JIHOČESKÁ UNIVERZITA

PEDAGOICKÁ FAKULTA

v ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ČAS JAKO FYZIKÁLNÍ VELIČINA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Radomír Blažek
Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem zpracoval samostatně na základě uvedené literatury a pod vedením vedoucího práce.

V Českých Budějovicích dne 21.11.2005

....

Radomír Blažek

OBSAH

1 Úvod

Otázkou, co je čas, se celá tisíciletí zabývali význační filozofové, vědci i básníci. Ti vyslovili spoustu chytrých, moudrých, vtipných i krásných odpovědí, ale žádná z nich není přesnou definicí.

První představy o čase měl člověk patrně již v prehistorickém období. Mohl k nim dospět na základě pozorovaného (zdánlivého) pohybu Slunce kolem Země nebo na základě periodicky se opakujících změn ve vzhledu Měsíce.

Ve starověku byl člověk nucen z nejrůznějších důvodů určovat časové intervaly. V této době byly vynalezeny hodinové stroje měřící intervaly kratší než jeden den. Zjištění, že lze měřit nejen dobu události, ale i rozsah volného času mezi dvěma událostmi, vedlo k vytvoření představy o čase jako o volném, ale měřitelném „prostředí", do něhož mohou být události umístěny.

Nejdříve se empiricky zjišťuje, že velikost neměnících se objektů nezávisí na čase a chod hodin nezávisí na jejich poloze. **Prostor a čas** na sobě **nezávisí.** Také se zdá, že délka časového intervalu nezávisí na tom, kdy provádíme měření. Čas se jeví jako **homogenní** prostředí. Tyto vlastnosti nebyly přímo vysloveny, ale mlčky se předpokládaly. Jasně o nich hovoří až Isaac Newton.

První fyzikální teorii času poskytuje **klasická mechanika,** jejímiž zakladateli byli G. Galileo a I. Newton. Čas je v ní považován za absolutní, tj. na ničem nezávislý, měřitelný, homogenní, jednorozměrný. Skutečnost je rozdělena na tři nezávislá jsoucna; čas, prostor a hmotu. Tato představa se udržela ve fyzice do konce 19. století.

Na počátku 20. století A. Einstein vytvořil **teorii relativity,** která je dnešní fyzikální teorií prostoru a času. Podle ní jsou prostor a čas neoddělitelnými vlastnostmi hmoty.

Speciální část teorie pojednává o vztahu prostoru a času. Tyto dvě kategorie jsou na sobě **závislé**. Jejich spojení vytváří čtyřrozměrné prostředí, které je nadále na ničem nezávislé, tedy absolutní. Toto prostředí se nazývá **časoprostor** a ponechává si vlastnosti samotného prostoru v klasické mechanice. Je izotropní, homogenní a rovinné s tzv. pseudoeukleidovskou metrikou. Speciální teorie relativity rozděluje skutečnost na dvě nezávislé části, na hmotu a časoprostor.

Obecná část teorie relativity dochází k závěru, že vlastnosti času a prostoru jsou určeny rozložením a pohybem hmoty. Hmota tak určuje zakřivení časoprostoru a tím vytváří jinou metriku, než je metrika v rovinném časoprostoru speciální teorie relativity. Einsteinova teorie je teorií gravitačního pole, které se projevuje silovými účinky. Gravitační síla je v ní pokládána za důsledek zakřivenosti časoprostoru. Tím spojuje pojmy hmota a časoprostor.

Další moderní fyzikální teorie je kvantová fyzika, studující jevy v mikrosvětě. Otázka jaké jsou vlastnosti času v této oblasti není dosud vyřešena. Existují zatím různé hypotézy, z nichž nejznámější je hypotéza **diskrétního** času. Všechny hypotézy diskrétnosti ale naráží na vážné problémy a zatím nemohou být základem přestavby fyzikální teorie.

Předkládaná bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. V první kapitole jsou probrány vlastnosti času v klasické mechanice, speciální teorii relativity, časové jednotky a soustavy používané v astronomii.

Druhá kapitola je věnována přehledu historického vývoje hodin a kalendářních soustav.

2 Čas jako fyzikální veličina

Pojem, pomocí kterého popisujeme fyzikální jevy nebo vlastnosti fyzikálních objektů, je **fyzikální veličina.** Každá veličina má určitou hodnotu. Tu určíme tak, že ji srovnáme s veličinou stejného druhu, kterou volíme za **měřící jednotku** (např. metr, volt). Takto získaný číselný údaj neboli **číselná hodnota** udává, kolikrát je hodnota měřené veličiny větší než zvolená měřící jednotka. Výsledek měření, tj. číselná hodnota, tedy závisí na volbě měřící jednotky, která se nazývá **jednotka fyzikální veličiny,** nebo stručně **jednotka.**

V roce 1960 na 11. generální konferenci pro váhy a míry v Paříži byla přijata **Mezinárodní soustava jednotek SI (Syste´me International d´ Unite´s).** Za základní jednotky byly zvoleny: metr (m), kilogram (kg), sekunda (s), ampér (A), kelvin (K), mol (mol) a kandela (cd) . Jednotky ostatních veličin se stanovují na základě vztahů mezi veličinami základními. Tyto vztahy nazýváme **veličinové rovnice.** Základní veličiny jsou tedy: délka, hmotnost, **čas,** elektrický proud, teplota, látkové množství a svítivost.

Čas je tedy **základní fyzikální veličina** Mezinárodní soustavy jednotek SI a přísluší mu jednotka zvaná **sekunda (s).** Dnes je tato jednotka definována jako doba trvání 9 192 631 770 period elektromagnetického záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu $_{133}Cs$ v nulovém magnetickém poli. Dodatečně byla připojena i redukce na střední hladinu moře (vliv gravitačního potenciálu na kmitočet).

Pohled na čas není však ve všech fyzikálních teoriích stejný. Tak jak se postupem doby vyvíjela fyzika, měnil se i názor na čas.

2.1 Čas v klasické mechanice

Za zakladatele vědního oboru klasická mechanika jsou považováni Isaac Newton a Galileo Galilei. Tato mechanika podala první teorii času. Je vybudována na třech Newtonových zákonech:

1) Zákon setrvačnosti:

Každé těleso setrvává ve svém stavu klidu nebo pohybu rovnoměrném přímočarém (hybnost p = konst.), pokud není vnějšími silami nuceno tento stav změnit.

2) Zákon pohybu (síly a zrychlení):

Změna hybnosti je úměrná vnější síle a děje se ve směru přímky, ve které ona působí. Změna hybnosti v čase je matematicky:

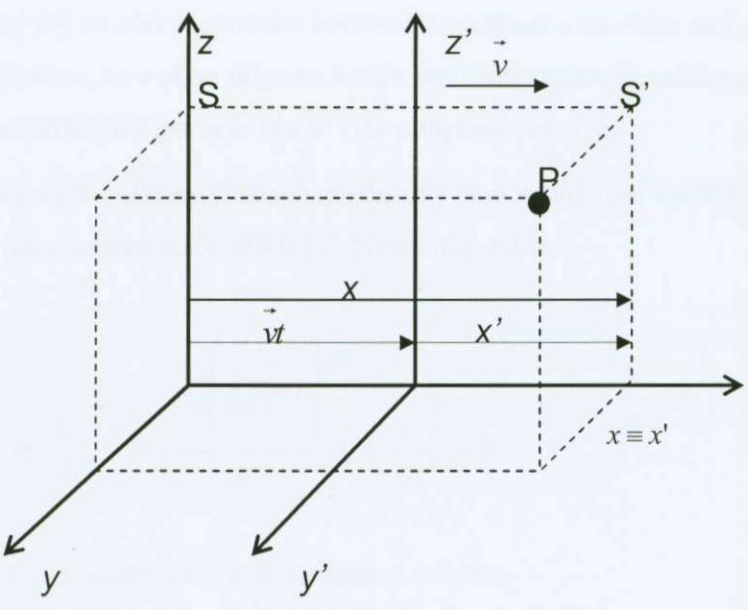
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \Rightarrow \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \tag{1}$$

3) Zákon akce a reakce :

Při vzájemném působení dvou těles je síla, kterou druhé těleso působí na první, téže velikosti, ale opačného směru než síla, kterou působí první těleso na druhé, tj. $\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$

První Newtonův zákon nelze pokládat za důsledek druhého zákona, v němž položíme $\vec{F} = 0$, protože zaručuje existenci inerciální vztažné soustavy. To je taková soustava, v níž volné těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu. Platí v ní zákon setrvačnosti. Její název pochází z latinského inertia, což je česky setrvačnost.

Máme dvě inerciální vztažné soustavy S a S′ s rovnoběžně orientovanými kartézskými prostorovými souřadnicemi *x, y, z* a *x′, y′, z′* takové, že soustava S′se vůči soustavě S pohybuje ve směru osy *x* rychlostí *v*; za počátek odečítání času v obou soustavách zvolíme okamžik $t = 0 = t'$, kdy počátky obou soustav splývaly (Obrázek 1).



Obrázek 1

Pokud měříme polohové souřadnice a časové intervaly v obou soustavách stejnými standardními tyčemi a hodinami, vztahy mezi souřadnicemi a časy v obou soustavách budou:

$$x = x' + v \cdot t$$
$$y = y'$$
$$z = z'$$
$$t = t'$$

Těmto vztahům se říká Galileiho transformace. V obecnějším případě, kdy se inerciální soustava S′ pohybuje vůči S rychlostí $\vec{v}$ v obecném směru, má Galileiho transformace vektorový tvar:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v} \cdot t$$
$$t = t'$$

Galileiho transformace jsou vyjádřením běžných kinematických a geometrických představ plynoucích z každodenní zkušenosti. Jejím důsledkem je obyčejný aditivní zákon skládání rychlostí.

Z jednoduchých pokusů a na základě zkušenosti lze tvrdit, že neexistuje absolutní klid ani absolutní rychlost rovnoměrného přímočarého pohybu. Jinými slovy zákony mechaniky jsou stejné pro každou inerciální vztažnou soustavu, všechny takové soustavy jsou z hlediska klasické mechaniky rovnocenné: žádným vnitřním mechanickým pokusem nelze zjistit, jak rychle se daná inerciální soustava pohybuje. K tomu závěru můžeme dojít, jestliže budeme pozorovat určitý mechanický děj ve vlaku jedoucím konstantní rychlostí a ve vlaku stojícím na nádraží. Zjistíme, že v obou případech děje probíhají stejně. Nemůžeme tedy zjistit těmito mechanickými pokusy, zda se vlak pohybuje nebo ne.

A opravdu, zákony klasické mechaniky jsou invariantní vzhledem ke Galileiho transformacím. Například 2. Newtonův zákon:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \cdot \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \cdot \frac{d^2\left(\vec{r}' + \vec{v} \cdot t\right)}{dt^2} = m \cdot \frac{d^2 \vec{r}'}{dt^2} = \vec{F}' \qquad (2)$$

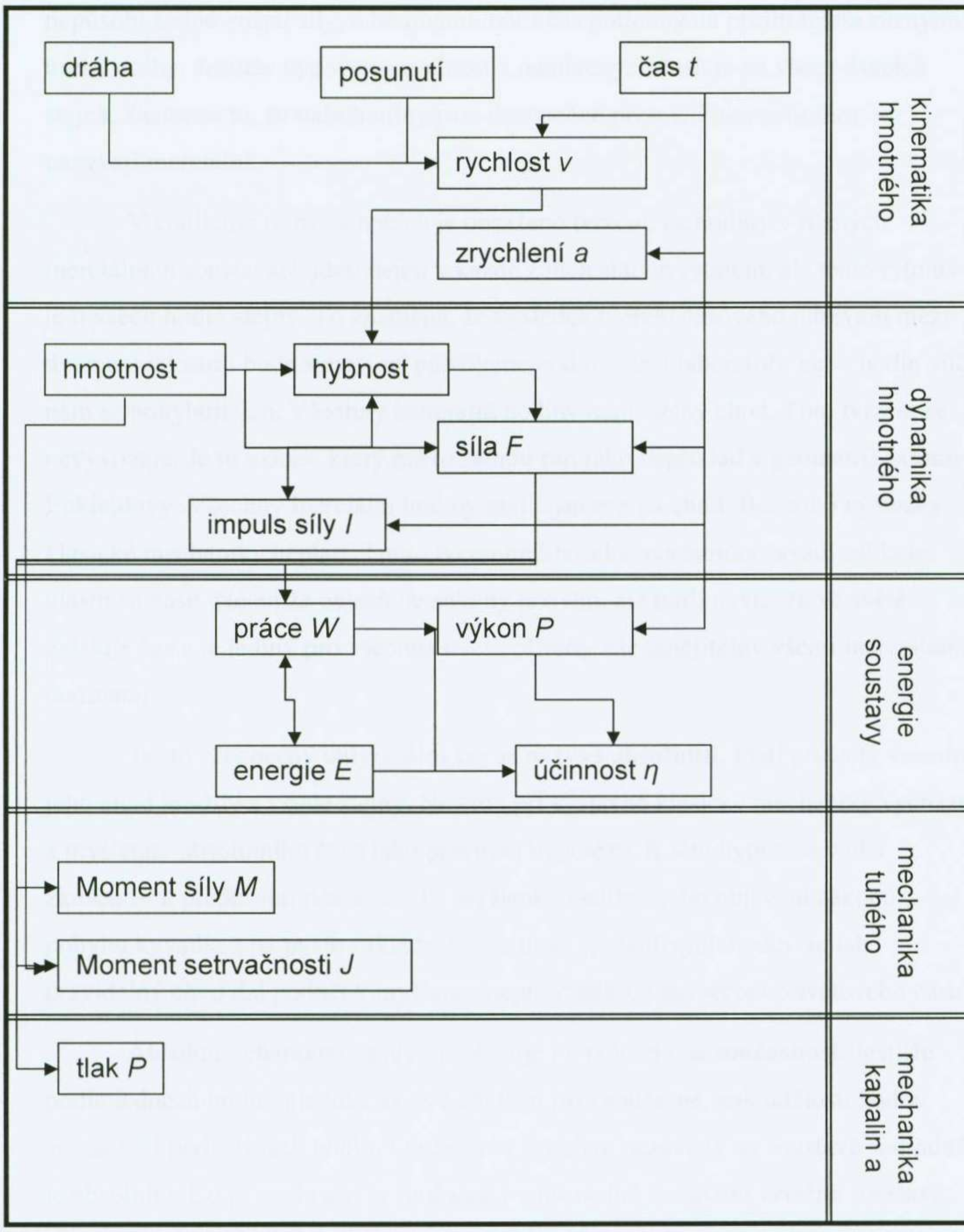
rychlost soustavy S′ je konstantní $\vec{v} = \overrightarrow{konst}$.

V Galileiho transformačních rovnicích jsou obsaženy dva zdánlivě samozřejmé předpoklady, jejichž splnění se při formulaci Newtonových zákonů mlčky předpokládá:

a) Předpoklad o univerzálním (absolutním čase), podle něhož časové intervaly mezi událostmi jsou nezávislé na volbě vztažné soustavy.

b) Vzdálenosti současných poloh bodů (čili rozměry tělesa) jsou absolutní, tj. nezávislé na volbě vztažné soustavy, vzhledem k níž jsou polohy těchto bodů určovány.

V Newtonových zákonech se vyskytují pojmy rychlost, zrychlení, síla, hmotnost. Tyto pojmy představují fyzikální veličiny, o které se opírají základní poznatky mechaniky. Tabulka 1 uvádí přehled fyzikálních veličin, tak jak jsou postupně zaváděny v jednotlivých částech mechaniky.



Tabulka 1. Orientované spojovací čáry odpovídají základním definičním nebo funkčním vztahům mezi veličinami.

Z tabulky je vidět, jaký vztah má čas k mechanice. Lze říci, že má k ní vztah takový, jako například prostor ke geometrii. Čas potřebujeme ke stanovení rychlosti, zrychlení a dalších veličin. Mechanika by tedy bez času neexistovala.

Ideální by bylo měřit čas naprosto přesnými hodinami. Jediná možnost, jak zjistit přesnost a rytmičnost našich hodin, je pozorovat pohyb tělesa, na které nepůsobí žádné vnější síly, a hodinami měřit čas potřebný na projití tělesa různými úseky dráhy. Jestliže vypočtená rychlost z naměřených časů je ve všech úsecích stejná, znamená to, že naše hodiny jsou dostatečně přesné. Takové hodiny se nazývají inerciální.

V Galileiho transformacích je obsaženo tvrzení, že hodiny v různých inerciálních soustavách jdou nejen v každé z nich stálým rytmem, ale tento rytmus je u všech hodin stejný. To znamená, že výsledek měření časového intervalu mezi dvěma událostmi bude stejný, ať použijeme hodin v naší laboratoři, nebo hodin vůči nám se pohybujících. Všechny inerciální hodiny mají stejný chod. Toto tvrzení se nevyvozuje. Je to axiom, který má tu samou roli jako například v geometrii axiomy Eukleidovy. Všechny inerciální hodiny mají synchronní chod. Bez toho výsledky klasické mechaniky neplatí. Tímto tvrzením klasická mechanika zavádí základní vlastnost času. Nejen že objasňuje zákony pohybu, ale tvrdí navíc, že ve světě existuje čas a je jediný pro všechna tělesa přírody a je změřitelný všemi inerciálními hodinami.

Tento všeobecný univerzální čas se nazývá **absolutní.** Platí pro celý vesmír a jeho chod je vždy a všude stejný. Newton při výstavbě klasické mechaniky vycházel z myšlenky absolutního času jako pracovní hypotézy. K této hypotéze vedla zkušenost a především pozorování a myšlenky Galilea, jeho objevení zákonů pohybu kyvadla a na jejich základech sestrojení spolehlivých hodin. Jejich pravidelný chod dal podnět k myšlence nepřetržitého, všeobecného světového času.

Absolutní charakter času se projevuje i v pohledu na **současnost.** Jestliže podle jedněch hodin zjistíme, že dvě události jsou současné, pak události budou současné i podle jiných hodin. Současnost je pojem nezávislý na soustavě souřadné, je absolutní. Co je současné, je současné i v libovolné inerciální vztažné soustavě. Máme-li dvě události A a B v soustavě S [obr. 1], které jsou současné, tj. $t_A = t_B$ takže $t_A - t_B = 0$, pak v soustavě S′ budou časy t_A t_B podle Galileiho transformace $t'_A = t_A$ $t'_B = t_B$. Platí tedy $t'_A - t'_B = 0$ také. To znamená, že i v soustavě S′ jsou události A, B současné.

Newton ve svém díle „Philosophiae Naturalis Principa Mathematica“ vyšlém v roce 1687 v Londýně píše: „Absolutní, pravý matematický čas sám pro sebe i podle své vlastní přirozenosti bez jakéhokoliv vztahu k čemukoliv vnějšímu protéká rovnoměrně a jinak se nazývá trváním ...“ [6]

Pod tímto matematickým časem Newton rozuměl čas vystupující v matematické formulaci pohybových zákonů. Absolutní čas slouží jako ideální míra trvání všech mechanických dějů. Je ideální ve stejném smyslu jako je ideální rovnoměrný pohyb. U tohoto pohybu neuvažujeme tření a jiné rušivé okolnosti. Ve skutečném případě pohybu jsme k ideálnímu tím blíže, čím více se nám podaří odstranit vliv těchto okolností. Stejně tak je tomu i s časem. Reálný čas, který měříme je pouze přiblížení k ideálnímu „matematickému" času. Při měření nám vadí náhodné vlivy, které se můžeme pouze pokusit přivést k minimu, ale úplně se jich nezbavíme nikdy.

Klasická mechanika studuje pohyb těles v prostoru a čase. V tomto pohybu se projevuje vlastnost obou těchto kategorií. To, jaké jsou jejich vlastnosti, určuje povahu studovaných pohybů.

Vlastnosti času v klasické mechanice jsou: [3]

1) Čas existuje sám pro sebe a jeho existence nemá v ničem na světě příčinu.
2) Chodu času se podřizují všechna tělesa přírody, všechny fyzikální děje. Ale tato tělesa a děje nemají žádný vliv na chod času.
3) Všechny momenty času jsou mezi sebou rovnocenné a stejné, tj. čas je homogenní.
4) Chod času je všude na světě stejný.
5) Chod času je stejně rovnoměrný v minulosti, přítomnosti i budoucnosti.
6) Čas se rozprostírá od neohraničené minulosti do neohraničené budoucnosti.
7) Čas má jen jeden rozměr.
8) Časové intervaly se odměřují, sčítají i odečítají jako části eukleidovské přímky.

Fyzika dodnes nemá fakta potvrzující například nekonečnost času v obou směrech. Klasická mechanika nekonečnost prostě předpokládá a přitom se nesetkává s protiřečením. Platnost výsledků klasické mechaniky je potvrzována experimenty a pozorováním v ohromné oblasti dějů. Ale tato oblast je přece jen ohraničená. Přesto můžeme říci, že v oblasti, kde platí klasická mechanika, se čas chová jako by byl nekonečný v obou směrech. Stejně tak je to s dalšími vlastnostmi času, které se nám zdají být přirozené a samozřejmé. Naše vnímání přirozeného a samozřejmého je ovlivněno zkušeností, která je vždy ohraničená. Za hranicemi naší zkušenosti už nemůžeme důvěřovat našemu bezprostřednímu pocitu a chápání. Nové informace a poznatky získané z fyzikálních experimentů a pozorování mohou rozšířit hranice chápání a změnit i nejjednodušší pohled na svět. To se stalo i s fyzikou času a prostoru. Ve 20. století se s rozvojem fyziky ukázalo, že názory na čas a prostor musí být poopraveny. To však neznamená, že klasická mechanika byla špatnou teorií. Je v ohromné oblasti jevů dostatečně přesná a také slouží jako jasná a pro běžnou praxi vhodná koncepce času.

2.2 Čas ve speciální teorii relativity

Na konci minulého století se fyzika dostala do nezáviděníhodné situace. Podle klasické mechaniky, jejíž počátky se datují do doby Galilea, má platit princip skládání rychlostí. Naopak z rovnic elektromagnetického pole (Maxwellových rovnic) plynulo, že se světlo má šířit stále stejnou rychlostí, bez ohledu na zvolený souřadnicový systém.

Celou řadou experimentů bylo prokázáno, že správný je výsledek plynoucí z Maxwellových rovnic. Světlo se ve všech souřadnicových systémech pohybuje stejnou rychlostí nezávisle na pohybu zdroje. První z experimentů tohoto typu byl slavný experiment Alberta Abrahama Michelsona (1852-1931), který interferometricky měřil změnu rychlosti pohybu světla napříč a podél pohybu Země kolem Slunce. Výsledek experimentu byl záporný, žádná závislost rychlosti světla na pohybu zdroje nebyla pozorována.

Bylo tedy třeba přehodnotit klasickou mechaniku a postavit ji na jiných principech než je prosté skládání rychlostí. To ale nutně vedlo k tomu, že prostor a čas přestaly být absolutní, události současné z hlediska jednoho souřadnicového systému nemusí být současné z hlediska jiného souřadnicového systému. Stejně tak pojem časového intervalu a vzdálenosti dvou událostí závisí na zvoleném souřadnicovém systému. Nová teorie platící jen pro inerciální souřadnicové systémy byla vypracována Albertem Einsteinem (1879-1955). K podobným závěrům však dospěl už dříve Hendrik Anton Lorentz, holandský fyzik, který ještě nedovedl své výsledky správně interpretovat a příliš lpěl na hypotéze o tzv. éteru. A ještě francouz Jules Henri Poincaré, který byl především matematik a vše to chápal jako matematický problém. Základem speciální teorie relativity jsou dva postuláty:

1) **Einsteinův speciální princip relativity:**
   Všechny inerciální vztažné soustavy jsou pro popis fyzikálních dějů rovnocenné, tj. žádnými pokusy provedenými uvnitř soustavy nelze zjistit, zda je daná soustava v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.

2) **Princip konstantní rychlosti světla:**
   Ve všech inerciálních soustavách má rychlost světla ve vakuu stejnou

velikost, a to ve všech směrech a nezávisle na vzájemném pohybu světelného zdroje a pozorovatele.

Teorie vybudovaná na těchto dvou principech poskytla novou fyzikální teorii času a prostoru. První postulát vyjadřuje, že neexistuje absolutní vztažná soustava. Druhý postulát je v rozporu s obvyklými představami vyjádřenými Galileiho transformacemi a založenými na koncepci absolutního prostoru a času. Neplatí běžná pravidla aditivního skládání rychlostí. Jednoduché Galileiho transformace musí být nahrazeny obecnějšími.

2.2.1 Lorentzovy transformace

Nové vztahy pro přechod od jedné inerciální soustavy k druhé lze odvodit ze základních principů uvedených dříve, k nimž připojíme předpoklady jako je homogenita a izotropie prostoru a času a jejich eukleidovské geometrické a topologické vlastnosti.

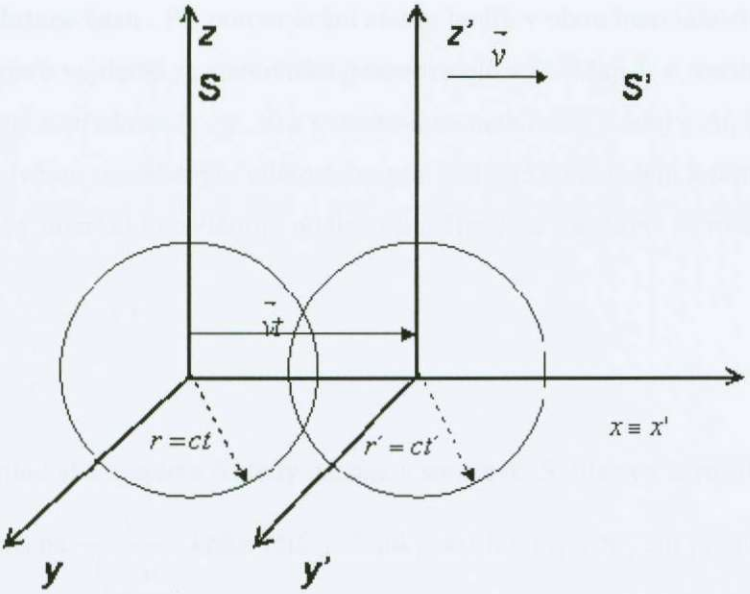
Mějme inerciální soustavu S s počátkem 0, souřadnicovými osami x, y, z a časem t a další inerciální soustava S′ s počátkem 0′, osami x', y', z' a časem t' pohybující se rychlostí $\vec{v}$ vzhledem k S. Měření v obou soustavách se provádí stejnými standardními tyčemi a synchronizovanými hodinami. V čase $t = t' = 0$ je vyslán z počátku 0, který v tomto okamžiku splývá s 0′, světelný paprsek. V soustavě S je šíření tohoto signálu vyjádřeno rovnicí

$$s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 \cdot t^2 = 0 \tag{3}$$

popisující kulovou vlnoplochu, jejíž poloměr $r = c\,.\,t$ se zvětšuje s rychlostí c. V soustavě S′ vzhledem k principu konstantní rychlosti světla musí platit:

$$(s')^2 = (x')^2 + (y')^2 + (z')^2 - (c \cdot t')^2 = 0 \tag{4}$$

Aby mohl být splněn předpoklad konstantní rychlosti světla, musí být čas v obou soustavách různý.



Obrázek 2

Těleso pohybující se rovnoměrně přímočaře v soustavě S se musí pohybovat v soustavě S′ stejně. Proto souřadnice x', y', z', t' musí být lineárními funkcemi souřadnic x, y, z, t.

Po úpravách dostaneme **speciální Lorentzovu transformaci**:

$$x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (5)$$

Kromě kontrakce délek neaditivního zákona skládáním rychlostí z rovnic vyplývá efekt nazývaný dilatace času.

2.2.2 Dilatace času a vlastní čas

Pozorovatel srovnávající chod klidových a pohybujících se hodin zjistí, že pohybující se hodiny jdou tím pomaleji, čím rychleji se pohybují; tento jev se nazývá **dilatace času**. Při porovnávání chodu hodin v obou inerciálních soustavách S a S′ nejprve vyjděme ze stanoviska pozorovatele v S′. Mají-li v soustavě S hodiny neproměnné souřadnice (x, y, z) a vzroste-li na nich časový údaj o Δt, který odpovídá dvěma soumístným událostem, pak podle (5), vzhledem k tomu, že $x = 0$, bude časový interval mezi těmito událostmi měřený ze soustavy S′ roven:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \rangle \Delta t \tag{6}$$

Z hlediska systému S′ tedy nastala v soustavě S dilatace času. Hodiny v S měří čas na $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ kráte větší jednotky než hodiny v S′, čili jdou pomaleji.

Můžeme postupovat i obráceně, tj. uvažovat hodiny v soustavě S′ o souřadnicích (x', y', z') a časový interval $\Delta t'$, který naměřili mezi dvěma soumístnými událostmi. Časový interval mezi těmito událostmi měřený ze soustavy S bude

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \rangle \Delta t' \tag{7}$$

Nyní nastala dilatace času v soustavě S′ z hlediska soustavy S. Ze vzorců (6) a (7) je vidět, že trvání nějakého děje probíhajícího na inerciálním hmotném tělese je nejkratší v systému vůči němuž je těleso v klidu. Čas udávaný hodinami pohybujícími se s tělesem se nazývá **vlastním časem** tohoto inerciálního tělesa.

2.2.3 Relativnost současnosti bodových událostí

Relativnost současnosti je dalším důsledkem Lorentzových transformací. Jsou dány dvě události A a B, které mají v soustavě S souřadnice a čas (x_A, y_A, z_A), t_A, (x_B, y_B, z_B), t_B a nechť $t_A = t_B$ tj. z hlediska soustavy S jsou současné.

Z (5) plyne: $$t'_B - t'_A = \frac{t_B - \frac{v}{c^2}\cdot x_B}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t_A - \frac{v}{c^2}\cdot x_A}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{-\frac{v}{c^2}\cdot(x_B - x_A)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

(10)

Z toho je vidět, že pro $x_B - x_A \neq 0$ se pozorovateli v soustavě S′nejeví události současné. Pro $x_B \rangle x_A$ bude $t'_A \rangle t'_B$. Kdybychom uvažovali soustavu S′′, která se pohybuje stejně jako S′, ale opačným směrem, dostali bychom $t''_A \langle t''_B$. To znamená, že časový sled dvou událostí v nějaké soustavě současných, může být z hlediska jiných soustav různý. Protože podle transformačních rovnic platí při $t_A = t_B$:

$$x'_B - x'_A = \frac{x_B - x_A}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, y'_B - y'_A = y_B - y_A, z'_B - z'_A = z_B - z_A$$

(11)

mají diference souřadnic našich událostí A, B ve všech soustavách stejné znaménko. Ze vztahů (10) a (11) vyplývá:

$$|t'_B - t'_A| \leq \left|\frac{v}{c^2}\right| \cdot |x'_B - x'_A| \langle \frac{\left|\vec{r}_B - \vec{r}_A\right|}{c}$$

(12)

neboť $|v| \langle c$ a obecně $|x'_B - x'_A| \leq \left|\vec{r}\,'_B - \vec{r}\,'_A\right|$

Jsou-li tedy dvě události A, B v určité inerciální soustavě souřadné současné, nemůže pak být jejich časový rozdíl v žádném jiném systému větší než doba, kterou potřebuje světlo, aby prošlo dráhu mezi místem události A a místem události B.

Lze ukázat, že události splňující nerovnost

$$|t_D - t_C| \geq c^{-1} \cdot \left|\vec{r}_D - \vec{r}_C\right|$$

(13)

mají časové pořadí ve všech inerciálních systémech stejné. Nechť např. $t_C \langle t_D$. Podle Lorentzových transformací

$$t'_D - t'_C = \frac{t_D - t_C - \frac{v}{c^2} \cdot (x_D - x_C)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rangle t_D - t_C - \frac{1}{c} \cdot \left|\vec{r}_D - \vec{r}_C\right| \geq 0$$

Důležitým principem fyziky, který má vztah k pojmu současnosti a k časovému pořadí událostí je **princip kauzality** (příčinnosti). Požaduje, aby následek nemohl nastat dříve než vznikla jeho příčina. Aby tento princip platil z hlediska všech inerciálních soustav, musí být vyloučena příčinná souvislost dvou událostí splňujících nerovnost (12). Jako příčina a následek spolu mohou souviset jen události splňující vztah (13). Aby byla vyloučena příčinná souvislost v prvním případě, je nutné a stačí, aby nebylo možné přenášet rychlostí větší než je rychlost světla c jakékoliv působení nebo vlivy schopné vyvolat událost. Čili vzájemné působení mezi materiálními objekty může probíhat rychlostí $v \leq c$. Za této podmínky platí i ve speciální teorii relativity princip kauzality.

2.2.4 Paradox hodin

Tento zdánlivý paradox vzniká při nedůsledném rozboru dilatace času. Často se postupuje takto: Z počátku 0 inerciálního systému S startuje v čase $t = 0 = t_A$ kosmická loď ve směru osy x. Za krátkou dobu dosáhne rychlosti $v < c$ a pohybuje se s ní velice dlouho. Potom se rychle zastaví a obrátí, a vrací se do 0. Kosmonaut má hodiny H_K, které udávají jeho vlastní čas τ , **při startu ukazují** $\tau_A = 0$.

Z hlediska soustavy S, která je spojená se Zemí trvá cesta tam $t_B = T$ a zpět také, takže hodiny umístěné v 0 H_0 ukazují při návratu $t_D = 2 . T$.

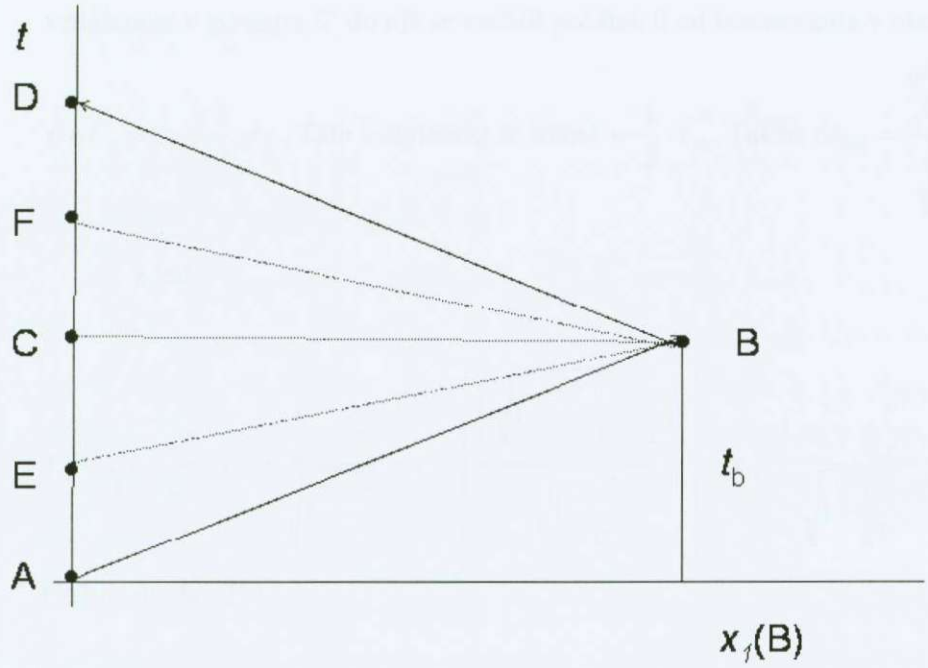
Podle vztahu (7) bude:

$$t_D = \frac{\tau_D}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rangle \tau_D \tag{8}$$

Z hlediska systému spojeného s kosmickou lodí obdržíme podle vzorce (6):

$$\tau_D = \frac{t_D}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rangle t_D \tag{9}$$

Ale výpovědi o stavu obou hodin jsou výpovědi absolutní, tzn., že nemohou nastat obě možnosti (8) a (9). Chyba je v tom, že byla zanedbána relativnost současnosti. Při výpočtu z hlediska klidového systému kosmické lodi totiž musíme přihlédnout k tomu, že od startu do obratu je v klidu vůči systému S', ale při zpáteční cestě je v klidu vůči S'',kde S'a S'' jsou inerciální, ale různé systémy. Pojmy současnosti v nich nesouhlasí (viz. Obr. 3).



Obrázek 3

V systému S jsou současné události C a B, v systému S´ E a B a v systému S´´ F a B. Hodiny H_0 se vůči S´a S´´ pohybují rychlostí v, a proto se opožďují podle rovnice $\Delta t(H_0) = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta t'$ nebo $\Delta t(H_0) = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta t''$.

Platí tedy $\Delta t_{AE} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta t'_{AE} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta \tau_{AB}$,

a také $\Delta t_{FD} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta t''_{FD} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta \tau_{BD}$

a tak $\Delta t_{AE} + \Delta t_{FD} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta \tau_{AD} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \tau_D$.

Mezi Δt_{AE} a Δt_{FD} je časová mezera a platí $t_D = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \tau_D + \Delta t_{EF}$. Podle obrázku $\Delta t_{EF} = \Delta t_{EC} + \Delta t_{CF} = 2 \cdot \Delta t_{EC} = 2 \cdot \Delta t_{EB}$. Protože systém S souvisí se systémem S´ transformací $\Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v}{c^2} \cdot \Delta x'_A}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ pro EB je však $\Delta t' = 0$ a $\Delta x'$ je vzdálenost v systému S′ do níž se vzdálil počátek 0 od kosmonauta v okamžiku

$t' = t'_B = \tau_B = \frac{1}{2} \cdot \tau_D$. Tato vzdálenost se rovná $v \cdot \frac{1}{2} \cdot \tau_D$. Takže $\Delta t_{EB} = \dfrac{\frac{v^2}{c^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \tau_D}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

a tedy

$$t_D = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \tau_D + \frac{\frac{v^2}{c^2} \cdot \tau_D}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \tau_D \cdot \left(\frac{\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)^2 + \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \tau_D \cdot \frac{1 - \frac{v^2}{c^2} + \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\tau_D}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = t_D$$

Což je shoda s (8).

3 Měření času

Čas jakožto fyzikální veličina musí mít svou jednotku, která by umožňovala srovnávání časových intervalů, tj.jeho měření. V nejstarších dobách střídání světla a tmy poskytlo první jednotku času **den.**

Už pro starověké civilizace to byla jednotka příliš hrubá. V antickém Řecku dělili dobu mezi východem a západem slunce na tři úseky – ráno, poledne a večer. Na tři úseky byla rozdělena i noc. Den Římanů měl již sedm částí a doba po setmění čtyři části. Počátek dne byl stanoven u jednotlivých kultur různě. Egypťané a Římané považovali za začátek dne půlnoc, Babylóňané, Syřané a Peršané východ Slunce, Arabové poledne, Židé a Číňané západ Slunce.

Při sčítání dnů vznikly týdny. Zpočátku byly pětidenní (malé) nebo desetidenní (velké). V Babylóně se vyvinul sedmidenní týden a odtud ho převzali Židé pak Řekové a Římané. Z Říma se rozšířil do celé západní Evropy. Číslo sedm mělo magický význam, bylo spojeno s viditelnými planetami (Merkur, Venuše, Mars, Jupiter, Saturn), Měsícem a Sluncem. S rozvojem zemědělství byly postupně zaváděny i delší časové jednotky. Pro zemědělství hraje nejdůležitější roli střídání ročních období, které závisí na vzájemné poloze Země a Slunce. Astronomická pozorování a sledování poloh Slunce posloužila při tvorbě prvních kalendářů.

3.1 Kalendáře

Pod termínem kalendáře chápeme všechny systémy výpočtů delších časových úseků využívajících pravidelnosti přírodních jevů, jako je rotace Země kolem osy, oběh Měsíce kolem Země a oběh Země kolem Slunce.

Základní jednotkou kalendáře je den, dnes víme, že je to doba jednoho otočení Země kolem své osy. Dny jsou v kalendáři sdruženy v týdny. Pravidelné změny ve vzhledu Měsíce daly vzniknout delší časové jednotce užívané v kalendáři, kterou je **synodický měsíc.** Synodický měsíc je interval mezi dvěma posloupnými stejnými fázemi Měsíce. Nyní se stanovená délka tohoto časového úseku rovná 29,530 588 středního slunečního dne. Jednotka času založená na oběhu Země kolem Slunce se nazývá rok. **Tropický rok** je časový interval definovaný v kapitole Čas v astronomii. Dnešní uznávaná hodnota jeho délky je 365,242 199 středního slunečního dne.

Jak je vidět ani tropický rok ani synodický měsíc neobsahuje celý počet dní, takže nelze vyjádřit jednu časovou jednotku jednoduše pomocí druhé. To je také důvod všech nepřesností a problémů v různých kalendářích. Během vývoje vznikly tři nejdůležitější kalendářní systémy. Sluneční, měsíční (lunární) a lunisolární kalendáře.

3.1.1 Sluneční kalendáře

Hlavním požadavkem na všechny kalendáře je, aby kalendářní rok měl celý počet dní. Snažíme se volit takový systém přestupných roků, aby střední délka kalendářního roku co nejlépe odpovídala délce roku tropického. Vezmeme-li kalendářní rok kratší, pak napočítáme více roků mezi dvěma událostmi než ve skutečnosti nastalo oběhů Země kolem Slunce. Například při použití roku s 365 dny napočítáme během čtyř tropických roků čtyři roky a jeden den. Čili rovnodennost připadne na 22.březen místo na 21. březen. Opačným směrem, tj.do zimních měsíců se bude posouvat rovnodennost při použití delšího kalendářního roku. Délka tropického roku po zaokrouhlení na pět desetinných míst činí 365,24 220 středních slunečních dnů. Rok s 365 dny je o 0,2 422 dne kratší. To znamená, že odchylka za 10 000 let bude činit 2 422 dnů. Za 5 000 let 1 211 dnů. Abychom tuto chybu napravili musíme vložit 1 211 přestupných roků během 5 000 let. Pro praktické účely je vhodné stanovit systém oprav, který by se dal snadno zapamatovat a nevázal se na tak dlouhé období jako je 5 000 let. Zlomek $\frac{1211}{5000}$ tedy nahradíme zlomky přibližně stejnými, ale s menším jmenovatelem i čitatelem. Můžeme postupovat takto: $\frac{1211}{5000} = \frac{1}{\frac{5000}{1211}} = \frac{1}{4 + \frac{156}{1211}}$. První zlomek blízký výchozímu je $\frac{1}{4}$, který dostaneme zanedbáním zlomku $\frac{156}{1211}$. Podle tohoto výsledku stačí zařadit během čtyř let jeden přestupný rok. Kalendář s tímto systémem nebude příliš přesný. Můžeme ovšem v našem postupu pokračovat. $\frac{1}{4 + \frac{156}{1211}} = \frac{1}{4 + \frac{1}{\frac{1211}{156}}} = \frac{1}{4 + \frac{1}{7 + \frac{119}{156}}}$.

Po zanedbání zlomku $\frac{119}{156}$ máme : $\frac{1}{4 + \frac{1}{7}} = \frac{1}{\frac{29}{7}} = \frac{7}{29}$. Tato hodnota se liší od čísla 0,2 422 jen o 0, 00082 a doporučuje nám zařadit během 29 let sedm přestupných roků. Stejným způsobem lze dojít k řadě zlomků postupně se blížících k hodnotě zlomku původního. Všem těmto přibližným hodnotám se říká vhodné zlomky viz. Tabulka 2

Rozdíl (K_i – 0,24 220)
$K_1 = \frac{1}{4}$ 0,25 000 + 0,00780
$K_2 = \frac{7}{29}$ 0,24 138 – 0,00082
$K_3 = \frac{8}{33}$ 0,24 242 + 0,00022
$K_4 = \frac{31}{128}$ 0,24 219 – 0,00001
$K_5 = \frac{132}{545}$ 0,24 220 + 0,00000

Tabulka 2 - Přehled vhodných zlomků k číslu 0,2 422.

Čitatel každého vhodného zlomku udává kolik přestupných roků máme zařadit během let jejichž počet udává jmenovatel zlomku.

K určení přesnosti slunečního kalendáře lze užít vzorce

$A = \frac{365m + 366n}{m+n} - T$ kde T je délka tropického roku, m počet obyčejných let v kalendářním cyklu a n počet přestupných roků v témže cyklu. V tabulce 3 je uvedena nepřesnost některých kalendářů.

Název kalendáře	m	n	A	Nepřesnost dosahuje celého dne za
Staroegyptský	4	0	- 0,242 2	4 roky
Juliánský	3	1	0,007 8	128 let
Řehořský	303	97	0,000 3	3 280 let
Omara Chajjáma	25	8	0,000 22	4 500 let
J.H.Mädlera	97	31	- 0,000 01	100 000 let

Tabulka 3 - Nepřesnost některých kalendářů.

První sluneční kalendáře vznikaly pravděpodobně v Egyptě, asi před 6 000 lety. Tento kalendář měl 12 měsíců po 30 dnech. Každý měsíc se skládal ze tří týdnů po 10 dnech, tzv. velké týdny nebo 5 dnech tzv. malé týdny. Rok měl 360 dnů a byl rozdělen do tří čtyřměsíčních období podle zemědělských sezón. Na první období připadaly záplavy způsobené rozvodněním Nilu, na druhé setí, ve třetím se sklízela úroda. Pozorováním pohybu Siria pak Egypťané odhalili pětidenní chybu. Rok doplnili na 365 dnů. Tyto dny nazývali epagomenální a věnovali je oslavě bohů. Historikové zjistili, že ve 2.století př.n.l., za vlády Ptolemaia III., byly učiněny pokusy zavést přestupný rok. Koptský kalendář, používaný v Egyptě kolem začátku našeho letopočtu, byl dlouhý 365,25 dne. Přestupný rok připadl na ten rok, jehož letopočet vydělený čtyřmi činil zbytek 3.

Římané od 8. stol. př.n.l. za vlády krále Romula začali používat kalendáře se 340 dny rozdělenými do 10 měsíců. Měsíce měli původně označené čísly, pak jmény bohů. Přibližně za 100 let v Římě upravili kalendář na rok s 355 dny a dvanácti měsíci s nestejným počtem dnů. Mezi takovýmto rokem a naším tropickým rokem je rozdíl větší než 10 dnů, což se projevilo v rozdílu mezi datem a vegetačními změnami v přírodě. Tato vada byla poopravena zařazením doplňkového měsíce. Každý druhý rok vložili mezi 23. a 24.únor střídavě 22 a 23 dnů. Po této opravě však byl rok delší o 1 den než topický. Podnět k další reformě dal Gaius Julius Caesar.

Astronomové v čele se Sosigenem vytvořili tzv. **juliánský kalendář.** Střední délka roku tohoto kalendáře byla 365,25 dne. Každý čtvrtý rok byl přestupný.

Kalendář platil od 1.1.46 př.n.l. Měl 12 měsíců, liché obsahovaly 31 dnů, sudé 30 dnů. Únor střídavě 28 a 29 dnů.

V roce 8 př.n.l. byla provedena první reforma juliánského kalendáře, která upravila počet dnů v jednotlivých měsících tak jak platí dodnes. V roce 325 se stal závazný pro celý křesťanský svět. Délka roku byla 365 dnů, 6 hodin, tj. o 11 minut a 14 sekund delší než rok tropický.

Tato nepřesnost byla známa již ve 14.století, ale odstraněna až v roce 1589, kdy papež **Řehoř XIII.** vydal bulu Intergravissim. Tou se data posunula o 10 dnů dopředu a bylo tak dosaženo toho, že poloha Slunce na ekliptice odpovídala stavu v době nicejského koncilu a jarní rovnodennost připadla opět na 21.března. To bylo důvodem Řehořovy reformy, protože z jarní rovnodennosti se vycházelo při určování církevních svátků – Velikonoc. Hlavní význam reformy byl ovšem v tom, že byly z přestupných roků vybrány tzv. sekulární. Podrobné výpočty ukázaly, že ani **gregoriánský kalendář** není zcela přesný. Rozdíl jednoho dne od tropického roku nastane až za 3280 let. Zavádění gregoriánského kalendáře probíhalo v různých zemích různou rychlostí. V zemích katolických to bylo ještě v 16.století, v protestantských zemích mnohem později. Zejména pravoslavná církev patřila k odpůrcům tohoto kalendáře. V roce 1884 se německý astronom Mädler pokusil vytvořit kalendář i pro tuto církev. Jeho kalendář počítal s 31 přestupnými roky během 128 let, tím vznikla pětidenní chyba za 100 000 let. Tato soustava se však neujala, stejně i pokusy o zavedení tzv.novojuliánského kalendáře, u něhož činil rozdíl s tropickým rokem jeden den za 43 500 let.

Gregoriánský kalendář nebyl přijatelný nejen pro pravoslavnou církev, ale v některých obdobích i pro širší kruhy veřejnosti. Například v období Francouzské revoluce na konci 18.století byl komisí Národního konventu zaveden ateistický kalendář. Návrh počítal s desítkovou soustavou. Den měl být rozdělen na 10 hodin, hodina na 100 desetinných minut. **Francouzský revoluční kalendář,** do něhož se desetinná soustava nakonec neprosadila, byl zaveden 5.října 1793. Letopočet začínal 22.září 1792, dnem pádu krále a vyhlášení republiky. Týdny byly nahrazeny dekádami. K vyrovnání časového rozdílu proti tropickému roku se vkládalo pět, v přestupném roce šest, svátečních dní za poslední dekádu. Tento kalendář platil do 31.října 1805 kdy byla ve Francii opět zavedena gregoriánská soustava. Platil však ještě jednou v době vyhlášení Pařížské komuny, a to od 18.3. do 23.5.1871.

I když gregoriánský kalendář byl zdokonalením proti juliánskému, má i některé nevýhody. Největší spočívá v různé délce měsíců a v jejich nesystematickém řazení, které způsobuje nestejně dlouhá čtvrtletí a tím různý počet pracovních dní. Proto se objevily pokusy tyto nedostatky napravit. V roce 1834 podal Ital Marco Mastrofini návrh na kalendář s 52 sedmidenními týdny a s jedním prázdným dnem na konci roku.

V našich zemích bylo zavedení slunečního juliánského kalendáře výsledkem misionářské činnosti na konci 8.století. 3.prosince 1583 byla přímým přechodem z 6.ledna na 17.ledna nového kalendáře zavedena gregoriánská soustava. Protestanti přistoupili na tuto úpravu až v roce 1700. Ještě v letech 1787 až 1789 vycházely v Praze tzv.toleranční kalendáře s oběma soustavami.

3.1.2 Měsíční kalendáře

Už před mnoha tisíciletími se zjistilo, že synodický měsíc trvá vždy 29 nebo 30 dnů. Proto byla jeho délka stanovena na 29,5 dne a v kalendáři se střídaly během roku plné (30dnů) a prázdné (29dnů) měsíce. V lunárním kalendáři musí připadat začátek měsíce na nov. Délka mezi dvěma novy se však mění od 29,25 do 29,83 dne. Je to způsobeno elipsovitou dráhou Měsíce a nestejnými měsíčními uzly. Střední délku synodického měsíce lze vypočítat z co nejdelšího časového úseku. Dnes astronomové uznávají veličinu 29,53058812 středního slunečního dne. Jeden měsíční rok tvoří 12 lunárních měsíců, přibližně má tedy délku 354 dnů. Liché měsíce mají po 30 dnech, sudé po 29 dnech.

Jedním z požadavků na měsíční kalendář je, aby každý rok začínal novem. Při délce 354 dnů se však bude každý rok posouvat o 0,36706 dne. Aby se tento nedostatek odstranil, zařadíme některé přestupné roky s 355 dny. Musíme najít celý počet měsíčních roků, který by se co nejvíce počtem svých dní blížil celému číslu. Při násobení délky astronomického měsíčního roku, tj. 12 lunárních měsíců, osmi a třiceti dostáváme :

$$354{,}36706 \,.\, 8 = 2834{,}936 \text{ dne}$$

$$354{,}36706 \,.\, 30 = 10631{,}012 \text{ dne}$$

Perioda s osmi lety se nazývá **turecký cyklus**, perioda s třiceti **arabský cyklus.** V tureckém cyklu musí být během 8 let zařazeny tři přestupné roky. Aby nepřesnost na konci roku nebyla větší než půl dne je nutné zvolit druhý, pátý a sedmý rok jako přestupný. Protože 2835 dnů obsahuje celý počet týdnů, připadá na pořadí dnů na konci novu opět na stejné dny měsíců i týdnů neměnné místo.

Arabský cyklus s třiceti měsíčními roky má mít 10631 dnů, proto v něm musí být 11 přestupných let. Nejvýhodnější přestupné roky jsou druhý, pátý, sedmý, desátý, třináctý, šestnáctý, osmnáctý, jednadvacátý, čtyřiadvacátý, šestadvacátý a devětadvacátý. Toto pořadí splňuje požadavek, aby nepřesnost na konci roku nepřesáhla půl dne. Počet přestupných roků v určitém cyklu lze získat stejným způsobem jako u slunečních kalendářů, nalezením vhodných zlomků k číslu 0,36706. Vhodné zlomky jsou :

$$\frac{1}{2}\,;\,\frac{1}{3}\,;\,\frac{3}{8}\,;\,\frac{4}{11}\,;\,\frac{7}{19}\,;\,\frac{11}{30}\,;\frac{29}{79}\,;\ldots$$

Nejstarší měsíční kalendáře vznikly v Babylóně. Již před 5 000 lety měli dobré kalendáře Sumerové od nichž je převzaly další národy Mezopotámie. Astronomové Blízkého i Dálného východu, především babylónští v polovině 3.tisíciletí př.n.l., dosáhli pozoruhodných výsledků při pozorování Měsíce. Délku synodického měsíce určili na 29,5 dne.

Měsíční kalendář používají především muslimové. Alžírsko, Maroko, Pákistán, Indonésie a další islámské země používají měsíční kalendář dodnes.

3.1.3 Lunisolární kalendáře

Tyto kalendáře vyžadují, aby začátky kalendářních měsíců byly co nejblíže novu, a přitom aby součet nějakého počtu celých lunárních měsíců co nejpřesněji odpovídal skutečné délce tropického roku. Vydělíme-li délku tropického roku délkou synodického měsíce dostaneme počet lunárních měsíců v slunečním roce.

$$\frac{365{,}2422}{29{,}53059}=12\frac{1087512}{2953059}$$

Ke zlomku na pravé straně za dvanáctkou lze najít vhodné zlomky:

$$\frac{1}{2};\frac{1}{3};\frac{3}{8};\frac{4}{11};\frac{7}{19};\frac{123}{334};\frac{316}{1021};\ldots$$

Systémy podle pěti prvních zlomků se uplatnily v mnoha kalendářích. Podle prvního zlomku odpovídá jednomu slunečnímu roku 12,5 lunárního měsíce, čili 2 rokům 25 lunárních měsíců. Podle druhého 1 sluneční rok = $12\frac{1}{3}$ lunárního měsíce nebo 37 lunárních měsíců. A dále

8 slunečních let = 99 lunárních měsíců

11 slunečních let = 136 lunárních měsíců

19 slunečních let = 236 lunárních měsíců

Řecký astronom **Kleostrat** v 6.stol.př.n.l. použil osmiletý cyklus s 2922 dny. Tento počet dnů rozdělil na 48 prázdných a 51 plných měsíců. Kalendář by byl přesný pokud by délka roku byla 365,25 dne a délka měsíce 29,515 dne. Nepřesnost ve skutečnosti dosáhne za 8 let 1,53 dne, protože 99 měsíců obsahuje ne 2922, ale 2923,53 dne.

Metonův cyklus počítal s 235 lunárními měsíci, obsahoval 19 let a 6940 slunečních dnů. Zvolíme-li 110 prázdných a 125 plných měsíců budou mít dohromady 6940 dnů a právě tolik jich má 19 slunečních let. Pořadové číslo roku v 19 letém cyklu se nazývá zlaté číslo. 12 let mělo 12 lunárních měsíců a sedm let 13 měsíců. Třinácté doplňkové měsíce dostaly název embolické. Za přestupné roky po 13 měsících byly zvoleny 3., 6., 8., 11., 14., 17., 19. rok cyklu.

Řecký astronom **Kalippos** již věděl, že 19 let nemá plných 6940 dnů, ale pouze 6939,75 dne. Navrhl tedy cyklus čtyřnásobně delší s 275759 dny. V tomto cyklu je již 940 lunárních měsíců rozdělených na 499 plných a 441 prázdných. Podle této opravy vychází délka synodického měsíce na $\frac{27759}{940} = 29{,}53085$ dne, která je jen o 22 sekund delší než dnes uznávaná.

Další zpřesnění provedl kolem roku 125 př.n.l. učenec **Hipparchos,** který objevil precesi, tj.pohyb jarního bodu proti pohybu Slunce. Zjistil, že rovnodennost se předbíhá o půl dne za 150 let. Z toho usoudil, že délku 4 Kalippových cyklů (tj.304 let) musí zkrátit o jeden den. Čtyři Kalippovy cykly obsahují 940 . 4 lunárních měsíců tj.27759 . 4 dnů. Tento počet zkrácený o jeden den dává 111035 dnů během 304 let a 3760 lunárních měsíců.

Tato oprava vede k délce slunečního roku $\frac{111035}{304} = 365{,}24671$ dne a délce synodického měsíce $\frac{111035}{3760} = 29{,}53059$ dne, nebyla však využita. Nejvíce se používaly osmileté a devatenáctileté cykly.

Lunisolární kalendáře používali Babylóňané, Řekové, Římané i Číňané. Dodnes slouží k určování data velikonočních svátků, které představují tzv. střed církevního roku. Jejich datum je pohyblivé v rozmezí od 22.března do 25.dubna, podle neděle po prvním jarním úplňku, která je hlavním dnem velikonočních svátků. Nejstarší lunisolární kalendáře vznikly patrně v Číně, odtud pronikly do Japonska, Mongolska, Koreje i jinam. V Řecku vznikaly lunisolární kalendáře kolem počátku 1.tisíciletí př.n.l. Pro každý městský stát vznikl zvláštní kalendář. Všechny měly znaky společné i rozdílné. Asi od poloviny 1.tisíciletí př.n.l. datovali Řekové události podle jmen nejvyšších hodnostářů. Ve 4.století př.n.l. začali počítat roky podle olympiád. Výchozí datum byl 1.červenec 776 př.n.l. Letopočet se udával pořadovým číslem olympiády a číslem roku v příslušném čtyřletí.

Jedním z nejstarších kalendářů je kalendář židovský. Původně vznikl z měsíčního kalendáře s 12 lunárními měsíci po 29 a 30 dnech. Ve 4. století př.n.l. ustoupil kalendář lunisolárnímu. Tento přechod byl dokončen teprve kolem roku 499 př.n.l. Židovský kalendář měl devatenáctiletý cyklus se sedmi přestupnými roky. Celý cyklus měl nestálý počet dnů. Podle toho, který den připadl na Nový rok, měl od 3939 dnů do 3941 dní. Nový rok nesměl připadnout na neděli, středu nebo pátek. Od 3.století př.n.l. začíná Nový rok vždy prvním dnem měsíce v době mezi 5.zářím a 5.říjnem. Židovský letopočet začíná 7.říjnem roku 3761 př.n.l., kdy byl podle bible stvořen svět.

3.1.4 Další kalendářní soustavy

V Indii bylo již od starověku mnoho navzájem izolovaných kmenů a národností. Dodnes se v Indii mluví více než dvěma sty jazyky. Dlouhodobá izolovanost jednotlivých knížectví vedla k vytvoření různých kalendářů. Ještě donedávna se používalo okolo třiceti místních kalendářů, které sloužily k určování náboženských svátků a obřadů. Jsou mezi nimi všechny tři popsané hlavní soustavy.

Indičtí astronomové používali pro kalendáře hvězdný rok, jehož délku stanovili na 365,25876 středního slunečního dne. To je hodnota o 0,0024 středního slunečního dne větší než dnešní udávaná. Hvězdný rok je však o 20,4 minuty delší než tropický, proto chyba, která vznikla za 15.století používání tohoto kalendáře, dosáhla 22-23 dnů.

Základem indického kalendáře je rok s 12 měsíci po 29 a 32 dnech s šesti dvouměsíčními sezónami. Protože kalendář souvisí i s lunárním měsícem, každý měsíc totiž začíná dnem následujícím po úplňku nebo po novu, má rok pouze 354 dnů. Aby se délka tohoto roku vyrovnala se slunečním, vsouvá se každý třetí rok do kalendáře doplňkový třináctý měsíc.

V severní a střední Indii je nejoblíbenější kalendář **samtavský**, jehož letopočet začíná kolem roku 57 př.n.l. V jižní Indii se nejvíce používá kalendář **Šaka**, jehož letopočet začíná 15.března roku 78 n.l. Indický tisk se řídí gregoriánským kalendářem, zavedeným v Indii v roce 1757. Nepřehlednost a spletitost kalendářních soustav vedla k zavedení **národního kalendáře**, založeného na tropickém roku s 365 dny, 5 hodinami, 48 minutami a 46 sekundami. V obyčejném roce má kalendář 365 dní a v přestupném roce 366 dní. Přestupný rok se určuje tak, že k danému číslu roku éry Šaka přičteme 78 a je-li toto číslo dělitelné čtyřmi, jde o přestupný rok. Bude-li však výsledné číslo dělitelné stem, zůstává rok přestupný jen tehdy, bude-li současně dělitelné čtyřmi sty. Tento kalendář začal v Indii platit roku 1957, místní kalendáře však zrušeny nebyly a používá se jich pro náboženské obřady.

Naprosto odlišné a originální kalendářní soustavy vytvořili **Mayové.** V občanském životě používali kalendář s dlouhým rokem a k náboženským účelům sloužil kalendář s krátkým rokem. Dlouhý rok měl 18 měsíců po 20 dnech. Na konci roku se přidalo pět dnů beze jména. Kněží věděli, že tento rok je o něco kratší než tropický rok a že za 60 let se nastřádá přibližně 15 nadbytečných dnů. Pro zvláštní příležitosti se používal ještě jeden dlouhý rok o 360 dnech.

Krátký rok, sloužící k rituálům, měl pouze 260 dnů rozdělených do třinácti měsíců po 20 dnech. Jinou zvláštností kalendáře byl třináctidenní týden. Z některých Mayských textů se dá usoudit, že měli ještě jeden týden s devíti dny.

Mayský kalendář měl ještě dva větší cykly: čtyřletý, v němž se opakovaly názvy dnů a pořadí měsíců, a dvaapadesátiletý. 52 let zahrnovalo 18980 dnů, což je zároveň 73 krátkých roků.

Současně se používal měsíční kalendář s měsíci po 29 nebo 30 dnech. Mayové pravděpodobně jako první použili při číslování dnů v měsíci nulu. I když Mayové vypočítali délku tropického roku na 365,2420 dne, nezaváděli však přestupné roky, protože by tak narušili svůj věčný kalendář, v němž jednou za 52 let připadlo datum na stejný den.

Mayští kněží vytvořili také kalendář s rokem o 564 dnech. Tak dlouho trvá jeden zdánlivý oběh Venuše.

Aztékové používali podobný kalendář jako Mayové s roky o 365 a 260 dnech. Největší rozdíl byl však v číslování, místo od nuly číslovali Aztékové od jedničky.

O mnoho jednodušší byl **kalendář Inků,** jejichž rok začínal oslavami období dešťů a slunovratu a obsahoval 365 dnů rozdělených do 12 měsíců bez dalšího dělení.

3.1.5 Chronologické linky

Chronologie jako věda vznikla v 16.století s rozvojem vědy historické. Její název je složeninou řeckého slova chronos a logos. Slovo chronos znamená čas, slovo logos nauka. Chronologie se dělí na dvě části, astronomickou a historickou. Historická převádí data různých kalendářních soustav na náš letopočet. Často k tomu využívá srovnávání s již známými údaji historických pramenů. Astronomická chronologie zkoumá různé zákonitosti opakujících se nebeských jevů a korelačními výpočty určuje přesné časové údaje nezbytné pro srovnání různých systémů datování.

Různé národy si v různých dobách vytvořili své éry. Éra je systém počítání roků od určité legendární či historické události. V našem občanském životě má největší význam **éra křesťanská.** V práci astronomů a chronologů má stejně velkou důležitost tzv. **Scaligerova éra.**

Počítání let podle křesťanské éry v historii se liší od astronomického počítání. V roce 1740 francouzský astronom Jacques Cassini navrhl, aby se rok předcházející prvnímu roku našeho letopočtu nazýval nulovým, rok před ním jako minus první atd. Tento způsob se ujal v astronomii. Rozdíl mezi astronomickým a historickým letopočtem je znázorněn v tabulce 4.

v astronomii	- 2. rok	- 1. rok	0. rok	1. rok	2. rok	3. rok
v historii	3. rok př.n.l.	2. rok př.n.l.	1. rok př.n.l.	1. rok n.l.	2. rok n.l.	3.rok n.l.

Tabulka 4 - Rozdíl astronomického a historického letopočtu.

Století v astronomii končí po uplynutí sto roků od okamžiku 0,0.
V historickém pojetí uplyne 100 let od počátku letopočtu až v prosinci roku 100, čili o rok později než v astronomii.

Při počítání kolik let uplynulo od určitého okamžiku před naším letopočtem se snadno udělá chyba. V Německu například v roce 1937 oslavovali dvoutisící narození Augusta. Tento římský císař se však narodil v roce 63 př.n.l., a proto se mělo slavit až o rok později.

Zjištění časového úseku mezi dvěma událostmi je nejjednodušší při použití průběžného počítání dnů. V roce 1583 navrhl takové počítání Francouz **Joseph Scaliger.** Za počátek periody (dnes nazvané na počest jeho otce juliánskou) zvolil okamžik 12 hodin světového času 1.ledna 4713 př.n.l. Tento den byl označen číslem nula, každému následujícímu dni je postupně přiřazeno číslo tzv. juliánské datum. Juliánské datum se uvádí v astronomických ročenkách a značí se J.D. Například 1.leden 1985 = 2446066,5 J.D. Juliánské datum má ještě jednu výhodu, umožňuje zjistit den v týdnu. Zbude-li po dělení sedmi 0, je den pondělkem, zbytek 1 přísluší úterý atd. Tabulka 5.udává počátky století ve dnech juliánské periody pro gregoriánský kalendář.

Podle juliánského kalendáře		**Podle gregoriánského kalendáře**	
rok	juliánský den	juliánský den	rok
1 500	2 268 932	2 268 922	1 500*
1 600	2 305 457	2 305 447	1 600
1 700	2 341 982	2 341 971	1 700*
1 800	2 378 507	2 378 495	1 800
1 900	2 415 032	2 415 019	1 900*
2 000	2 451 557	2 451 544	2 000
2 100	2 488 082	2 488 068	2 100*
2 200	2 524 607	2 524 592	2 200*

Tabulka 5 - Dny Scaligerova období pro počátky století 1500-2200.

Ve stoletích opatřených hvězdičkou je nutno v lednu a únoru všech roků zvětšit juliánský den o jedničku. Chceme-li zjistit juliánské datum jednotlivých roků přičteme opravu pro daný rok podle tabulky 6.

pořadí roku	oprava	pořadí roku	oprava
1	366	.	.
2	731	.	.
3	1 096	.	.
4	1 461	94	34 334
5	1 827	95	34 699
6	2 192	96	35 064
.	.	97	35 430
.	.	98	35 795
.	.	99	36 160

Tabulka 6 - Opravy pro roky staletí (tabulka je uvedena jen pro ilustraci, proto neobsahuje všech 99 údajů)

Chceme-li stanovit juliánský den například pro 26.srpna 1994, stačí určit pořadové číslo 26.srpna a přičtením údajů podle předcházejících tabulek dostaneme výsledek. Z tabulky 2-4. 1900...2415019 a z tabulky 6. 94...34334. Pořadové číslo dne 26.srpna v nepřestupném roce je 238. Takže 26.srpnu 1994 odpovídá juliánský den 2449591. Stejným postupem můžeme určit juliánský den libovolné události a odečtením obou údajů pak získáme interval mezi dvěma událostmi vyjádřený ve středních slunečních dnech.

Na juliánské dny můžeme přepočítat data ostatních kalendářních ér. V tabulce 7 jsou uvedeny přepočty počátků některých ér.

Éra	**počátek éry podle juliánského kalendáře**	**juliánský den**
Židovská	7.10. 3761 př.n.l.	347 998
Kálijuga	18.2. 3102 př.n.l.	588 466
Nabunassirova	26.2. 747 n.l.	1 448 638
Křesťanská	1.1. 1 n.l.	1 721 058
Šaka	15.3. 78 n.l.	1 749 621
Diokleciánská	29.8. 284 n.l.	1 825 030
Hidžry	16.7. 622 n.l.	1 948 400
Republikánská	22.9. 1792 n.l.	2 237 581

Tabulka 7 - Počátky některých ér.

K přepočtu dat ér jsou vhodné speciální tabulky, zejména tam, kde se používá složitý systém cyklů. Například u mayského kalendáře není přiřazení k ostatním érám dosud vyřešeno.

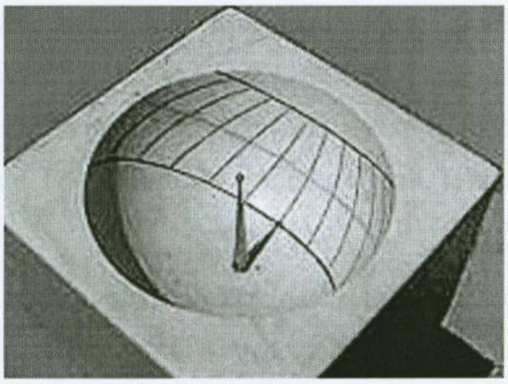
3.2 Přístroje k měření času

Zařízení k měření, srovnávání a registraci času se nazývá hodiny. Každé hodiny pracují na základě nějakého periodicky se opakujícího se děje (např. kyvadlový pohyb kyvadla, torzní kmity nepokoje, elektrické oscilace). Ke kontrole chodu hodin slouží časové signály vysílané rozhlasem. Je to šest akustických značek, vždy po jedné sekundě, které udávají posledních pět sekund před určením časového údaje. Absolutní chyba tohoto signálu je 0,1 s. Pro vědecké účely vysílají některé rozhlasové vysílače speciální signály s menší absolutní chybou.

3.2.1 Elementární časoměrné přístroje

Nejstarší způsoby měření času spadají do doby kolem roku 2000 př.n.l. a jejich poslední vývojová fáze končí prvními stoletími novověku. Časoměrné přístroje z tohoto období, zvané elementární, zahrnují mnoho typů slunečních, kapalinových, ohňových, pískových a jiných hodin.

Nejvíce rozšířeným elementárním časoměrným přístrojem jsou bezesporu **sluneční hodiny**. Jako jediné jsou založené na denním, případně i ročním, pohybu Slunce. Nejnázornější je vysvětlit princip měření času těmito hodinami na jednom z jejich typů – **Skafé** [5]. Je to typ, který má číselník ve tvaru duté polokoule. Číselník představuje zmenšený model nebeské sféry avšak obrácený (nadhlavník je dole). Poloměr polokoule je libovolný. Původní ukazatel hodin měl tvar svislé tyčky upevněné v nejhlubším místě číselníku. Na konci ukazatele byla kulička nebo hrot umístěný ve středu kulové plochy. Pohyb Slunce po obloze vyvolává pohyb stínu vrženého na číselník. Stín věrně reprodukuje denní sluneční dráhu po obloze.



Obrázek 4 – Scaphe [8]

Na číselníku skafé se zobrazují významné body a směry z nebeské sféry. Z geometrického hlediska tu jde o středové promítání. Středem promítání je střed kuličky na konci ukazatele. Největší vodorovná kružnice na číselníku představuje obzorník, je to vnější kruhový okraj číselníku. Světové strany jsou zde zobrazeny obráceně. Obraz jihu je obrácen ke skutečnému severu a naopak. Zenit je zobrazen do nejnižšího bodu číselníku. Severní světový pól leží na obloze nad severním bodem obzoru ve výšce rovné zeměpisné šířce stanoviště.

Na číselníku skafé bude světový severní pól zobrazen do bodu ležícího pod obrazem severního bodu na obzorníku, který je obrácen ke skutečnému jihu. Úhlová vzdálenost mezi těmito obrazy bude také rovna zeměpisné šířce stanoviště, pro které je skafé konstruováno. Skafé je tedy přístroj nepřenosný, nelze jej použít pro měření na různých místech o různých zeměpisných šířkách.

Skafé konstruované pro rovník bude mít oba světové póly na okraji číselníku. Na číselníku skafé bude spojnice pólu severního a jižního bodu představovat místní poledník. Je to polovina hlavní kružnice. Rovník na číselníku budou tvořit body vzdálené po 90° od kteréhokoliv z obou pólů. Bude to půlkružnice procházející západním a východním bodem skafé. Také rovník je hlavní kružnicí, tj.největší na sféře. Všechny hlavní kružnice musí mít poloměr rovný poloměru číselníku.

Obraz rovníku se používá pro konstrukci stupnice na měření času. Pravý sluneční čas, který měří všechny sluneční hodiny, je dán hodinovým úhlem skutečného Slunce. Na rovníku můžeme vyznačit body vzdálené od sebe po 15°. Výchozím bodem je průsečík poledníku s rovníkem. Každým z těchto bodů a světovými póly je určena hlavní **kružnice** zvaná deklinační nebo **hodinová.** Po vyznačení těchto kružnic na číselníku dostaneme stupnici pro měření času. Stačí očíslovat hodinové kružnice. Jednou z nich je poledník, který musí mít hodnotu 12 hodin. První kružnice směrem k obrazu západního, resp.východního bodu, bude mít hodnotu 13, resp.11 atd. Pokud velikost číselníku dovolí, je možné vyznačit jemnější stupnici.

Podobně jako hodinové kružnice lze na číselníku vyznačit kružnice **datové.** Jednou z nich je obraz rovníku. Po ní se bude pohybovat stín ve dnech rovnodennosti. V jiných dnech stín opíše dráhy mimo rovník, které budou s rovníkem přibližně rovnoběžné. Jejich poloměr na číselníku bude menší než poloměr hlavních kružnic. Nejmenší dráhou stín probíhá ve dnech slunovratů, kdy i dráhy Slunce na obloze mají nejmenší poloměr. Obě tyto dráhy jsou obrazem obratníků Raka a Kozoroha. Na číselníku můžeme vyznačit obrazy drah, po kterých se bude pohybovat stín v datech vstupu Slunce do jednotlivých znamení zvěrokruhu. Těchto drah Slunce je celkem 7. Nazývají se datové křivky. Tři z nich jsou rovník a obratníky Raka a Kozoroha. Dvě kružnice leží na severní části a dvě na jižní části sféry. Severní dráhy sleduje Slunce na jaře a v létě, jižní pak na podzim a v zimě. Datové křivky zobrazené na číselníku budou částí kružnic, které jsou na severní polokouli větší než půlkružnice a na jižní menší. To také odpovídá době, kdy je Slunce nad obzorem. Podle toho na jaké hodinové kružnici leží průsečík datové křivky a obzorníku můžeme zjistit, kdy Slunce v určitý den vychází a zapadá. Například v den zimního slunovratu vychází kolem osmé hodiny ranní, v poledne vystupuje nad obzor nejníže v celém roce (na severní polokouli) a zapadá kolem šestnácté hodiny odpoledne.

Podle polohy stínu na číselníku skafé můžeme tedy měřit nejen čas, ale určit i datum a dobu, kdy bude Slunce nad obzorem a okamžiky jeho východu a západu. Čas měřený těmito hodinami je místní pravý sluneční čas.

Skafé můžeme vylepšit použitím šikmého ukazatele místo původního svislého, nazývaného **gnómon.** Šikmý ukazatel však nemá libovolnou polohu. Musí ležet na spojnici obou světových pólů. To znamená, že je rovnoběžný se zemskou osou. Na číselníku skafé bude upevněn v obraze světového pólu a bude procházet středem kulové plochy. Jeho sklon od vodorovné roviny je roven zeměpisné šířce stanoviště. Ukazatel je nyní delší, nekončí ve středu sféry číselníku. Výhoda tohoto ukazatele spočívá v tom, že pro měření času můžeme na ní využít celého stínu ukazatele. Stín vlastně vykreslí na číselníku podstatnou část hodinové kružnice, takže nám usnadní přesnější odečítání polohy mezi dvěma kružnicemi na stupnici. V celou hodinu pak stín splyne s naznačenou kružnicí na číselníku. Pro odečítání data je ukazatel ve středu sféry opatřen značkou, která se nazývá **nodus** (uzel).

Jiným typem slunečních hodin jsou hodiny **s vodorovným číselníkem.** Světová sféra se zde promítá do roviny, takže její obraz bude o něco složitější než u skafé. Střed promítání je zvolen libovolně nad rovinou číselníku. Vzhledem k nekonečnosti poloměru světové sféry můžeme střed promítání považovat za její střed. Světové strany budou na číselníku obráceny o 180°. Hodinové kružnice mají střed ve středu promítání, proto jejich obrazem na číselníku budou přímky. Všechny hodinové kružnice se promítají ve světovém pólu, takže jejich obrazy se protnou v obraze pólu. Obraz zenitu bude přímo pod středem promítání. V tomto bodě můžeme umístit gnómon (svislý ukazatel) nebo polos (ukazatel rovnoběžný se zemskou osou). Polos prochází středem promítání a číselník protne v obraze světového pólu.

Na číselník můžeme zobrazit ještě datové křivky. Rovník, který je rovněž hlavní kružnicí se promítne na číselník jako přímka. Ostatní rovnoběžky, po nichž se přibližně pohybuje Slunce při svých denních drahách, jsou vedlejšími kružnicemi.

Proto se do roviny číselníku zobrazí buď jako elipsy, paraboly nebo hyperboly. V našich zeměpisných šířkách budou obrazy denních drah Slunce hyperboly.

Rovníkové sluneční hodiny se liší od předešlých nikoli tím, že jsou konstruovány pro rovník, ale polohou číselníku. Rovina číselníku těchto hodin je rovnoběžná s rovinou rovníku. Jejich výhodou je, že přímky představující hodinové kružnice svírají mezi sebou úhel 15°, tak jako roviny skutečných hodinových kružnic na světové sféře. Polos je na rovinu číselníku kolmý a je opět umístěn v obraze světového pólu. Rovníkové hodiny natočené číselníkem k severu zobrazují na svůj číselník větší část severní polokoule světové sféry. Tento číselník bude osvětlen na jaře a v létě, kdy se Slunce pohybuje na sever od rovníku. Pro měření času na podzim a v zimě musíme použít hodiny s číselníkem obráceným k jihu. I tyto hodiny můžeme doplnit pro odečítání dat. Obraz rovníku ale neexistuje, protože rovina číselníku se s rovinou rovníku protíná v nekonečnu. Ostatní datové křivky mají tvar soustředných kružnic se středem ve světovém pólu. Obzorník se zobrazí jako vodorovná přímka ve výšce nodu. Na severním polárním kruhu bude obzorník tečnou k datové křivce pro letní slunovrat. Na serním pólu nelze vynést obraz obzoru, hodiny rovníkové se stanou vodorovnými.

Velmi jednoduchou stupnici mají **hodiny polární,** jejichž číselník je rovnoběžný se světovou osou. Hodinové kružnice jsou zde zobrazeny jako přímky navzájem rovnoběžné a rovnoběžné se zemskou osou.

Speciálním případem těchto hodin jsou svislé sluneční hodiny na východní nebo západní stěně. Mají-li hodiny polární číselník tvořen válcovou plochou (osa válce je rovnoběžná se světovou osou) budou obrazy hodinových kružnic navíc od sebe stejně vzdáleny a to po 15°. Datové křivky už nebudou hyperboly ale kružnice.

Hodinami, které ukazují čas na mnoha místech najednou, může být zemský globus, jehož osa je souhlasně orientována se zemskou nebo světovou osou. Takové hodiny se nazývají **kulové sluneční** nebo **paralaktický globus.** Jestliže správně orientovaný globus otočíme kolem jeho osy tak, aby jeho nejvyšším bodem byl obraz stanoviště těchto hodin, dostaneme model Země, který je naprosto věrnou zmenšeninou. Tak můžeme poznat na kterých místech Země je noc a na kterých den. Kde Slunce právě vychází, kde zapadá. Na místě, kam dopadají sluneční paprsky kolmo, je slunce právě v nadhlavníku. Na globu můžeme vynést poledníky po 15°a očíslovat je od východu k západu čísly hodin tak, aby na poledník procházející stanovištěm hodin vyšla dvanáctka. Jako ukazatel poslouží prstenec kolem globu upevněný na ose. Prstenec má tvar poloviny poledníku a je otočný kolem osy globu. Nastavíme jej tak, aby stín vržený na globus byl přímo pod ním. Na poledníku, nad kterým se ocitl prstenec, bude poledne a jeho číslo udává čas našeho stanoviště.

Objev slunečních hodin souvisel s okamžikem, kdy si člověk uvědomil vztah mezi délkou stínu (případně jeho směrem) a polohou Slunce na obloze. Nejstarší sluneční hodiny vznikly ve starověkém Egyptě, Babylónii, Číně a Indii. Byly to svislé obelisky se stupnicí na zemi. Princip dělení číselníku v té době ještě nebyl zvládnut, takže v měření času docházelo ke značným chybám.

Číselníky zvláště vyšších gnómonů zabíraly velká prostranství a stín nebylo možno sledovat až do úplného západu. Tyto obtíže se odstranily po použití polokulového číselníku. Tak byla objevena v Babylóně kolem roku 1000 př.n.l. skafé, také zpočátku s nepřesně provedeným dělením stupnice.

Od starověkých kultur převzali zkušenosti Řekové, kteří pak posunuli k dokonalosti vědu a s ní i techniku měření času. **Hipparchos** v 2.stol.př.n.l. zavedl definice astronomických souřadnic. Z této doby pochází definice hodinového úhlu, pomocí níž je možné zavést čas. Pokrokem bylo použití šikmého ukazatele rovnoběžného se světovou osou. **Ptolemaios** uvádí teoreticky správné konstrukce číselníků na různých plochách a v různých směrech.

V období ranného středověku dochází k úpadku vědy. V gnómonice tento úpadek představuje návrat k překonaným hodinám staroegyptským, jejichž obdoby byly nalezeny především na zdech anglických chrámů.

Až koncem středověku jsou znovu objevovány staré poznatky z geometrie a připojovány nové. V 15.století je podstatná většina typů slunečních hodin již známa a používána. Při dobrém provedení umožňovaly hodiny odečítání času s minutovou přesností a mohly tak sloužit při opravě chodu prvních mechanických hodin.

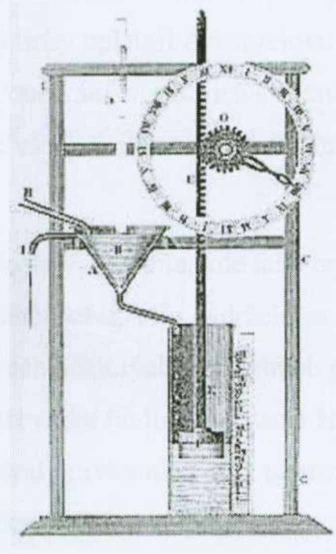
V renesanci se již objevují první publikace o gnómonice a od 16.století je o ní již značně rozsáhlá literatura. Sluneční hodiny nejsou vytlačeny ani v období baroka, kdy se zdokonalují a zlevňují mechanické hodiny.

Vyvrcholením jejich vývoje bylo použití heliochronometru na francouzských železnicích. Tyto hodiny měly válcový číselník, byly nastavitelné podle zeměpisné šířky a také délky tak, aby se odečítal čas základního poledníku. Dosahovaly přesnosti několika sekund.

Ani v dnešní době neztratily sluneční hodiny význam. Jsou to historické památky a doklady úrovně techniky a umění v době svého vzniku. Slouží také jako dekorace interiérů, zahrad a volných prostranství.

Jednou z nevýhod slunečních hodin je závislost jejich činnosti na slunečním svitu. Čas se jimi dá měřit jen za jasného počasí a v době od východu Slunce do jeho západu. Jiné způsoby měření času vycházely z jevů podle nichž třeba stejným otvorem ze stejně vysoko naplněné nádobky vyteče za stejný čas stejné množství kapaliny. Nebo za stejnou dobu vyhoří vždy stejně velké množství určité látky.

Vodní hodiny se nazývaly klepsydry, z řeckého klepto tj. bráti a udor tj. voda. Řecký název však neznamená, že vodní hodiny vznikly v Řecku. V této zemi však zdomácněly a Řekové je dovedli ke značné dokonalosti. Nejstarší zachované vodní hodiny se nalezly v Egyptě. Byly to hodiny výtokové pocházející z období kolem roku 1400 př.n.l. Na vnitřní ploše jejich alabastrového pláště bylo vyznačeno dvanáct dvanáctihodinových stupnic pro měření v jednotlivých měsících. Nádoba se naplnila pod okraj vodou, která vytékala malým otvorem u dna. Egypťané používali též vtokové hodiny. Obyčejně mívaly tvar válce s dvanáctihodinovou stupnicí na vnitřní ploše. Do nádoby kapala voda ze zvláštní hubice. Některé hodiny měly plovák, který když vystoupil do určité výše otevřel dole výpustní kohout.



Obrázek 5 – Vodní hodiny [9]

Nejjednodušší vodní hodiny používali v Číně a Indii. Byly to polokulové misky s malým otvorem ve dně, kterým pomalu unikala voda. Takto se daly měřit časové intervaly mezi položením misky na hladinu a jejím potopením. Známy byly i výtokové hodiny, jejichž nádoba se naplnila při východu Slunce a voda vytékala otvorem u dna.

Skutečnost, že rychlost výtoku kapaliny otvorem závisí na výšce hladiny v nádobě, starověcí hodináři znali. Aby hodiny ukazovaly správně, musely by být vzdálenosti mezi dvěmi značkami na stupnici větší na horní části než na dolní. Pokud však chtěli mít dílky na stupnici stejné, což se jim asi zdálo úhlednější, museli použít místo válcové nádoby nádobu tvaru kužele. Antické národy měly během roku nestejně dlouhé hodiny. To bylo způsobeno tím, že čas od východu do západu Slunce dělily na šest hodin a dobu od západu do východu také. Délka světlé části dne a tmavé části se během roku mění, proto se také měnila délka hodin. Konstruktéři vodních hodin tento problém vyřešili tak, že do nádoby spouštěli plný kužel, který vytlačoval vodu. V den rovnodennosti byl kužel spuštěn stejně hluboko pro den i noc. Když byl den delší než noc, musel být vnitřní kužel v noci ponořen více, takže v nádobě bylo méně vody. Ta pak vytekla za kratší dobu, ovšem na stupnici hladina přešla šesti hodinami (kratšími). Ve dne pak byl plný kužel ponořen méně. Voda vytekla také během antických šesti hodin, které nyní byly delší.

Největší rozmach zaznamenaly vodní hodiny v Řecku. Nejlepším stavitelem klepsyder byl **Ktésibios,** známý matematik a mechanik žijící v Alexandrii kolem roku 150 př.n.l. Jako první prakticky uplatnil Aristotelovu myšlenku přenosu sil a pohybu ozubeným soukolím. Používání slunečních i vodních hodin se tak rozšířilo, že v helénském období byly ve všech řeckých městech sluneční a vodní hodiny a to soukromé i obecní.

Z Řecka se klepsydry dostaly do Říma, kde také brzy zdomácněly. Po rozpadu římské říše umění hodinářské upadlo. Udrželo se na východě v Arabské říši. O tom svědčí zprávy o darech některých východních panovníků evropským králům. K nejzajímavějším patří vodní hodiny darované Hárúnem-al-Rašídem Karlu Velikému. Tyto hodiny obsahovaly prvky ukazující na rozvinutou techniku automatické figurální mechaniky. Každou hodinu oznamovaly údery koule vypadlé z hodin na ozdobnou mříž a v poledne se v přístroji otevřela brána, ze které vyjížděli rytíři.

Klepsydry sestrojené v Číně **Su-Sungem** v roce 1090 n.l. jsou vrcholným dílem čínského umění ve stavbě vodních hodin. Byly poháněny vodním kolem s uzavřeným oběhem vody, které je analogií mechanického kroku, který se objevil v Evropě mnohem později u mechanických hodin.

Středověká mechanika dosáhla vynikající úrovně na Blízkém východě. V roce 1206 napsal arabský inženýr **Al-Jazari** knihu, jejichž podstatnou část věnoval vodním hodinám.

V Evropě se zájem o vodní hodiny objevil znovu až v období renesance, které znamenalo návrat k tradicím antické kultury. Rozbory různých principů vodních hodin lze nalézt v díle Schottově, Leonarda da Vinciho, Kircherově a dalších. **Salomon de Caus** popsal vodní hodiny.

Hodiny obsahovaly dvě nádrže nad sebou. V horní nádrži byla udržována stálá výška hladiny a tím i stálá výtoková rychlost vody vytékající do nádoby spodní zavěšené na páce. Druhý konec páky se opíral o zuby kola, které bylo převody spojeno s ručičkou hodin. Dosáhla-li hmotnost spodní nádrže určité hodnoty, sklopila se páka, která svým druhým koncem pootočila ozubeným kolem. Zpětnému otočení kola zabránila pojistná západka. V okamžiku, kdy nádrž klesla dolů byl ve dně nádrže otevřen otvor, kterým voda vytekla. Nádržka se vrátila do původní polohy a děj se mohl začít opakovat. Další hodiny, které popisuje Salomon de Caus, jsou bubnové vodní hodiny. Jejich hlavní částí je uzavřený buben s paprskovitými přepážkami. Buben je zčásti naplněn vodou, která malými otvory v přepážkách u vnějšího obvodu vytéká z horních komor bubnu do dolních.

Její tíha působí proti tíze bubnu, který je zavěšen na dvou strunách ovinutých kolem osy. Výslednice obou sil způsobuje pomalé otáčení bubnu resp.jeho klesání. Osa bubnu může přímo ukazovat čas na svislé stupnici.

V devatenáctém století hodinář Planchon uveřejnil nákres překlopných vodních hodin pracujících na obdobném principu jako přesýpací hodiny. Podobné malé přenosné hodiny byly nalezeny v prostorách klášterů.

Vodní hodiny sehrály důležitou roli ve vývoji časoměrných přístrojů. Na rozdíl od slunečních hodin nebyly závislé na počasí a čas se jimi dal měřit ve dne i v noci. Jejich charakter umožnil rozvíjet některé mechanické prvky a především arabské vodní hodiny mohly podnítit rozvoj mechanických hodin.

Kromě vodních hodin se od počátku 13.století ujaly také **hodiny svícové.** Tyto hodiny měly podobu dlouhých tuhých svící, které poměrně dobře ukazovaly čas a navíc v noci poskytovaly osvětlení. Používané svíce měly délku asi 1 metr. Na svíčku mohly být připevněny kovové kuličky, které pak postupně odpadávaly na misku a oznamovaly tak například celé hodiny.

Jiné hodiny byly **olejové kahancové.** Tyto hodiny byly obyčejné kahance s otevřeným knotovým hořákem a skleněnou baňkou na olej opatřenou časovou stupnicí. Délkou a šířkou knotu se dala řídit rychlost spotřeby oleje tak, aby odpovídala časovým značkám na stupnici. Protože rychlost odhořívání oleje je větší při plné baňce než při skoro prázdné, mívaly baňky tvar nahoře rozšířený.

Za vlast všech ohňových hodin je pokládána Čína, kde byly tak oblíbené, že některé druhy se zachovaly až do 20.století. Nejpoužívanější byly **doutnákové hodiny,** jejichž hlavní částí byly dlouhé kovové tyčky pokryté vrstvou dehtu s dřevěnými pilinami. Na tomto doutnáku byly zavěšeny kuličky, které postupně padaly po zapálení na misku.

Rychlost hoření u ohňových hodin závisí na mnoha okolnostech, například na průvanu, nestejnoměrnosti knotu nebo doutnáku. Tyto hodiny nepatří k přístrojům, které by se přesností mohly srovnávat s hodinami slunečními nebo vodními.

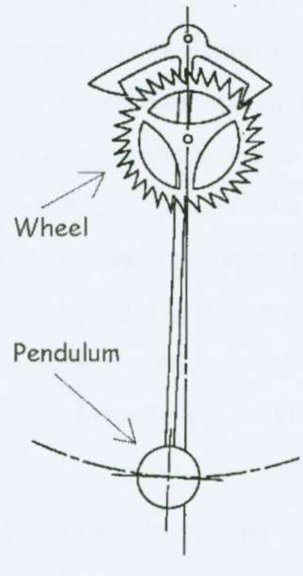
Dlouho před naším letopočtem znali v Asii princip **přesýpacích hodin.** Z antického Řecka máme jen nejasné zprávy o jejich využívání a z Říma nemáme zmínky o pískových hodinách žádné.

Do západoevropských zemí se dostaly na konci středověku. Z roku 1339 pochází zpráva, nalezená v Paříži, která popisuje přípravu jemného písku. Přesýpací hodiny pro svou jednoduchost a nízkou cenu v Evropě získaly značnou oblibu a rychle se rozšířily. Nevýhodou je jejich hmotnost a tím i omezení měření na kratší časové intervaly. Přesnost pískových hodin také nedosahuje přesnosti hodin slunečních. Ta totiž závisí na hladkosti vnitřních stěn a zvláště na stejnoměrné zrnitosti a sypkosti písku. Při delším používání se písek roztříští na ještě menší zrnka a tenký průchod mezi oběma polovinami hodin se obrušováním zvětšuje.

Přesýpací hodiny po propadnutí písku z horní poloviny do dolní bylo třeba vždy obrátit. Řada výrobců se snažila zhotovit samočinné překlápění. Různá řešení založená na změně polohy těžiště při přesýpání písku, pružinovém mechanismu a jiná svérázná řešení pocházejí ze 17.století.

3.2.2 Mechanické hodiny

Převratným vynálezem, který hluboce zasáhl do vývoje chronometrie, bylo sestrojení prvních mechanických hodin.



Obrázek 6 – Kyvadlové hodiny [9]

Mechanické hodiny jsou poháněny například bubny s kladkami a závažími nebo energií zkrouceného péra. Z těchto zásobníků energie se postupně odebírá v přesně odměřených množstvích určitá část energie a přivádí se přes převodové ústrojí k oscilátoru, kde udržuje stálost jeho kmitů.

Potřebné množství energie odměřuje zařízení zvané krok, které je spojovacím článkem mezi strojem hodin a oscilátorem. Je to ústrojí trvale spojené s převodovým soukolím hodin, od něhož přijímá hnací sílu. S oscilátorem (kyvadlo, setrvačkou) je krok spojen jen v určitých okamžicích. Krok má dvě úlohy – rozděluje stálou hnací sílu na jednotlivé silové popudy, které přímo přenáší na oscilátor. Tak se oscilátor udržuje v trvalém stejnoměrném kmitavém pohybu. Druhou úlohou kroku je sčítání kmitů oscilátoru.

Oscilátor svými kmity tvoří a neustále reprodukuje uměle utvořenou časovou jednotku, tzv. **časový normál.** Oscilátor plní především úlohu generátoru izochronních (rovnodobých) kmitů, ale reguluje i časový sled silových popudů kroku a tím zpětně řídí chod celého hodinového stroje s ukazovacím zařízením.

V dřívějších dobách převládal ručkový ukazatel s pevným číselníkem a obíhajícími ručkami nebo s otočným číselníkem a nehybnou ručkou. Později ve 20.století se rozšířily číslicové (digitální systémy). Ukazovací ústrojí je vždy pevně spojeno s hodinovým strojem a plynule nebo v daných časových intervalech udává přírůstek času.

Krok a oscilátor (regulační ústrojí) jsou prvky, na kterých především závisí přesnost chodu hodin. Funkci a princip tohoto ústrojí vysvětlíme na příkladě kyvadlových hodin. Jsou poháněny závažím omotaným kolem bubnu, který je spojen s krokovým kolem. To je nuceno otáčet se tahem závaží. Jeho otáčení je v pravidelném rytmu přerušováno kotvou – což je druhá část krokového mechanismu. Kotva se kývá spolu s kyvadlem a svými rameny střídavě zasahuje mezi zuby krokového kola. Když je kyvadlo vychýleno doprava, uvázne levý konec kotvy mezi zuby a tím je kyvadlu dodána energie potřebná k izochronnímu kmitání. Levé rameno kotvy je tak uvolněno a kyvadlo se vychýlí doleva, takže mezi zuby zapadne pravý konec kotvy.

Kroky, které se častěji objevují a byly důležité pro vývoj mechanických hodin, můžeme podle různých kritérií rozdělit do skupin. Jedno z hledisek může být to, zda kotva při dokončování kyvu oscilátoru donutí krokové kolo k malému vratnému pohybu, či nikoli. Podle toho můžeme kroky rozdělit na **vratné a klidové.** U starších hodin se často setkáváme s vratným krokem.

Kroky můžeme rozdělit i podle stálosti popudné síly. Běžné kyvadlové nebo setrvačníkové hodiny poháněné závažím nebo pérem mají krok s **proměnnou popudnou silou.** U přesnějších hodin byl tento nedostatek odstraněn vložením dalšího členu v podobě závaží nebo péra mezi krokové kolo a kotvu a byl tak sestrojen krok s **konstantní popudnou silou.** Je-li kotva pevně spojena s oscilátorem jde o **krok s pevnou vazbou**, která má za následek to, že se veškeré nepravidelnosti v chodu hodinového stroje v přenosu hnací síly plně přenesou na oscilátor. Tím je silně narušena izochronnost jeho kmitů. Takové hodiny nemají velkou přesnost. Do moderních hodinek se vkládají **kroky s volnou vazbou.** Oscilátor kmitá nezávisle a do styku s krokem přichází jen v okamžik nezbytně nutný k udělení popudu. Hodiny s volnými kyvadly byly používány dokonce při měření času pro vědecké účely. Jejich přesnost překonaly až elektronické soustavy s krystalovými oscilátory.

Pohon u mechanických hodin původně obstarávalo **závaží**. Tento způsob je jednoduchý a oproti mladšímu pohonu pérem se vyznačuje větší stálostí hnací síly. Tíhová síla závaží se přenosem ozubeným soukolím zmenšuje směrem ke krokovému kolu. Na druhé straně tento pokles síly je provázen růstem otáček hřídelů. Aby byl zajištěn chod hodin musí být v tomto hnacím ústrojí nashromážděno značné množství energie. Tato nevýhoda se zvlášť projeví u velkých věžních hodin, které mají závaží o hmotnosti několika set i více kilogramů. Vytahování takových závaží bylo vždy spojeno s problémy a navíc velká síla přenášená ozubeným soukolím vede k brzkému opotřebení.

Jiný způsob pohonu je **pohon pérový**. Tento způsob dnes u běžných komerčních výrobků převažuje, i když je zvolna vytlačován zdrojem elektrické energie v hodinkách elektrických a elektronických. Vysoké namáhání materiálu je u každého péra provázeno trvalými deformacemi, které pak ovlivňují přesnost hodin. Na rozdíl od závaží se také mění hnací síla péra s roztáčením jeho závitů. Proto se do hodin vkládá pomocné ústrojí k vyrovnávání hnací síly. Nejrozšířenějším vyrovnávačem byl tzv.závitek. Jak se péro narovnávalo, způsobovalo navíjení struny ze závitku na pérovník. Poloměr odvíjení na závitku se postupně zvětšoval a výsledná síla zůstávala přibližně stejná.

Proměnlivost hnací síly únavou materiálu vyloučilo u moderních hodinek použití zvláštních slitin nerezavějících ocelí.

Kdo vynalezl první mechanické hodiny není jisté, víme jen, že asi před osmi sty lety (1138-1193) je daroval jako vzácnost sultán Saladin svému spojenci císaři Friedrichu Barbarosovy a o padesát let později dal král Edvard I. zřídit první věžní hodiny na Westminsterské věži v Londýně.

Mechanické hodiny potřebují regulační ústrojí, které zpomaluje roztáčení provazu a klesání závaží a zároveň rovnoměrně usměrňuje otáčení celého hodinového stroje a tím i hodinové ručičky. Objevilo se několik řešení. Ve 13.století byla v knize pro kastilského krále popsána činnost rtuťových hodin. Ty obsahovaly prstencovou nádobu se rtutí, rozdělenou na díly dírkovanými přepážkami. Tak byla kontrolována rychlost otáčení bubnu, která se pak přenášela na otáčivý ciferník.

Koncem 13.století byl v Evropě vynalezen skutečný regulátor hodin, tzv.lihýř. Bylo to dvouramenné vahadlo opatřené závažími. Lihýř byl pevně nasazen na paletový hřídel, který zastával funkci kotvy u pozdějších kyvadlových hodin. Palety na hřídeli zastavovaly v pravidelném rytmu krokové kolo, které jim zároveň předávalo popudy od otáčejícího se bubnu, na kterém byl navinut provaz se závažím. Vodorovná poloha lihýře určovala geometrické uspořádání hodin – svislý paletový hřídel a krokové kolo s vodorovným hřídelem.

Dokonalejší oscilátor objevil **Galileo Galilei,** který zjistil při svém pozorování kývající se lampy, že její pohyb je rychlejší při malém rozkyvu a se zvětšujícím se rozkyvem se pohyb zpomaluje. Později dokázal, že doba kyvu nezávisí na úhlu počáteční výchylky, ale pouze na délce kyvadla.

Kyvadlo dlouhé jeden metr se zhoupne zhruba za sekundu. Tento objevený zákon poprvé použil u hodin holandský matematik **Christian Huygens** v roce 1658. Kyvadlové hodiny představovaly vrchol přesnosti až do našeho století. Kyvadlo na rozdíl od lihýře bylo skutečným oscilátorem, který musí být schopen samostatných kmitů. Kyvadlu tuto vlastnost uděluje tíhové zrychlení. Lihýř byl pouhým setrvačníkem bez vlastnosti samostatně kmitat.

Pohon závažím znamenal nepřesnost hodin. Snaha o sestrojení přenosných hodin, schopných udávat čas v libovolné poloze, vedla k použití jiného pohonu. První přenosné hodiny vyrobil kolem roku 1510 norimberský zámečník **Petr Henlein,** který nahradil závaží plochým spirálovým pérem. Tyto hodiny byly opatřeny setrvačníkem, ale roku 1674 opět Huygens použil pravého oscilátoru. Setrvačník spojil s pevně ukotveným spirálovým vláskem, který působí na setrvačník podle jeho výchylky určitou silou. Vlásek tedy obstarává tu samou funkci jako u kyvadla gravitační zrychlení. Tento regulátor je přímým předchůdcem moderního nepokoje (setrvačky).

Postupem času se hodiny zdokonalovaly. Zlepšilo se zavěšení kyvadla, bylo možno nastavovat jeho délku a hledaly se cesty jak omezit vliv teplotních změn. Se změnou teploty se změní i délka kyvadla a tím i doba kyvu. **George Graham** (1675-1751) vynalezl v roce 1726 kompenzační rtuťové kyvadlo. Čočka kyvadla byla nahrazena válcem zčásti naplněným rtutí. Pokusy se dělaly s bimetalovými kyvadly dokonce i dřevěnými, skleněnými, břidlicovými.

Na konci minulého století dovedl stavbu kyvadlových hodin k dokonalosti mnichovský hodinář **Riefler.** Chyba jeho hodin, které se používaly v astronomických observatořích, se pohybovala mezi 0,03-0,01 sekundy za den.

I kapesní hodiny se zlepšovaly. Roku 1704 vynalezl **N.F.Duiller** rubínová ložiska, do nichž se ukládají všechny pohyblivé ocelové osičky. Také části vystavené většímu opotřebení se začaly dělat u lepších hodinek z drahokamů.

3.2.3 Elektrické, elektronické a atomové hodiny

Elektrická energie se začala používat v chronometrii zpočátku jen pro natahování hnacího ústrojí hodin mechanických. U věžních hodin to bylo již v 19.století, u přenosných hodin až v roce 1950, kdy byly vyvinuty miniaturní elektrické články. Konstruktérem prvních elektrických hodin byl **Alexandr Bain** (1811-1877) z Edinburgu. Hlavní částí hodin sice byl mechanický stroj, ale ukazatel času byl založen na principu sčítání elektrických impulsů řízených kyvadlem. Později sestrojil skutečné elektrické hodiny. Kyvadlo hodin bylo udržováno v chodu polarizovanými impulsy, udílenými kyvadlu dvěma solenoidy. Jho kyvadla procházelo dutinami na horní části kyvadla. Počet kyvů zaznamenávalo elektromagnetické počitadlo na časové stupnici číselníku.

Rozvoj elektrotechniky vedl až k hodinám, jejichž oscilátorem se stala křemenná destička kmitající ve střídavém elektromagnetickém poli. První **křemenné hodiny** postavil v roce 1928 Američan **W.A.Marrison.** Jejich chyba nepřesahovala tisícinu sekundy za den. Dnešní křemenné hodiny slouží pro astronomické a vědecké účely a jsou desetkrát přesnější. Jsou to ovšem hodiny velmi drahé a skříňové velikosti. Pro běžnou potřebu se dnes používají zjednodušené zmenšeniny – náramkové hodinky řízené krystalem, které dnes ukazují čas s chybou 1-2 sekundy za měsíc.

Stárnutí krystalu způsobuje změny v jeho struktuře a to je hlavním důvodem porušení stability kmitočtu. Při dlouhodobých měřeních kyvadlové hodiny vykazují větší stabilitu chodu. Rychlý vývoj mikrovlnné spektroskopie po druhé světové válce umožnil využít pro běžné měření času kmitočty odpovídající vhodným spektrálním čarám. Tyto kmitočty je možné pokládat za etalony kmitočtu a umožňují použít kvantový etanol k definování jednotky času. Nová jednotka založená na přesně definovaných kvantových přechodech mezi energetickými hladinami molekul znamenala zvrat v dějinách chronometrie. Po druhé světové válce probíhaly pokusy o sestrojení generátoru stálých kmitů, který by mohl korigovat nestabilní kmity krystalu křemene. Do činnosti byl po počátečních neúspěších uveden přístroj, ve kterém úzký svazek molekul amoniaku vypouštěný tryskou do vakuového prostoru proběhne nehomogenním elektrostatickým polem, v němž dojde k rozdělení molekul. Molekuly ve vyšším kvantovém stavu jsou usměrňovány do naladěné rezonanční dutiny, kde vyzáří mikrovlnou energii o přísně konstantním kmitočtu 23 870 128 825 Hz. Pomocí tohoto kmitočtu se pak automaticky opravují a kontrolují kmity krystalu křemene.

Dnešní **atomové hodiny** využívají jako regulátoru vlastní periodu kmitání atomů izotopu cesia 133. Přesnost těchto hodin se počítá v milióntinách sekundy za den. Ještě dokonalejší přístroje využívají atomů vodíku, které by teoreticky mohly měřit čas s přesností na miliardtinu sekundy za den.

Pomocí atomových hodin se podařilo odhalit nepřesnosti v zemské rotaci. Mimořádné výsledky dosažené těmito hodinami byly příčinou stanovení nové definice jednotky času. Sekunda je nyní definována pomocí vlastností struktury atomů. Tak byl zaveden čas atomový místo dřívějšího rotačního, který byl odvozen z rotace Země kolem osy a používal sekundu jako $\frac{1}{86400}$ středního slunečního dne. Přesněji řečeno mezi těmito dvěma definicemi sekundy se od roku 1952 do roku 1970 používala třetí definice. Za jednotku času se považoval zlomek tropického roku, vztahujícího se délkou k okamžiku 1900,0. Základem této jednotky byla revoluce (roční oběh) Země.

Na závěr kapitoly o měření času bychom mohli uvést vznik názvů **minuta a sekunda.** Obou jmen se používalo pro dílčí jednotky času i úhlu. Je to pochopitelné, protože určování času astronomickými prostředky se provádí měřením úhlového postavení Slunce na nebeské sféře. Dodnes měří astronomové rektascenzi (souřadnice objektů na sféře) v jednotkách času.

360 stupňům odpovídá 24 hodin. Dílčí jednotky hodin i stupňů se nazývají latinsky pars minuta prima a pars minuta secunda, což znamená první malá část a druhá malá část. Zkrácením z prvního názvu zbyla minuta a z druhého sekunda. České slovo vteřina vzniklo uměle v minulém století. Poprvé je snad použil V.Sládeček (1785-1836), autor učebnic matematiky, geometrie a fyziky. Vzorem

mu asi bylo slovo vterý, použité v Rukopise královédvorském. Podobný základ má i slovo úterý, druhý den v týdnu, nebo ruské vtoroj-druhý. Také místo slova minuta bylo v minulém století navrženo české slovo menšina, které se však neujalo.

Po uzákonění soustavy SI u nás bylo stanoveno, že se vteřina ponechá pouze pro jednotku rovinného úhlu a pro čas se bude používat mezinárodně srozumitelné slovo sekunda.

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ukázat dvě základní fyzikální koncepce času. Jedna pokládá čas a prostor za absolutní, druhá vychází z principu konstantní rychlosti světla, který naopak tuto vlastnost času a prostoru popírá.

Budeme-li chtít popsat jevy vyskytující se v každodenním životě, může nám být užitečná naše intuice nebo tzv.zdravý rozum. Klasická mechanika popisující mechanické jevy týkající se běžných rozměrů i rychlostí vyšla právě z představ o prostoru a času na první pohled samozřejmých, získaných na základě zkušeností. Tato fyzikální teorie je dostatečně přesnou pouze v oblasti jevů, kde se prostor a čas přibližně chovají jak je vyjádřeno v Galileových transformacích.

Při popisu jevů nepřístupných naší zkušenosti (oblasti mikrosvěta, megasvěta a velkých rychlostí) může do té doby užitečná intuice zcela selhat. Na neudržitelnosti běžných představ o prostoru a času poukázala teorie relativity. Její výsledky se nám zdají být v rozporu se zdravým rozumem. Podle slov Einsteina odporují nezvyklé závěry jeho teorie pouze našim vžitým a přitom nesprávným představám, které jsme získali o světě již v mladém věku.To za jakých vnějších fyzikálních podmínek člověk žije, vyvíjí se a vnímá svět má vliv na vytváření představ.

Do práce nebyly zahrnuty výsledky obecné teorie relativity (např.gravitační dilatace času) pro její poměrně složitý matematický aparát. Bylo by jistě zajímavé zmínit se o průběhu času například uvnitř černých děr, nebo o času biologickém atd. Tím by se však neúměrně zvýšil rozsah bakalářské práce.

Druhá část bakalářské práce podává přehled historie měření času. Pojednává o kalendářích, hodinách a jejich vývoji. Již starověké národy objevily zákonitosti v pohybu nebeských těles a snažily se najít vztah mezi periodami oběhu Slunce a Měsíce a kalendářní jednotkou. Tisíce let lidé pozorují a zkoumají tyto cykly a přesto dodnes nemáme zcela přesný kalendář. Málokdo si však uvědomuje, že kalendář není jen soupisem očíslovaných dnů, ale lze ho použít i k určování delších časových intervalů.

5 Přehled použité literatury

[1] Hawking, S.W. : Stručné dějiny času, Alfa, Bratislava

[2] Kotulová, E. : Kalendář aneb kniha o věčnosti a času, Svoboda, Praha 1978

[3] Pleskotová, P.: Tajemný rozměr čas, Albatros, Praha 1979

[4] Polak, I.F.: Čas a kalendář, Naše vojsko 1951

[5] Příhoda, P.: Sluneční hodiny, Horizont, Praha 1983 15

[6] http://certik.ruk.cuni.cz/sokol/

[7] http://slunecnihodiny.wz.cz/

[8] http://www.mlahanas.de/Greeks/Eratosthenes.htm

[9] http://www.arcytech.org/java/clock/clock_history.html