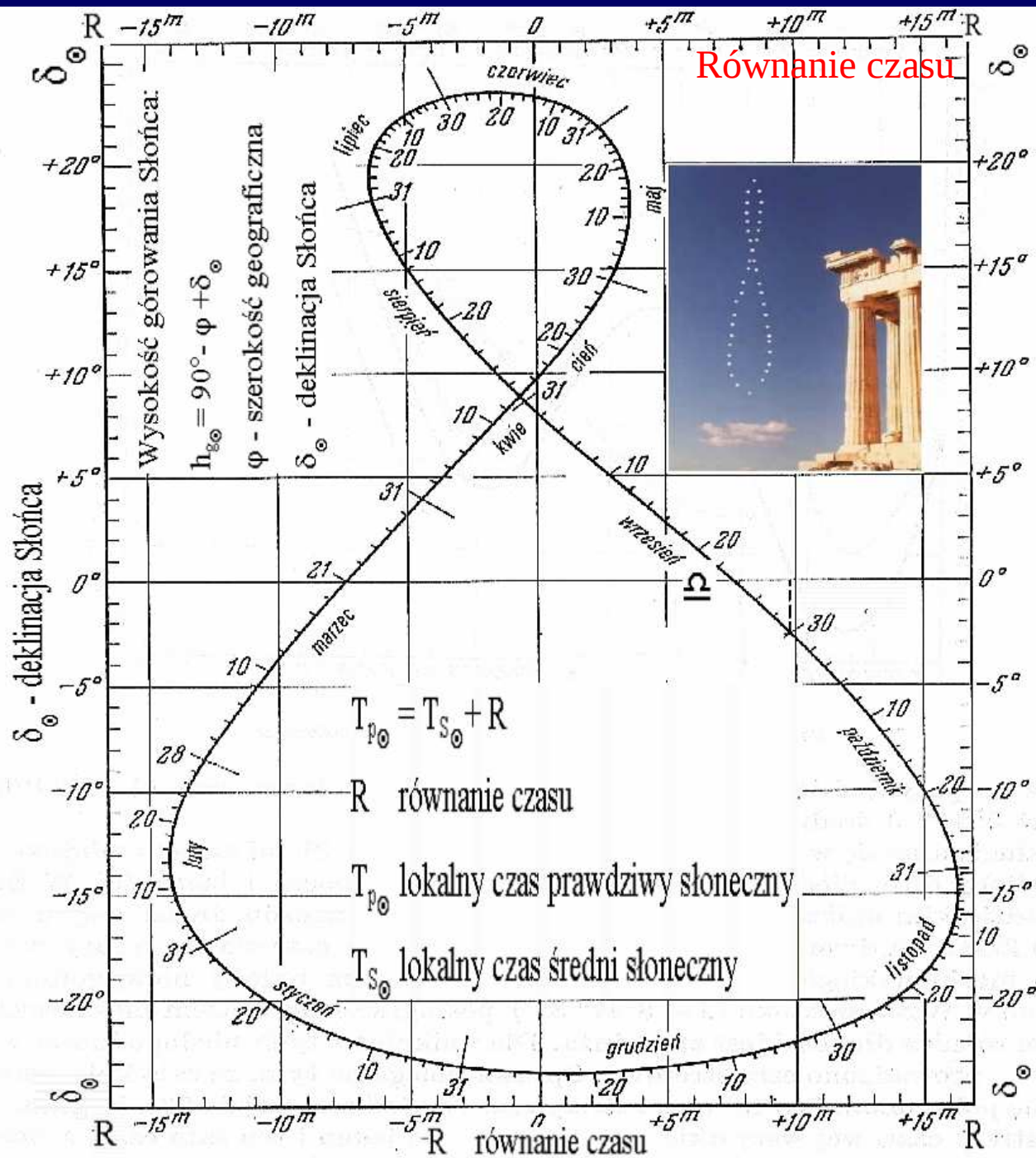
Wartość R zależy od pory roku i jest sumą obu odchyłek ruchu Słońca prawdziwego od jednostajności



Równanie czasu



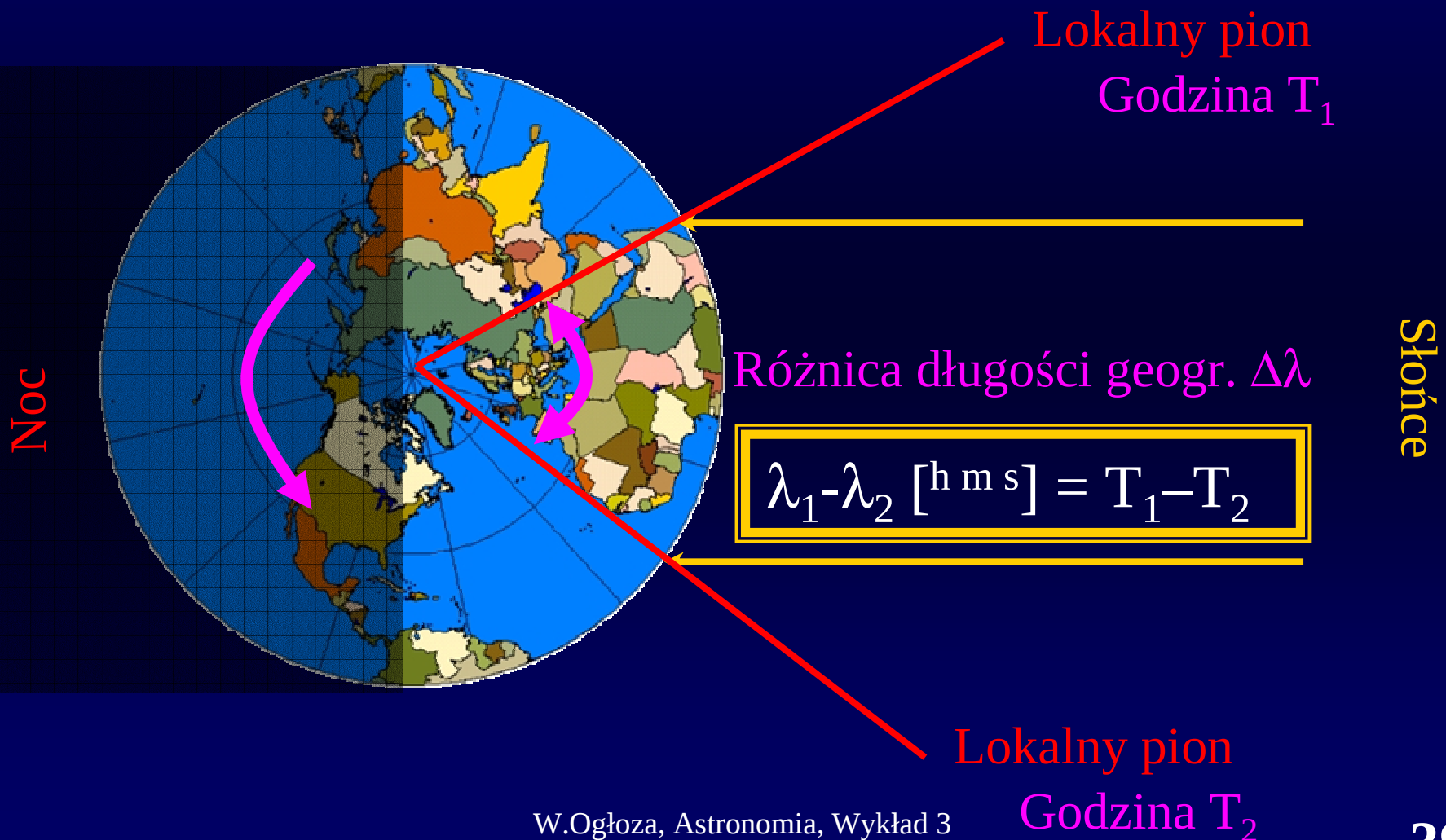
Zegar dla półkuli południowej



Czas lokalny a długość geograficzna



Czas lokalny a długość geograficzna



Czas strefowy

- Na powierzchni Ziemi ustanowiono **24 strefy** w których czas urzędowy **różni się o pełną godzinę**
- W danej strefie obowiązuje czas centralnego południka
- Strefa ma szerokość 15^0
- Granice stref zmodyfikowano by w terenach zamieszkałych pokrywały się z granicami administracyjnymi
- Przykłady:

UT	Universal Time	południk	$\lambda=0^0$	czas uniwersalny
CSE	Czas ŚrodkowoEuropejski		$\lambda=15^0$	czas zimowy
CWS	Czas WschodnioEuropejski		$\lambda=30^0$	czas letni

Czas strefowy



Czas strefowy

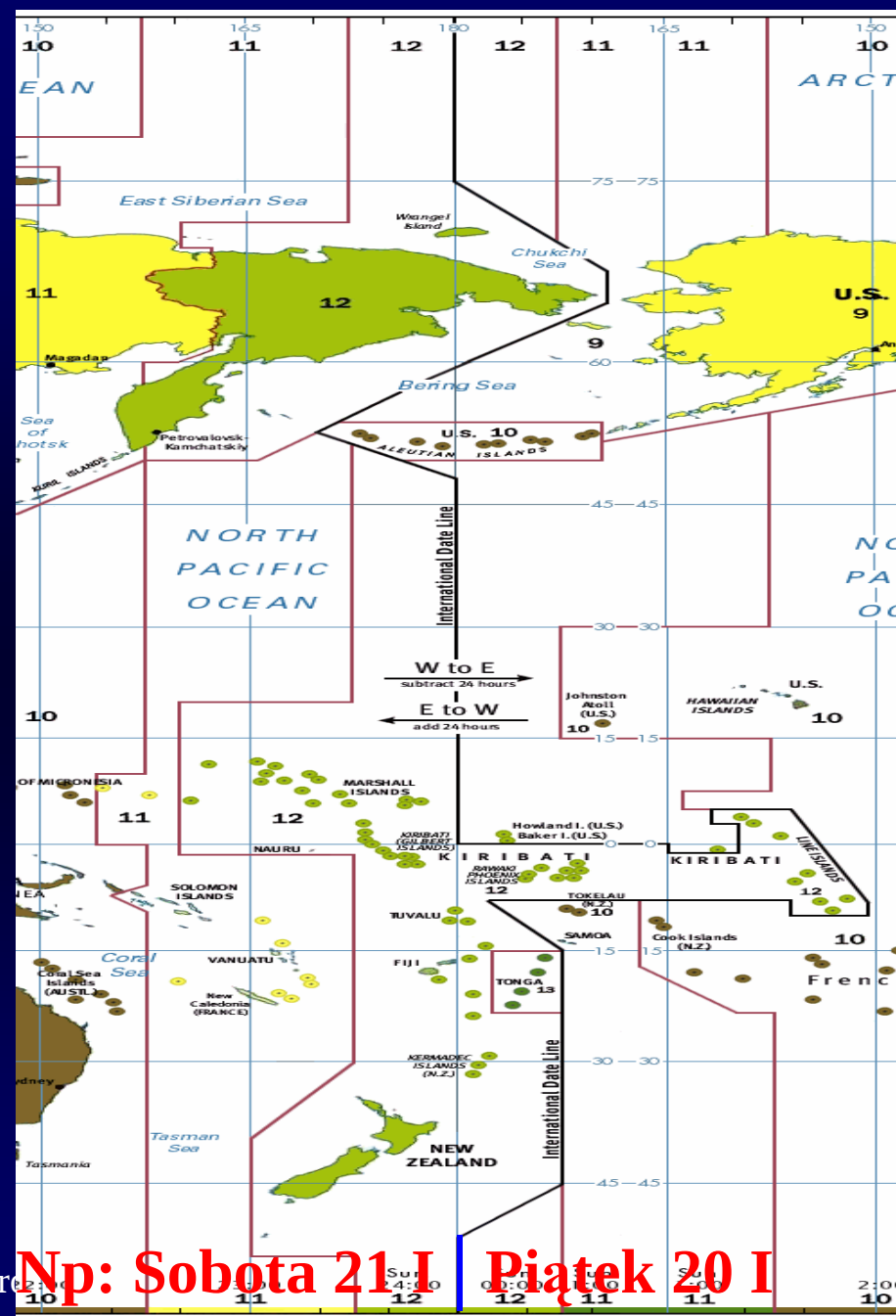
Zmiany czasu odbywają się w Europie w ostatnią niedzielę marca ($CSE+1=CWE$) i października ($CWE-1=CSE$) we wczesnych godzinach porannych.

Konsekwencją stref czasowych jest Międzynarodowa Linia Zmiany Daty

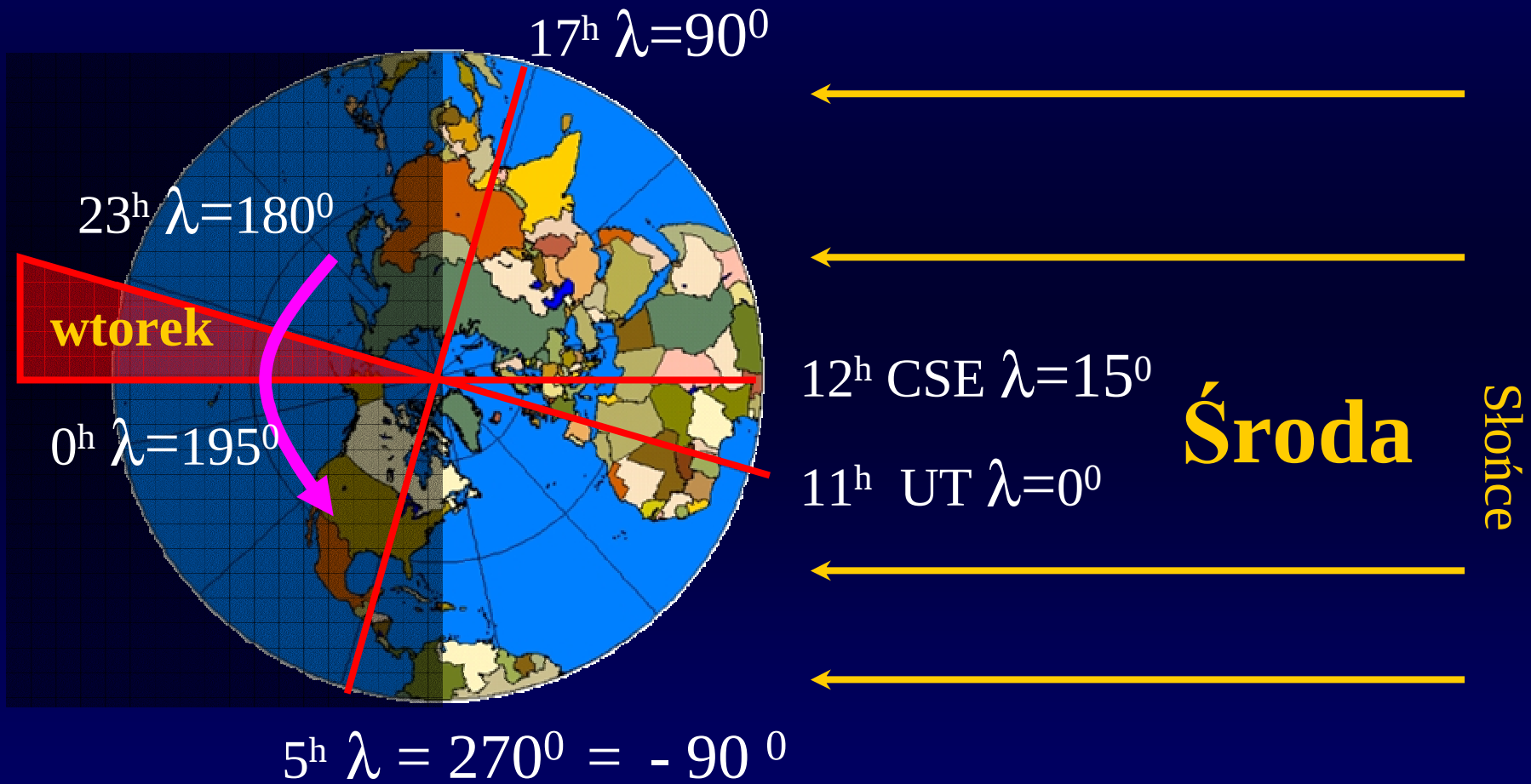
Przebiega wzdłuż południka 180° omijając lądy

Ostatnie poprawki:
w 1995 roku przez rząd Kiribati
w 2011 zmiana na wyspie Samoa

Najwcześniej dzień zaczyna się na atolu
Coroline $150^\circ 25' W$



Czas i data w danej chwili na Ziemi



Przyczyny wahań długości doby

Wpływ innych ciał np.:

- pływy
- precesja, nutacja

Zmiany rozkładu masy Ziemi np.:

- pory roku
- ocieplanie klimatu
- dryf kontynentów
- trzęsienia Ziemi

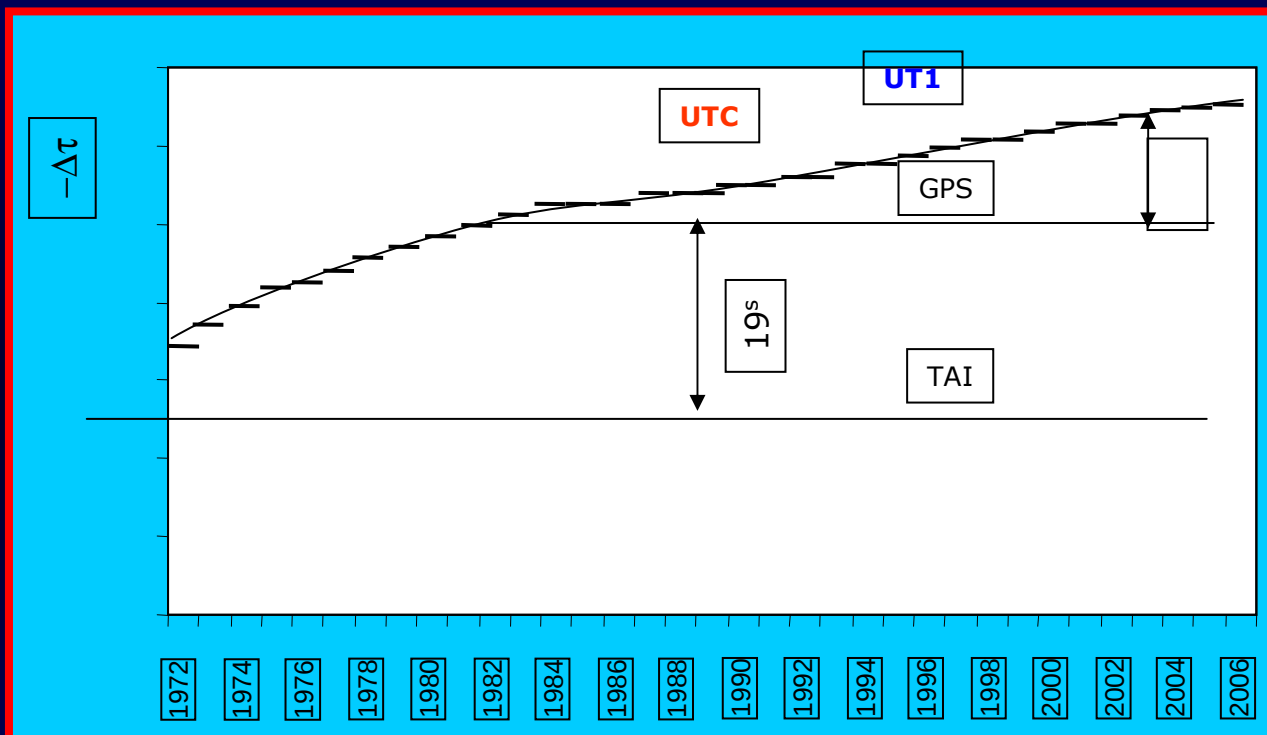
**W sumie może być nawet
50 sekund różnicy !!!**

**Trzeba było wprowadzić
wzorzec czasu niezależny
od obrotu Ziemi**

Atomowa definicja sekundy i czasu

- W układzie SI: 1 sekunda jest to czas równy 9192631770 okresów drgań promieniowania odpowiadającego przejściu pomiędzy dwoma poziomami energetycznymi atomu struktury nadsubtelnej stanu podstawowego atomu izotopu cezu 133 (^{133}Cs)
- Międzynarodowa sieć zegarów atomowych tworzy czas **TAI** bazujący na atomowej definicji sekundy.
- Czas TAI płynie jednostajnie z dokładnością 10^{-13} s/s
- Czas ten nie jest zsynchronizowany z porą dnia !
- Obecnie stosuje się tak zwany uniwersalny czas skoordynowany UTC który też bazuje na sekundzie atomowej.
- Jeśli różnica pomiędzy czasem TAI i UTC jest większa niż 0.9 s wprowadza się do kalendarza sekundę przestępną
- Jedna z minut (np. ostatnia 31 XII czasu UT) ma wtedy 61 a nie 60 sekund

Czas TAI oraz UTC



różnica $\Delta\tau$ pomiędzy UT1 i TAI narasta w sposób ciągły
 różnica $\Delta\tau$ pomiędzy UTC i TAI narasta w sposób skokowy
 różnica $\Delta\tau$ pomiędzy GPS i TAI jest praktycznie stała

W.Ogłóza, Astronomia, Wykład 3

sekundy przestępne



30 czerwca 1972

31 grudnia 1972

31 grudnia 1973

31 grudnia 1974

31 grudnia 1975

31 grudnia 1976

31 grudnia 1977

31 grudnia 1978

31 grudnia 1979

30 czerwca 1981

30 czerwca 1982

30 czerwca 1983

30 czerwca 1985

31 grudnia 1987

31 grudnia 1989

31 grudnia 1990

30 czerwca 1992

30 czerwca 1993

30 czerwca 1994

31 grudnia 1995

30 czerwca 1997

31 grudnia 1998

31 grudnia 2005

31 grudnia 2008

30 czerwca 2012

Kalendarz gregoriański

- $1 \text{ rok} = 365.2421896698 - 6.15359 \cdot 10^{-5} \cdot T - 7.29 \cdot 10^{-10} \cdot T^2 + 2.64 \cdot 10^{-10} \cdot T^3$ dni (T-ilość stuleci od 2000 roku)
- W kalendarzu chcemy mieć całkowitą ilość dni i miesięcy
- W roku 1582 papież Grzegorz XIII wydał bulłę wcielającą nowy kalendarz obliczany wg. następujących reguł:

- 1 Równonoc wiosenna powinna wypadać średnio 21 marca (z kalendarza usunięto dni pomiędzy 4 a 15 X 1582 roku)
- 2 Lata których numer dzieli się przez 4 są przestępne (interkalacja 29 II)
- 3 Lata, których numer dzieli się przez 100 nie są przestępne (np.: 1700, 1800, 1900) za wyjątkiem lat podzielnych przez 400 (np.: 1600, 2000) które są przestępne

Inne kalendarze:

www.as.up.krakow.pl/edu/ppt/kalendarze.ppt

- Juliański
(nie spełnia reguł 1 i 3 kal.gregoriańskiego)
- Muzułmański
(zsynchronizowany z fazami Księżyca, liczy on 12 miesięcy po 29 i 30 dni, rok liczy 354 dni)
- Astronomiczna ciągła rachuba dni (Dni Juliańskie) począwszy od 1 stycznia 4713 p.n.e. Dzień się liczy od południa, porę dnia określa ułamek dziesiętny numeru dnia, a nie godziny.

$$JD = 367R - [(7(R + [(M + 9)/12]))/4] + [275M/9] + D + 1721013,5 + UT^h/24^h$$

gdzie [] oznacza część całkowitą z dzielenia, R-rok, M - miesiąc, D - dzień

Np.: 2 XII 2012 godz. 11⁰⁰ UT = JD 2456263.9583