

# Systemy nawigacji satelitarnej

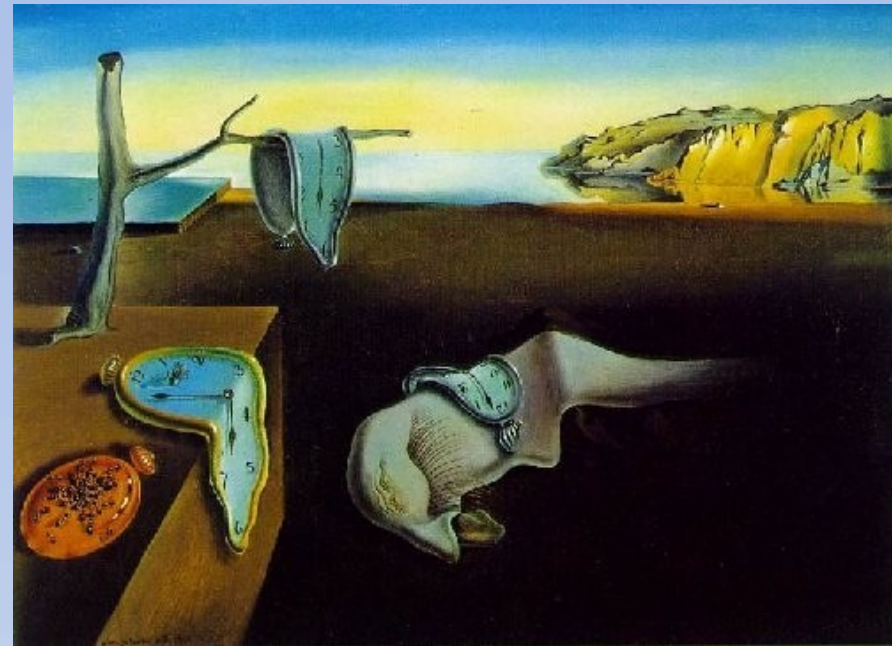
Krzysztof Kamiński

# Czas

Jedno z podstawowych pojęć filozoficznych, wielkość fizyczna określająca kolejność zdarzeń oraz odstępy czasowe między zdarzeniami.

Czas może być rozumiany jako:

- chwila, punkt czasowy,
- odcinek czasu,
- trwanie,
- zbiór wszystkich punktów i okresów czasowych,
- czwarta współrzędna czasoprzestrzeni w teorii względności



# Czas

Podstawowa jednostka czasu SI : **1 sekunda**

- $1/31\,556\,925.9747$  część roku zwrotnikowego (do 1900r)
- $1/86400$  część doby (do 1967r)
- $9\,192\,631\,770$  przejść pomiędzy wybranymi poziomami struktury nadsubtelnej atomu  $^{133}\text{Cs}$  znajdującego się w stanie podstawowym (od 1967r)

- **atto**sekunda = 0.00000000000000000001 S
- **femto**sekunda = 0.0000000000000001 S
- **piko**sekunda = 0.000000000001 S
- **nano**sekunda = 0.000000001 S
- **mikro**sekunda = 0.000001 S
- **milisekunda** = 0.001 S

Hipotetycznym kwant czasu nazwano **chronon**

# Zegary: słoneczne

Zauważono, że między porą dnia i kierunkiem cienia rzucanego wciążą dnia przez oświetlone naszą gwiazdą przedmioty zachodzi bezpośrednia zależność: im krótszy cień, tym bliżej południa, im dłuższy-bliżej poranka lub wieczoru. W ten sposób powstały najstarsze przyrządy astronomiczne, zwane przez Greków **gnomonami**. Rolę takiego przyrządu mógł pełnić wbity w ziemię patyk, kij pasterski, kolumna lub obelisk.



Ten sposób obserwacji znany był Babilończykom, Hindusom oraz Chińczykom, którzy potrafili nawet z rocznych zmian długości cienia w południe określić szerokość geograficzną oraz nachylenie ekliptyki do równika.

# Zegary: słoneczne



Klasyczny  
zegar słoneczny



Ozdobny,  
fasadowy zegar słoneczny  
w Wilanowie



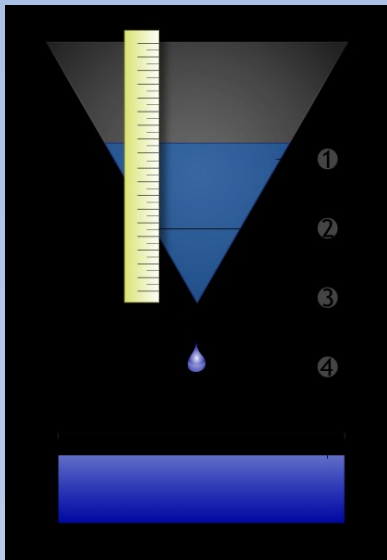


# Zegary: słoneczne



# Zegary: wodne (ok. 2700 p.n.e.)

Jego działanie opiera się o regularny i stały wypływ wody ze zbiornika zwykle przez niewielki otwór. Kontrola dokładności wypływu wody w tego typu urządzeniach jest dość trudna, dlatego zegary wodne nigdy nie osiągnęły dużej dokładności.



$$r = \sqrt[4]{h}$$

zegar o jednostajnej  
zmianie poziomu  
wody

Zegary wodne były jednymi z pierwszych sposobów pomiaru upływu czasu, które nie były zależne od obserwacji astronomicznych.



# Zegary: klepsydry (czyli obieg zamknięty)



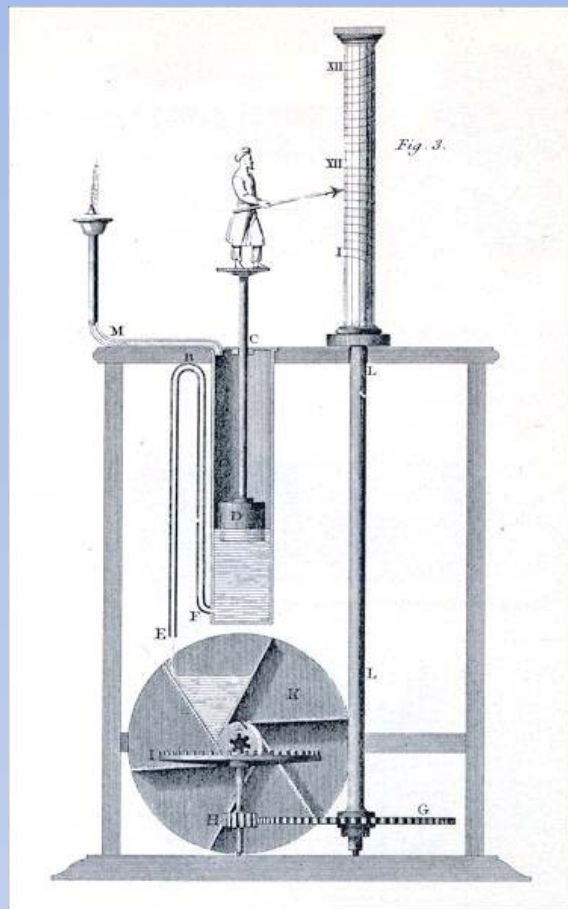


# Zegary: piaskowe



# Zegary: mechaniczne

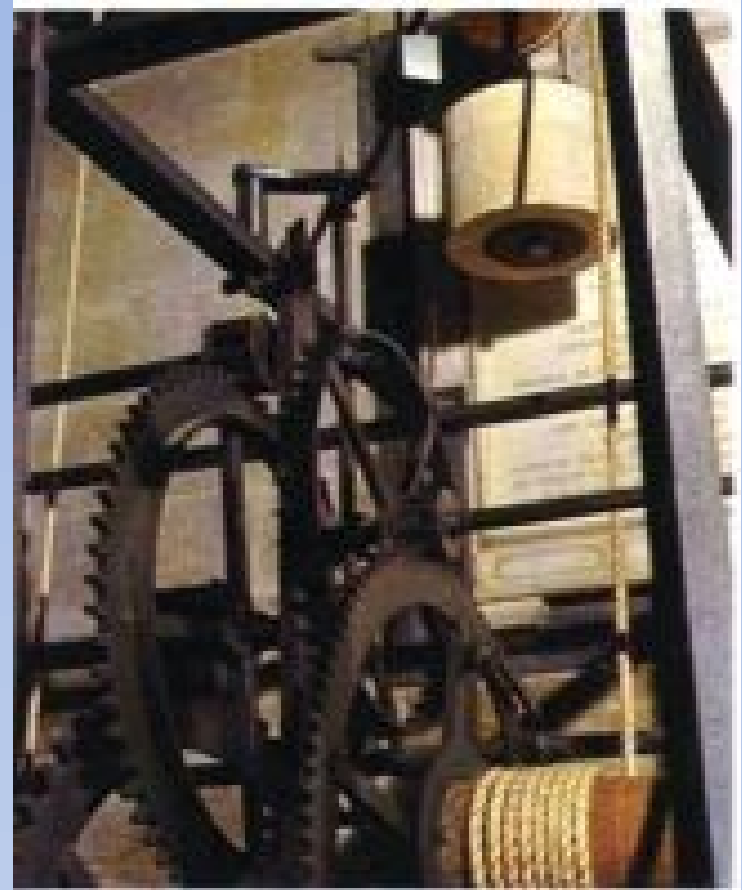
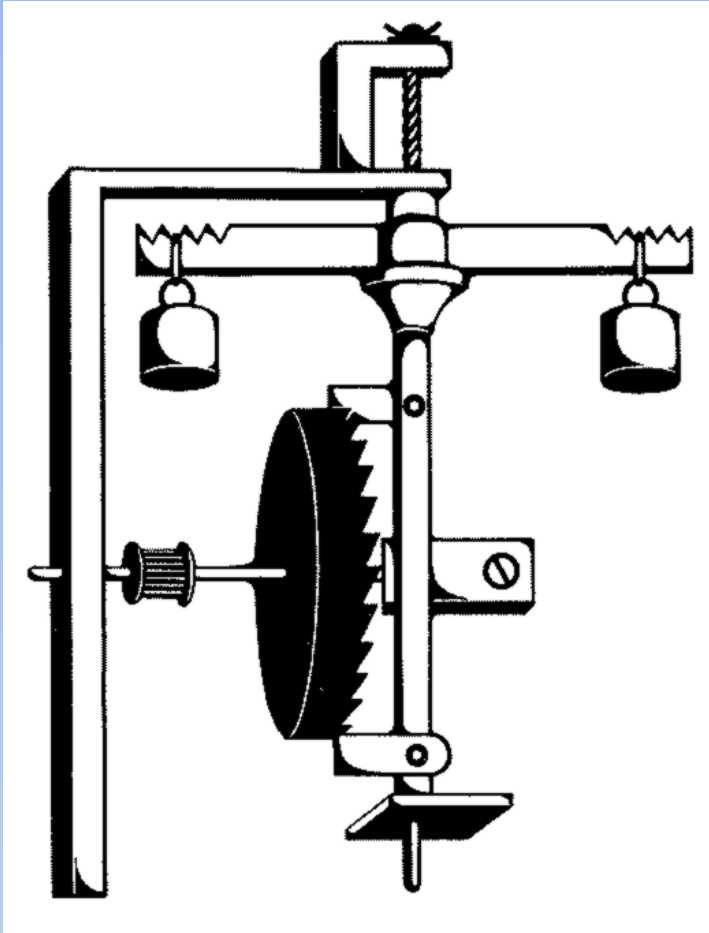
W 724 roku w Chinach zbudowano zegar mechaniczny z napędem wodnym



Ok. 1000 roku mnich Gerbert z Aurillac (późniejszy papież Sylwester II) zbudował w Magdeburgu pierwszy w Europie zegar mechaniczny.

Był to wieżowy zegar wodny, wyposażony w mechanizmy powodujące głośne wybijanie kolejnych godzin.

# Zegary: mechaniczne



średniowieczny wychwyty wrzecionowy



# Zegar wahadłowy 1657



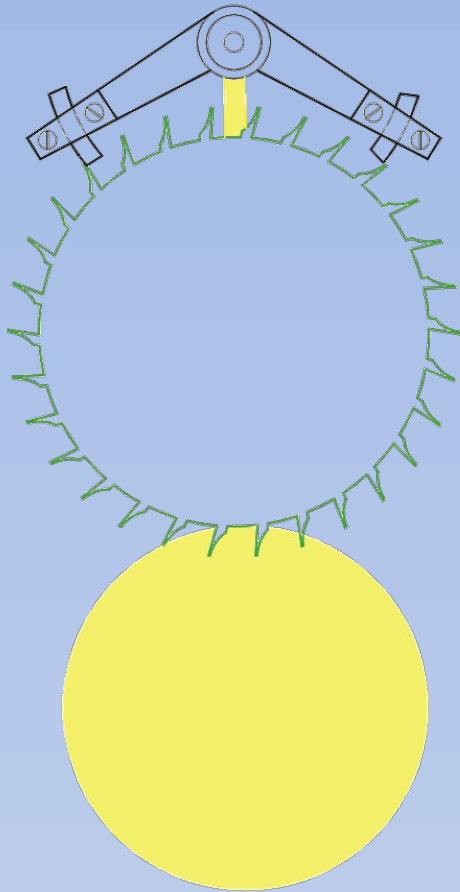
**Galileo Galilei  
(1564-1642)**



**Christiaan Huygens  
(1629-1695)**

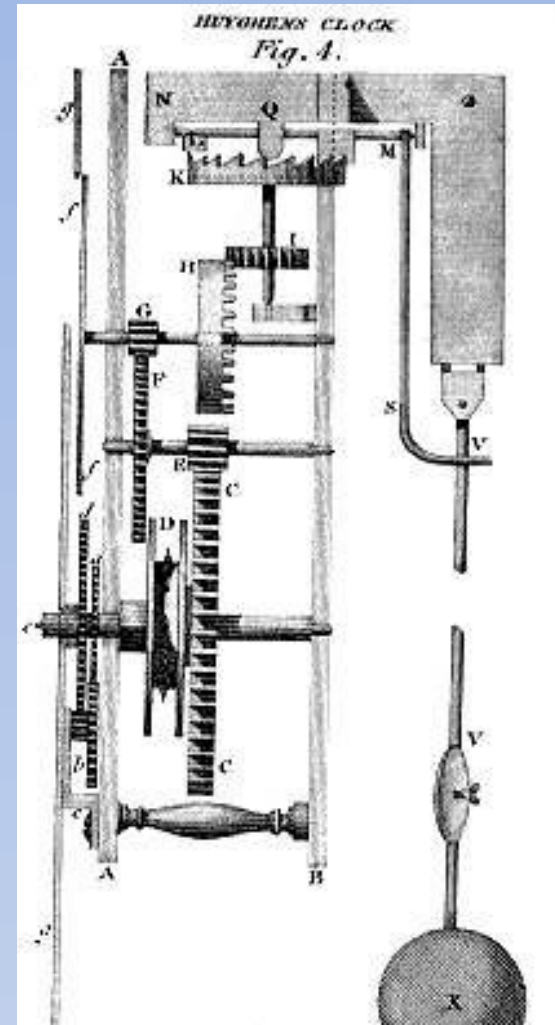


# Zegary: mechaniczne

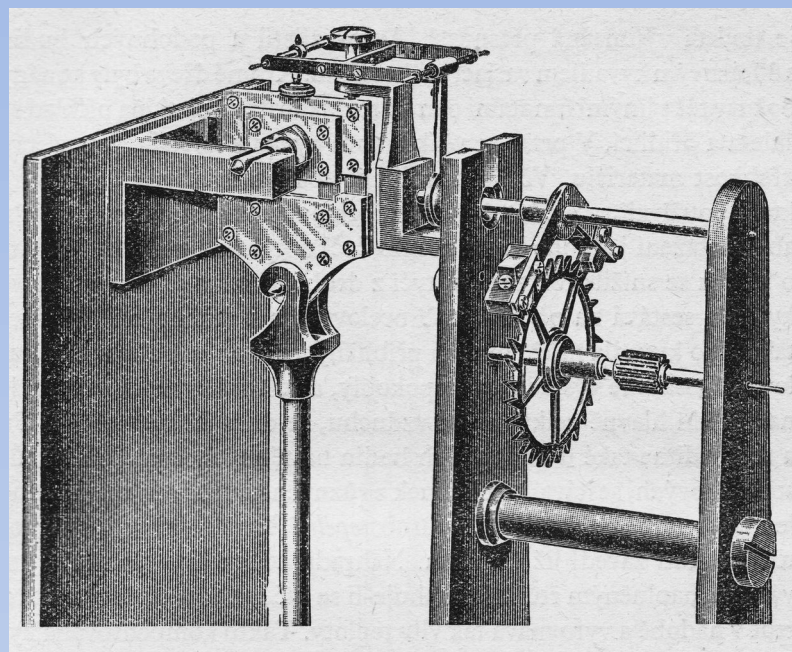
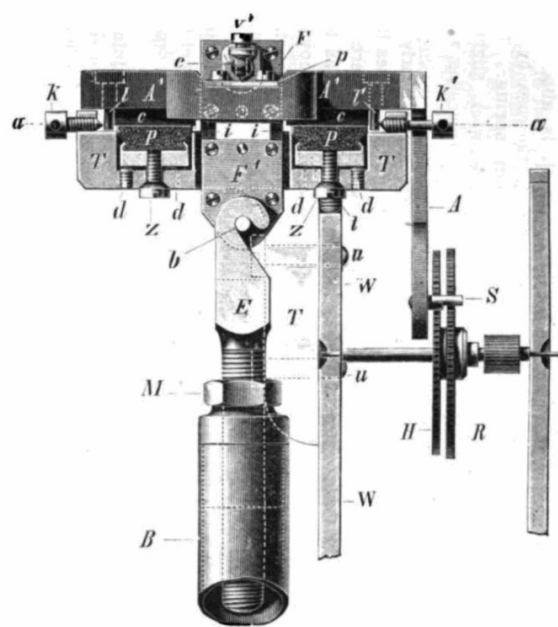
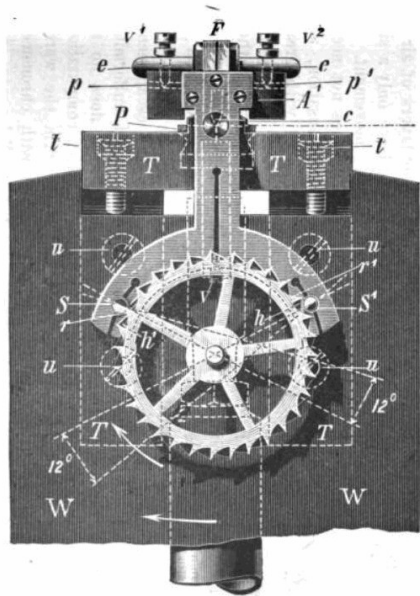


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

wychwył Grahama (1715), pierwszy z kołem  
wychwytowym, które się nie cofa



# Zegary: mechaniczne

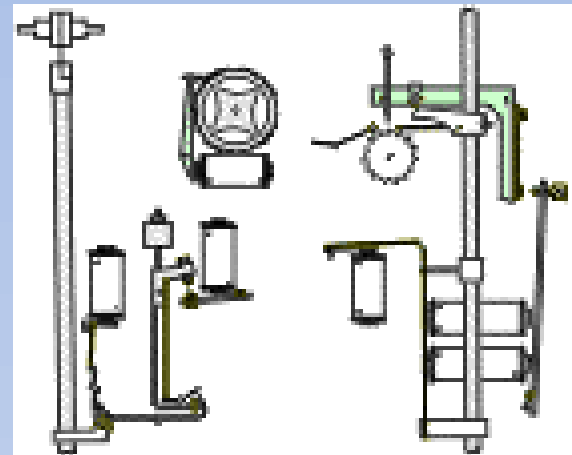


Wychwył Riefflera i Strassera – najdokładniejsze zegary mechaniczne (XIXw)

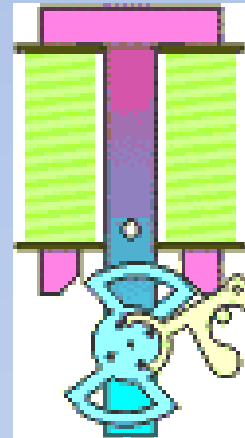
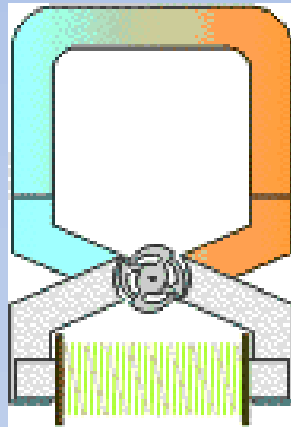
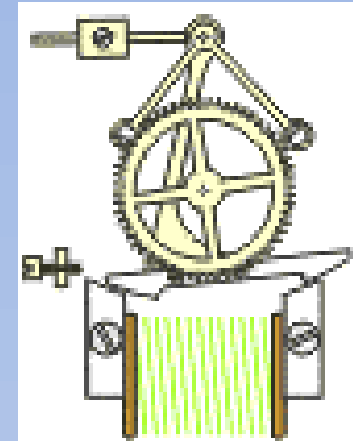
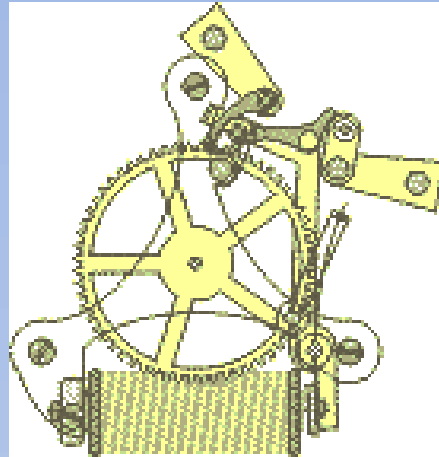
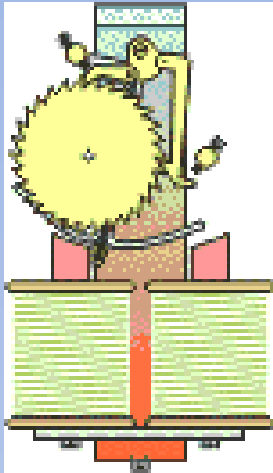
# Zegary: elektryczne



1921  
William Hamilton Shortt,  
Frank Hope-Jones

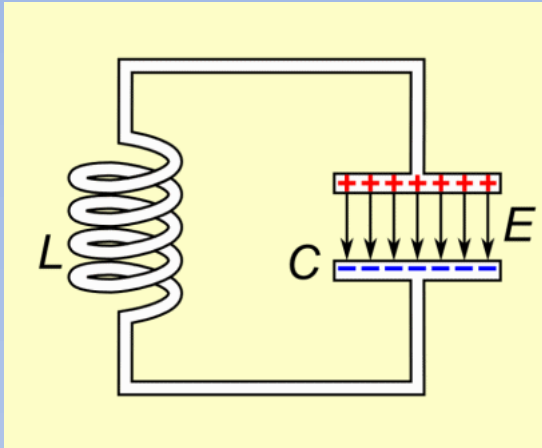


# Zegary: elektryczne

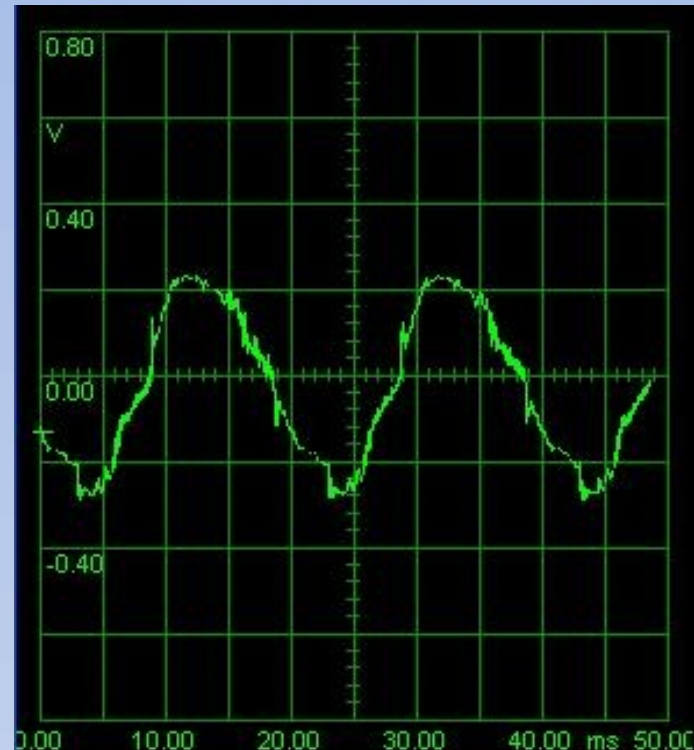
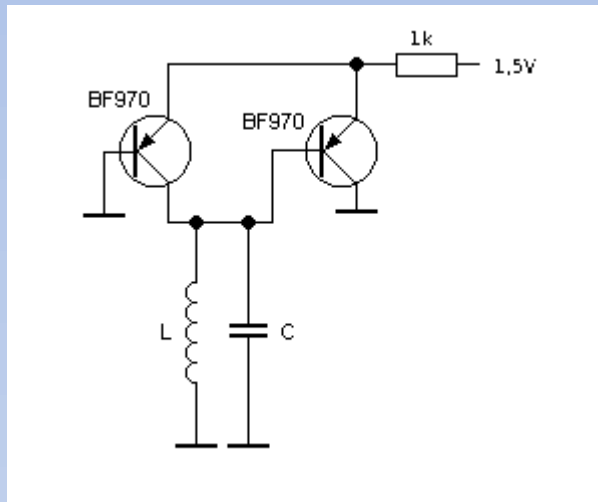




# Zegary: oscylator elektroniczny

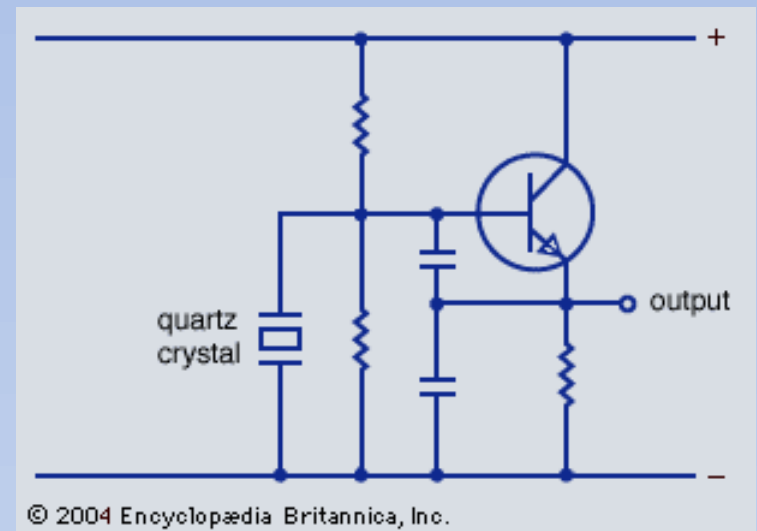
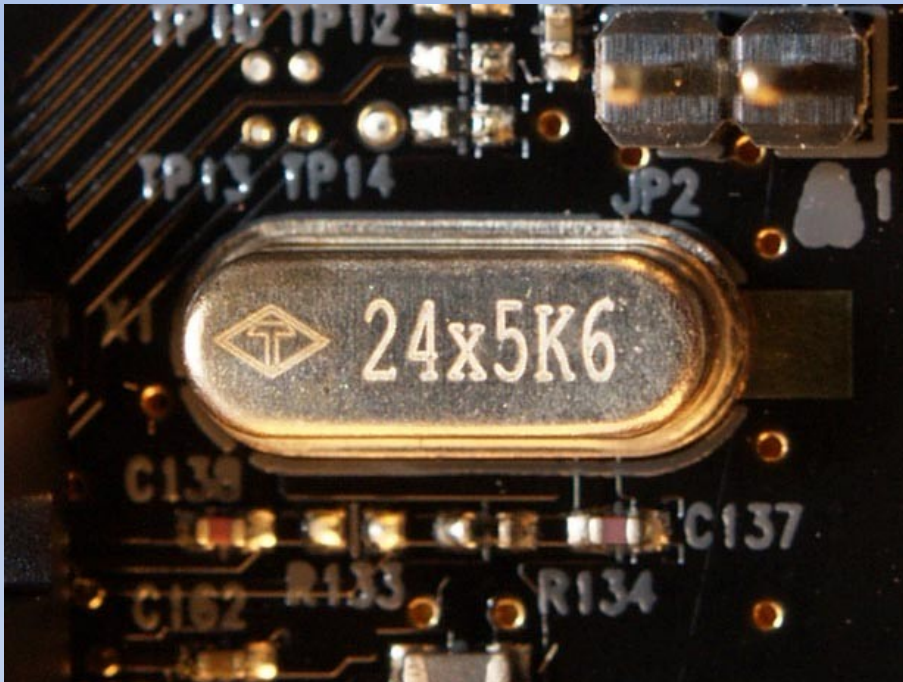


$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



# Zegary: rezonator kwarcowy

Przyrząd elektroniczny, którego zasada działania oparta jest na zjawisku piezoelektrycznym w kryształach kwarcu. Przyrząd ma za zadanie stabilizację częstotliwości drgań oscylatorów elektronicznych. Częstotliwości pracy tego typu rezonatorów zawierają się w granicach od kilkudziesięciu kHz do kilkudziesięciu MHz, zaś w wykonaniach specjalnych osiągają nawet setki MHz.



# Zegary: rezonator kwarcowy

Arduino Uno, 16MHz oscylator ceramiczny, +/- 5000 ppm



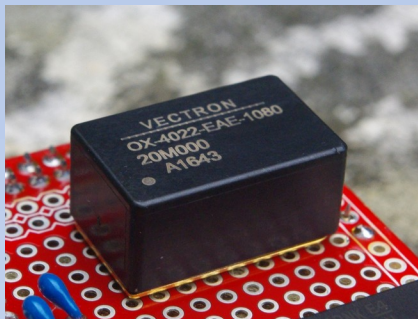
Arduino Leonardo, 16MHz oscylator kryształowy, +/- 40 ppm



TCXO, oscylator kryształowy kompensowany termicznie, +/- 2 ppm



OCXO, oscylator kryształowy stabilizowany termicznie, +/- 0.1 ppm



# Zegary: kvarcowe

**Oscylator kwarcowy** - gdy przez płytkę kryształu kwarcu przepływa prąd, drga ona z częstotliwością 32 768 razy na sekundę.

**Mikroprocesor** - steruje zmianą 32 768 impulsów elektrycznych na sekundę (z oscylatora) na jeden impuls na sekundę.

**Silniczek** - wykonuje pół obrotu na sekundę, napędzając zespół przekładni, sterujących ruchem wskazówek zegara.

**Przekładnie** - zapewniają zamianę ruchu silniczka na odpowiedni ruch obrotowy wskazówki godzinowej, minutowej i sekundnika.

**Bateria** - prąd elektryczny z baterii wywołuje drgania kryształu kwarcu, a ponad to zapewnia zasilanie silniczka i mikroprocesora.





# Zegary: kvarcowe

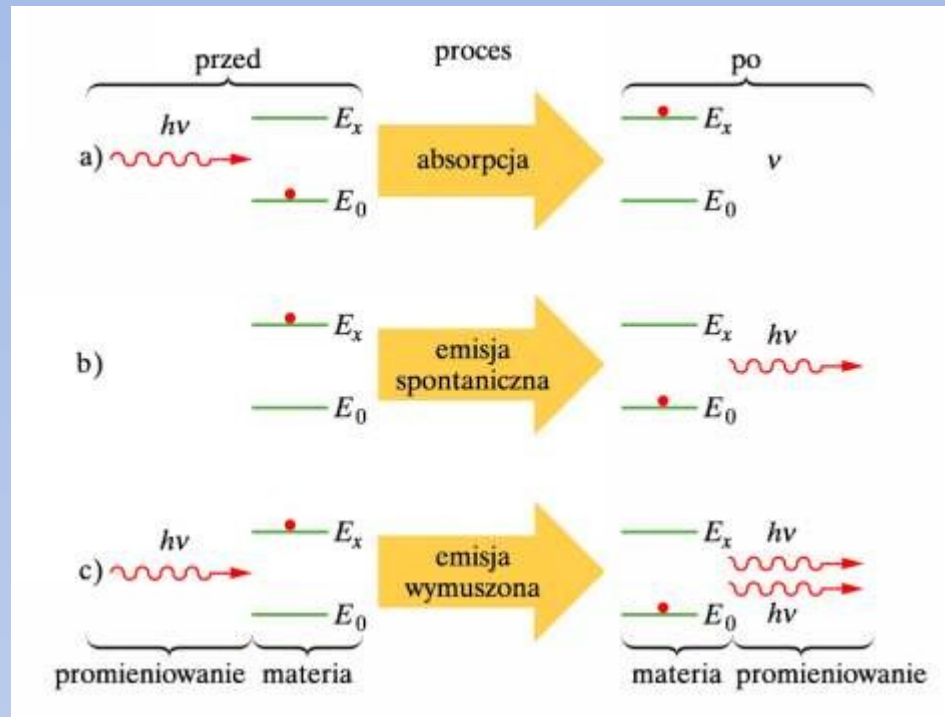
„Na dalekich peryferiach Galaktyki, w nieciekawym zakamarku na końcu jej zachodniego ramienia, świeci mizerne żółte słońce. Wokół niego, w odległości około stu pięćdziesięciu milionów kilometrów, krąży nieważna, mała niebieskozielona planeta, zamieszкана przez pochodzące od małych bioformy – tak zadziwiająco prymitywne, że do dziś uważają zegarki elektroniczne za świetny wynalazek.”

Douglasa Adamsa - *Autostopem przez galaktykę*.

W tym miejscu zaczyna się wykład dla bioform, które tak nie uważają .....

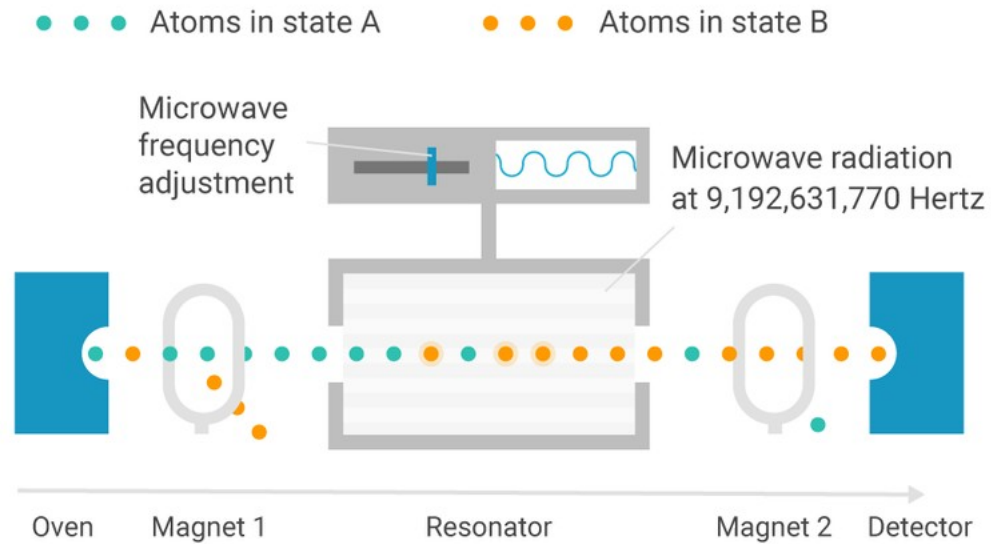
# Zegary: atomowe

**Zegar atomowy** to rodzaj zegara, który używa atomowego wzorca częstotliwości jako licznika.



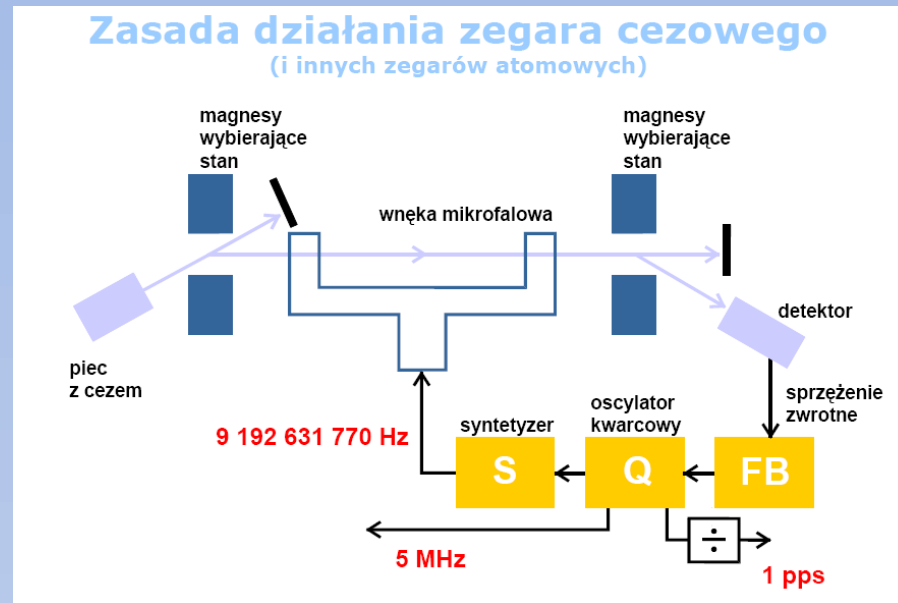
Pierwszy zegar atomowy, którym był maser amoniakalny, został zbudowany w 1949 roku.

# Zegary: atomowe



# Zegary: atomowe

Pierwszy zegar atomowy bazujący na drganiu atomów cezu-133, zbudował **Louis Essen** w roku 1955 w National Physical Laboratory w Anglii.

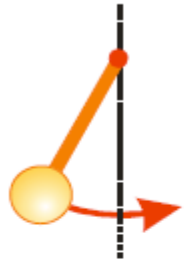


Częstotliwość rezonansu atomowego cezu wynosi równo 9 192 631 770 Hz, i taką właśnie, z dokładnością  $10^{-12}$  %, otrzymuje się na wyjściu. Trzeba to wszystko policzyć, puszczając na odpowiednie dzielniki częstotliwości, i jest zegar. To doprowadziło do przyjętej na całym świecie definicji sekundy opartej na czasie atomowym.

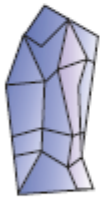


# Zegary:

## Oscylatory:



$$\text{wahadło: } \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$



kwarc: 32 768 Hz



$^{133}\text{Cs}$ :

9 192 631 770 Hz (RF)

$^{40}\text{Ca}$ :

455 986 240 494 158 (26) Hz (657 nm)

$^{199}\text{Hg}^+$ :

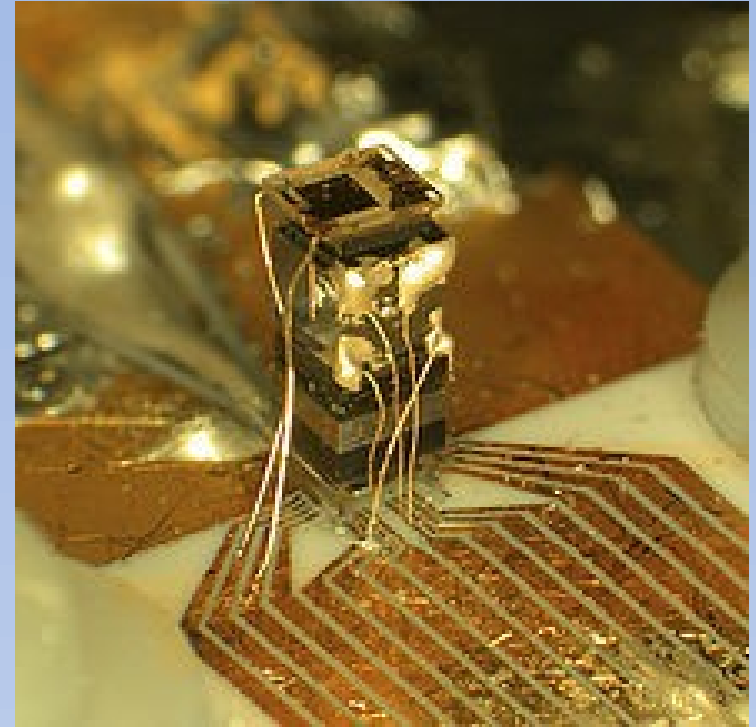
1 064 721 609 899 143 (10) Hz (282 nm)

## Odpowiednio szybki licznik



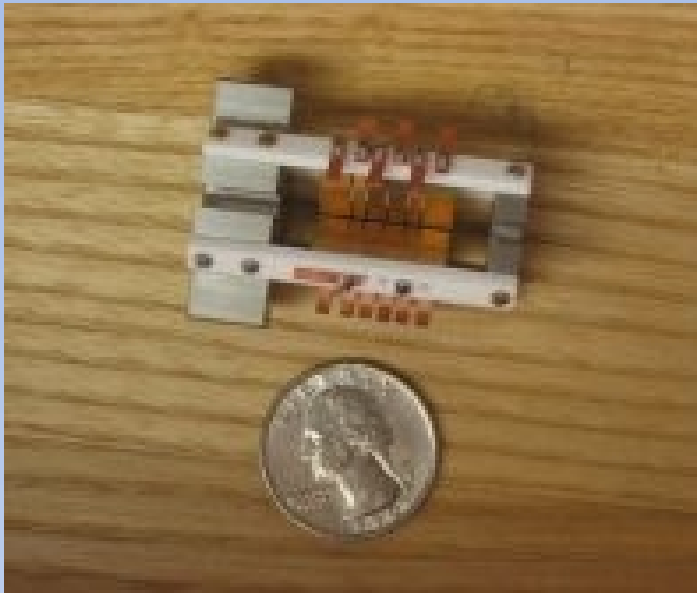
# Zegary: atomowe

W sierpniu 2004 roku, uczeni z amerykańskiego National Institute of Standards and Technology (NIST) zademonstrowali miniaturowy zegar atomowy: właściwa część zegara – komora z cezem – ma wielkość ziarna ryżu: średnicę 1,5 mm i długość 4 mm. Cały układ (komora wraz z oprzyrządowaniem: diodą laserową, polaryzatorami, fotodiodą) zajmuje objętość około 1 cm<sup>3</sup>, a więc porównywalną z układami zegarów kwarcowych. Jego dokładność jest jednak tysiącrotnie wyższa niż zegarów kwarcowych: wynosi jedną dziesięciomiliardową ( $10^{-10}$ ), co oznacza dopuszczalne odchylenie w postaci 1 sekundy w ciągu 300 lat. Według konstruktorów, zegar ten jest sto razy mniejszy od innych zegarów atomowych. Potrzebuje także jedynie 75 mW mocy do działania, co czyni go zdatnym do zasilania bateryjnego.



# Zegary: atomowe

W amerykańskim Narodowym Instytucie Standardów i Technologii powstał **najdokładniejszy zegar atomowy na świecie**. Bazuje on na pojedynczym atomie glinu i jest dwukrotnie bardziej dokładny niż jego wcześniejsza wersja korzystająca z atomu rtęci.

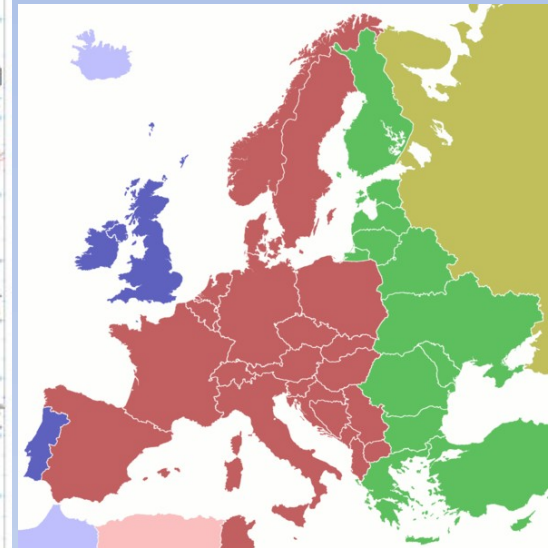
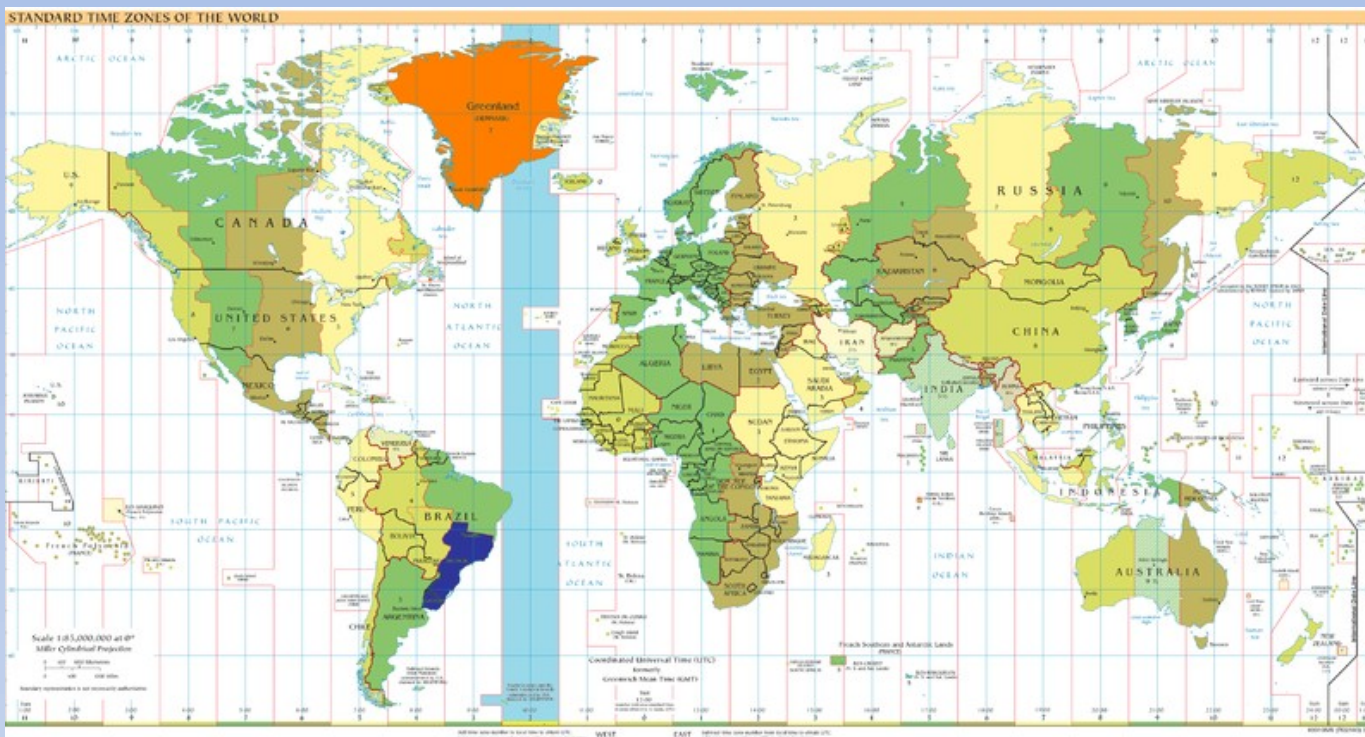


Dokładność nowego zegara wynosi jedną sekundę na około 3,7 miliarda lat.  
(W USA taki standard wyznacza cezowy zegar NIST-F1, którego dokładność wynosi "zaledwie" 1 sekundę na 100 milionów lat.)

Urządzenie to druga wersja "zegara z kwantową logiką". Został on tak nazwany, gdyż korzysta technologii obliczeniowych powstających na potrzeby przyszłych komputerów kwantowych.

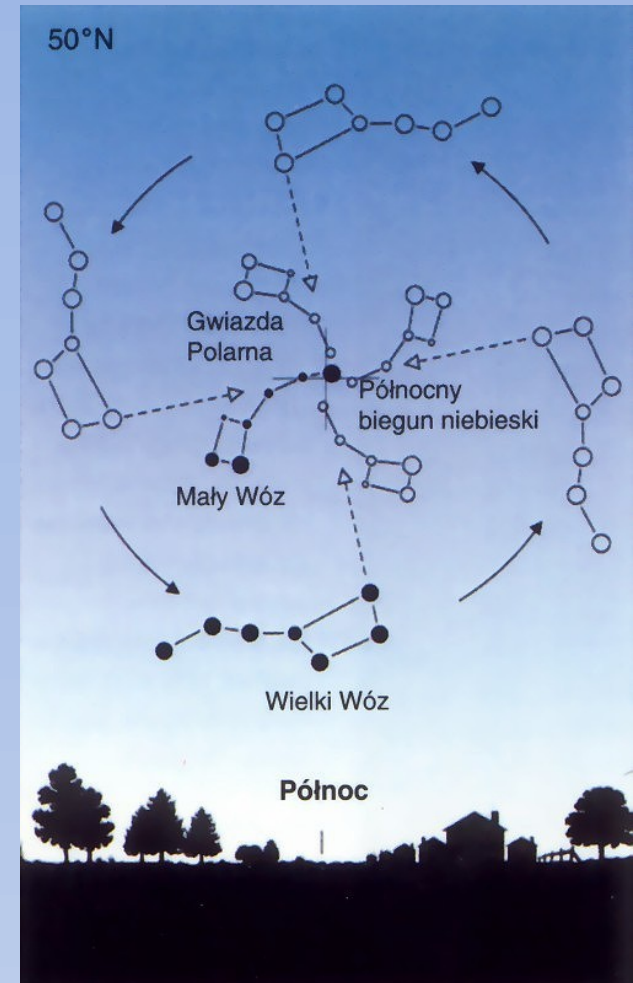
# Uniwersalny czas koordynowany

**UTC** (ang. *Universal Time Clock* lub *Coordinated Universal Time*, fr. *Temps Universel Coordonné*) – wzorcowy czas ustalany na podstawie TAI (fr. *Temps Atomique International*), uwzględniający nieregularność ruchu obrotowego Ziemi i koordynowany względem czasu słonecznego. By zapewnić, że Słońce średnio w ciągu roku przechodzi nad południkiem zerowym o godz. 12:00 UTC, z dokładnością nie mniejszą niż 0.9 s, od czasu do czasu do UTC dodawana jest tzw. przestępna sekunda. Operację tę przeprowadza IERS (*International Earth Rotation Service*).



# Czas: gwiazdowy

**Czas gwiazdowy** – czas wyznaczany tempem rotacji sfery niebieskiej. Definiuje się go jako kąt godzinny punktu równonocy wiosennej (punktu Barana). Jest on zawsze równy rektascensji obiektu astronomicznego, który znajduje się w danej chwili w południku lokalnym. Czas gwiazdowy należy do czasów o charakterze lokalnym, w różnych miejscach Ziemi mamy różny czas gwiazdowy.

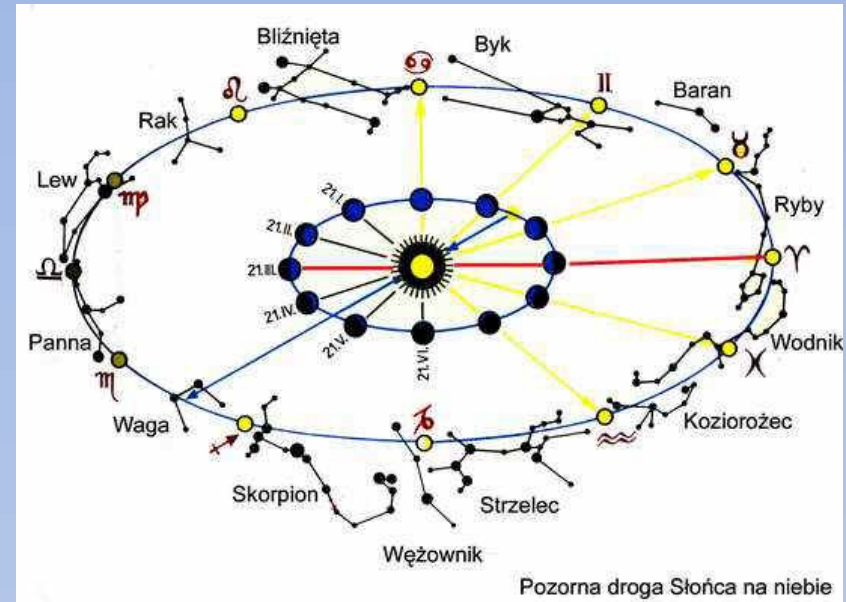


Naturalną jednostką czasu gwiazdowego jest doba gwiazdowa, która jest równa okresowi w jakim obraca się Ziemia dookoła osi względem gwiazd. Dobę gwiazdową dzielimy na 24 godziny gwiazdowe, te na 60 minut gwiazdowych, a te z kolei na 60 sekund gwiazdowych



# Czas: słoneczny

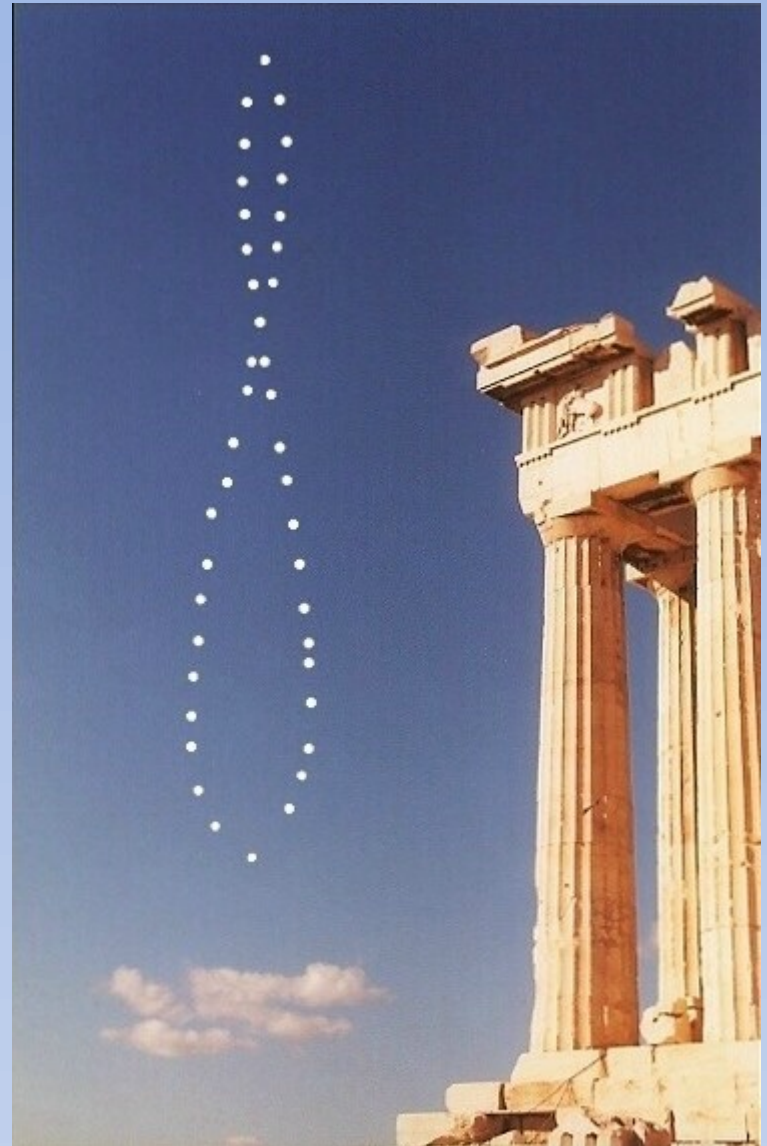
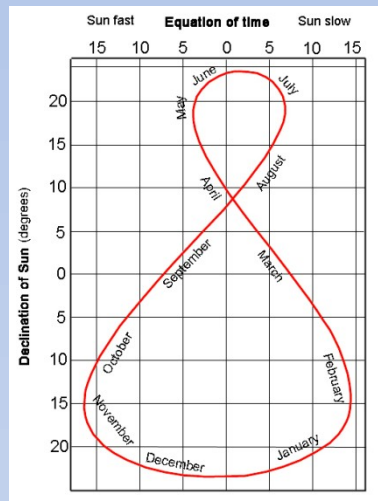
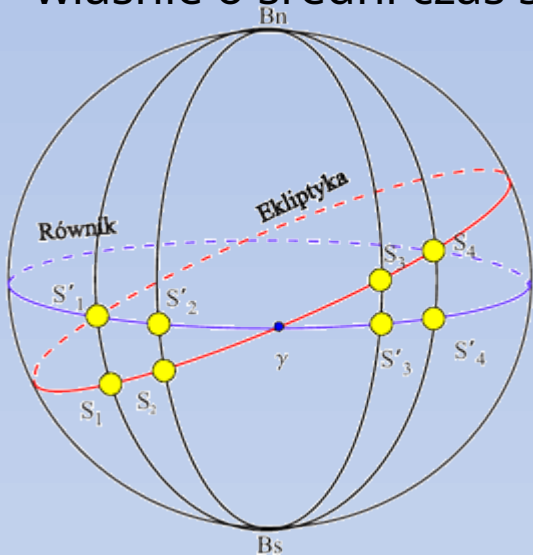
**Czas słoneczny** - czas wynikający bezpośrednio z pozycji Słońca na niebie. Istnieją dwa rodzaje czasu słonecznego: prawdziwy i średni. Prawdziwy czas słoneczny definiowany jest jako kąt godzinny Słońca powiększony o 12 godzin.



Czas prawdziwy słoneczny okazuje się być czasem płynącym niejednostajnie. Istnieją dwa powody dla których kąt godzinny Słońca nie narasta jednostajnie w czasie. Pierwszy związany jest z faktem, że Słońce na niebie porusza się po ekliptyce, która jest nachylona względem równika niebieskiego, co powoduje, że jego ruch rzutowany na płaszczyznę równika niebieskiego jest ruchem niejednostajnym. Drugi powód wynika z ekscentryczności orbity ziemskiej, co powoduje, że ruch Słońca po samej ekliptyce jest także niejednostajny. Do tego występują wahania prędkości obrotowej Ziemi.

# Czas: słoneczny

Aby uniknąć efektów niejednostajności prawdziwego czasu słonecznego wprowadza się jego postać uśrednioną, *średni czas słoneczny*, który jest definiowany jako kąt godzinny *Słońca średniego* powiększony o 12 godzin. *Słońce średnie* jest tutaj punktem matematycznym poruszającym się w sposób jednostajny po równiku niebieskim. Używany przez nas w życiu codziennym czas urzędowy jest oparty właśnie o *średni czas słoneczny*.



# Czas: skale

**Międzynarodowe oznaczenia skal czasowych (The Astronomical Almanac,).**

**TAI** - międzynarodowy czas atomowy. Jednostką tego czasu jest sekunda SI.

**UT (UT1)** - czas uniwersalny, punktem zerowym jest moment północy.  
Jednostką tego czasu jest średnia doba słoneczna.

**UT0** - lokalna aproksymacja czasu uniwersalnego bez uwzględnienia ruchu bieguna.

**UTC (GMT)** - uniwersalny czas koordynowany. Różni się od TAI całkowitą liczbą sekund.

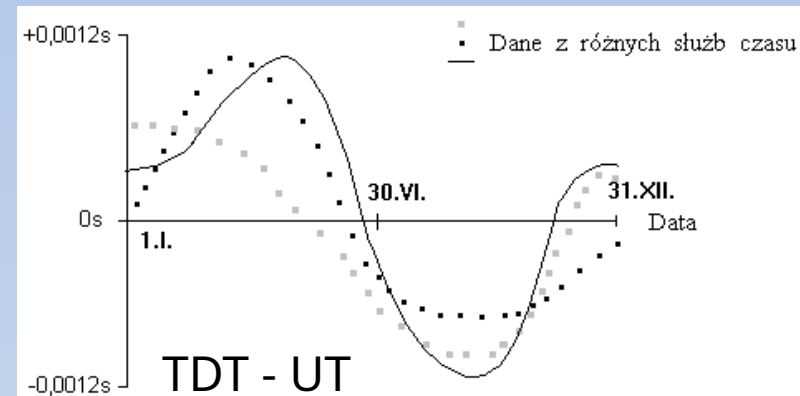
**TDT** - ziemski czas dynamiczny, używany jest do obserwacji z powierzchni Ziemi.

**TDB** - barycentryczny czas dynamiczny, używany jest do efemeryd odniesionych do do barycentrum Układu Słonecznego.

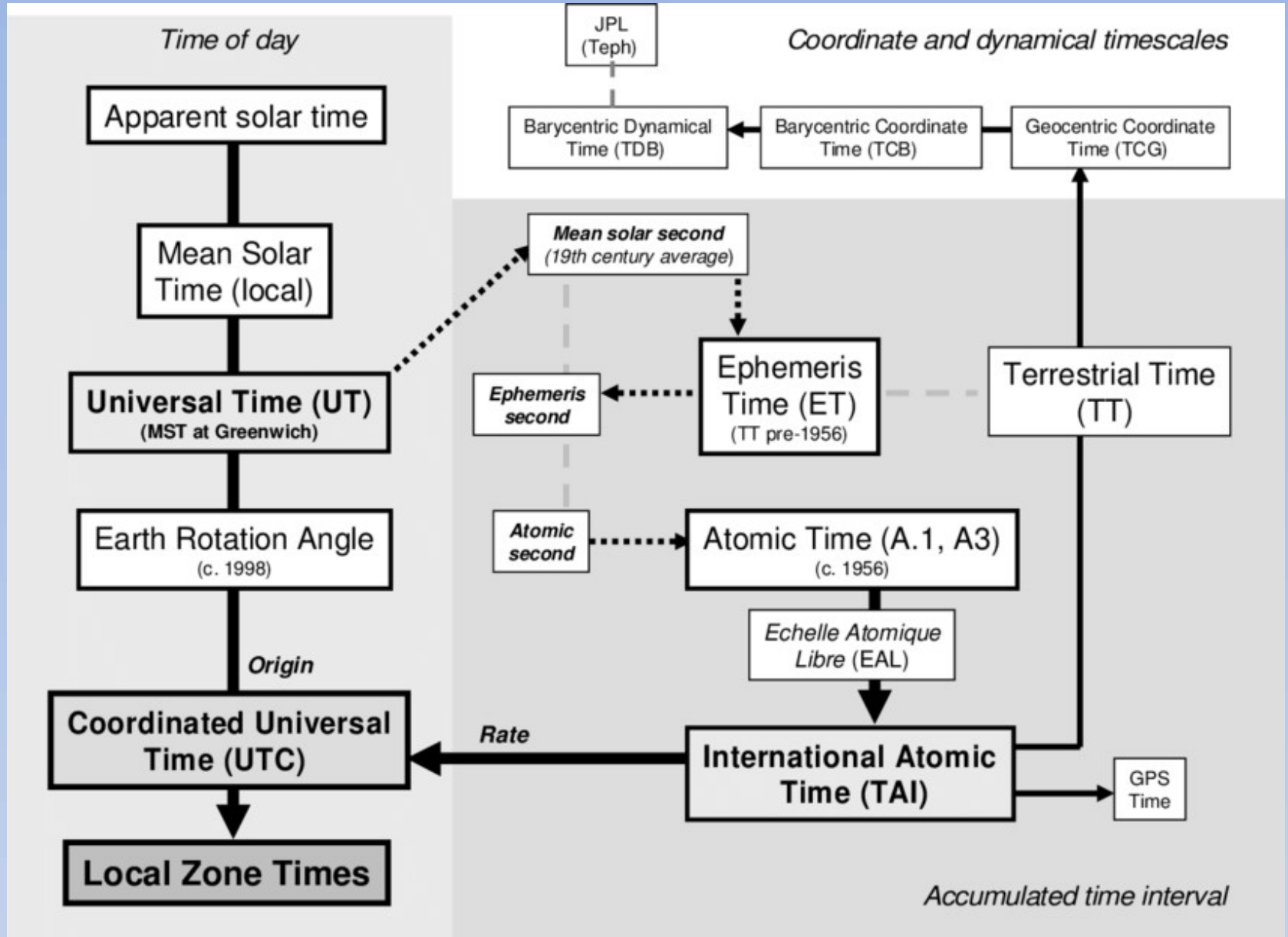
**GMST** (Greenwich Mean Sidereal Time) - średni czas gwiazdowy dla południka Greenwich. Opisuje fazę obrotu Ziemi względem gwiazd.  
Związany ze średnią równocą na daną datę.

**GAST** (Greenwich Apparent Sidereal Time) - związany z prawdziwą równocą daty.

$$\text{TDT} = \text{TAI} + 32,184 \text{ s}$$



# Czas: skale



# Czas: skale

