

# Czas w astronomii

## Czas gwiazdowy

- Do połowy XX wieku podstawą pomiaru czasu był ruch obrotowy Ziemi
- **Czas gwiazdowy (Sidereal Time)** – zawsze lokalny, inny dla każdego m-ca na Ziemi
- Definiuje go tempo rotacji sfery niebieskiej
- **Czas gwiazdowy = kąt godzinny punktu Barana** (punkt równonocy wiosennej, punkt przecięcia się na sferze niebieskiej ekliptyki z równikiem)
- → jest zawsze równy rektascensji obiektu, który znajduje się w danej chwili w południku lokalnym!
- Jednostka: doba gwiazdowa, okresowi, w jakim Ziemia obraca się dookoła osi (24 godziny gwiazdowe, 60 minut gwiazdowych, 60 sekund gwiazdowych)
- **Doba gwiazdowa** (odstęp czasu między dwoma kolejnymi górowaniami punktu Barana, byłaby czasem obrotu Ziemi "względem Wszechświata", gdyby nie precesja

czasem gwiazdowym (lokalnym) nazywamy kąt godzinny punktu Barana

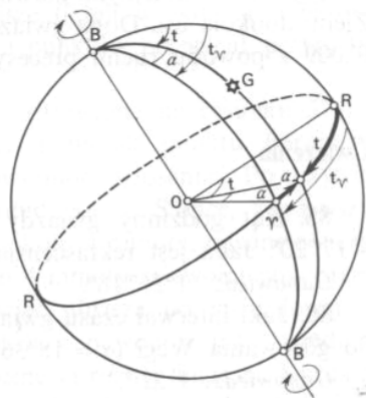
$$\vartheta = t\gamma$$

$$t\gamma = \alpha + t$$

$$\vartheta = \alpha + t$$

dla obiektu górującego  $t = 0$

$$\vartheta = \alpha_{t=0}$$



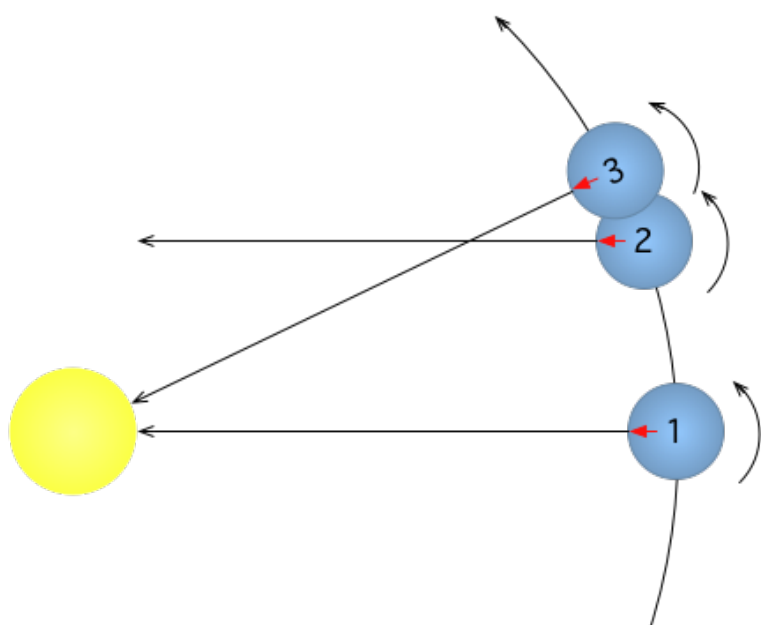
- czas gwiazdowy „uniwersalny”  $\vartheta_0$ :  $\vartheta = \vartheta_0 + \lambda$
- $\vartheta_0 \simeq \text{UTC} + 24^h \times (d - 23.09) / 365.242$

- Przydatny w obserwacjach gdyż pozwala wyznaczyć kąt godzinny:
- **Czas gwiazdowy** definiuje ruch punktu początkowego systemu odniesienia (punktu równonocy wiosennej) na sferze niebieskiej. Punkt równonocy wiosennej może być prawdziwy, quasi-prawdziwy i średni. **Prawdziwy** - to punkt przecięcia się na sferze niebieskiej ekliptyki z równikiem prawdziwym (równikiem, którego położenie zależy od precesji i nutacji). Stosowane do 2003 roku modele nutacji wyróżniały nutację długo- ( $\Delta\Psi$ ) i krótkookresową ( $d\Psi$ ). Istniało zatem pojęcie quasi-prawdziwego punktu równonocy wiosennej. Był to punkt przecięcia na sferze niebieskiej ekliptyki z tzw. równikiem quasi-prawdziwym, którego położenie zależało wyłącznie od precesji i nutacji długookresowej. Średni punkt równonocy wiosennej jest to punkt przecięcia na sferze niebieskiej ekliptyki z tzw. średnim równikiem - równikiem, którego położenie w przestrzeni podlega zmianom tylko pod wpływem precesji księżycowo-słonecznej. Więcej dla zainteresowanych: np. <http://www.igik.edu.pl/pl/a/Czas-gwiazdowy>

- Czas gwiazdowy lokalny = czas gwiazdowy południka Greenwich +  $\lambda$
- **Czas gwiazdowy Greenwich** (GST - Greenwich Sidereal Time) różni się od czasu gwiazdowego miejscowego o długość geograficzną  $\lambda$  południka miejscowego, która na wschód od Greenwich przybiera wartości dodatnie
- **Lokalny czas gwiazdowy** można obliczyć znając czas gwiazdowy Greenwich w momencie ostatniej północy (roczniki astronomiczne) i długość geograficzną m-ca obserwacji
- W chwili górowania gwiazdy o rektascensji  $\alpha$  lokalny czas gwiazdowy wynosi również  $\alpha$  → znając aktualny czas gwiazdowy w Greenwich można obliczyć „własną” długość geograficzną
- **Aktualny czas gwiazdowy Greenwich** obliczamy, wiedząc, jaki był o północy i ile czasu (gwiazdowego) minęło tam od tej północy

## Czas słoneczny – bardziej przydatny w życiu codziennym

- Rytm życia ludzkiego jest ściśle związany z ruchem dziennym Słońca, jego wschodami i zachodami
- Wraz z rozwojem cywilizacji nauczono się dzielić dzień i noc na mniejsze jednostki czasu (pojęcie godziny – starożytny Egipt, potem Grecja i Rzym; od nich narody europejskie średniowiecza. Ale: w różnych porach roku godziny te miały różną wartość. W krajach podzwrotnikowych, gdzie długość nocy i dni nie ulega w ciągu roku wielkim zmianom, godziny letnie nie różniły się dużo od zimowych, jednak w krajach położonych na północy różnice te były już znaczne
- **Czas prawdziwy słoneczny** – kąt godzinny środka tarczy Słońca + 12 h (od 1925 r.)
- Określone według czasu słonecznego południe prawdziwe następuje zawsze podczas górowania Słońca, gdy znajduje się ono nad lokalnym południkiem ziemskim, a północ - podczas dołowania Słońca. Do 1925 r. w obliczeniach astronomicznych używany był średni czas słoneczny Greenwich (*Greenwich Mean Time — GMT*) o początku doby w południe), który zastąpiony został tzw. czasem uniwersalnym (UT), z początkiem doby przypadającym na północ, stąd te + 12 h.
- **Doba słoneczna prawdziwa** - czas między dwoma kolejnymi kulminacjami Słońca, wynosi średnio 24 godzin i jest o prawie 4 minuty dłuższa od doby gwiazdowej



Schematyczny rysunek wyjaśniający różnicę między dobą gwiazdową a słoneczną: 1-2-doba gwiazdowa; 1-3-doba słoneczna

- Czas trwania doby **słonecznej prawdziwej** zmienia się w ciągu roku o +/- 15 min.
- Dobowe odcinki ruchu Słońca na sferze niebieskiej wzdłuż ekliptyki są w różnym stopniu nachylone do równika niebieskiego, Ziemia porusza się po orbicie i wokół swej osi ze zmienną w ciągu roku prędkością → rektascensja Słońca zmienia się z dnia na dzień nierównomiernie, długość doby słonecznej prawdziwej w ciągu roku nie jest stała
- Słońce porusza się z niejednostajną prędkością po ekliptyce, a nawet gdyby ruch ten był jednostajny, to kąty godzinne Słońca nie narastałyby jednostajnie, bo rzuty na równik równych łuków ekliptyki w różnych jej miejscach nie są równe - ruch rzutowany na płaszczyznę równika niebieskiego jest ruchem niejednostajnym
- Dodatkowo: przez hamowanie obrotu Ziemi wskutek pływów średnia doba słoneczna jest coraz dłuższa i wydłuża się średnio o około 16  $\mu$ s rocznie
- Bardziej przydatny byłby więc jakiś czas wzrastający jednostajnie. Otrzymało go przez wprowadzenie pojęcie **słońca średniego**, określanego jako punkt matematyczny, który poruszałby się po równiku ze stałą prędkością kątową równą średniej prędkości kątowej ruchu rzeczywistego Słońca po ekliptyce.
- **Czas średni słoneczny** - kąt godzinny słońca średniego powiększony o 12 h. Jest czasem wzrastającym jednostajnie, na nim oparta jest rachuba czasu na użytek życia codziennego
- **Słońce średnie**: fikcyjny punkt, poruszający się po równiku jednostajnie (z prędkością kątową równą średniej rocznej prędkości kątowej ruchu rzeczywistego Słońca po ekliptyce) i powiązany ze Słońcem prawdziwym, tak punkt ten przechodzi przez punkt Barana jednocześnie ze Słońcem prawdziwym
- **Rektascensja Słońca średniego wzrasta z prędkością jednostajną** → kąt godzinny słońca średniego rośnie jednostajnie. Dlatego może on być miarą czasu. Sekunda średnia słoneczna została uznana za podstawową jednostkę czasu.
- Czas średni słoneczny na południku Greenwich to po prostu **czas uniwersalny (UT)**. W r. 1884 roku południk przechodzący przez obserwatorium w Greenwich został przyjęty jako południk zerowy dla odliczania długości geograficznej, a także dla odliczania czasu
- **Czas gwiazdowy** jest różny od **średniego czasu słonecznego**. Doba średnia słoneczna jest dłuższa od gwiazdowej, gdyż w ciągu **doby słonecznej** Ziemia obraca się o kąt pełny plus mały kąt, o jaki w tym czasie przemieszcza się na orbicie (**niecały 1° na dobę**). **Doba gwiazdowa** jest nieco krótsza od słonecznej (23 godziny, 56 minut i 4 sekundy). Różnica jest skutkiem ruchu orbitalnego Ziemi dookoła Słońca.
- **Doby słoneczne** byłyby zawsze jednakowe tylko wtedy, gdyby Ziemia obracała się jednostajnie, wzorcową jest doba średnia słoneczna z początku roku 1900, a jej 1/86400 część, czyli **sekunda**, stała się jedną z podstawowych jednostek fizycznych
- Rok zwrotnikowy 1900 - 31 556 925,9747 s. Obecnie sekunda jest zdefiniowana jako czas 9 192 631 770 Hz drgań promieniowania emitowanego przez atomy cezu 133 przy przejściu między dwoma poziomami struktury nadsubtelnej poziomu podstawowego (tzw. **sekunda atomowa**). Definicja została wybrana w taki sposób, by sekunda atomowa była równa wzorcowej sekundzie określonej przez zjawiska astronomiczne.
- Współczesne zegary atomowe umożliwiają pomiar odstępów czasu z dokładnością nie mniejszą niż  $10^{-12}$  s

## **Równanie czasu**

- Zależność między rodzajami czasu słonecznego wyraża się za pomocą **równania czasu**
- **Czas słoneczny prawdziwy - czas słoneczny średni =  $\eta$** ,  $\eta$  - to równanie czasu, wartość  $\eta$  oscyluje w czasie całego roku w zakresie  $\pm 15$  minut

Jeszcze raz dla przypomnienia:

Do 1 stycznia 1925 roku w obliczeniach astronomicznych używany był średni czas słoneczny Greenwich o początku doby w południe, który wówczas zastąpiony został tzw. czasem uniwersalnym (UT), początek o północy.

## Czas strefowy

- Sam czas słoneczny jest wygodny, bo do jego pomiaru wystarczy obserwacja ruchu Słońca
- Czasu średniego słonecznego zaczęto używać dopiero w końcu XVIII w. W wieku XIX zegary wskazywały czas miejscowy, co zmuszało podróżnych do przestawiania wskazówek zegara przy przejeżdżaniu z jednej miejscowości do drugiej
- Czas gwiazdowy, czas prawdziwy słoneczny i czas średni słoneczny należą do kategorii czasów lokalnych, związanych z południkiem niebieskim miejsca obserwacji. Obecnie ludzie mogą się dość szybko przemieszczać. **Aby uzyskać bieżący czas lokalny, osoby podróżujące na wschód lub zachód musiałyby przestawiać zegarki o minutę na każde ćwierć stopnia długości geograficznej, czyli co około 28 km (dla równika) lub około 19 km (okolice Polski).** Dlatego wprowadzono **czas strefowy**
- Jest on rozgłaszany m. in. na falach radiowych — w pasmach specjalnie do tego celu przeznaczonych — przez stacje prowadzące służbę czasu opartą o wzorce atomowe, dziś czas podawany jest oczywiście także przez **serwery czasu** w sieci, ale zwykle zegarki synchronizację się wciąż często z tym, co podaje radio, TV. Wskazania zegarów różnią się w wielu krajach, np. o wielokrotność godziny.
- Ziemia podzielona jest na strefy czasowe określone granicami administracyjnymi (często państwowymi) z grubszą co 15 stopni w długości geograficznej. Jest to pozostałość tradycyjnych systemów liczenia czasu, w których południe kojarzono zwykle z godziną dwunastą. Ponieważ Ziemia dokonuje pełnego obrotu w 24 godziny, to i moment górowania Słońca (południe) wędruje po wszystkich długościach geograficznych (ze wschodu na zachód) z szybkością 360/24, albo 15 stopni na godzinę.
- Czas strefy otaczającej południk zerowy to uniwersalny czas koordynowany - UTC (od ang. *Coordinated Universal Time*). Polska strefa sąsiaduje bezpośrednio z tą standardową (leży po jej wschodniej stronie), normalnie obowiązuje w niej czas środkowoeuropejski (CSE), o jedną godzinę późniejszy niż uniwersalny: CSE = UTC + 1 godz. Ale mamy też ciągle: letni czasem jest czas wschodnioeuropejski, CWE = UTC + 2 godz.
- Do 1964 r. - czasy strefowe były definiowane czasami średnimi słonecznymi, zależnymi od rotacji Ziemi. Obecnie czasy rządowe (UTC, CSE, CWE...) są czasami koordynowanymi południków strefowych wyznaczanymi przez zliczenia tykań zegarów atomowych rozmieszczonych w różnych laboratoriach świata. Wskazania czasu zegarów są dopasowywane do siebie tak, by średnia jednostka czasu była możliwie bliska średniej jednostce wynikającej z odstępów między górowaniami Słońca (doby średniej słonecznej)
- **Międzynarodowy czas atomowy (TAI, fr. *Temps Atomique International*)** różni się od UTC, bo wszystkie minuty, godziny i doby mają stałą długość, a sekundy atomowe są takie same, jak w czasie koordynowanym. W UTC — a zatem i we wszystkich czasach

strefowych — niektóre minuty mają 61 sekund, zwykle to „resztkowe”, ostatnie minuty roku (31 grudnia od godz. 23:59) lub półrocza (30 czerwca). Tą dodatkową sekundę, zwaną *przestępną*, wprowadza się nieregularnie — tak, aby nasze zegary wskazywały czas możliwie dokładnie (w granicach 0,9 sekundy) zsynchronizowany z pewnym średnim czasem słonecznym odzwierciedlającym rzeczywisty obrót Ziemi względem Słońca i gwiazd. Ale właściwie dlaczego?

- M. in. do celów nawigacji, gdzie na podstawie obserwacji astronomicznych i odczytu czasu wyznacza się długość geograficzną. **W praktyce, sygnały czasu UTC przesyła się wraz z kodem, który niesie dodatkowe informacje o różnicy między UTC i czasem astronomicznym oznaczanym jako UT1 — tak, by użytkownicy mieli zawsze dostęp do czasu astronomicznego z dokładnością 0,1 sekundy**
- TAI nie jest „idealnym”, jednym pewnym czasem atomowym, a średnią ze wskazań wielu fizycznych zegarów atomowych rozmieszczonych w różnych laboratoriach na świecie (1990 r. - ponad 100 wzorców spośród 350-ciu, którymi dysponowały wówczas 53 stacje służby czasu). Do TAI mają wkład także polskie stacje prowadzone przez Polski Komitet Normalizacji Miar i Jakości w Warszawie oraz Astronomiczne Obserwatorium Szerokościowe w Borowcu (koło Poznania), które dysponują zegarami opartymi na wzorcach cezowych
- Na podstawie umowy międzynarodowej została wprowadzona linia zmiany daty. Umówiono się, że granica zmiany daty nie biegnie ściśle wzdłuż południka  $L = 12h$ , lecz przebiega Pacyfik nie przecinając wysp i lądów. **Cała Azja leży np. po stronie dat późniejszych, ale Aleuty już po stronie dat wcześniejszych.**
- Pierwszym krajem, który zastosował się do podziału strefowego była Japonia, następnymi: Austro - Węgry, Holandia, Belgia, Niemcy, Włochy, Dania, Norwegia, Szwajcaria, Francja. W Polsce czas strefowy obowiązywał powszechnie od 1915 r., a ustawowo od 1922 r.

## ***Rok gwiazdowy i zwrotnikowy***

- Ruch roczny Słońca określa dłuższą jednostkę czasu, zwaną rokiem. **Rok gwiazdowy** odnosi się do punktu nieruchomego sfery niebieskiej np. do jakiejś fikcyjnej nieruchomej gwiazdy położonej dokładnie na ekliptyce. Odstęp czasu, który upływa między kolejnymi przejściami Słońca przez taki stały punkt, to właśnie rok gwiazdowy. Jest on jednocześnie okresem obiegu Ziemi dookoła Słońca ( $\sim 365$  d 6 h 9 m 10 s (365,2564 d) czasu średniego słonecznego).
- **Rok zwrotnikowy:** czas między kolejnymi przejściami Słońca przez punkt równonocy wiosennej. Ponieważ na skutek precesji punkt równonocy cofa się o 50" rocznie w stosunku do gwiazd, ten odstęp czasu jest krótszy od roku gwiazdowego i wynosi w przybliżeniu 365 d 5 h 48 m 46 s. W okresie tym długość ekliptyczna Słońca i jego rektascensja przebiegają pełny zakres zmian od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Rok zwrotnikowy jako okres zmian pór roku, które regulują tryb życia na Ziemi, został przyjęty za podstawową jednostkę rachuby lat.

## **Miesiąc synodyczny**

- **Księżyc** porusza się znacznie szybciej na niebie niż Słońce. W ciągu doby przesuwa się na tle gwiazd z zachodu na wschód o około 13°; Słońce – o około 1°
- Ruch Księżyca względem Słońca na niebie określa jednostkę czasu zwaną miesiącem synodycznym. Jest on podstawą kalendarza księżycowego.
- **Miesiąc synodyczny** - czas między dwoma kolejno po sobie następującymi nowiami Księżyca. Średnio: 29 d 12 h 44 m 8 s średnich słonecznych
- **Kalendarz księżycowy** (lunarny) - system rachuby czasu oparty na cyklu zmian faz Księżyca; rok jest krótszy od roku zwrotnikowego o około 11 dni, dlatego początek roku księżycowego w ciągu 33 lat przechodzi kolejno przez wszystkie pory roku (niezbyt dobry kalendarz)
- Rok księżycowy - 354 dni, dzielony na 12 miesięcy synodycznych (po 29 lub 30 dni). Różnica około 11,25 dni w stosunku do roku słonecznego → przesuwanie się pór roku w stosunku do miesięcy roku kalendarzowego. Aby rozwiązać tę kwestię, każdy miesiąc został przypisany do określonej grupy gwiazd. Kiedy więc jakaś gwiazda nie pojawiła się w danym miesiącu, wtedy władca podejmował decyzję o dodaniu 13 miesiąca.

## **Czas Efemeryd**

- **Czas Efemeryd (ET)** – od 1954 r., czas słoneczny związany nie z ruchem obrotowym Ziemi, a z jej ruchem orbitalnym wokół Słońca - wyznaczonym np. przez obserwację położenia Księżyca i/lub mechanikę nieba (przewidywane położenie w przyszłości ciał niebieskich takich jak Słońce, Księżyc i planety.)
- **Miarą Czasu Efemeryd** jest pozycja Słońca – jego długość ekliptyczna. Sekunda Czasu Efemeryd do 1967 roku była podstawową jednostką czasu
- Zależność między Czasem Efemeryd a UT :  $ET = UT + \Delta T$
- $\Delta T$  – **poprawka otrzymywana** ze znacznym opóźnieniem, wynikającym np. z konieczności opracowania pewnego okresu obserwacji długości ekliptycznej Księżyca i porównaniu jej z efemerydą  
Różnica między ET a UT wynosi obecnie ok. 1 minuty.
- Wadą czasu ET jest jego zależność od podlegającej ciągłym udoskonaleniom teorii ruchu Księżyca, a także nieuwzględnienie w nim efektów wynikających np. z ogólnej teorii względności. **ET był używany jako argument równań ruchu ciał niebieskich układu słonecznego do 1984 roku, kiedy został zastąpiony zdefiniowanym przez XVI Zgromadzenie Generalne IAU (Grenoble, 1976) Ziemijskim Czasem Dynamicznym, zdefiniowanym jako skala czasu różniąca się od skali czasu współrzędnych geocentrycznych TCG o współczynnik LG będący funkcją potencjału siły ciężkości na geoidzie, przy czym TCG jest czasem w czterowymiarowej czasoprzestrzeni — Niebieskim Geocentrycznym Systemie Odniesienia (GCRS), który porusza się w przestrzeni wraz z ruchem orbitalnym Ziemi wokół barycentrum Układu Słonecznego, a kierunek osi tego systemu pozostaje niezmienny w odniesieniu do systemu inercjalnego . Czas ten należy do zdefiniowanej w**

Rezolucji B1.5 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU (Manchester, 2000) metryki relatywistycznej GCRS. W tej samej rezolucji znajduje się definicja Niebieskiego Barycentrycznego Systemu Odniesienia (BCRS) oraz związanego z nim czasu współrzędnych barycentrycznych.

- Związek między Międzynarodowym Czasem Atomowym (TAI), a czasem ziemskim:

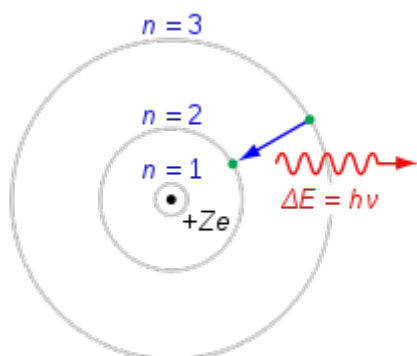
$$TT - TAI = 32.184 \text{ s}$$

- **Międzynarodowy Niebieski System Odniesienia (ICRS)** zdefiniowany oraz przyjęty w Rezolucji B2 XXIII Zgromadzenia Generalnego IAU (Kyoto, 1997) jest od 1 stycznia 1998 roku obowiązującym niebieskim systemem odniesienia. Katalog Hipparcos jest podstawową realizacją *ICRS* w zakresie widma optycznego. *ICRS* jest systemem kinematycznym — **zdefiniowanym przez pozycje odległych obiektów pozagalaktycznych**, przy czym ruchy własne tych obiektów są znacznie mniejsze niż dokładność, z jaką są obserwowane. W *ICRS*, kierunki do obiektów w odległych galaktykach nie podlegają globalnemu obrotowi względem tych obiektów. Zgodnie z definicją jest on systemem czasoprzestrzennym, niezależnym od położenia osi obrotu Ziemi ani położenia osi ekliptyki
- Uchwalona trzy lata później przez XXIV ZG IAU (Manchester, 2000) Rezolucja B1.3 określa ponadto dopasowane do wyższych wymagań dokładności i do współczesnego formalizmu ogólnej teorii względności, nowe definicje *ICRS*, wprowadzając **Barycentryczny Niebieski System Odniesienia (BCRS)** oraz **Geocentryczny Niebieski System Odniesienia (GCRS)**, a także transformacje między tymi systemami. Czasoprzestrzeń w *ICRS* jest określona geometrycznie za pomocą tensora metrycznego (oddzielnie dla *BCRS* i dla *GCRS*) w ujęciu ogólnej teorii względności. Zgodnie z Rezolucją 2 XXVI Zgromadzenia Generalnego IAU (Praga, 2006) dla wszystkich praktycznych zastosowań przyjmuje się orientację *BCRS* zgodną z orientacją osi *ICRS*. Orientacja *GCRS* jest wyznaczana z zorientowanej względem *ICRS* orientacji *BCRS*. Osie tych systemów spełniają kinematyczny warunek zerowego wzajemnego obrotu. Oba systemy — *BCRS* i *GCRS* — mają różne czasy współrzędnych, nazywane odpowiednio: *TCB* i *TCG*.
- *ICRS* jako system kinematycznie ustalony, nie jest odniesiony do żadnej epoki, która byłaby związana z pozycją osi systemu, jak to ma miejsce w przypadku systemów katalogowych, np. FK5. Pozycje w systemie *ICRS* odgrywają rolę stosowanych dotychczas średnich pozycji katalogowych odniesionych do **średniego równika i średniej równonocy wiosennej na standardowa epokę**, lecz w ich wypadku epoka we wspomnianym sensie nie ma zastosowania. Zmienność pozycji w systemie *ICRS* spowodowana jest wyłącznie ruchem własnym gwiazd z uwzględnieniem prędkości radialnej.
- Kinematyczną realizacją *ICRS*, przeznaczoną do zastosowań praktycznych, jest **Międzynarodowy Niebieski Układ Odniesienia (ICRF)**, zdefiniowany z ogromną dokładnością poprzez pozycje **212 definiujących radioźródeł, określone w oparciu o obserwacje VLBI**. Umowny biegun *ICRS*, nazwany Konwencjonalnym Biegunem

Odniesienia *CRP* (kierunek prostopadły do podstawowej płaszczyzny układu — płaszczyzny *xy*), choć jest bardzo zbliżony do średniego bieguna na epokę J2000.0, dokładnie się z nim nie pokrywa. Bieguny te są wzajemnie przesunięte o 17.1 mas (ang. miliarcsecond) w kierunku  $0^\circ$  i 5.1 mas w kierunku  $90^\circ$ . Punkt początkowy liczenia rektascensji w *ICRS*, który określa kierunek osi *x* tego systemu, jest przesunięty w stosunku do punktu równonocy Systemu FK5 o  $22.9 \pm 2.3$  mas.

## Czas atomowy

- Zegar atomowy mierzy czas na podstawie szybkości przejścia elektronów między powłokami w atomie – np. cezu. Podczas przejścia elektronów wytwarza się tam charakterystyczne promieniowanie.



- Każdy zegar wymaga istnienia dwóch składników - oscylatora i licznika, który śledzi oscylację. W prehistorycznych czasach, oscylator był okresem wschodu i zachodu Słońca na niebie, licznikiem był człowiek. Zegary atomowe wykorzystują jako oscylatory atomy, które naturalnie przemieszczają się z jednego poziomu energetycznego na inny.
- Przykładowo: zbiornik z bardzo, bardzo zimnymi atomami cezu, przerzucany przez mikrofalowe wnęki wysokiej próżni. W momencie przejścia atomów przez wnęki mikrofałe „wzbudzają” spin elektronów najbardziej oddalonych powłok. Badacze dostrajają częstotliwość mikrofał tak, by wzbudzała atomy cezu – powodowała zmianę (przejście na inną powłokę) znaczącej większości atomów w zbiorniku; tak zoptymalizowana mikrofalowa częstotliwość definiuje sekundę czasu atomowego (czas = 1/częstotliwość)
- W praktyce: zamknięta w komorze próżniowej chmura atomów cezu jest podrzucana ku górze niczym woda w fontannie (stąd inna nazwa zegara - „fontanna cezowa”). Gdy opada, naukowcy kierują na nią promieniowanie mikrofalowe, i dostrajają je.
- Wzorec cezowy - częstotliwość mikrofalowa własna = **9 192 630 770 Hz**, wyznaczona dokładnie na podstawie długoletniego porównywania z zegarami regulowanymi w obserwatoriach astronomicznych. Trzeba dostroić mikrofałe do rezonansowej częstotliwości wywołującej interakcję z jak największą liczbą atomów cezu!
- Błąd wskazań atomowego zegara cezowego wynosi  $1s/1$  mln lat ( $3 \times 10^{-14}$ ).
- Wzorcem czasu w USA jest zegar atomowy wykorzystujący układ z fontanną atomów cezu o dokładności  $1 \times 10^{-15}$ . Możliwe jest wykorzystanie innych atomów, np. strontu.



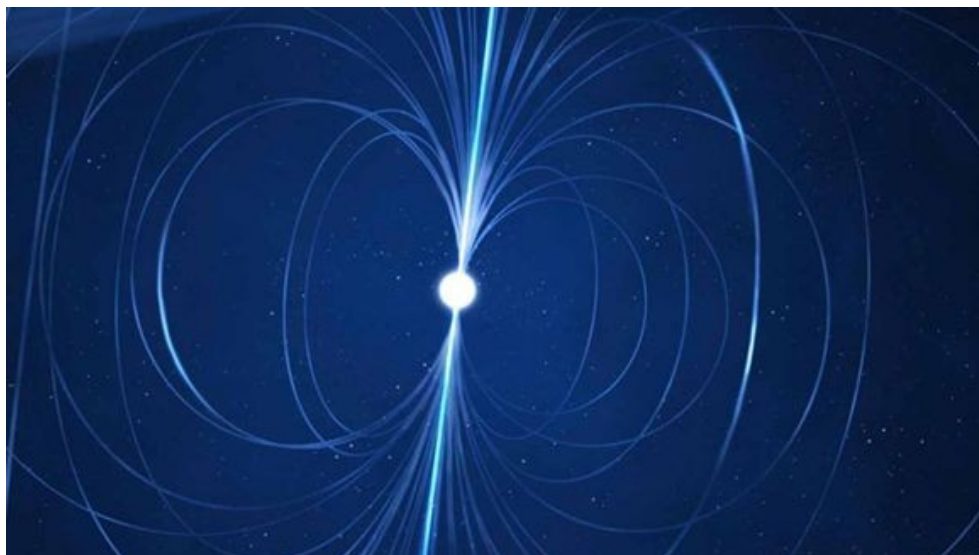
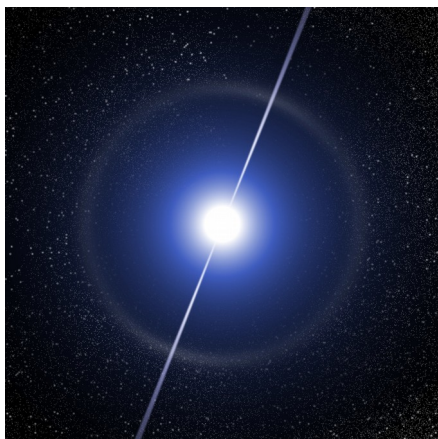


•  
*Fontanna cezowa po  
zainstalowaniu w  
CBK PAN w  
Borówcu. Źródło:  
CBK PAN,*

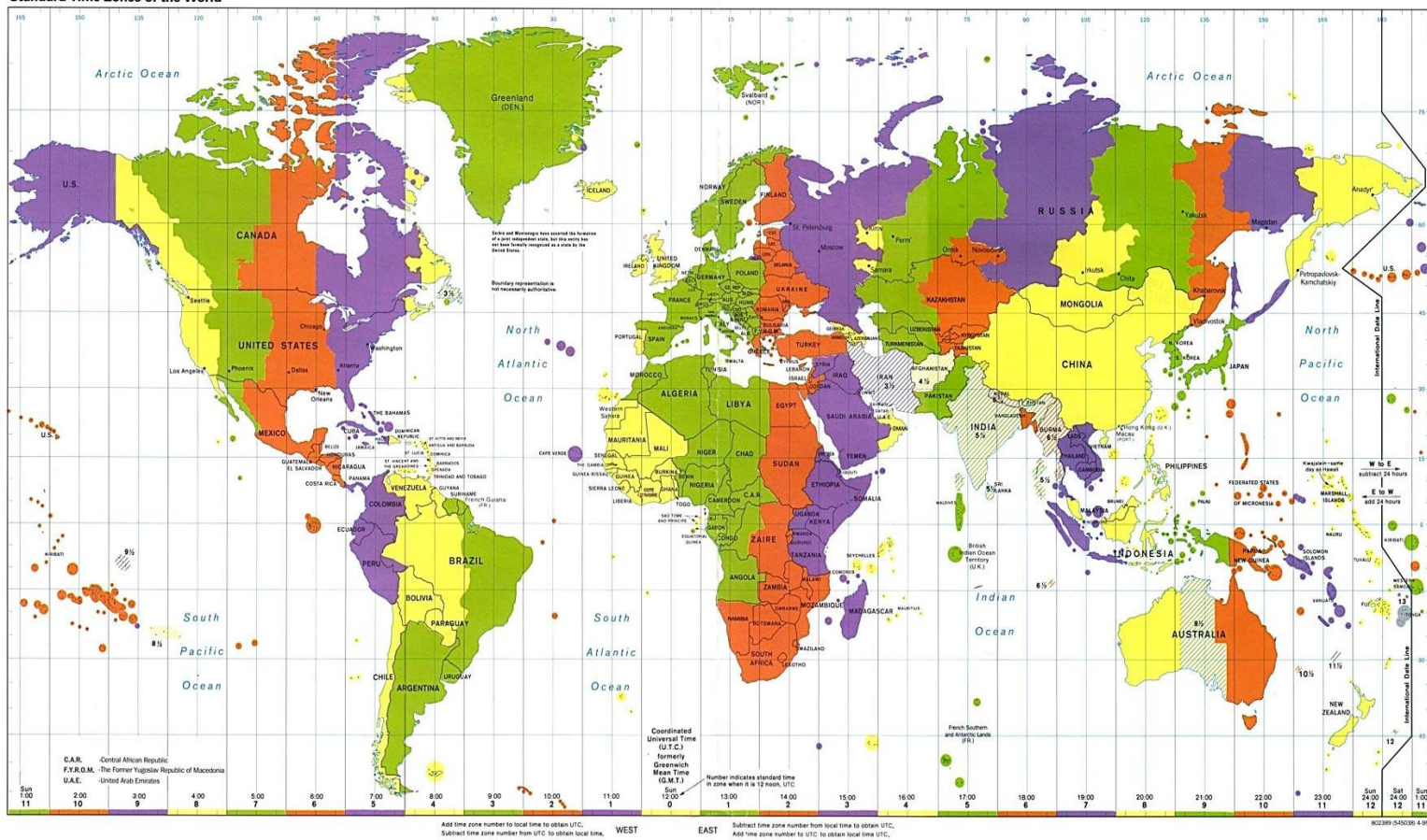
<https://www.crazynauka.pl/w-polsce-uruchomiono-jeden-z-najdokladniejszych-zegarow-atomowych-fontanne-cezowa/>

## Czas pulsarowy

- **Zegar pulsarowy** – działa na zasadzie zliczania impulsów fal radiowych emitowanych z dużą regularnością przez pulsary. Wykorzystanie pulsarów o milisekundowym okresie emisji pozwala na zbudowanie stabilnie działających zegarów o dużej dokładności
- Pierwszy taki zegar uruchomiono w Gdańsku w 2011, w momencie jego instalacji był to najdokładniejszy zegar na świecie oraz pierwszy, który rejestruje upływ czasu opierając się na źródle sygnałów spoza Ziemi.
- **Sygnal pulsarowy umożliwia stukrotną poprawę dokładności zegarów atomowych.** Pulsarową skalę czasu można wykorzystać np. do stworzenia *sieci pozycjonowania GPS*. Zegar działa w oparciu o odbiór impulsów pulsarowych przez anteny przeznaczonego do tego celu radioteleskopu (interferometru). Zegar składa się z radioteleskopu wyposażonego w 16 anten, które odbierają sygnały od sześciu wybranych pulsarów. Anteny ustawione są w macierz o wielkości cztery na cztery metry. Sygnały z anten są wzmacniane, następnie filtrowane i przetwarzane cyfrowo.
- Zegar powstał z inicjatywy Muzeum Historycznego Miasta Gdańska, a zbudowany został przez zespół badawczy złożony z pomysłodawcy budowy zegara w Gdańsku, Grzegorza Szychlińskiego z Muzeum Zegarów Wieżowych, inżynierów elektroników z gdańskiej firmy EKO Elektronik Dariusza Samka i Mirosława Owczynnika oraz astronoma z Centrum Astronomicznego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu - Eugeniusza Pazderskiego
- Gdański zegar pulsarowy jest obiektem długookresowych badań w wyniku których planowane jest stworzenie pulsarowej skali czasu, mającej przewyższyć dokładnością zegary atomowe działające na zasadzie pomiaru okresów atomowego wzorca częstotliwości.
- Więcej:  
<https://www.polskieradio.pl/23/267/Artykul/254631,Superzegar-na-czesc-Heweliusza>



## Standard Time Zones of the World



### Strefy czasowe „ciekawe”

**Indie:** UTC+5:30

**Nepal:** UTC +5:45

Strefa czasowa odpowiadająca czasowi słonecznemu południka 86°15'E. Znajduje się w niej wyłącznie Nepal, jest ona dopasowana do czasu słonecznego Katmandu (UTC +5:41:16).

**Katmandu:** 85°19'14"E

**Dawna Holandia:** UTC+00:20

Strefa czasowa obowiązująca w Holandii w latach 1909-1940, odpowiadająca początkowo czasowi słonecznemu południka 4°53'01,95"E, a od 17 marca 1937 - czasowi słonecznemu południka 5°E. W 1940 roku, po zajęciu Holandii przez wojska niemieckie, w kraju wprowadzono strefę czasową UTC+01:00, obowiązującą w Berlinie. Po zakończeniu II wojny światowej w Holandii zachowano nowo wprowadzoną strefę czasową.

**Amsterdam:** 4°53'22"E



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/World\\_Time\\_Zones\\_Map.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/World_Time_Zones_Map.png)

### Czas miejscowy - Katmandu, Nepal - strefa czasowa, czas lokalny letni/zimowy 2020

<b>Czas lokalny</b>	04:15:25, niedziela 19, kwiecień 2020 +0545 <b>AM/PM</b>								
<b>Czas letni 2020</b>	Nie ma czasu letniego w roku 2020								
<b>Różnica do UTC</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Standardowa strefa czasowa:</b></td> <td>UTC/GMT +5:45 godzin</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nie ma czasu letniego</td> </tr> </table>	<b>Standardowa strefa czasowa:</b>	UTC/GMT +5:45 godzin	Nie ma czasu letniego					
<b>Standardowa strefa czasowa:</b>	UTC/GMT +5:45 godzin								
Nie ma czasu letniego									
<b>Współrzędne geograficzne</b>	<table border="1"> <tr> <td><b>Szerokość geograficzna:</b></td> <td>27° 42' północ</td> </tr> <tr> <td><b>Długość geograficzna:</b></td> <td>85° 19' wschód</td> </tr> <tr> <td><b>Populacja:</b></td> <td>1442271</td> </tr> <tr> <td><b>Podniesienie:</b></td> <td>1317 metrów</td> </tr> </table>	<b>Szerokość geograficzna:</b>	27° 42' północ	<b>Długość geograficzna:</b>	85° 19' wschód	<b>Populacja:</b>	1442271	<b>Podniesienie:</b>	1317 metrów
<b>Szerokość geograficzna:</b>	27° 42' północ								
<b>Długość geograficzna:</b>	85° 19' wschód								
<b>Populacja:</b>	1442271								
<b>Podniesienie:</b>	1317 metrów								

[Katmandu - szczegółowa mapa Google](#)

A detailed map of Katmandu, Nepal, showing the city and surrounding areas. The map includes labels for various districts and landmarks, such as Budanilkantha, Jhule, Sakhu, Jitpur, Lubhu, Banepa, Godavari, and Panauti. The map also shows the city's location relative to the surrounding region.

## **Czas lokalny w Japonii - UTC+9:00**

Przed erą Meiji (1868–1912) każdy region lokalny miał własną strefę czasową, w której południe znajdowało się dokładnie w momencie górowania Słońca. Wraz z rozwojem nowoczesnych metod transportu (kolej) stało się to źródłem zamieszania. Na przykład różnica między Tokio a Osaką wynosi około 5 stopni długości geograficznej, dlatego pociąg, który odjechałby z Tokio, przybyłby do Osaki 20 minut przed czasem w Tokio. W 1886 r. wydano **Rozporządzenie 51** („w sprawie dokładnego obliczania czasu za pomocą południka zerowego”) w odpowiedzi na ten problem:

- Południk zerowy (także dla Japonii) przechodzi przez angielskie obserwatorium Greenwich
- Długości geograficzne w Japonii oblicza się za pomocą tego południka, licząc 180 stopni na wschód i na zachód. Stopnie dodatnie to wschód, ujemne to zachód
- 1 stycznia 1888 r. 135 stopień długości geograficznej wschodniej został ustanowiony jako standardowy południk dla całej Japonii, umożliwiając ustalenie dokładnych czasów.

Planetarium Akashi, położone dokładnie na 135 ° E , znane jest jako symbol czasu japońskiego. Miasto Akashi w prefekturze Hyōgo stało się znane jako Toki no machi („Miasto Czasu”). Podczas II wojny światowej UTC+9:00 był często nazywany Tokio Standard Time .

## ***Dygresja: czemu Japonia wprowadziła czas urzędowy jako 1 kraj świata?***

***Epoka Meiji ("epoka świątłych rządów") - nazwa okresu panowania cesarza Mutsuhito (1868 – 1912. Okres w historii Japonii , który doprowadził do obalenia feudalnego systemu shōgunatu, a następnie do dynamicznej modernizacji kraju na wzór zachodni i uzyskania silnej pozycji w Azji.***

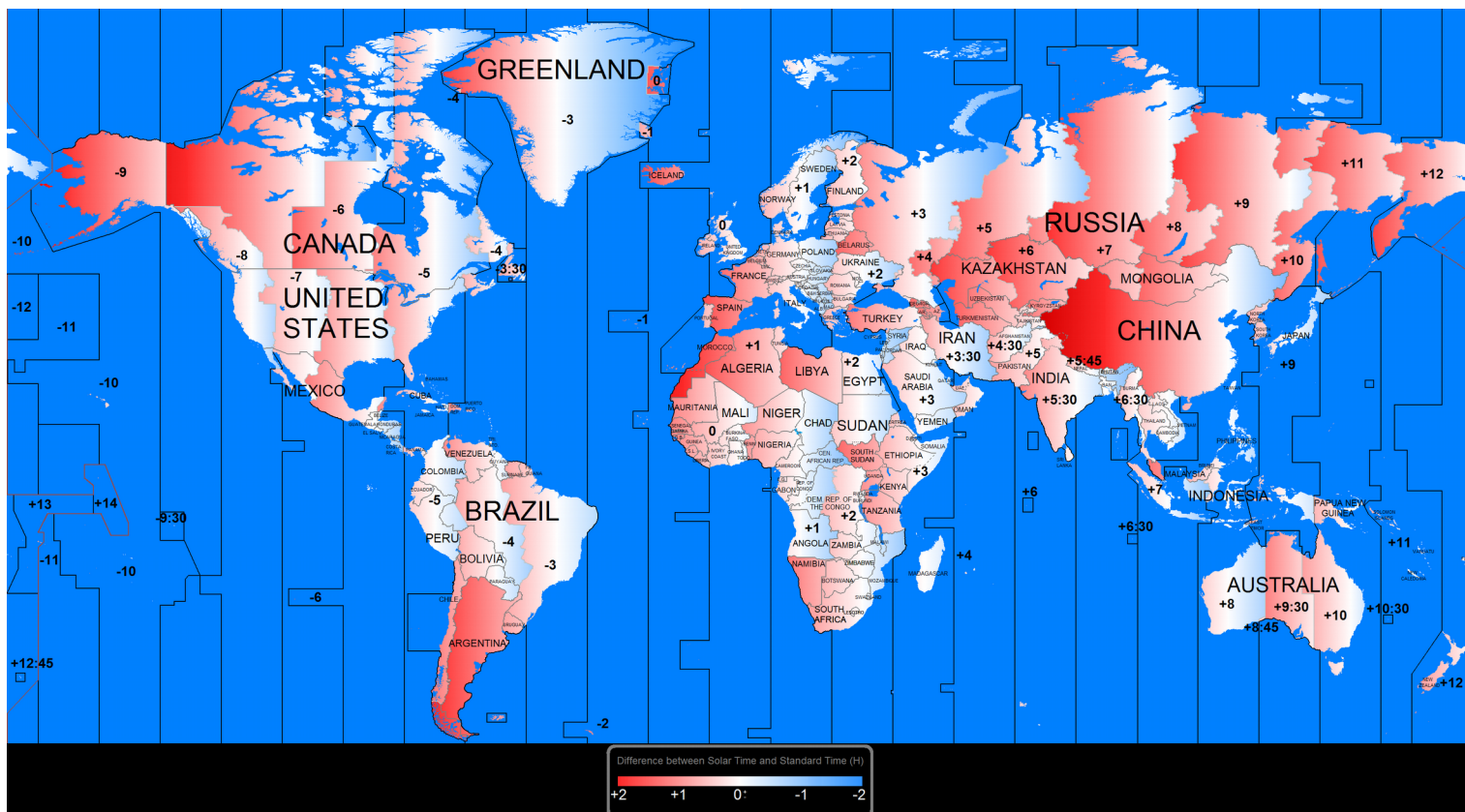
Japonia zmuszona została do otwarcia się na handel z ówczesnymi mocarstwami. Do roku 1868 Japonia była krajem odizolowanym od reszty świata. Okres ten trwał od 1603 roku. Wówczas to szogun Ieyasu ustanowił tzw. szogunat w Edo (dzisiejsze Tokio). Ieyasu narzucił społeczeństwu pewne nakazy oraz ustanowił wewnętrzny porządek, który miał zachować instytucję szogunatu przez jak najdłuższy okres. W tym celu jeden z późniejszych szogunów, Tokugawa, zabronił wszelkich kontaktów z zagranicą.

W następnych latach napływ tanich towarów przemysłowych spowodował kryzys półfeudalnych manufaktur i rzemiosła, jak również kryzys władzy feudalnej w Japonii. W ich wyniku miały miejsce liczne bunty ludności i wojna domowa. W wojnie tej odwieczni wrogowie z zachodnich regionów: Satsuma, Chōshū i Tosa, za sprawą mediacji Sakamoto Ryōmy wystąpili przeciw ponad dwustuletniej uzurpacji władzy przez shogunów z rodu Tokugawa. Pokonawszy siły shoguna, którym udało się na pewien czas stworzyć na Hokkaido secesyjną Republikę Ezo, samuraje ci przywrócili władzę w ręce cesarza. Cesarz Mutsuhito przyjął dla swojego panowania nazwę 'Meiji' ("oświecone rządy"), symbolicznie zaznaczając tym samym nadejście nowych czasów.

Cesarz odzyskał bezpośrednią władzę w państwie. Przeniósł stolicę z Kioto do Edo , zmieniając jego nazwę na Tokio. Miasto to odbudowywało się wtedy po wielkim trzęsieniu ziemi z 1857 r. i pożarach, które strawiły papierowo-drewnianą zabudowę i spowodowały śmierć 107 tys. ludzi.

W roku 1868 dokonał się przełom w ustroju władzy. Struktury feudalne zostały zniesione przez przejście lenn od samurajów, którym wypłacono odprawy pieniężne. Wprowadzono powszechne szkolnictwo, stypendia dla studiujących za granicą, zreformowano służbę zdrowia, administrację, sądownictwo i ówczesny system monetarny. Wprowadzono powszechny obowiązek służby wojskowej i zreorganizowano armię na wzór pruski. Japonia podjęła ambitnie współzawodnictwo gospodarcze z Zachodem. Korzystając szeroko z zagranicznych specjalistów, maszyn, urządzeń i wynalazków, budowano nowoczesny przemysł, utworzono wielkie koncerny bankowo-przemysłowe Mitsui, Mitsubishi, Sumitomo i inne. Utworzono pocztę, zbudowano pierwszą linię kolejową z Tokio do Jokohamy.

### *Dygresja: rzeczywiste „odchylenia od czasów urzędowych na świecie”*



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Solar\\_time\\_vs\\_standard\\_time.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Solar_time_vs_standard_time.png)

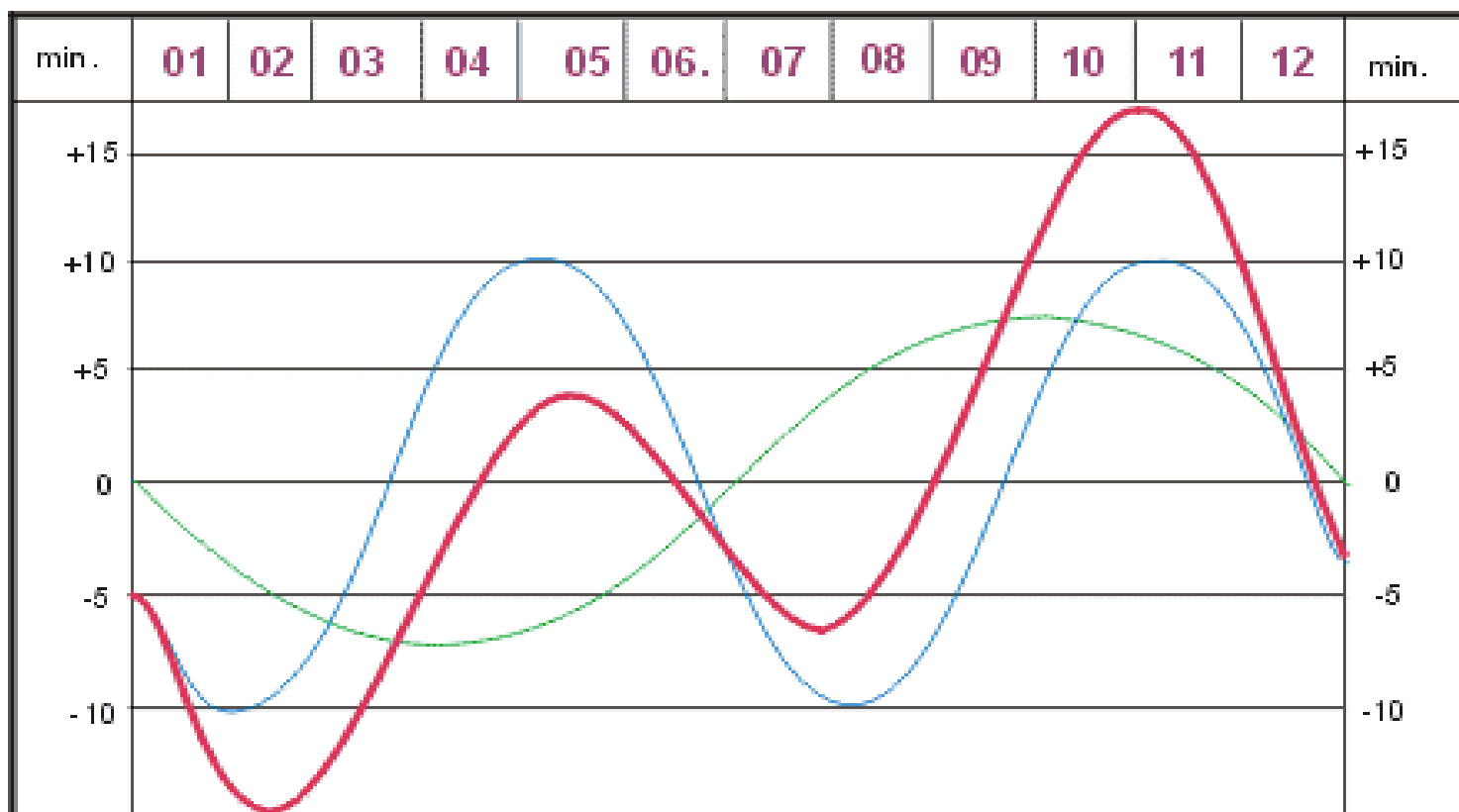
### *Dygresja: Czas UTC w sieci*

UTC jest używany w wielu standardach internetowych i internetowych. Network Time Protocol (NTP), zaprojektowany do synchronizacji zegarów komputerów przez Internet, przesyła informacje o czasie z systemu UTC. Jeśli wymagana jest tylko precyzja w milisekundach, klienci mogą uzyskać bieżący UTC z wielu oficjalnych internetowych serwerów UTC. Aby uzyskać dokładność poniżej mikrosekundy, klienci mogą uzyskać czas z sygnałów satelitarnych. UTC jest także standardem czasowym stosowanym w lotnictwie, dla planów lotu i kontroli ruchu lotniczego. Międzynarodowa Stacja Kosmiczna wykorzystuje również UTC jako standard czasu.

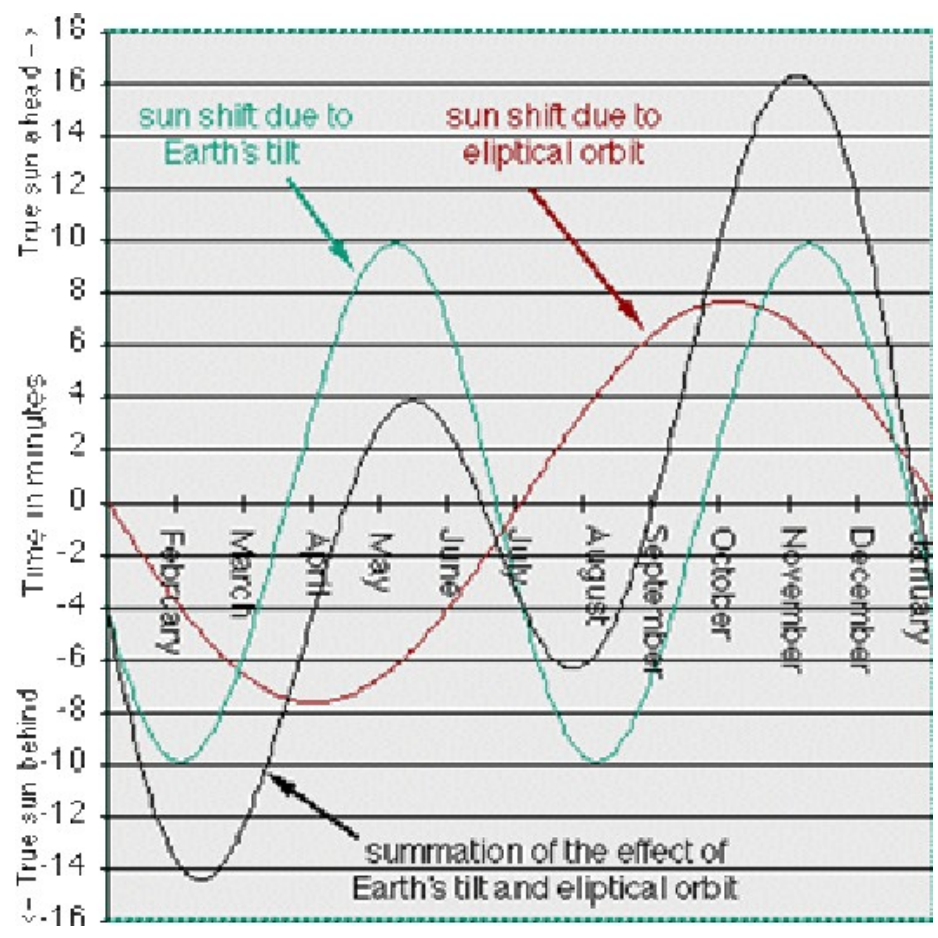
Możliwość dokładnego odmierzenia czasu jest niezbędna z punktu widzenia prawidłowego działania satelitów Globalnego Systemu Pozycjonowania (**GPS**), które mają na swych pokładach precyzyjne **zegary atomowe** dostrojone do **czasu efemeryd**. Dokładna znajomość czasu i pozycji tych satelitów umożliwia wykorzystanie nadawanych przez nie sygnałów do precyzyjnego określenia naszej pozycji na powierzchni Ziemi.

Broszura o zastosowaniach astronomii, PDF: <https://www.pta.edu.pl/pliki/od-medycyny-po-wifi.pdf>

### Równanie czasu - ilustracje

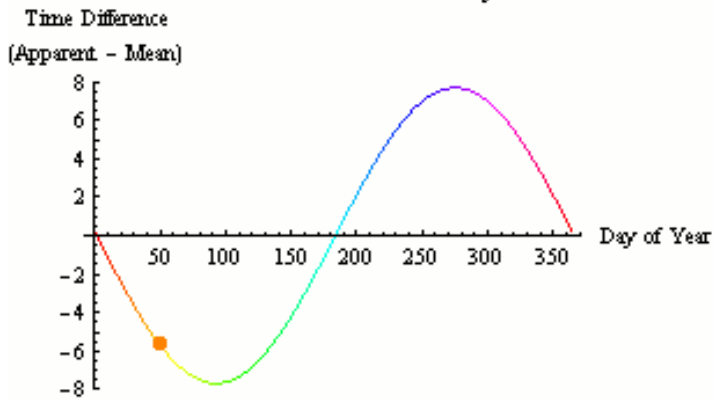


- Równanie czasu
- Przyrost długości ekliptycznej
- Przyrost rektascencji słońca

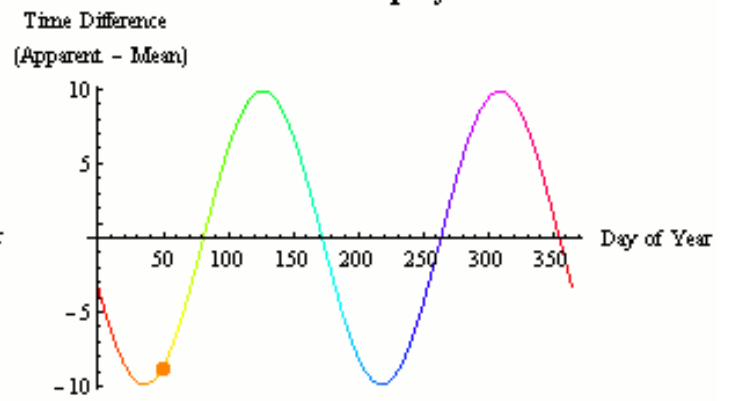




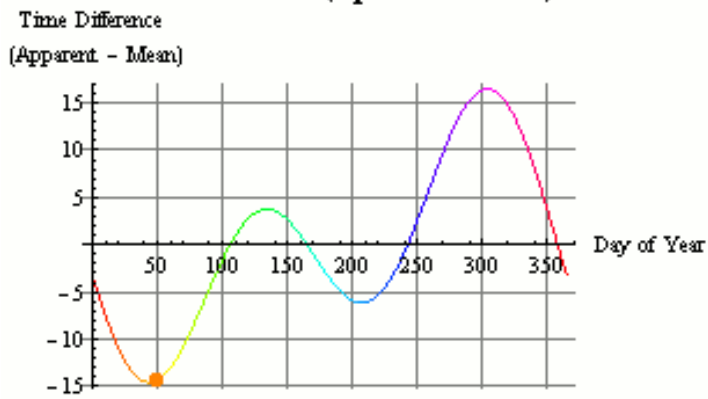
### Effect of Orbit Eccentricity



### Effect of Obliquity



### Combined Effects (Equation of Time)



### Sun Position Trace (Analemma)

