

Czas w astronomii

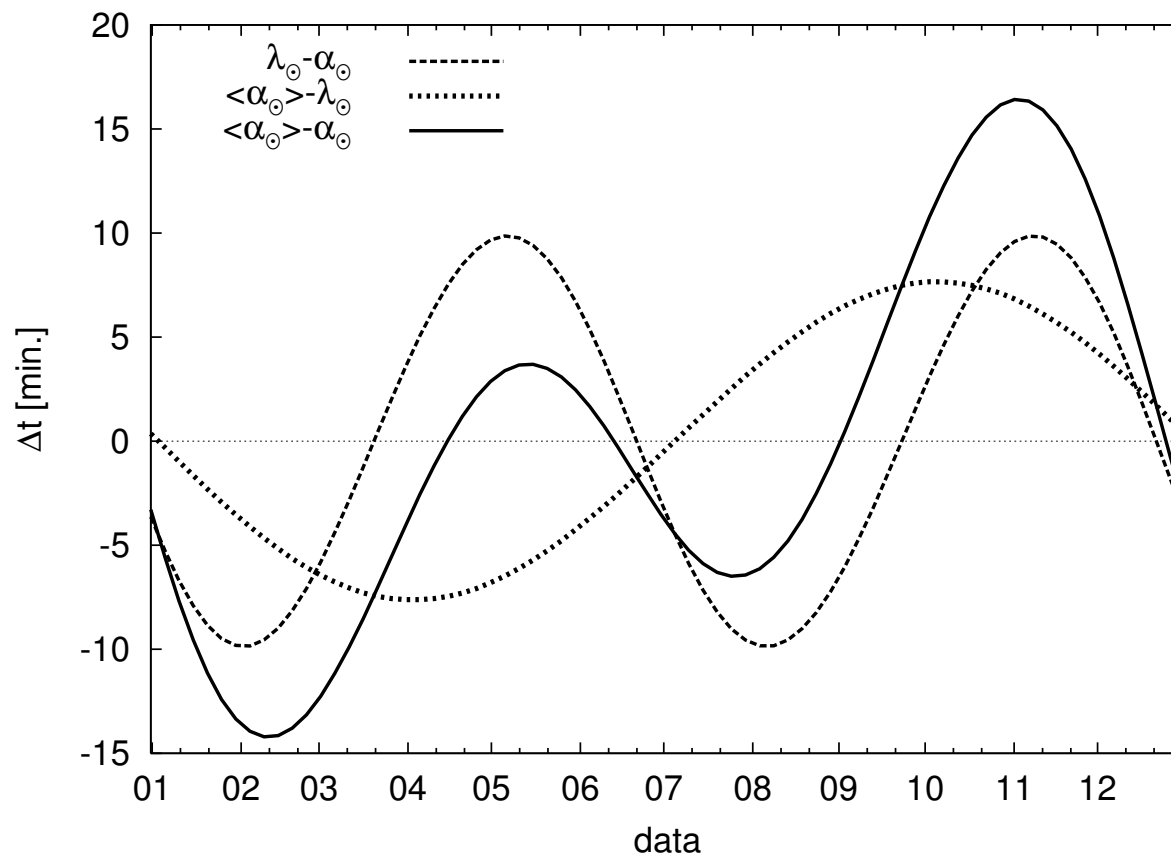
W życiu codziennym możemy wyróżnić dwie naturalne skale czasowe. Są to

- ⇒ doba (liczona jako np. odstęp między kolejnymi przejściami Słońca przez południk)
- ⇒ rok (odstęp między kolejnymi pojawieniami się Słońca na tle tego samego fragmentu sfery niebieskiej).

To pierwsze stało się podstawą definicji **miejscowego czasu słonecznego prawdziwego**:

$$T_0 = t_{\odot} \pm 12^{\text{h}}$$

(jest to kąt godzinny Słońca prawdziwego liczony od północy).



Roczny przebieg równania czasu (2002 r.)

Astronomowie potrzebują możliwie najbardziej wiarygodnego miernika upływu czasu i tu powstaje pierwszy problem: pozorny ruch Słońca po sferze niebieskiej jest niejednostajny. Można wyróżnić dwie składowe:

⇒ związana z ruchem Słońca po ekliptyce

⇒ związana z eliptycznością orbity Ziemi.

Aby sobie z tym poradzić, zdefiniowano tzw. **Słońce średnie**, które porusza się jednostajnie po równiku niebieskim. W związku z tym wprowadzono pojęcie **równania czasu η** :

$$\eta = \langle \alpha_{\odot} \rangle - \alpha_{\odot} = t_{\odot} - \langle t_{\odot} \rangle$$

gdzie α_{\odot} i $\langle \alpha_{\odot} \rangle$ to rektascensja Słońca prawdziwego i średniego a t_{\odot} i $\langle t_{\odot} \rangle$ to kąt godzinny Słońca prawdziwego i

średniego. Równość zachodzi ze względu na fakt, że dla dowolnego obiektu na sferze niebieskiej $t + \alpha = S$, gdzie S to czas gwiazdowy, o którym będzie później.

W związku z tym można zdefiniować **czas słoneczny średni** jako **kąt godzinny Słońca średniego $\pm 12^h$** .

Czas gwiazdowy.

Czas słoneczny jest miernikiem położenia Słońca na niebie. Problem w tym, że Słońce przemieszcza się na tle gwiazd – w ciągu doby od $57'$ do $61'$. Jeśli chcemy szybko się zorientować, jakie gwiazdozbiory są aktualnie widoczne, potrzebujemy czasu związanego właśnie z gwiazdami. Ponieważ, jak już było wspomniane, czas gwiazdowy jest sumą rektascensji i kąta godzinnego więc mamy przynajmniej dwie równoważne definicje tego czasu:

- ⇒ jeśli $\alpha = 0$ to $t = S$, czyli jest to kąt godzinny punktu równonocy wiosennej
- ⇒ jeśli $t = 0$ to $\alpha = S$, czyli jest to rektascensja południka miejscowego.

Doba gwiazdowa to prawdziwy czas obrotu Ziemi wokół własnej osi. Jest ona nieznacznie krótsza od **doby słonecznej**:

$$1d_{\odot} = 24^{\text{h}}3^{\text{m}}56^{\text{s}}.55536_* = 1.002737909\dots d_*$$

$$1d_* = 23^{\text{h}}56^{\text{m}}4^{\text{s}}.09053_{\odot} = (1 - 0.002730433\dots)d_{\odot}$$

$$\frac{1d_{\odot}}{1d_*} = \frac{366.242198\dots}{365.242198\dots}$$

Czas miejscowy i uniwersalny.

Kąt godzinny (a co za tym idzie, czas słoneczny) zależy od długości geograficznej miejsca obserwacji.

$$t = t_{\lambda=0} + \lambda$$

Oczywiście, jest to słuszne również dla Słońca prawdziwego

$$t_{\odot} = t_{\odot, \lambda=0} + \lambda$$

(czas miejscowy = czas Greenwich + długość geograficzna) oraz średniego

$$\langle t_{\odot} \rangle = \langle t_{\odot, \lambda=0} \rangle + \lambda$$

Czas słoneczny średni dla południka Greenwich (Greenwich Mean Time, GMT) jest nazywany **czasem uniwersalnym prawdziwym UT0**. Ten czas zależy wyłącznie od położenia Słońca średniego i ruchu obrotowego Ziemi.

Kolejny problem z jednostajnością: oś ziemską nie jest idealnie stabilną, położenie biegunów jest zmienne, w związku z tym zdefiniowano **czas uniwersalny średni UT1**, wyznaczony na podstawie „średnich” biegunów

$$UT1 = UT0 + \Delta\lambda$$

Niektóre z tych niejednostajności są sezonowe (zależą od położenia Ziemi względem Słońca), w związku z tym wprowadzono **czas uniwersalny quasi-jednostajny UT2**

$$UT2 = UT1 + \Delta T_s = UT0 + \Delta\lambda + \Delta T_s$$

Ale i ten zabieg nie uwolnił astronomów od niejednostajności. Z powodu tarcia pływowego Ziemia zwalnia obrót i doba stopniowo się wydłuża. W związku z tym wprowadzono

Czas efemeryd (ET)

Pierwotna definicja sekundy SI była następująca: jest to 1/86400 średniej doby słonecznej. Kiedy zauważono niejednostajności doby, zaczęto wprowadzać definicje oparte na innych pomiarach. Do 1967 r. przyjmowano, że

$$1^{\text{s}} SI = \frac{1}{31556925.9747} a$$

gdzie a jest długością roku zwrotnikowego dla początku roku 1900 (tzw. epoki J1900.0). W astronomii obowiązywał w latach 1960–1983 oparty na tej definicji **czas efemeryd**

$$ET = UT + \Delta T$$

ΔT stopniowo rośnie, obecnie wynosi ok. 65^s i rośnie o ok. 0^s.3 na rok.

Międzynarodowy Czas Atomowy (IAT)

W pewnym momencie okazało się, że wzorce atomowe są dokładniejsze niż astronomiczne. Od 1967 r. w układzie SI

$$1^s = 9192631770t$$

gdzie t jest okresem (czyli odwrotnością częstotliwości) promieniowania odpowiadającego przejściu między poziomami $F=4$, $M=0$ i $F=3$, $M=0$ stanu podstawowego $2S_{\frac{1}{2}} \text{ }^{133}\text{Cs}$. Na podstawie nowej definicji sekundy wprowadzono **Międzynarodowy Czas Atomowy**. Ustalono, że w życiu codziennym zamiast czasu uniwersalnego średniego UT1 (lub odpowiedniego strefowego) będzie obowiązywał **Czas Uniwersalny Koordynowany (UTC)**, różny od IAT o całkowitą liczbę sekund. Początkowo starano

się zachować lepszą zgodność UTC z UT1 ale po 1 I 1972 tego zaniechano i odtąd przyjęto, że wystarczy, aby różnica nie przekraczała 1^s (w praktyce 0.7^s). **Od 1 I 2006 $UTC = IAT + 33^s$.**

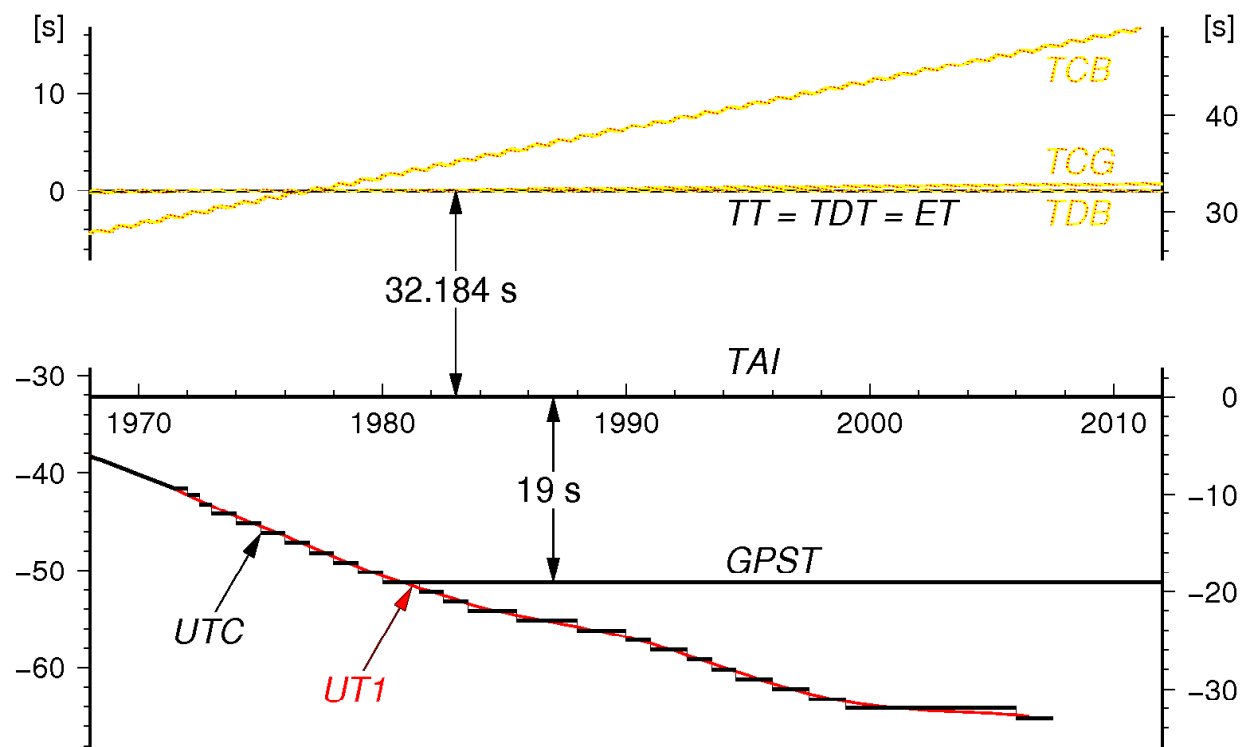
Astronomowie zareagowali na te zmiany z opóźnieniem, dopiero od 1984 r. (uchwałą IAU z 1976 r.) wprowadzono **Ziemiński Czas Dynamiczny (TT, dawniej TDT)**

$$TT = IAT + 32^s.184$$

i obecnie to on obowiązuje w rocznikach astronomicznych, wzorach itd. Na dzień dzisiejszy można przyjąć, że **$TT - UT1 \simeq ET - UT1 \simeq 65^s$** (różnice między TT i ET są bardzo nieznaczne).

Czasy strefowe

Gdyby ludzie zawsze posługiwali się czasem miejscowym to na każdym południku byłby inny czas. W związku z tym podzielono Ziemię na 24 strefy czasowe co 1^{h} (czyli 15°), choć nie wszystkie kraje tego przestrzegają (np. Indie mają własną strefę czasową a w Arabii Saudyjskiej obowiązuje zgodny z Koranem czas słoneczny, regulowany codziennie). Polska leży między 15° E i 24° E, czyli w strefie czasowej $\text{GMT}+1^{\text{h}}$, naszym czasem strefowym jest **czas środkowoeuropejski (CET)**. W praktyce od końca marca do końca października jest wprowadzany **czas letni** – u nas jest to $\text{GMT}+2^{\text{h}}$ czyli **czas wschodnioeuropejski (EET)** albo **środkowoeuropejski letni (CEST)**.



Rys. 3 Zależności pomiędzy niektórymi stosowanymi skalami czasu

Zależności między skalami czasu (wg RA IGIK 2007)

Epoki odniesienia

W literaturze astronomicznej nieraz spotyka się współrzędne odniesione np. do epoki B1950 lub J2000. **B** oznacza **epokę besselowską**, w której rok trwa $365^{\text{d}}.242198781$, zaś **J** oznacza **epokę juliańską**, w której rok trwa $365^{\text{d}}.25$. Na przykład

$$\text{J2000.0} = 2000 \text{ I } 1 \text{ } 12^{\text{h}} \text{ TT}(\text{JD } 2451545.0)$$

$$\text{B1900.0} = 1900 \text{ I } 0^{\text{d}}.81352 \text{ TT}(\text{JD } 2415020.31352)$$

Dni juliańskie

Jest to bardzo wygodny sposób liczenia czasu jeśli chce się obliczyć dokładny odstęp czasu między dwiema odległymi datami (np. przy obserwacjach gwiazd zmiennych długookresowych). Wprowadzone w 1581 r. przez Scaligera. Początek odmierzenia czasu został wyznaczony przez trzy cykle:

- ⇒ słoneczny (28 lat juliańskich)
- ⇒ Metona (19 lat juliańskich)
- ⇒ indykcję rzymską (indiction, 15 lat juliańskich).

Każdy rok ma kolejny numer, odpowiednio 1...28, 1...19 i 1...15. Rokiem, któremu odpowiadały numery (1,1,1) był 4713 r.p.n.e., więc początek rachuby został wyznaczony na

1 I 4713 r. w południe. Np. początek epoki J2000 czyli 2000 I 1.5 to JD 2451545.0.

Zmodyfikowane dni juliańskie (IAU 1973, rzadko używane):

$$\text{MJD} = \text{JD} - 2400000.5$$

Początek rachuby: 1858 XI 17 0^h