

základy astronomie a astrofyziky

čas, kalendář

čas

„Čas si vymysleli lidé, aby věděli, odkdy do kdy, a co za to.“

Jan Werich

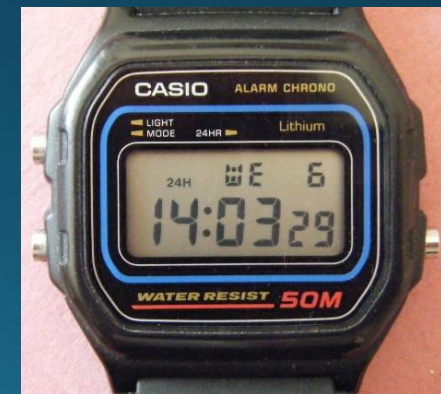
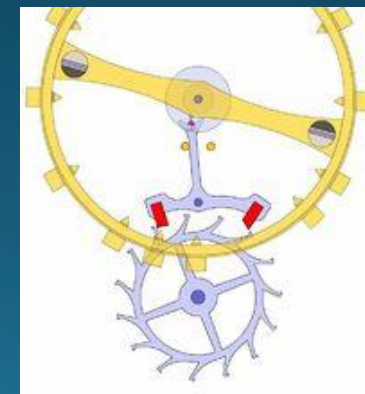
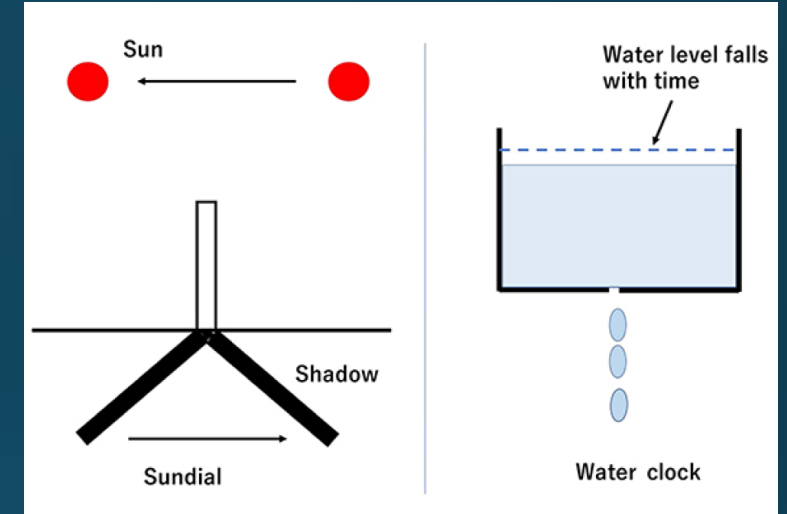
- Čas je nejpřesněji měřitelnou fyzikální veličinou
- Jeho hodnota neustále narůstá
- Jak čas měříme?
- Je i čas „kvantovaný“?
- Má reálný smysl uvažovat o cestování časem?

měření času



způsoby měření času

- klasické pojetí času - veličina, jejíž hodnota se trvale mění, rovnoměrně narůstá, je měřitelný až ve spojení s pohybem v konkrétní souřadné soustavě
- princip měření - zvolení vhodného periodické děje
- kapání vody, hoření svíčky, kyvadlo, mechanické strojky (tzv. nepokoj), kmity krystalu (quartz), rádiový signál
- někdy se však používaly jednotky velmi zvláštní ...





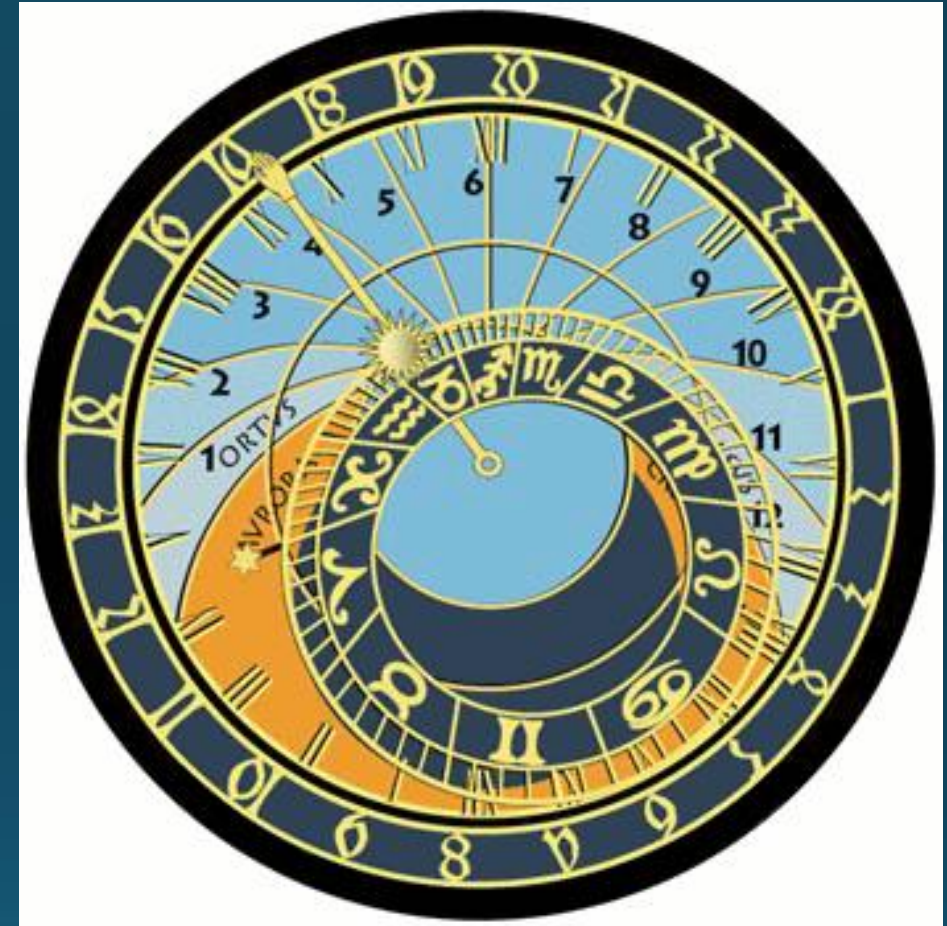
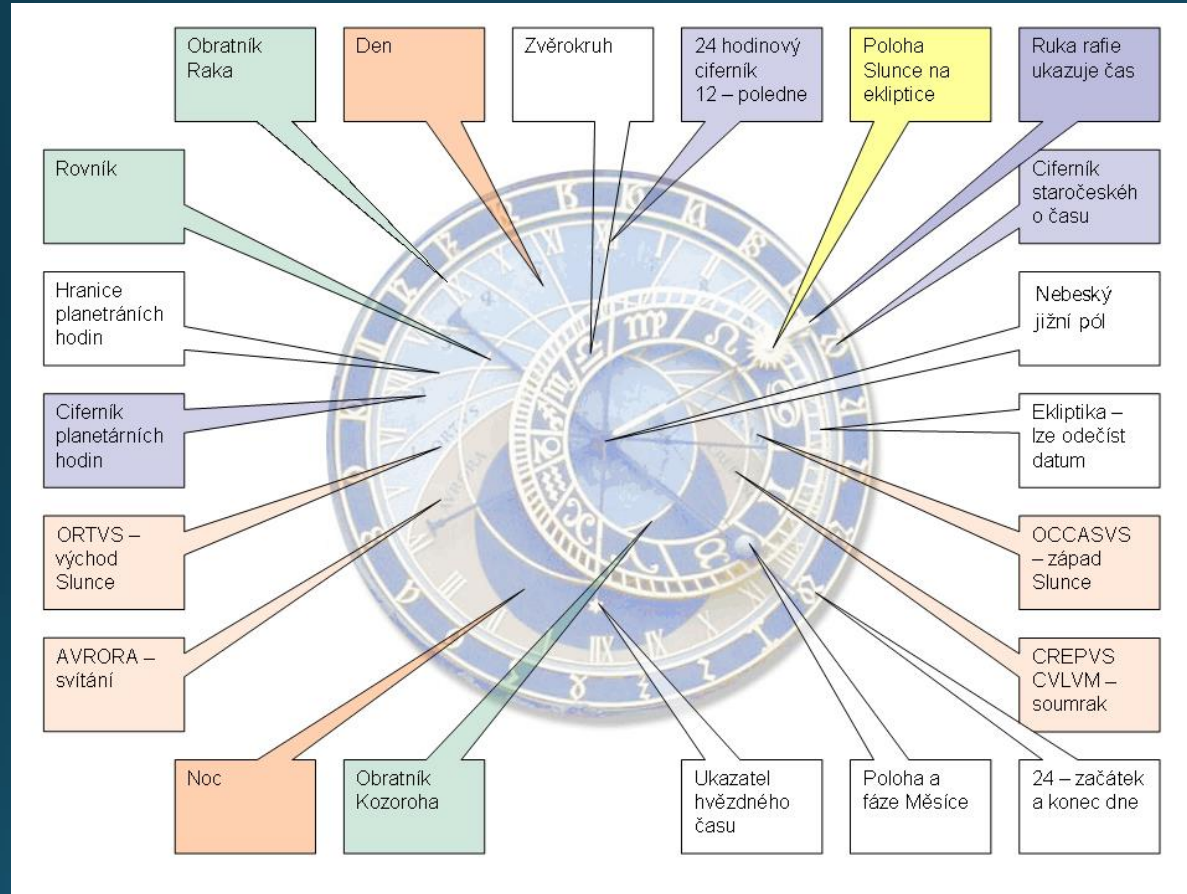
adaptace povídky Guy de Maupassanta, Prodej (ČT 1967)

orloje

- Pražský orloj jsou středověké astronomické hodiny umístěné na jižní straně věže Staroměstské radnice v Praze.
- Orloj je poprvé historicky doložen v listině z 9. října 1410



orloje

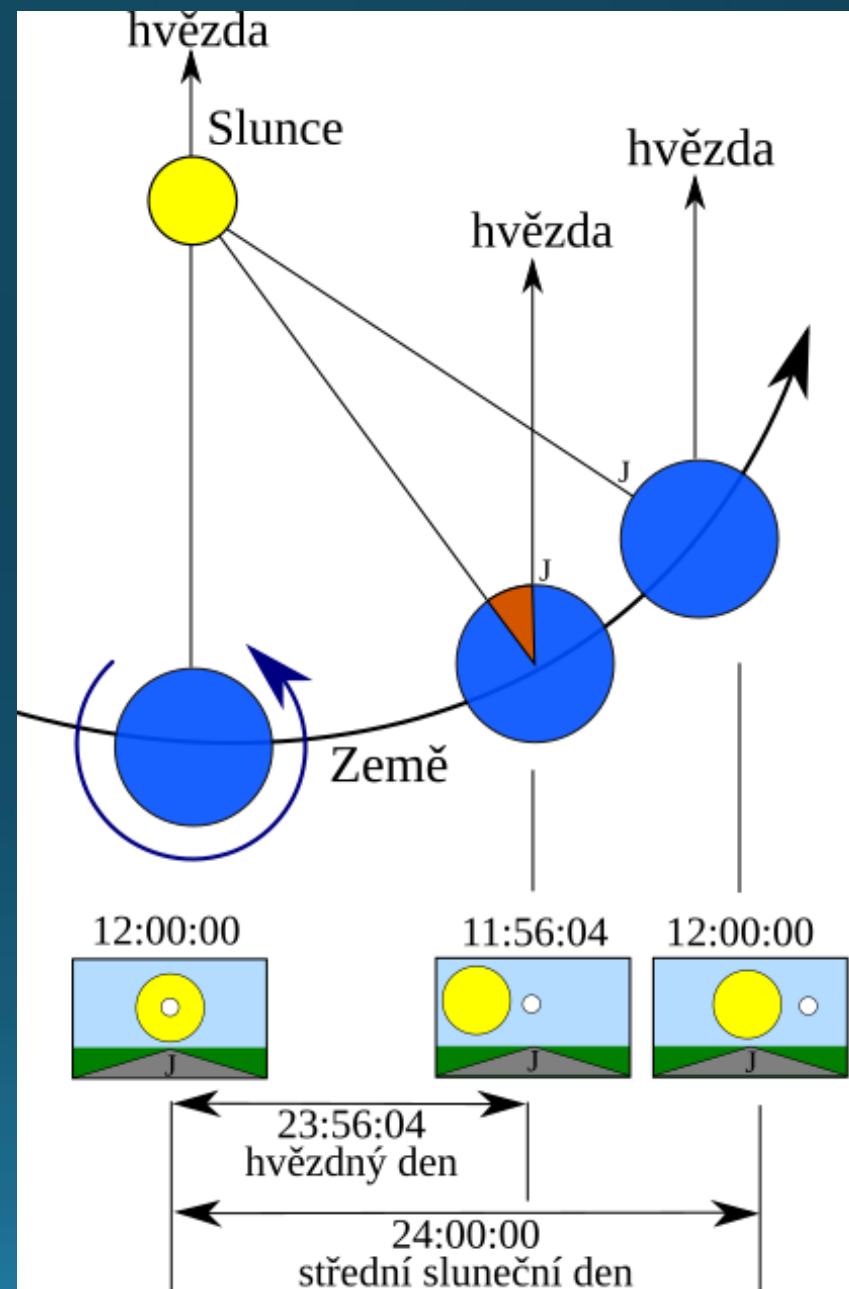


orloje v České republice

systemy měření času

- klasické pojetí času - veličina, jejíž hodnota se trvale mění, rovnoměrně narůstá, je měřitelný až ve spojení s pohybem v konkrétní souřadné soustavě
- princip měření - zvolit vhodné periodické děje, v prvním přiblížení lze považovat i rotaci Země za rovnoměrný periodický děj a odvozovat z něj čas
- **hvězdný den** - čas mezi dvěma horními kulminacemi jarního bodu
- **pravý sluneční den** - doba mezi dvěma spodními kulminacemi skutečného Slunce.
- rozdíl mezi nimi je 3 min 56 sec - důvodem je oběh Země kolem Slunce

systemy měření času



hvězdný čas

- hvězdný čas se dá chápat také jako hodinový úhel jarního bodu (v okamžiku svrchního průchodu j. b. meridiánem je h. č. = 0 hod 0 min 0 sec)
- je-li hodinový úhel j. b. $15^\circ = 1h$, pak místní hvězdný čas je 1 hodina a kulminují hvězdy s rektascenzí 1h; atd.
- platí vztah: ***hvězdný čas*** = $\alpha + t$, kde α je rektascenze a t hodinový úhel
- pak také: $t = \text{hvězdný čas} - \alpha$
- praktické příklady viz cvičení

systemy měření času



pravý sluneční čas

sluneční hodiny

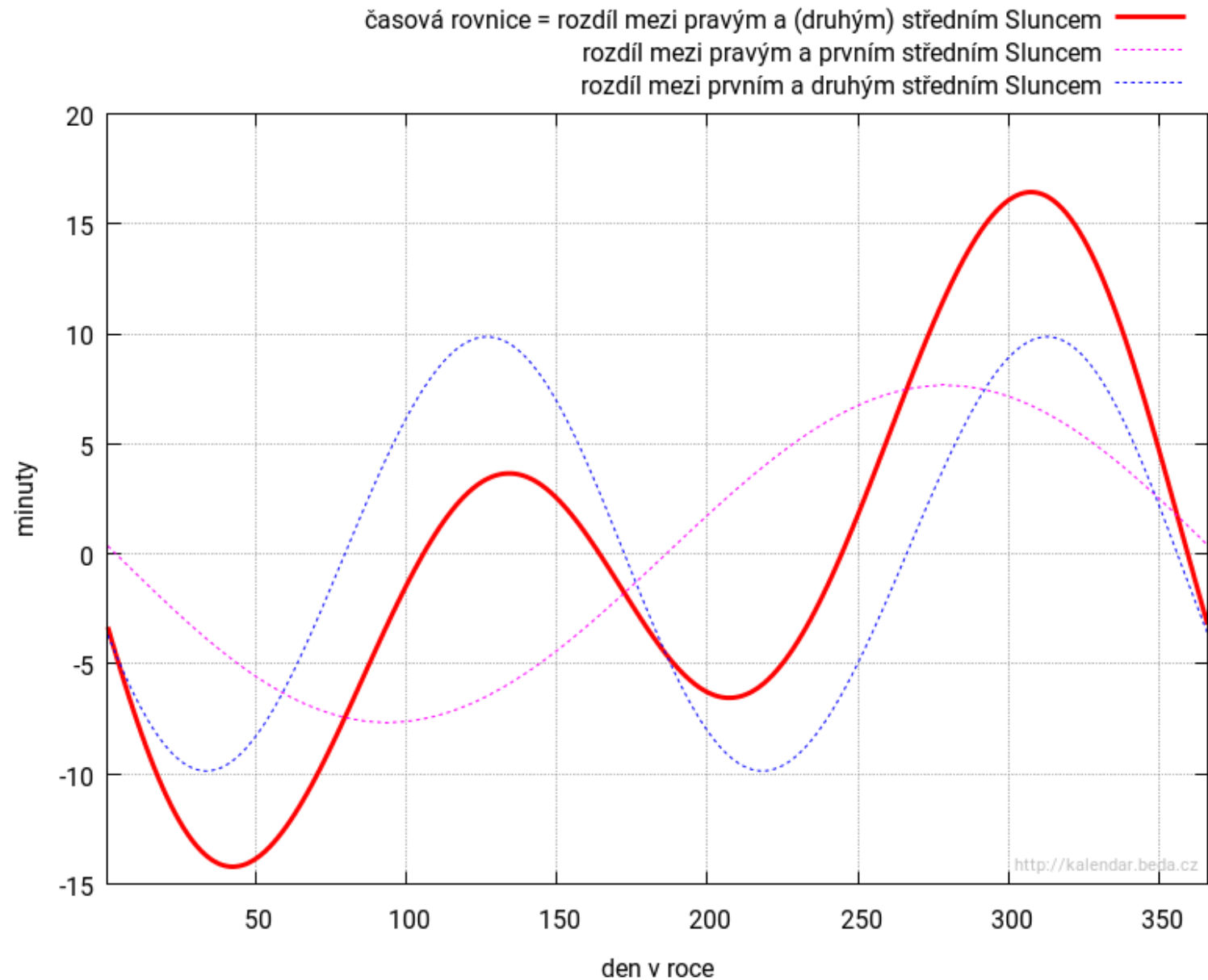
Nepravidelnosti:

1. Slunce - nerovnoměrný pohyb po ekliptice, nejrychleji - Země v perihelu, nejpomaleji - Země v afelu.
 2. Slunce se nepohybuje po rovníku, ale po ekliptice.
- rozdíly mezi časem takto odvozovaným a časem rovnoměrným jsou až 15 minut, proto bylo pravé Slunce nahrazeno fiktivním tělesem - tzv. **středním Sluncem**
 - střední Slunce může být dvojí:
 1. takové, které se pohybuje po ekliptice rovnoměrně (jako by se Země pohybovala kolem Slunce po kružnici)
 2. pohybuje se rovnoměrně po rovníku

systemy měření času

- obě střední Slunce se shodují v jarní a podzimní rovnodennosti.
- čas mezi dvěma následujícími průchody středních Sluncí jarním b. = *tropický rok*.
- *střední čas* - takto lze definovat pojem středního slunečního dne, což je doba mezi dvěma spodními kulminacemi druhého středního Slunce
- rozdíl mezi slunečním časem pravým a středním udává tzv. časová rovnice
 $R = T_v - T$, kde T_v je pravý sluneční čas

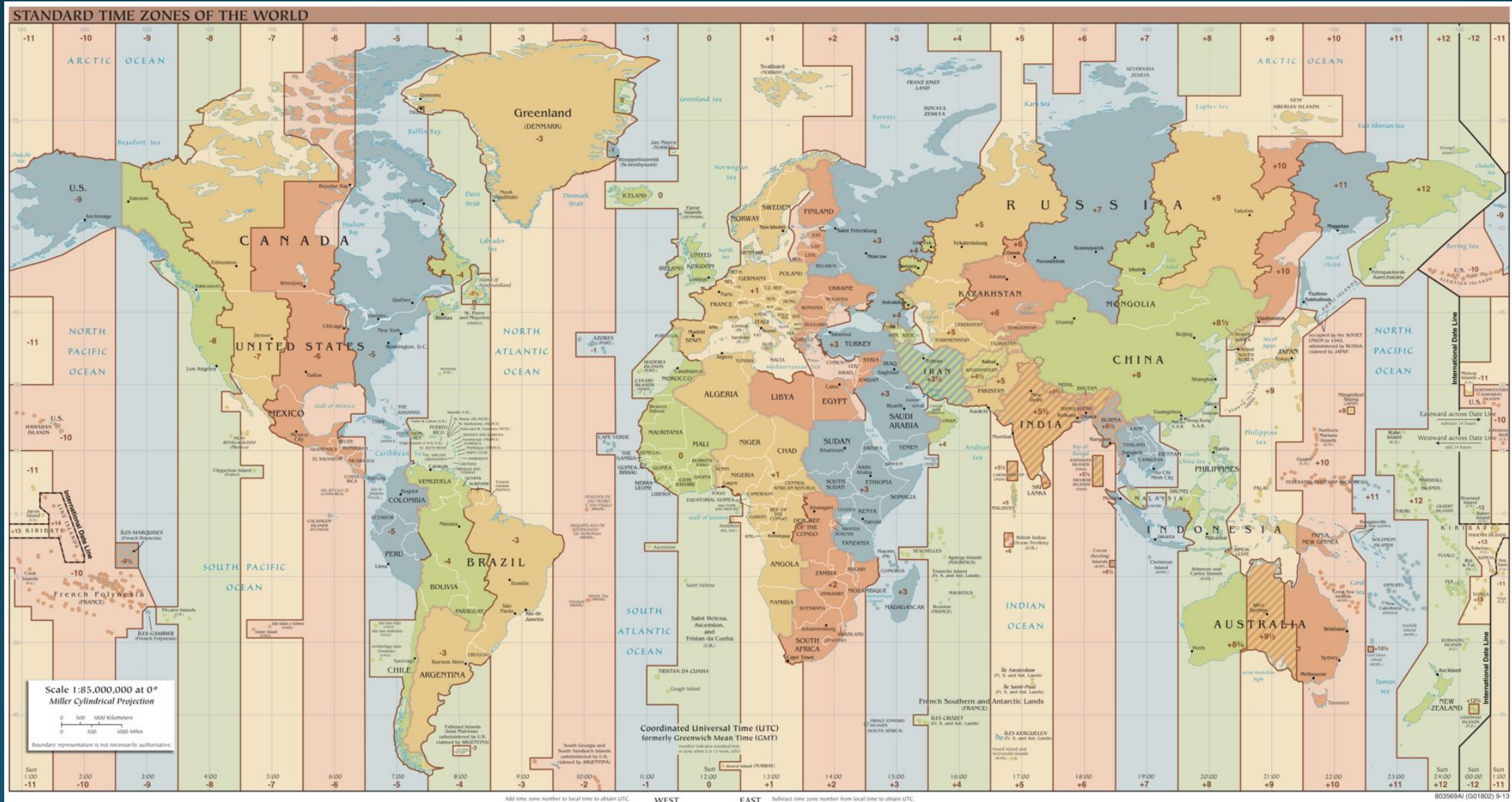
systemy měření času



pásmový čas

- každé pozorovací stanoviště má svůj tzv. místní čas, toho se skutečně dříve užívalo, teprve v předminulém století byl postupně zaveden tzv. pásmový čas, který se od světového (UT) liší celistvým počtem hodin, je to tedy místní čas 15., 30., 45. atd. poledníku
- ČR - SEČ - čili místní čas 15° v.d. (Jindřichův Hradec)
- Opava má korekci -11,5 minuty
- z tohoto systému také logicky vyplývá existence tzv. datové hranice
- novinka minulého století je periodický přechod na tzv. **letní čas** = pásmový + 1 hodina, experiment i s tzv. **zimním časem** (pásmový - 1 hod.) se neujal

systemy měření času



změny zemské rotace

1. roční perioda, amplituda 22 ms - odpovídá pravidelným klimatickým změnám, přesun vzdušných a vodních hmot
2. půlroční perioda, amplituda 10 ms - elipticita dráhy Země, kolísání gravitačního působení
3. perioda 13,8 a 27,6 dne, amplituda < 1 ms - excentricita dráhy Měsíce

atomový čas

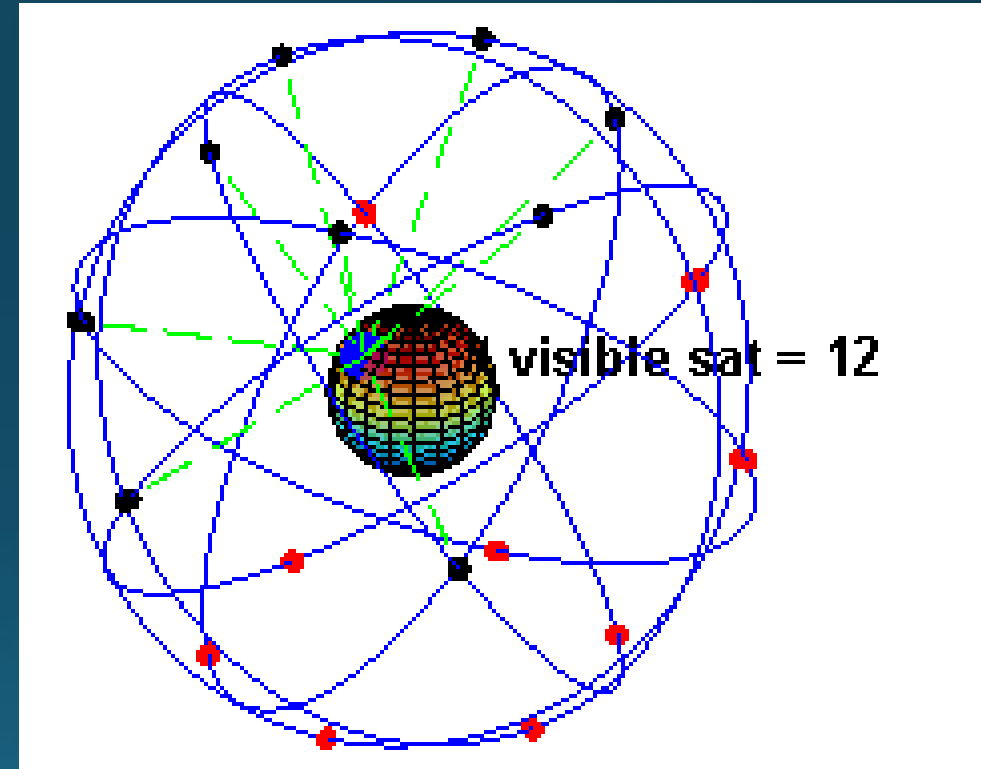
- sekunda byla původně definovaná jako $\frac{1}{86\,400}$ díl středního slunečního dne, ale vzhledem k nerovnoměrnostem v rotačním pohybu Země, nebyla tato definice dlouhodobě udržitelná
- v roce 1960 na jedenácté konferenci CGPM byla změněna definice sekundy, byla přijata definice Mezinárodní astronomické unie založená na přesně definovaném zlomku tropického roku
- ale definice založená na frekvenci záření při přechodu mezi dvěma hladinami v atomu či molekule by byla mnohem přesnější

atomový čas

- došlo ke změně definice sekundy v roce 1967, stalo se tak na třinácté konferenci CGPM, od té doby je sekunda definována jako doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu Cs 133
- čas je dnes nejpřesněji měřitelnou fyzikální veličinou, frekvenční přesnost dosáhla v roce 2014 už $1,1 \cdot 10^{-16}$ (chyba 1 s za cca 300 milionů let!) NIST
- <https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/primary-standard-nist-f1>
- [přehled časových systémů](#)
- <https://www.usno.navy.mil/USNO/time/master-clock/systems-of-time>
- [vše o času](#)

budeme čas měřit ještě přesněji?

- další bude využítí:
 - kvantové hodiny
 - optické hodiny
 - jaderné optické hodiny
- proč potřebujeme tak přesný čas?
 - global positioning system (GPS)
 - very long baseline interferometry (VLBI)
 - další rozvoj komunikačních technologií



ach, ta relativita ...

- doposud jsme se zabývali „klasickým“ fyzikálním konceptem času, který je univerzální pro celý vesmír ...
- jak však víme již déle než 100 let, je to aproximace, neexistuje univerzální čas ...
- dilatace času (čili roztažení, zpomalení času) je fyzikální jev pozorovaný u všech objektů, které vzhledem k pozorovateli
 - pohybují se velkou **rychlostí** (důsledek zákonů **speciální teorie relativity**) nebo
 - jsou v silnějším **gravitačním poli** nebo se pohybují **zrychleně** oproti **inerciální soustavě** (důsledek zákonů **obecné teorie relativity**).
- V případě dvou pozorovatelů, pohybujících se vůči sobě rovnoměrně přímočaře, je dilatace času vzájemná. Oba dva tedy vnímají hodiny toho druhého jako pomalejší. Naproti tomu u dilatace času gravitačním polem se pozorovatelé shodnou na tom, že hodiny s vyšším **gravitačním potenciálem** jsou pomalejší než hodiny s nižším potenciálem (dále od středu gravitace).

kvantování času

$$t_P \equiv \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$$

Planck Time Equation

nejkratší časový interval

- princip neurčitosti říká, že čím přesněji určíme jednu z konjugovaných vlastností, tím méně přesně můžeme určit tu druhou – bez ohledu na to, jak dobré přístroje máme, tedy např. nelze zároveň s libovolnou přesností změřit polohu a hybnost elektronu
- Planckův čas (10^{-44} s)
- je časový interval, který je definovaný jako doba potřebná pro překonání Planckovy délky pro foton ve vakuu, zatím nejkratší změřený časový interval je $247 \cdot 10^{-21}$ s, tj. cca 10^{25} Planckova času
- Planckova délka (10^{-35} m)
- je nejkratší vzdálenost, o které se můžeme cokoliv dozvědět

- nekompatibilita obecné teorie relativity a kvantové fyziky
- neexistence času?

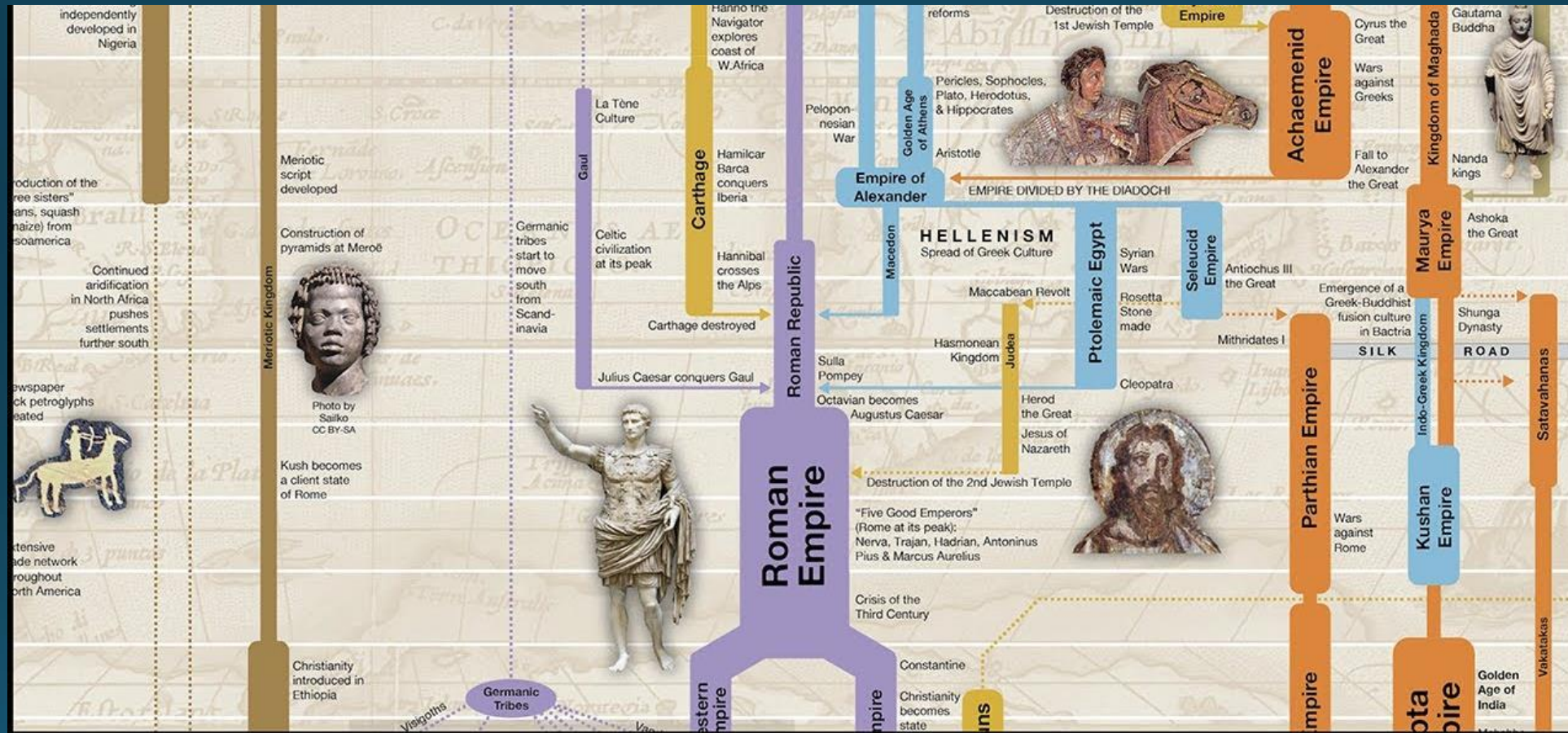
cestování časem



paradoxy takových úvah

- **časový paradox** je jev, kdy cestování do minulosti přímo vede k situaci, která je proti logice nebo proti fyzikálním zákonům, které jsou považovány za obecně platné
 - **paradox zabití předka** - jedním možným rozřešením tohoto paradoxu je, že existuje fyzikální zákon zabráňující vzniku paradoxu. Tj. pokud budeme v minulosti, není dle přírodních zákonů možné např. zabít svého předka.
 - **paradox makroskopických objektů uzavřených v časové smyčce** - například prsten, který jsem dostal od své babičky a později se s ním vrátím do minulosti, kde jí ho předám, aby mi ho mohla dát.
 - **paradox teorie, kterou nikdo nevymyslel** - poukazuje na možnost, že se od známého vědce naučím nějakou převratnou myšlenku, odcestuji do minulosti a tam mu ji sdělím. Myšlenku tak vlastně nikdo nevymyslel, každý účastník řetězce se ji totiž naučil od někoho jiného.

dlouhé časové úseky



kalendáře

Systemy počítání roků

- měsíční, sluneční, kombinovaný - 3 možné báze kalendáře
- původ „našeho kalendáře“ - Egypt

• Juliánská reforma

- každý 4. rok byl přestupný (24. únor měl 48 hodin!) trval tedy 366 dnů, takový rok je však delší než doba oběhu a rozdíl naroste za 128 let na 1 den

• Gregoriánská reforma

- v roce 1582 (po 4.10. bylo hned 15.10.) stanovila, že roky na konci století budou přestupné jen tehdy, lze-li je dělit 400 beze zbytku tj. 1600, 2000, 2400 atd., ale ostatní ne

kalendáře

- v astronomii se používá jiného systému - průběžného číslování dnů - tzv. ***Juliánské datum*** (JD)
 - zavedl jej francouzský astronom **Scaliger** (1540-1609)
 - počátek datování zvolil na **1. leden 4713 před n. l.**, čili 1. leden roku - 4712
 - např. 16. 2. 2006 o h SČ = JD 2 453 782.5
 - je to velice výhodný systém pro sledování periodických jevů na delší časové bázi (např. změn jasnosti proměnných hvězd).

převodník JD

<https://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services>

kalendářní data pro rok 2021

- Rok 2021 gregoriánského (řehořského) kalendáře, který v běžném životě používáme, u nás začíná 1. ledna v 0 h 0 min středoevropského času. Jedná se o nepřestupný rok o 365 dnech.
- OSN prohlásila rok 2021 Mezinárodním rokem ovoce a zeleniny (rezoluce 74/244), Mezinárodním rokem míru a důvěry (rezoluce 73/338) a také Mezinárodním rokem kreativní ekonomiky pro udržitelný rozvoj (rezoluce 74/198).

Rok 2021 odpovídá například:

- rokům 5781/5782 židovské éry. Rok 5781 začíná 19. září 2020, trvá 353 dnů a končí 6. září 2021. Rok 5782 začíná 7. září 2021, trvá 384 dnů a končí 25. září 2022.
- rokům 1442/1443 muslimské éry Hidžry. Rok 1442 začíná 20. srpna 2020, trvá 355 dní a končí 9. srpna 2021. Ramadán v roce 1442 začíná 13. dubna 2021 a končí 12. května 2021. Rok 1443 začíná 10. srpna 2021, trvá 354 dní a končí 29. července 2022.
- roku 6734 Scaligerovy juliánské periody. Rok 6734 začíná 14. ledna 2021 gregoriánského kalendáře.
- roku 2774 ab Urbe condita (a.U.c. – od založení Říma). Začíná jako juliánský rok, tedy 14. ledna.
- 3. roku japonské éry Reiwa. Éra začala 1. května 2019 s nástupem japonského císaře Naruhita.
- rokům 1737/1738 Diokleciánovy éry (tzv. koptský kalendář). Rok 1737 začíná 11. září 2020, trvá 365 dní a končí 10. září 2021. Rok 1738 začíná 11. září 2021, trvá 365 dní a končí 10. září 2022.
- roku 2564 thajského kalendáře, který je navázán na život Budhy, a je tedy o 543 let „napřed“ ve srovnání s křesťanskými kalendáři.

kalendářní data pro rok 2021

- Juliánské datum (JD): datum 1. ledna 2021 v oh TČ = 2 459 214,500 dne juliánské periody.
- Modifikované juliánské datum (MJD): $MJD = JD - 2\,400\,000,5$
- Pro 1. ledna 2021 má tedy hodnotu 59 214.

- Od roku 2001 se využívá terestrický čas (TT, TČ), který je definovaný vztahem $TT = TAI + 32,184\text{ s}$, kde TAI je mezinárodní atomový čas (zavedený 1. ledna 1972), založený na průměrném údaji ze souboru nejpřesnějších atomových hodin světa.
- Dalšími používanými časy je čas světový (UT, SČ – místní střední sluneční čas greenwichského poledníku) a čas střeoevropský (CET, SEČ), který je středním slunečním časem patnáctého poledníku východní délky. Jedná se o pásmový čas, který užíváme v běžném občanském životě, a platí ve většině evropských států.
- V části jarního, letního a části podzimního období je úředním nařízením zaváděn letní čas (CEST, SELČ), který začíná poslední neděli v březnu (v roce 2021 tedy 28. března), kdy se hodiny ve 2 h SEČ posunou o jednu hodinu vpřed. Letní čas končí poslední neděli v říjnu (v roce 2021 tedy 31. října), kdy se hodiny ve 3 h SELČ posunou o jednu hodinu zpět. Jednotlivé státy EU mohou od praxe změn času upustit.

kalendářní data pro rok 2021

- Ze světového času UT (někdy také označovaný UT₁) je odvozen také koordinovaný světový čas (UTC), ze kterého vychází světový systém občanského času. Jedná se o čas plynoucí rovnoměrně, ovšem korigovaný tak, aby se co nejvíce blížil času UT. Toto se provádí po skocích, vložením resp. vypuštěním přestupné sekundy 30. června nebo 31. prosince běžného roku. Podmínka pro vložení resp. vypuštění přestupné sekundy je, aby se UTC od UT nelišil o více než $\pm 0,8$ s.
- Naposledy byla přestupná sekunda zařazena ve 24 h UT 31. prosince 2016, resp. o h UT 1. ledna 2017 sekvence 31. 12. 2016, 23h 59m 59s; 31. 12. 2016, 23h 59m 60s; 1. 1. 2017, 0h 0m 0s...), kdy $TAI - UTC = +35$ s. K uvedenému datu byl tedy rozdíl $TT - UTC = (TAI - UTC) + (TT - TAI) = 37$ s + $32,184$ s = $69,184$ s. Aktuální oznámení o případném vložení či vynechání přestupné sekundy je možno najít v bulletinu Mezinárodní služby rotace Země (IERS, <http://www.iers.org>).
- Platí následující vztahy:
 - $SELČ = SEČ + 1$ h 00 min 00 s,
 - $SEČ = UT + 1$ h 00 min 00 s,
 - $TT = TAI + 32,184$ s = $UT + \Delta T$,
- kde veličina $\Delta T = 32,184$ s - $(UT_1 - TAI)$ je tzv. oprava na nerovnoměrnost rotace Země. Její hodnota se určuje na základě pozorování a je opět publikována v bulletinu Mezinárodní služby rotace Země (IERS, <http://www.iers.org>).

kalendáře

- Kalendáře s nápadem ...



Kalendář na rok 2020

„časové konzervy“?

- kresby, obrazy
- fotografie
- filmy, sférická projekce, stereoskopická projekce
- hologramy
- virtuální realita, rozšířená realita, smíšená realita



Pozor, vyletí ptáček!

... a kolik je vlastně hodin?
... nebude už konec?



použitá a doporučená literatura a další informační zdroje

- Carlo Rovelli, Řád času, nakladatelství Dokořán, Praha, 2020, ISBN 978-80-7363-887-0
- Masatoshi Kajita, Measuring Time, IOP Publishing, Bristol, 2018, ISBN 978-0-7503-2122-8
- Otakar Svítek - Máte problémy s časem? Zkuste to bez času!
https://www.youtube.com/watch?v=_xKiHSjEBRo
- Pavel Krtouš - Může čas běžet pozpátku? https://www.youtube.com/watch?v=hSPuqAX_ZiE
- <http://astro.cz>
- https://cs.wikipedia.org/wiki/Dilatace_%C4%8Dasu
- https://cs.wikipedia.org/wiki/Cestov%C3%A1n%C3%AD_v_%C4%8Dase
- https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Casov%C3%BD_paradox