

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky



Měření vybraných fyzikálních veličin

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. František Špulák

Autor: Rolf Tomáš

ANOTACE

Cílem této diplomové práce je zkoumání metod měření času. Zabývám se zde převážně historickým vývojem měření času, ale přesto neopomínám ani současnost. Dalším cílem této práce je hledat souvislosti mezi třemi vybranými veličinami. Jedná se o čas, energii a entropii.

The purpose of this diploma work is researching the time measuring methods. I deal mostly with the historical development of the time measuring but I do not forget describe the present too. Next aim of this work is searching for the connection among three chosen quantities- time, energy, and entropy.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

Děkuji touto cestou panu RNDr. Františku Špulákovi za cenné rady,
podporu a trpělivost při vedení této práce.

Obsah

1 Úvod	7
2 Čas	8
2.1 Definice času a jeho standard	8
2.2 Lidské vynálezy na měření času	9
2.2.1 Svislé sluneční hodiny	10
2.2.2 Vodorovné sluneční hodiny	10
2.2.3 Rovníkové sluneční hodiny	11
2.2.4 Vodní a přesýpací hodiny	12
2.2.5 Svíčkové hodiny	18
2.2.6 Olejové hodiny	18
2.2.7 Mechanické hodiny	19
2.2.8 Rádiem řízené a atomové hodiny	22
2.3 Zajímavosti a používané zkratky týkající se času	23
2.4 Kalendáře	25
2.5 Čas a prostor	31
3 Energie	34
3.1 Definice energie	34
3.2 Možné rozlišení energie podle působící síly	34
3.3 Jedno z možných rozlišení podle zdroje	35
3.4 Mechanická energie	36
3.5 Elektromagnetická energie	37
3.6 Měření energie	38
3.7 První a druhý zákon termodynamiky	39
4 Entropie	44
4.1 Vratný a nevratný děj	44

4.2 Makroskopický pohled na entropii	46
4.3 Mikroskopický pohled na entropii	49
4.4 Entropie kolem nás- motory, tepelné stroje	51
4.5 Entropie, druhý zákon termodynamiky a šipka času	56
5 Využití při výuce fyziky	59
6 Závěr	60

1 Úvod

Cílem této práce je zkoumání času jako fyzikální veličiny. Slovo čas používáme v běžné mluvě, ale málokdo o něm přemýšlel hlouběji. Stěžejní pro nás bude jeho měření a hledání souvislostí s energií a entropií. V kapitolkách o měření času se budeme zabývat i historickým vývojem měření. Nadefinujeme si základní jednotky zkoumaných veličin. A poslední kapitola by měla být věnována využití tohoto tématu při výuce na střední škole.

2 Čas

2.1 Definice času a jeho standard

Čas je jedna ze základních fyzikálních veličin. Definice času se postupně vyvíjela. Bylo to způsobeno rostoucími znalostmi světa kolem nás. Nynější základní jednotkou času je sekunda. Jedna sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period světelného záření, emitovaného při přechodu atomu cesia 133 mezi dvěma konkrétními hladinami jeho velmi jemné struktury. [1]

Pojem čas můžeme chápat dvěma různými způsoby:

1) Pro běžný život a občas i ve vědě potřebujeme znát denní čas, pro popsání sledu událostí.

2) Ale např. pro fyziky (vědce) je důležité, jak dlouho daná událost trvala.

Každý standard času by tedy měl umožnit odpověď na tyto 2 otázky: „Kdy daný jev nastal?“ a „Jak dlouho daný jev trval?“

Standardem času může být jakýkoliv jev, který se opakuje s určitou pravidelností. Příroda dala už našim předkům tři úkazy, podle kterých měřili čas:

a) Jeden den (perioda střídání světla a tmy) je dána rotací Země kolem své osy. Sluneční den trvá asi o 4 minuty déle než jedno otočení vzhledem ke hvězdám. Střed slunečního disku (místo kde se opravdu Slunce nachází) se pohybuje po ekliptice s nekonstantní rychlostí – pomaleji se pohybuje v létě a rychleji v zimě. Z tohoto důvodu astronomové zavedli pojem „fiktivní Slunce“. Fiktivní Slunce se pohybuje po rovníku s konstantní rychlostí. Fiktivní Slunce a skutečné Slunce se potkávají jednou ročně v bodě jarní rovnodennosti. [1, 11]

b) Jeden oběh Měsíce kolem Země bývá nazýván měsíc. Jedna čtvrtina měsíce může odpovídat době jednoho týdne. Měsíc v první čtvrti, celý Měsíc a Měsíc v poslední čtvrti je viditelný pro každého a odkudkoli a časový interval mezi

fázemi je sedm dní (jeden týden) a 9 hodin. Celý synodický měsíc trvá 29,5 dne. Měsíční kalendář proto střídá 29 a 30 dnů.

c) Jeden oběh Země kolem Slunce můžeme nazývat jedním rokem. Rytmus života v biosféře je dán tropickým rokem. Tropický rok je časový interval mezi dvěma přechody Slunce přes bod jarní rovnodennosti. Bod jarní rovnodennosti se posouvá po ekliptice směrem na západ, takže je tropický rok o 20 minut kratší než celý oběh Země kolem Slunce zvaný hvězdný rok. [1, 7]

Dny, roční sezóny a fáze Měsíce byly považovány za doby „rané civilizace“ za dostatečné měřidlo času. Během lidské historie se přístroje k měření času neustále vyvíjely. První, kdo začal dny rozdělovat po 12 hodinách, byli Chaldejci. K tomu používali sluneční hodiny. Po tomto vynálezu lidstvo přišlo s dalšími vylepšeními: vodní hodiny, přesýpací hodiny, mechanické hodiny (s kyvadlem), elektrické hodiny (s piezoelektrickým krystalem) a nakonec atomové hodiny (s cesiem 133 či jinými atomy). Dnešní způsob života by se bez přesné znalosti času jen těžko obešel.

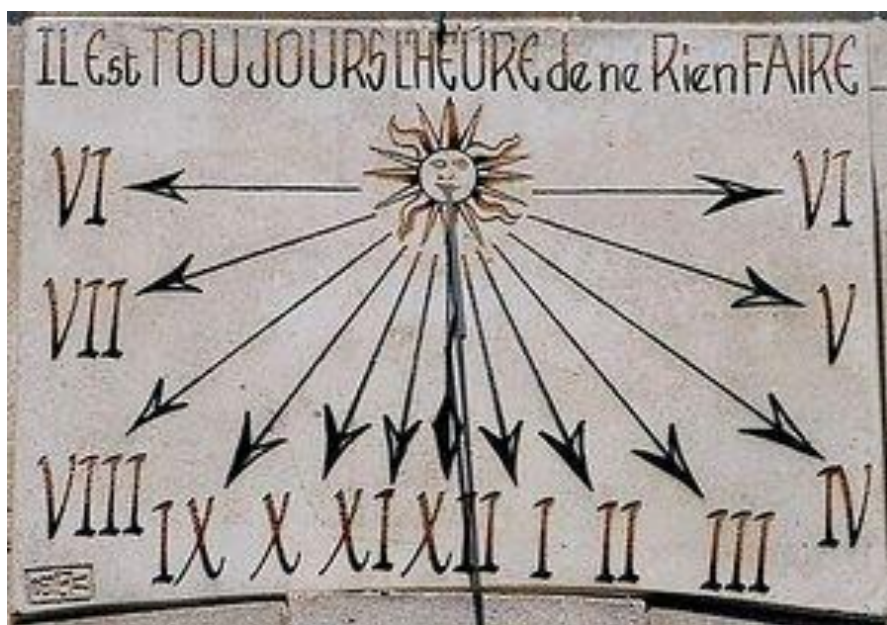
2.2 Lidské vynálezy na měření času

Jak už zde bylo řečeno, sluneční hodiny patří mezi nejstarší časoměrné přístroje, které umožňovaly relativně přesně měřit čas. Využívali k tomu polohu slunce na denní obloze. Což nebylo možné v noci, takže to nebylo příliš dokonalé měřidlo času. Čas na slunečních hodinách se odečítá obvykle podle polohy stínu vrženého ukazatelem na stupnici nakreslené na číselníku. Sluneční hodiny můžeme dělit různě. Například na pevné a přenosné. V praxi se nejčastěji setkáme s hodinami na pevných stanovištích, například na zdech domů nebo v parcích.

Přenosné sluneční hodiny nejrůznějších konstrukcí se používaly v minulých staletích, než byly k dispozici spolehlivé kolečkové hodiny. Ještě v 19. století se běžně mechanické hodiny seřizovaly podle hodin slunečních. Slunečních hodin máme několik typů (svislé, vodorovné, rovníkové atd.). [11, 12]

2.2.1 Svislé sluneční hodiny

Nejčastěji se můžeme setkat se slunečními hodinami svislými (vertikálními). Ty mohou být orientovány buď směrem k jihu, což poznáme podle toho, že jejich číselník je přesně souměrný podle hodinové rysky pro 12. hodinu, anebo na kteroukoliv jinou světovou stranu. Konstrukčně zajímavé jsou hodiny východní, které ukazují čas v době od východu slunce do pravého poledne, anebo západní, které ukazují od pravého poledne do západu slunce. Svislé sluneční hodiny mohou mít rozsah ponejvíce 12 hodin, prakticky ovšem spíše ještě o něco méně. Je to dáno nejdelší možnou dobou osvětlení svislé stěny sluncem, například v případě jižní stěny jde o dobu od 6 do 18 hodin.



Obr. 1 Svislé sluneční hodiny

2.2.2 Vodorovné sluneční hodiny

Dalším rozšířeným typem jsou hodiny vodorovné (horizontální), s nimiž se můžeme setkat často v zahradní architektuře. Výhodou je, že nejsme omezeni možnostmi osvětlení stěny sluncem, které na zem zasvítí vždy, takže vhodně

umístěné vodorovné sluneční hodiny mohou ukazovat čas od východu do západu slunce po celý rok.



Obr. 2 Vodorovné sluneční hodiny

2.2.3 Rovníkové sluneční hodiny

Zajímavým typem jsou sluneční hodiny rovníkové, které mají poněkud skloněnou rovinu číselníku. Tento sklon není volen náhodně, rovina číselníku by měla být rovnoběžná s rovinou zemského rovníku. Může se zdát, že takové hodiny nestojí "rovně", když jsou srovnány podle rovníku, ale je to tím, že my sami na zeměkouli stojíme "šikmo", totiž obvykle někde mezi pólem a rovníkem, například na 40. rovnoběžce. Pokud si tedy stoupneme na 40. rovnoběžku, svislá osa našeho těla svírá s rovníkem úhel právě 40° . A proč se takové hodiny sestavují? Výhodou je jednoduchost jejich konstrukce, podle níž se odvozuje i konstrukce předchozích typů slunečních hodin. Rovníkové sluneční hodiny ale mají i jednu podstatnou nevýhodu: slunce svítí na plochu číselníku jen tehdy, nalézá-li se i nad skutečným rovníkem, tedy v létě, přesněji mezi jarní a podzimní rovnodenností. Lze samozřejmě zkonstruovat i hodiny, na něž se díváme zespoda,

potom ukazují zase jen v zimním období. Tato nevýhoda se často obchází tím, že se stín ukazatele (konkrétně poloosa) nepromítá na rovinnou plochu rovnoběžnou s rovníkem, ale na válcovou plochu kolmou na rovník. Ukazatel se pak nachází v ose této válcové plochy. [14, 16]



Obr. 3 Rovníkové sluneční hodiny

2.2.4 Vodní a přesýpací hodiny

Jedním z pokusů jak měřit čas a nebyt závislý na počasí byly vodní a přesýpací hodiny. Vodní hodiny využívaly přírodního jevu, podle něhož ze stejně vysoko naplněné nádoby vyteče stejně velikým otvorem stejné množství vody za stejně dlouhou dobu. Na přesýpací hodiny nejčastěji používali vysokou a úzkou nádobu s otvorem u dna. Vždy po vysypání písku (poté co voda vytekla) převrátili nádobu (vyměnili nádobu za jinou). Toto stále opakovali. Takové vodní hodiny byly sice nepraktické, vyžadovaly stálou obsluhu, záleželo hodně na přesnosti naplňování a otevírání, ale zato ukazovaly i za špatného počasí a bezměsíčných nocí. V Číně ještě v minulém století používali čtyř měděných kotlů umístěných jeden nad druhým na stupních kamenného schodiště. Voda z nich postupně

přetékala z jednoho do druhého, zatímco strážce naplňoval horní nádobu. Jedné nádobě trvalo dvě hodiny, než z ní voda vytekla.



Obr. 4 Přesýpací hodiny



Obr. 5 Přesýpací hodiny ze 17. století

Na obrázku číslo 4 jsou znázorněny přesýpací hodiny, které zazvonily, jakmile propadal všechny písek, pod nimi pak přesýpací hodiny ze 17. století ukazující čtvrt, půl, tři čtvrtě a celou hodinu.

Na stejném základě jsou sestrojeny přesýpací hodiny, které měří krátké časové úseky (několik minut, ale ne víc než hodinu). Pro delší dobu by už byly moc těžké. Protéká jimi z vrchní nádoby do spodní jemný písek, a když všechny proteče, nádoba se pouze obrátí a měření může začít znovu. Nejlepší písek do přesýpacích hodin se získává z mramorové drti svažené devětkrát s vínem. Při každém vaření se musí pečlivě sbírat pěna a písek v ní obsažený sušit na slunci. Využívaly se všude tam, kde bylo důležité dodržet stejně krátkou časovou délku, například při soudním jednání v Řecku. Podle tamních zákonů směl mluvit stejně dlouho žalobce, obžalovaný i obhájce.

Zatímco přesýpací hodiny se jen velmi těžko dají vylepšovat, dosáhly vodní hodiny postupem času určité technické dokonalosti. Místo malé nádoby určené na několik hodin, bylo možné vzít nádobu velkou, jejíž obsah stačil na celý den. Tím se snížila nepřesnost vznikající při výměně jedné nádoby za druhou. Kratší časové intervaly se zjišťovaly pomocí znamének na stěně nádrže. Bohužel, voda nevytéká z nádoby stejně rychle, záleží na výšce hladiny. Čím je v nádobě více vody, tím větší je i tlak a tím je větší i rychlost vytékající vody.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

v - je rychlost vytékající vody

g - gravitační zrychlení

h - kolmá vzdálenost otvoru a hladiny vody

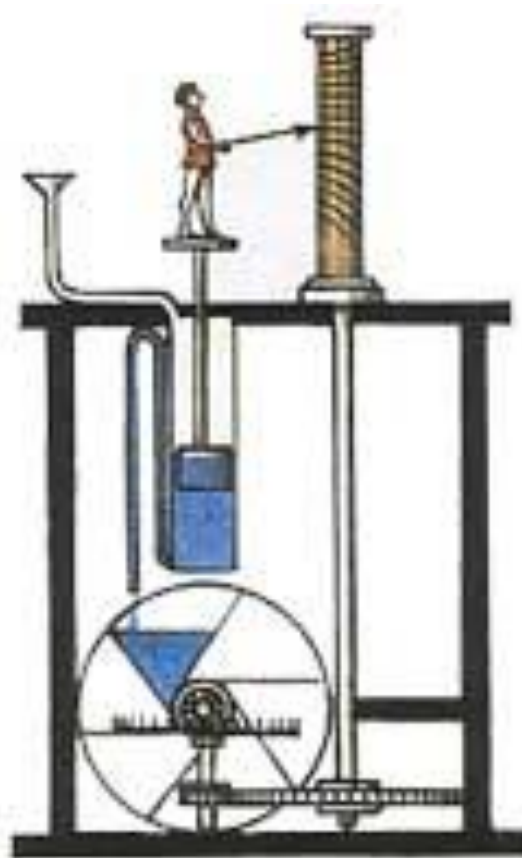
Aby hodiny ukazovaly lineární změnu času, nesměly být mezi znaménky stejné mezery, horní byly řidší a spodní hustší, což se zřejmě starověkým hodinářům nezdálo dostatečně úhledné. Začali proto používat vodní nádoby ve tvaru trychtýře, jehož zúžení odpovídalo snižující se rychlosti vytékající vody. Tak mohli udělat znaménka pro jednotlivé časové úseky ve stejné vzdálenosti.



Obr. 6 Vodní hodiny trychtýřovitého tvaru

Mluvíme-li o starověkých hodinách, nesmíme zapomínat, že staří Egyptané, Babylóňané, Řekové i Římané, usazení poměrně blízko rovníku, kde rozdíly mezi dlouhým dnem v létě a krátkým v zimě nejsou tak výrazné jako u nás, sice dělili den na hodiny, ale tak, že čas od východu do západu Slunce rozdělovali na šest hodin a čas od západu do východu Slunce také na šest hodin, takže jejich hodina odpovídala naší dvouhodině jen dvakrát do roka, a to při jarní a podzimní rovnodennosti, kdy jsou den i noc stejně dlouhé. Při takovém zmatku se vodní hodiny upravené pro letní čas nehodily v zimě a naopak, takže hodinářům nezbylo nic jiného než sestrojít trychtýřové hodiny tak dokonale, aby odpovídaly i rozličné délce dvanácti hodin. Problém, jak nalít do nádrže méně vody, než odpovídalo nejdelšímu dni a voda přesto dosahovala k horní rysce určující začátek první hodiny dne, vyřešili tak, že do kuželové nádrže spouštěli úplně stejný kužel, ale plný, a jím vytlačovali nižší hladinu vody k první čárce nahoře. Páka, pomocí níž se kužel spouštěl, byla označena díly určujícími, jak hluboko se v tom kterém ročním období musí ponořit. V den rovnodennosti byl plný kužel spuštěn stejně hluboko pro den i noc.

Nejlepší hodinářští mistři starověku sídlili v Alexandrii. Říkalo se jim automatariové-klepsydriariové. Jedním z nejlepších byl Ktésibios, slavný matematik, mechanik a vynálezce žijící v Alexandrii v polovině třetího století před naším letopočtem. Byl synem holiče a prvním z jeho vynálezů byl prý mechanismus umožňující zdvihání a spouštění zrcadla v otcově holičské dílně. Konstruoval také rozmanité přístroje založené na využití vodního tlaku, jako hasičskou stříkačku, pumpu na tlak, vodní hodiny, vodní varhany, fontány i pohyblivé figurky.



Obr. 7 Ktésibiosovy hodiny

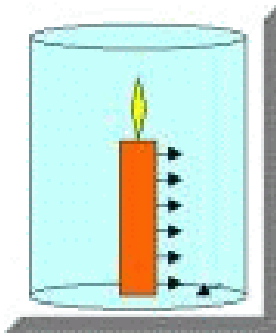
Chlapec ukázal za našich 24 hodin pouze 12 „hodin“, protože tehdy se počítalo na takzvané hodiny Babylónské, které v den rovnodennosti odpovídaly naší dvouhodině. Dělení na 24 hodiny je známo až od druhého století a obecně se užívá až od století.



Obr. 8 Další starověké vodní hodiny

2.2.5 Svíčkové hodiny

Používal je už i anglický král Alfréd Veliký v 9. století.



Obr. 9 Svíčkové hodiny s hřebíky



Obr. 10 Svíčkové hodiny

Čas se měřil podle délky uhořelé svíčky, která dokonce na sobě mívala i stupnici. Ale rychlost hoření může být ovlivněna. Například průvanem, nebo nestejným knotem.

2.2.6 Olejové hodiny

V té době odměřovali v Evropě čas i pomocí množství oleje, který vyhořel v lampě. Měšťané se řídili podle zvonění zvonů na kostelích (zvoník vyhlížel z věže a určoval čas podle stínu nebo podle hvězd, při špatném počasí si vypomáhal, jak uměl), venkované vstávali podle kokrhání kohoutů.



Obr. 11 Olejové hodiny

2.2.7 Mechanické hodiny

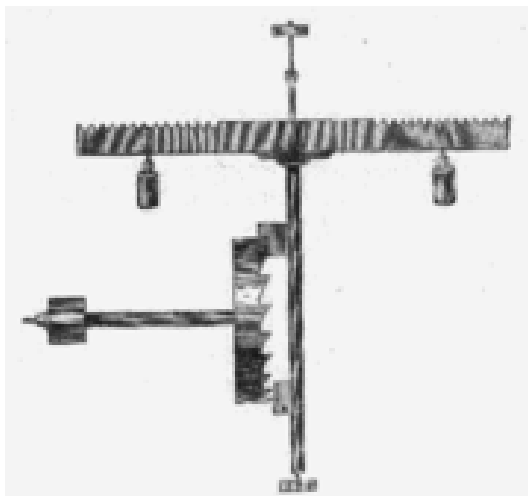
První mechanické hodiny se podle nejistých zpráv objevily snad ve 12. století, spolehlivé zprávy jsou však až z přelomu 13. a 14. století z anglických a francouzských klášterů. Skládají se z oscilátoru, zdroje energie, počítacího a indikačního zařízení. První hodiny užívaly jako oscilátor poměrně nepřesný lihýř, jako zdroj energie závaží a měly i bicí zařízení. Od 14. století se vyráběly přenosné a kapesní hodiny s pružinou, byly ovšem málo přesné. Při pokusech s volným pádem měřil snad Galileo Galilei čas počítáním srdečního tepu a krátce před smrtí zkonstruoval velmi důmyslné hodiny s využitím kyvadla jako oscilátoru (prvku určujícího rychlost chodu hodin).

Kyvadlové hodiny však poprvé realizoval až roku 1657 holandský fyzik Christiaan Huygens, který také o něco později vybavil lihýř pružinou, čímž vznikl nepokoj, přesnější oscilátor, který se hodil i do přenosných a velmi malých hodinek.

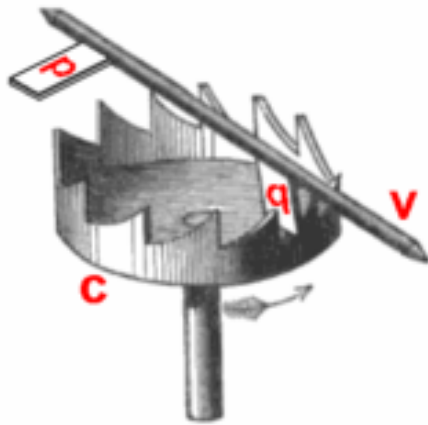
Přesnost kyvadlových hodin se dále zvyšovala a v 18. století se podařilo změřit nerovnoměrnosti v pohybu Země. Tím byl zdánlivý pohyb Slunce jako časový normál nahrazen mechanickými oscilátory a hodinami.

Lihýř je zařízení k udržení rovnoměrného chodu hodin, používáme ho od konce 13. století, je předchůdcem pérových hodin (16. století) a kyvadla (17. století).

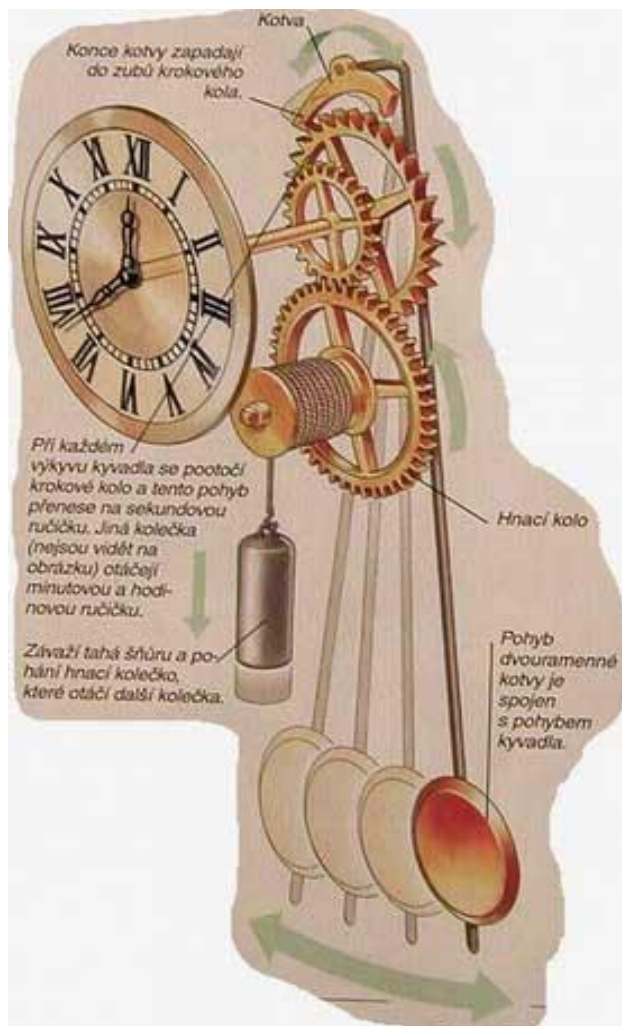
Lihýř se skládá ze svislé tyče se dvěma lopatkami, které zapadají do šikmo ozubeného kola vytvarovaného „do boku“ tak, že když jedna (např. horní) lopatka uvázla mezi horními zuby kola, křivý zub ji vystrkal do strany a tím donutil tyč k poloviční otočce. Tou se však dostala do zubů kola druhá (spodní) lopatka, kterou však zuby kola vystrčily v protisměru zpátky. Tyč je spojena s druhou kolmou tyčí nesoucí dvě závaží (jejichž posouváním se nastavuje přesnost soustavy) a s bubnem nesoucím závaží na provázku (řetízku), který celou soustavu pohání, stejně jako u kyvadlových hodin.



Obr. 12 Lihýř



Obr. 13 Lihýř



Obr. 14 Kyvadlové hodiny s popiskem

Ve 20. století se začaly používat i jiné pohony a oscilátory. Nejrozšířenější jsou dnes hodiny s elektrickým pohonem a piezoelektrickým či křemenným (quartzovým) oscilátorem. Ten má vysokou přesnost, nízké výrobní náklady a snadno se propojuje s elektronickými obvody

2.2.8 Rádiem řízené a atomové hodiny

V dnešní době se používají i rádiem řízené hodiny.



Obr. 15 rádiem řízené hodinky Citizen z roku 1990

Pro nejpresnější měření času se užívají atomové hodiny, využívajících vlastní frekvence pravidelných kmitů při stavovém přechodu atomu cesia. Nejpresnější světový čas se určuje statistickým průměrem několika set césiových hodin po celém světě.



Obr. 16 Atomové hodiny CS1 a CS2 v bývalém SRN

2.3 Zajímavosti a používané zkratky týkající se času

Nepřesnost (lépe variace chodu) hodin, která činila u prvních lihýřových hodin asi 100 s/den, se u nejlepších kyvadlových hodin snížila na sekundu za rok, u křemenných hodin na sekundu za tisíc let a u césiových hodin za milion let, celkově tedy o 12 desetinných řádů. Měření času a kmitočtu patří dnes k nejpřesnějším měřením vůbec.

Atomový čas. Je to čas využívající přirozenou frekvenci atomů. Ve většině atomových hodin je použito cesium 133. První atomové hodiny byly zkonstruovány v Národní Fyzikální Laboratoři v Anglii, v roce 1955. Izotop cesia osciluje 9 192 631 770 krát za sekundu. V roce 1967 bylo na této vlastnosti založená nová definice času. Důvodem bylo to, že frekvence cesia je velmi stabilní. Dobré atomové hodiny jsou schopné udržovat čas s přesností 1 sekundy na 15 miliónů let. Přesto i v dnešní době pracují vědci na zlepšení těchto hodin. Cílem je zvýšit jejich přesnost na 1 sekundu na dobu přibližně 10 miliard let.

JD (Juliánský datum) je počet dnů, které uběhly od poledne 1. ledna 4713 př. našim letopočtem. Juliánský datum je počet Juliánských dní plus díl předcházejícího dne před předešlým polednem. Např. 2 437 666.50 uplynulo od půlnoci 1. ledna 4713 př. n. l. do 2. ledna 1962.

Sluneční den. Zdánlivý sluneční den – časový interval, během něhož skutečné Slunce přejde mezi dvěma poledníky. Myšlený sluneční den – časový interval, během něhož myšlené Slunce přejde mezi dvěma poledníky.

TAI. Mezinárodní atomový čas. V roce 1960 byly vynalezeny vhodné technologie k porovnávání celosvětového času a byla ustanovena atomová stupnice času. Velké množství atomových hodin po celém světě (v dnešní době je jich kolem 350) posílají své časy do Mezinárodního úřadu de l'Heure (BIH), kde je měřen mezinárodní atomový čas. Je to vlastně statistická časová stupnice.

UT. Universální čas je myšlený sluneční čas Greenwichského poledníku. Je počítán z Greenwichské pólnoci a jeho jednotkami jsou myšlené sluneční dny. Korespondují se životem na Zemi.

UTC. Koordinovaný universální čas je universální čas (doba rotace Země) koordinovaný s Mezinárodním Atomovým časem (TAI). UTC proto zahrnuje obojí – praktickou rotaci Země a obdivuhodnou pravidelnost atomové oscilace. Na rozdíl od TAI, UTC počítá celé sekundy a někdy (když je rozdíl UT a TAI 0,9 sekundy) je odečtena či přičtena přechodná sekunda.

2.4 Kalendáře

Slovo kalendář pochází z latinského *calendarium*, což byla původně kniha, do níž se zaznamenávaly dluhy. Pokud bychom pátrali, odkud pochází slovo *calendarium*, dostali bychom se ke slovu *klare*, což znamená vyvolávat. Souvisí to i se slovem *kalenda*, kterým se označovaly význačné dny v měsíci. Kalendář jako takový se označoval slovem *fasti*.

V dávných dobách, kdy byl založen Řím, obsahoval Latinský kalendář (tzn. kalendář náležející kmeni Latinů) jen deset měsíců. Podle jedné legendy to tak zavedl velký Romulus, pro to svědčí i to, že se nazývá Romulův. Je zajímavé, že zahrnoval pouze 304 dny a přesto odpovídal slunečnímu roku. Zbýlých 50 dní totiž lidé neměřili, protože z důvodu špatného počasí neopouštěli obydlí. Měsíce se dělily na dlouhé s 31 dny a krátké s 30 dny. A toto byla podoba původního kalendáře v Římě.

Pořadí měsíce	název měsíce	počet dní
1	Martius	31
2	Aprilis	30
3	Maius	31
4	Junius	30
5	Quintilis	31
6	Sextilis	30
7	September	30
8	October	31
9	November	30
10	December	30

+ neměřené dny cca 50

Juliánský kalendář

O tento kalendář se zasloužil hlavně G. I. Caesar v roce 46 před naším letopočtem. V době, kdy převzal vládu, kalendář už vůbec neodpovídal skutečnosti: například jarní rovnodennost, která měla být na počátku roku, byla posunuta o skoro tři měsíce a náboženské svátky byly slaveny úplně jindy, než se slavit měly. Když Caesar převzal moc, byl vyhlášen také maximálním pontifikem a dostal tedy moc takřka neomezeně zasahovat do kalendáře. Rozhodl se tedy, že kalendář důkladně zreformuje. A z tohoto důvodu povolal do Říma Sósigena, který působil v Alexandrii, a pověřil ho, aby vypracoval návrh. Tento kalendář, kterému podle Gaia Caesara říkáme juliánský, byl první skutečně trvalý kalendář, kde každý rok začínal stejným dnem, na rozdíl od lunárních systémů. Jeho největší vymožeností však bylo zavedení přestupného roku každé čtyři roky, o což se pokoušeli i v Egyptě, ale nepodařilo se jim to. A takto vypadal nově vytvořený kalendář.

1	Januarius	31
2	Februarius	29 (30)
3	Martius	31
4	Aprilis	30
5	Maius	31
6	Junius	30
7	Quintilis	31
8	Sextilis	30
9	September	31
10	October	30
11	November	31

Ve skutečnosti základ 365 a čtvrt dne, který Sósigenes použil, nebyl zcela správný. V Řecku už znali délku roku přesněji a je zvláštní, že by Sósigenes o tom nevěděl a svých znalostí nepoužil. Nicméně se tak stalo, což by se dalo vysvětlit buď tím, že ji Sósigenes považoval za příliš malou, nebo o tomto nedostatku sice informoval Caesara, ale ten (nesprávně) usoudil, že je zanedbatelný.

Přestupný den byl přidáván po 23. únoru, tzn. po dni, po němž byly předtím přidávány přestupné měsíce. Protože 24. únor byl podle římského datování měsíce 6. dnem před březnovými Kalendami (*dies sextilis*), byl přestupný den nazván *dies bisextilis* (dvakrát šestý) a přestupný rok pojmenován *annus bisextilis*. Ve francouzštině si toto označení uchoval až dodnes jako *année bissextile*. Reforma kalendáře způsobila dost problémů. Aby se však mohlo přejít k novému kalendáři, musely se chybějící dny nějakým způsobem dohonit, proto Caesar určil, že rok 47 př. n. l., bude mít 15 měsíců a 445 dní. Ten rok byl pak nazván "posledním rokem nepořádku" (*annus confusionis ultimus*). Caesarova reforma zjednala pořádek na celá staletí, přesto ji její odpůrci přijímali s nedůvěrou a kritizovali ji jako všechna ostatní Caesarova opatření. Když se jednou někdo zmiňoval o tom, že se příštího dne má objevit souhvězdí lyry, Cicero jízlivě poznamenal: "Jistě, na vyšší rozkaz!" [9, 10, 11, 12]

Další změny juliánského kalendáře

První následovala už o dva roky později. Tehdy byl Julius Caesar zavražděn a Marcus Aurelius navrhl, aby na jeho počtu byl měsíc *Quintilis*, ve kterém se Caesar narodil, přejmenován na *Julius*.

Kněží, kteří se měli starat o přesné počítání času, zřejmě nepochopili podstatu Sósigenovy úpravy, a až do roku 8 před naším letopočtem vkládali přestupný den ne každý čtvrtý, ale již každý třetí rok. Císař Augustus, nástupce Caesarův, rozhodl, že se nastrádaná nepřesnost odstraní prostě tím, že se až do roku 8 našeho letopočtu nebudou přestupné roky zařazovat. Senát, jako projev úcty k císaři, dále vděku a novou reformu a zároveň jako oslavu jeho velkých vítězství navrhl, aby se měsíc *Sextilis* přejmenoval na *Augustus*, což se také v roce 8 př. n. l. stalo.

Ovšem Sextilis měl pouhých 30 dnů, což, jak víme, je číslo sudé a tudíž nešťastné, a navíc je kratší než měsíc Julius, který měl 31 dnů, což by mohlo velkého Augusta urazit. Senát tedy zahájil další velké přehazování dnů. Z února se odebral další den, takže má nyní jen 28, popřípadě 29 dnů. Aby neměly tři měsíce po sobě po 31 dnech, převedli jeden den ze září na říjen a jeden den z listopadu na prosinec a rozrušili tak Sósigenovo pravidelné střídání dlouhých a krátkých měsíců. Snad jedinou výhodou plynoucí z jejich podniku je, že na letní prázdniny připadají 2 dlouhé měsíce za sebou.

Konečná podoba Juliánského kalendáře po Augustově reformě.

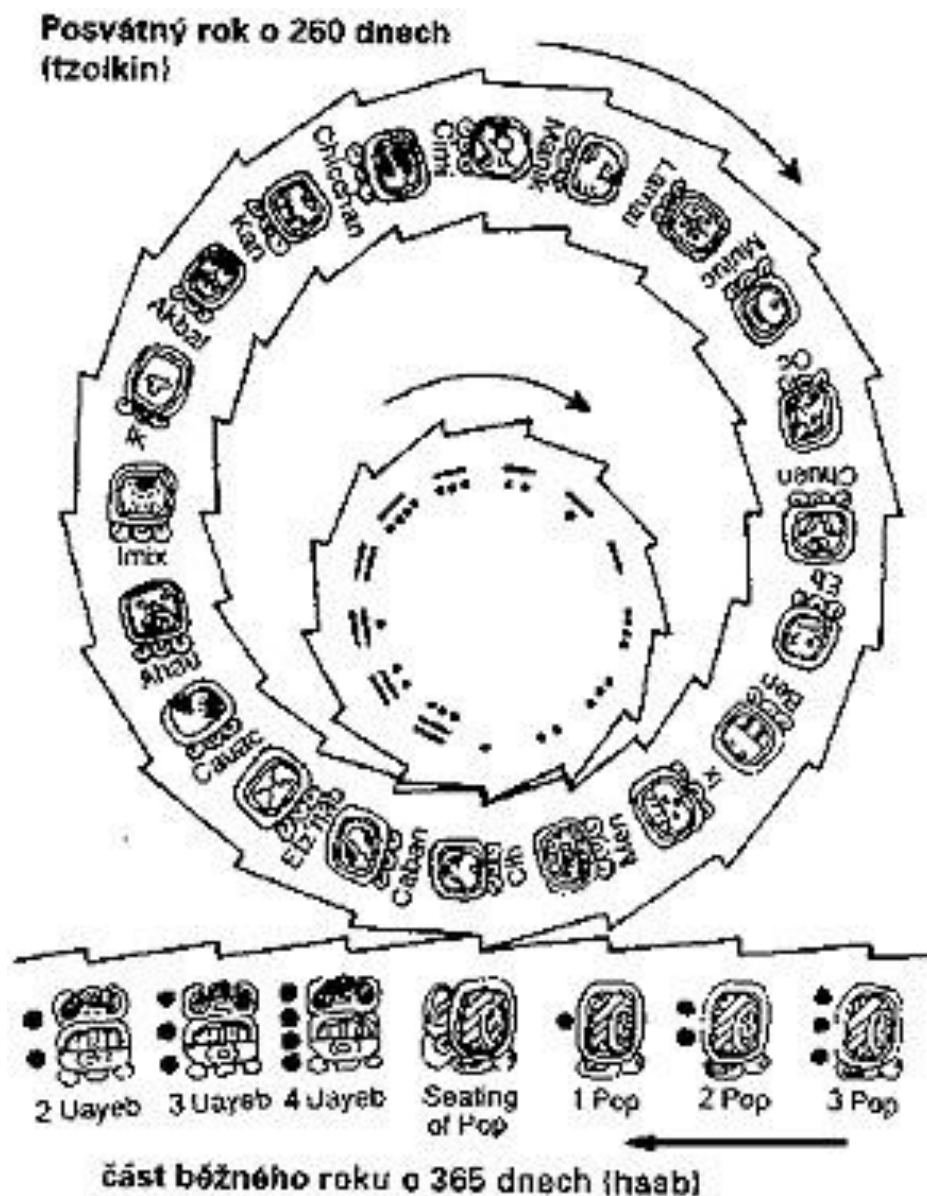
1	Januarius	31
2	Februarius	28 (29)
3	Martius	31
4	Aprilis	30
5	Maius	31
6	Junius	30
7	Julius	31
8	Augustus	31
9	September	30
10	October	31
11	November	30
12	December	31

Tímto velkolepým přehazováním nadlouho skončil vývoj Juliánského kalendáře.

Tvrdí se, že další římscí císaři jako Tiberius, Nero a Commodus se pokoušeli dát posledním měsícům roku svá jména, ale nepodařilo se jim to. Ač nepřesný, byl roku 325 na Konstantinem svolaném církevním koncilu (zvaném Nicejský) převzat i křesťanskou církví. Že se den rovnodennosti přestal shodovat s 21. březnem, si poprvé všiml až anglický učenec Beda Ctihodný v sedmém století, který zjistil, že ona malá nepřesnost narostla za 400 let na plné tři dny. V tomto neměl tak docela pravdu, protože se kalendář mýlil o zhruba jeden den za pouhých 128 let. Dalo by se říci, že církevní otcové na Nicejském koncilu postupovali zcela dle pravidla dvakrát řež, jednou měř. Juliánský kalendář zůstal nezměněn až do konce šestnáctého století (v některých zemích až do prvních desetiletí století dvacátého), kdy Řehoř XIII. nařídil jeho úpravu na přesnější a kalendář od té doby nesl jeho jméno. [9, 10, 11, 12, 20]

Mayský kalendář

Mayové používali překvapivě důmyslný kalendář. Ten obsahoval asi třináct různých kalendářů, všechny ovšem pracovaly se standardní jednotkou o 260 ti částech, nazvanou tzolkin, což znamená posvátný kalendář. Základem je matrice 13x20, nazývaná "mayský faktor". Třináctiměsíční mayský kalendář, v němž měl každý měsíc 28 dnů, je tedy jen jedním z mnoha kalendářů, které Mayové používali. Mayové nenechali nic náhodě, a proto používali současně všechny jejich kalendáře.



Obr. 17 Mayský kalendář

Mayské chápání času, ročních období a cyklů prokázalo svou obsažnost a důmyslnost. Mayové znají mnoho odlišných kalendářů, z nichž některé přesně mapují časová období v rozpětí přesahujícím deset miliónů let.

Každý den v roce má v mayském kalendáři své jméno složené z několika částí. Skládání těchto částí, tak aby vytvořily jméno pro ten který konkrétní den, si můžeme usnadnit a zpřehlednit do sebe zapadajícími ozubenými koly. Každý zub každého kola nese určitou část budoucího jména dne. Úplné pojmenování dne tedy vypadalo například takto: „2 Ik 0 Pop“ – „2 Ik“ je den v posvátném roce, „0

Pop“ je označení místa, které tento den zaujímá v běžném roce. Takto složitý systém zajišťoval, že se den se stejným názvem opakoval vždy až po 52 letech.

Je obdivuhodné, v jak širokém časovém záběru dokázali uvažovat. Na druhou stranu je zarážející, k čemu vlastně mohlo být v tehdejší době počítání v milionech let využito. Vlastně i dnes je užívání těchto čísel omezeno na pár vědních oborů (např. kosmologie).

Jestliže v kalendářní soustavě existovali takové pojmy jako alautun, znamená to, že také byly využívány. A skutečně. Archeologové objevili dva staré nápisy, na nichž jsou provedeny kalendářní výpočty 90 milionů a 400 milionů let do minulosti. Bohužel není známo, k jakým domnělým – zda vůbec k nějakým – událostem se tato data vztahovala.

2.5 Čas a prostor

Absolutní čas a absolutní prostor definoval Isaac Newton. Své představy o čase a prostoru uvedl v díle *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (z r. 1687): "Absolutní prostor zůstává svou podstatou a bez vztahu k vnějším věcem stále stejný a nepohyblivý. "Čas je pro Newtona také nezávislý na věcech a událostech, je absolutní: "Sám od sebe a díky své podstatě plyne absolutní, skutečný a matematický čas rovnoměrně a bez vztahu k čemukoliv vnějšimu. Nazývá se též trváním." Absolutnost (nezávislost) prostoru a času na hmotě, si můžeme představit takto: kdyby z vesmíru zmizela všechna hmota, nic by to nezměnilo na času a prostoru.

Obraz vesmíru podle Newtona: ať jsou události sebesložitější, nemohou ovlivnit ani prostor, ani rovnoměrný tok času. Prostor se prostírá ve třech rozměrech do nekonečna, je ve všech směrech stejný a nemá žádné význačné body (tj. platí jeho izotropie a homogenita). Také čas je nekonečný, ale jen jednorozměrný. Ubíhá v celém vesmíru monotónně, nemá ani začátek, ani konec. Newtonova představa o prostoru a čase předpokládá, že lze absolutně odlišit klid od pohybu a jednoznačně určit, zda dvě události jsou současné. Tím se podstatně liší od teorie relativity.

Newtonova představa měla velký význam pro rozvoj vědy a techniky po dvě a půl století. Hovoříme o klasické fyzice. Její platnost je (z hlediska teorie relativity) omezená na malé rychlosti a slabá gravitační pole. Při mnohých experimentech a pozorováních, zvláště v pozemských podmínkách, jsou tyto předpoklady přibližně splněny. [6, 7]

S existencí samotného absolutního času a absolutního prostoru nesouhlasil Albert Einstein, který ve svých dílech speciální teorie relativity a obecná teorie relativity popisuje veličinu, které říká časoprostor. A časoprostor se pro něj stává absolutním. Ve speciální teorii relativity Einstein zkoumá pouze speciální druh pohybu. Jedná se o pohyb rovnoměrně přímočarý. Teprve roku 1915 přišel Einstein s obecnějším pohledem a do své obecné teorie relativity zahrnul zrychlený pohyb. Speciální teorie relativity říká, že relativní jsou vzdálenosti v prostoru, relativní jsou i doby trvání událostí. A zavádí zde absolutní časoprostor. Einstein svoji teorii založil na dvou relativistických postulátech. Jde o postulát relativity a postulát rychlosti světla. Postulát relativity nám říká, že fyzikální zákony jsou stejné pro pozorovatele ve všech inerciálních vztažných soustavách. Žádná soustava není preferovaná. Postulát neříká nic o tom, že měřené hodnoty všech fyzikálních veličin jsou stejné pro všechny inerciální pozorovatele. Ale říká nám, že stejné jsou fyzikální zákony, jimiž jsou výsledky měření vázány. Druhým postulátem je postulát rychlosti, který říká, že rychlost světla ve vakuu má stejnou velikost c ve všech směrech a ve všech inerciálních vztažných soustavách, nezávislou na rychlosti zdroje.

Veškeré události se tedy odehrávají v časoprostoru. K určení nějaké polohy musíme zadat souřadnici prostorovou i časovou (např.: sejdeme se na mostě ve tři hodiny) - pohyb hmoty je pohybem v prostoru i čase. I když se něco vůbec "nehýbe", je to přesto v pohybu: putuje to časem (stárne). Zakřivení prostoročasu je zakřivením nejen prostoru, ale i času. Pojem křivého času možná vypadá divně, ale znamená to jenom, že čas plyne různě rychle. Což je důležitý závěr: v gravitačním poli plyne jiný čas než v místě, kde je pole slabší. A jelikož gravitační a zrychlené děje jsou jedno a totéž (obojí je nerespektování nejkratší cesty),

znamená to, že jiný čas plyne i při zrychlení. Jednoduše řečeno: těleso přirozeně putuje prostoročasem po nejkratší dráze. Náhle je z ní vychýleno urychlením, tedy už putuje po delší dráze, čili čas se zpomalí. Na rozdíl od speciální relativity je toto prodloužení ovšem objektivní, protože kdo zůstal na přirozené cestě, ten má čas rychlejší a po setkání obou osob mají na hodinkách oba něco jiného. Aby takové efekty byly viditelné, muselo by být zrychlení dost značné (nebo hodně silné gravitační pole), ale už v poli Země bylo toto zpomalení změřeno. Roku 1971 Joseph Hafele a Richard Keating měli na palubě letadla přesné cesiové atomové hodiny. Po obletu zeměkoule je srovnali se stejnými hodinami ponechanými na Zemi, a zjistili, že na hodinách v letadle uběhlo méně času.

[1, 5, 6, 7]

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (2)$$

$\Delta t, \Delta t_0$ - naměřené časové hodnoty

v – rychlost letadla

c – rychlost světla

Rozdíl byl miniaturní, pouze několik stovek miliardtin sekundy. Ale přesně to potvrdilo Einsteinovu teorii. Efekty teorie relativity jsou znatelnější při vysokých rychlostech. [1,5,7]

Je velmi obtížné, až nemožné, si čas nějak představit. Pokusy o pochopení času byly po dlouhou dobu především doménou filosofů, později i vědců. Na povahu a smysl času existuje množství silně odlišných náhledů, a je proto obtížné nabídnout jeho nekontroverzní a jasnou definici. Důležitým pojmem je tzv. šipka času (angl. *arrow of time*), která určuje smysl (směr) plynutí času. Šipka času má velkou souvislost s entropií. Této souvislosti bude věnována ještě pozornost v dalších kapitolách.

3 Energie

3.1 Definice energie

Energie je jedna z důležitých veličin ve fyzice. Slovo energie používáme velmi často i v běžném životě. Energie je velmi široký pojem (je více druhů energií) a proto není snadné vyslovit jednoduchou a jednotnou definici. Jinak by mohla znít definice energie v mechanice a jinak v zcela obecných úvahách. Jedna z možných definic, i když ne zcela přesných by mohla znít: energie je skalární veličina, jejíž hodnota je určena stavem fyzikální soustavy. Pojem stav je v této definici použit v následujícím významu: Stav je soubor podmínek, v kterých se objekt nachází, což by mohlo znamenat, že je to soubor hodnot veličin (parametrů), jimiž je charakterizován. [1,2]

Jak už zde bylo zmíněno, máme několik druhů energií. Druhy energie můžeme rozlišovat například podle druhu síly, která zde působí. Další rozlišení by mohlo být podle zdroje, který energii vydává.

Jednotkou energie je J (joule). Tato jednotka je pojmenována po anglickém vědci 19. století Jamese Prescottu Joule.

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

Jednotku joule často používáme například v mechanice. Ale pro jiné části fyziky, například elektřinu, se spíše hodí jednotka elektronvolt. (eV)

$$1 \text{ elektronvolt} = 1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,45 \cdot 10^{-26} \text{ kWh}$$

Elektronvolt je dosti malá jednotka a proto používáme jeho násobky (kiloelektronvolt, megaelektronvolt, gigaelektronvolt)

3.2 Možné rozlišení energie podle působící síly

1) Mechanická energie

- Kinetická energie (Pohybová energie)
- Potenciální energie (Polohová energie)
 - a) Gravitační potenciální energie
 - b) Potenciální energie pružnosti
 - c) Tlaková potenciální energie

- 2) Elektrická energie
- 3) Magnetická energie
- 4) Energie záření
- 5) Vnitřní energie

- Tepelná energie je spojena s chaotickým pohybem (vibrací a rotací) molekul.
- Jaderná energie
- Chemická energie (chemická potenciální energie, energie chemické vazby, vazebná energie)

3.3 Jedno z možných rozlišení podle zdroje

- 1) Sluneční energie
- 2) Větrná energie
- 3) Vodní energie
- 4) Geotermální energie
- 5) Energie mořských vln

- 6) Parní energie
- 7) Svalová energie
- 9) Energie ohně
- 10) Jaderná energie

3.4 Mechanická energie

Kinetická energie

Tato energie souvisí s pohybovým stavem částic či těles. Je-li těleso v klidu, je jeho pohybová energie nulová, čím se pohybuje rychleji, je jeho kinetická energie větší. Velikost kinetické energie spočteme podle vzorce

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Kde m je hmotnost tělesa a v je jeho rychlost (uvažujeme malé rychlosti v porovnání s rychlostí světla), kterou se pohybuje. Kinetická energie je vždy kladná, jelikož hmotnost i druhá mocnina rychlosti jsou vždy kladné. Pro vysoké rychlosti musíme použít relativistický vztah.

$$E_k = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \quad (4)$$

Kde vystupuje c , což je rychlost světla ve vaku.

Potenciální energie

Potenciální energie (polohová energie) je druh energie, kterou má každé těleso nacházející se v potenciálovém poli určité síly. Podle síly působící na dané těleso lze rozlišit více druhů potenciální energie: gravitační potenciální energie, potenciální energie pružnosti, tlaková potenciální energie, elektrická potenciální energie, magnetická potenciální energie. Na rozdíl od kinetické energie může nabývat i záporných hodnot. Její velikost vždy závisí na zvolené vztažné soustavě

(soustavě, vůči které tuto energii měříme). Pokud budeme počítat gravitační potenciální energii tělesa na Zemi, bude vztážná soustava Země a naše těleso.

$$E_p = mgh \quad (5)$$

Kde m je hmotnost tělesa, g je gravitační konstanta, a h je výška nad povrchem Země.

Energie může přecházet mezi fyzikální soustavou a jejím okolím. Tento přenos je zprostředkován silovým působením nebo tepelnou výměnou při různých dějích, které mohou v soustavě probíhat. Děje, které souvisí se silovým působením, nazýváme konání práce.

Měření energie

Jak už jsme si řekli, energie je veličina, která se využívá v mnoha odvětvích fyziky a nemá zcela jednoznačnou definici. Proto existuje i mnoho přístrojů na měření energie. Můžeme totiž měřit například spotřebu elektrického proudu (energie) a spotřebu energie lidského těla, energii zářeni atd.

3.5 ELEKTROMAGNETICKÁ ENERGIE

Síly elektrické spolu se silami magnetickými zprostředkovávají energii elektromagnetickou, která se díky poměrně snadnému přenosu na velké vzdálenosti a snadné přeměny na jiné formy energie stala nejdůležitější formou energie.

Elektrické pole je konzervativní. Magnetické pole naproti tomu konzervativní není. Mezi těmito poli existuje ale velmi silná vazba. Z Maxwellových rovnic, kterými je elektromagnetické pole popsáno, vyplývá zákon zachování elektromagnetické energie, který říká, že úbytek elektromagnetické energie z objemu V za časovou jednotku je roven množství elektromagnetické energie, která proteče za jednotkovou dobu přes plochu uzavírající tento objem do okolního prostoru.

V případě nevodivého prostředí je tento zákon zachování vyjádřen rovnicí kontinuity, v níž vystupuje hustota elektromagnetické energie

$$u = \frac{1}{2} (\mathbf{D}\mathbf{E} + \mathbf{B}\mathbf{H}) \quad (6)$$

kde \mathbf{D} , \mathbf{E} jsou vektory elektrické indukce a intenzity, \mathbf{B} , \mathbf{H} vektory magnetické indukce a intenzity. Pro intenzitu toku energie elektromagnetického pole platí Poyntingův vztah

$$\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (7)$$

kde \mathbf{P} nazýváme Poyntingův vektor. [3, 17, 22]

3.6 Měření energie

1) K měření spotřeby elektrické energie (v domácnosti) se používá elektroměr. Elektroměr je elektrický měřicí přístroj, který měří množství odebrané elektrické energie. Obvykle bývá instalován distributorem elektrické energie u jeho odběratelů a na jeho základě probíhá stanovení a vyúčtování spotřebované elektrické energie. Někdy se nesprávně označuje jako elektrické hodiny; tento název pochází z doby, kdy byly elektroměry svojí konstrukcí velmi podobné hodinám.

2) Teplo (též tepelná energie) je část vnitřní energie, kterou těleso přijme nebo odevzdá při tepelné výměně druhému tělesu. Je třeba rozlišovat dvě různé veličiny: teplota, která vyjadřuje stav tělesa, a teplo, které vyjadřuje změnu stavu tělesa. Množství tepla obsažené v látce lze určit ze vztahu

$$Q = mc\Delta T \quad (8)$$

kde m je hmotnost, c je měrná tepelná kapacita, ΔT je rozdíl počáteční teploty T_1 a koncové teploty T_2 (tzn. $\Delta T = T_2 - T_1$). Měřením tepla se zabývá kalorimetrie. Základem kalorimetrických úvah je zákon zachování energie, jehož znění vyjadřuje tzv. kalorimetrická rovnice.

3) Elektromagnetické vlnění, stejně jako mechanické vlnění, je schopno přenášet energii. Tuto energii popisujeme pomocí tzv. radiometrických, resp.

fotometrických veličin. Radiometrické veličiny jsou-zářivý tok, zářivost, ozáření, intenzita vyzařování, zař, expozice. Fotometrické veličiny jsou světelný tok, svítivost, osvětlení, světlení, jas, osvit.

3.7 První a druhý zákon termodynamiky

První termodynamický zákon je zákonem kvantitativním, který říká, že všechny druhy energie jsou kvantitativně ekvivalentní a vzájemně je lze transformovat. Tedy z hlediska tepelné energie ji lze jako formu energie přeměňovat na jiné formy. Druhý termodynamický zákon (též druhá termodynamická věta) je důležitý termodynamický zákon určující přirozený směr, kterým přírodní procesy probíhají. Druhý termodynamický zákon je kvalitativní, uvádí, jak probíhají tepelné děje v případě, že je tepelnou energii možno přeměňovat s určitým omezením. Je empirický a pravděpodobnostní.

Veličina, která charakterizuje směr vývoje systému, se nazývá entropie. O entropii se ještě významně zmíníme v samostatné kapitole.

První termodynamická věta představuje zákon zachování energie. Podle tohoto zákona nemůže energie samovolně vznikat nebo zanikat, ale může se pouze měnit na jiný druh energie. Takže např. spotřeba jistého množství tepla se projeví mechanickou prací, vykonáním určité práce vznikne odpovídající množství tepla apod.

Matematický zápis první termodynamické věty bývá obvykle uváděn v diferenciálním tvaru

$$dU = \delta Q + \delta W \quad (9)$$

Kde dU představuje malou změnu vnitřní energie termodynamické soustavy, δQ teplo a δW práci vnějších sil (neboli energii dodanou soustavě prací vnějších sil). Změna vnitřní energie dU označuje úplný diferenciál funkce stavu (stavové) U , která je závislá pouze na veličinách určujících stav a není závislá na způsobu, jakým se soustava dostane z jednoho stavu do stavu jiného. Rozdíl vnitřní energie je tedy závislý pouze na hodnotách stavových veličin v původním stavu s vnitřní

energií U_1 a na hodnotách stavových veličin v konečném stavu s vnitřní energií U_2 . Nezávisí tedy na způsobu, jakým se dostaneme ze stavu 1 do stavu 2.

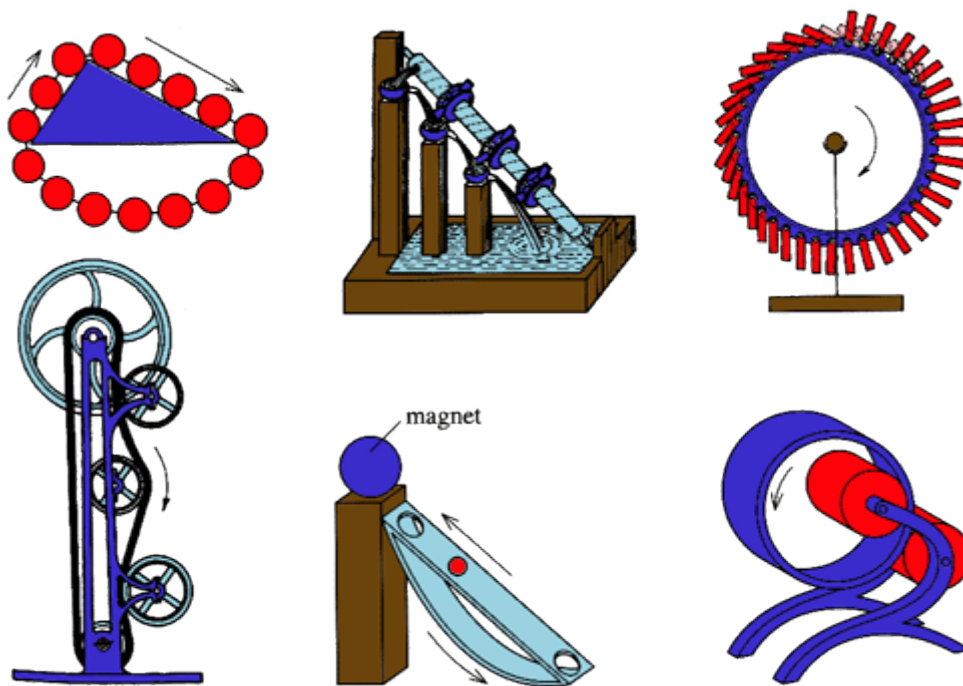
Množství tepla δQ a práce δW jsou však závislé na způsobu, jakým se soustava mezi počátečním a konečným stavem měnila. Nejsou tedy závislé pouze na počátečním a konečném stavu a nepopisují stav soustavy. Práce ani teplo nejsou funkcemi stavu soustavy, což je matematicky vyjádřeno tak, že se nejedná o totální, ale parciální diferenciály. Součet jejich změn je však vždy roven přírůstku vnitřní energie, což je stavová funkce.

Pro zjednodušení je možné diferenciální tvar upravit.

$$\Delta U = Q - W \quad (10) \text{ první termodynamický zákon}$$

Kde ΔU je změna vnitřní energie, Q je teplo dodané systému a W je práce systému.

První termodynamický zákon lze také formulovat tak, že není možné sestavit zařízení, tzv. perpetuum mobile prvního druhu, které by vykonávalo práci bez změny své energie nebo energie okolí.



Různé historické návrhy perpetua mobile 1. druhu

Obr. 17 Historické pokusy o perpetuum mobile 1. druhu

Mohlo by se tedy zdát, že přeměna energie může probíhat neomezeně v obou směrech. Ve skutečnosti však víme, že to není pravda. Práci lze téměř beze zbytku přeměnit (např. třením) na teplo. Příkladem může být roztočené kolo na hřídeli, které se po určitém čase vlivem tření zastaví, přičemž dojde ohřátí ložiska a hřídele kola. Neznáme však žádný podobně jednoduchý způsob, kterým by bylo možno využít tepelnou energii kola k jeho roztočení.

Při styku dvou těles, která tvoří izolovanou soustavu, bude teplo samovolně přecházet z tělesa teplejšího na těleso chladnější. Tento stav potrvá tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání teplot obou těles, tj. k rovnovážnému stavu. K dosažení počátečního stavu by bylo nutné, aby teplo samo přecházelo z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. Takový děj však v izolované soustavě nemůže nastat.

Takové děje (stavové změny), které probíhají bez vnějšího působení pouze jedním směrem, nikoli však opačným, se nazývají změny nevratné (ireverzibilní). Děj, který může probíhat v obou směrech, se nazývá vratný (reverzibilní). Nevratnost změny nespočívá v tom, že by nebylo možné, dosáhnou výchozího stavu soustavy, ale v tom, že tohoto stavu nelze dosáhnou pouhým obrácením postupu. Říkáme také, že nepostupujeme po stejné cestě. K dosažení počátečního stavu soustavy je třeba vynaložit vnější energii, tzn. energii ze zdroje, který není součástí izolované soustavy. Prakticky všechny děje probíhající v přírodě lze považovat za nevratné. Vždy se totiž část mechanické energie mění na teplo, popř. dochází ke styku tělesa teplejšího s chladnějším. Vratné děje jsou tedy jen určitou idealizací, která nám pomáhá pochopit přírodní jevy. O vratných a nevratných dějích bude více pojednáno v kapitole týkající se definice entropie.

Druhý termodynamický zákon má několik rovnocenných formulací:

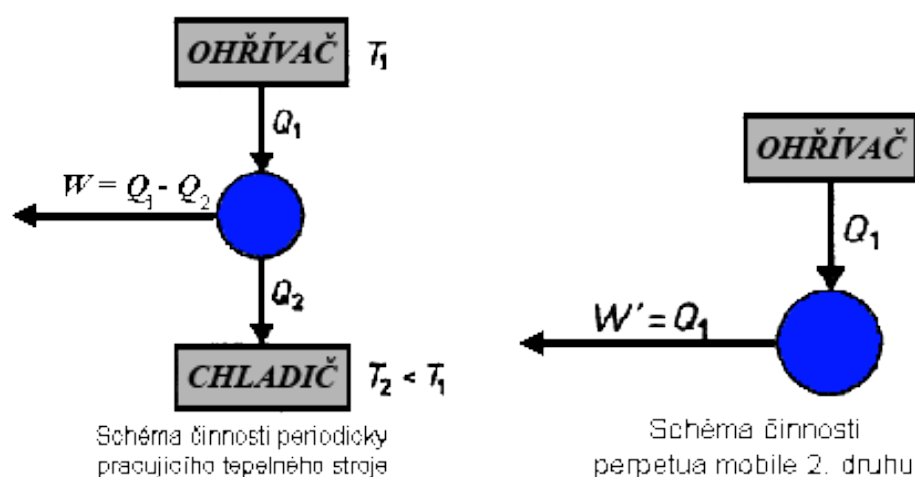
Clausiusova formulace

Teplo nemůže při styku dvou těles různých teplot samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší.

Teplo tedy nepřechází samovolně z prostředí o nižší teplotě do prostředí s vyšší teplotou.

W. Thomsonova (Lord Kelvin) a Planckova formulace

Nelze sestrojít periodicky pracující tepelný stroj, který by trvale konal práci pouze tím, že by ochlazoval jedno těleso, a k žádné další změně v okolí by nedocházelo.



Obr. 18

Z praxe víme, že všechny druhy energií lze přeměnit na teplo. Obrácený přechod beze zbytku je z hlediska pravděpodobnosti nerealizovatelný a v praxi jej nepozorujeme.

W. Thomsonova a Ostwaldova formulace

Nelze sestrojít perpetuum mobile druhého druhu.

Není možné sestrojít periodicky pracující stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa (ohříváče) a vykonával stejně velkou práci. Každý takový stroj pracuje, tak že přijímá od ohříváče teplo Q_1 a chladiči odevzdá teplo Q_2 ($Q_2 < Q_1$), přičemž vykoná práci $W = Q_1 - Q_2$. (11)

Carnotova formulace

Žádný tepelný stroj pracující mezi dvěma teplotami nemůže mít vyšší účinnost než Carnotův stroj pracující mezi stejnými teplotami. Z experimentů vyplývá, že pro nevratné Carnotovy děje je účinnost vždy menší než pro vratné Carnotovy děje, probíhající mezi týmiž teplotami. Obecně tedy má Carnotova věta tvar

$$\eta \equiv \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (12)$$

Kde Q_1 je teplo přijaté od ohříváče, teplo Q_2 představuje „ztrátu“. T_2 je teplota chladnějšího tělesa, T_1 vyšší teplota.

Druhý termodynamický zákon pomocí entropie

Celková změna entropie v uzavřeném systému je součtem změny entropie uvnitř systému a entropie, která je do systému přenesena z jeho okolí. Entropie přenášená do systému se definuje jako

$$dS = \delta Q/T \quad (13)$$

δQ je dodané teplo za teploty T

Pro vratné procesy a rovnovážné stavy platí, že změna entropie je nulová $dS = 0$.

Pro spontánní proces v systému pak platí $dS > 0$. Můžeme říci, že entropie se nikdy samovolně nezmenšuje.

4 Entropie

4.1 Vratný a nevratný děj

Než si tuto veličinu nadefinujeme, je třeba si objasnit některé pojmy. Musíme zde rozlišovat mezi vratnými a nevratnými ději. Pro pochopení bude výhodné nejprve uvést několik příkladů. Pro vratný děj je dobrým příkladem pomalé rozpínání a stažení plynu. U tohoto děje si plyn vymění malé množství tepla s okolím. Děj bude vratný jen tehdy, pokud při pomalém stlačení plyn vrátí okolí teplo, který mu při rozpínání odebral a přijme stejně velkou práci, jakou při rozpínání vykonal. Takže můžeme říct, že děj je vratný jen tehdy, pokud je možno převést uvažovanou soustavu z koncového do počátečního stavu tak, že se do okolí vrátí teplo, které z něho bylo odebráno a soustavě se vrátí vykonaná práce. Případná další zařízení, která by se na ději podílela, se též musí vrátit do počátečního stavu. Dalším příkladem může být motor, který vytahuje břemeno a je nabíjen akumulátorem. Pokud by při samovolném pohybu břemena opačným směrem, než byl směr původní, došlo k zpětnému nabití akumulátoru, mohlo by se jednat též o vratný děj. Ale nesmělo by dojít k žádným ztrátám energie. Pokud by se třeba část energie spotřebovala třením, už by to byl děj nevratný. Z toho vyplývá, že většina dějů ve fyzice je nevratných. [2,8]

Tak například kvádr, který se pohybuje, po vodorovné podlaze, se časem zastaví (působí zde např. třecí síly). Ale nenastane, aby se náš kvádr dal samovolně do pohybu. Další případ je, pokud nalijeme do skleničky vařící vodu. Dojde k prasknutí skleničky a vylití vařící vody. Ale už nenastane to, že by se zpětně voda sama od sebe nalila do skleničky a sklenička se ještě dokázala „zpravit“.

Ted' už nás tedy asi nepřekvapí, že většina dějů je nevratná, ale co by nás mohl překvapit je fakt, že kdyby tyto nevratné děje dokázaly samovolně proběhnout v „nesprávném“ (opačném) směru, tak by nenarušovaly platnost zákona zachování energie. Z toho plyne, že změny energie v uzavřeném systému neukazují směr nevratných dějů. Tento směr je totiž dán změnou entropie systému. Nejprve si uvedeme hlavní vlastnost entropie, která se často nazývá postulát entropie. Probíhá-li v uzavřeném systému nevratný děj, entropie systému vždy roste a nikdy neklesá. Pro entropii neplatí zákon zachování. Tím se výrazně liší od energie. Energie v uzavřeném systému zůstává konstantní, ale entropie při nevratných dějích v uzavřeném systému stále roste. Díky této vlastnosti občas nazýváme změnu entropie „šipkou času“.

Pro definování změny entropie můžeme použít dvě možnosti. Změnu entropie můžeme definovat:

- a) makroskopicky - pomocí pojmů teplota a teplo, který systém ztratí či získá
- b) mikroskopicky - počítáním možností jak mohou být atomy či molekuly uspořádány v našem systému

Veličiny, které jsou jednoznačně definovány okamžitým stavem systému, nazýváme stavové veličiny. Mezi stavové veličiny např. patří: entropie, teplota, energie, rychlost, tlak, objem. Setkáváme se též s veličinami, které necharakterizují okamžitý stav systému, ale proces, kterým tento systém prošel. K těmto dějovým (procesním) veličinám patří práce a teplo. Nemělo by totiž velký význam uvádět kolik práce či tepla by daný systém v našem stavu obsahoval, ale je možné říci, kolik tepla náš systém přijal, či jakou práci vykonal při určitém ději. [2,4,8]

4.2 Makroskopický pohled na entropii

Přírůstek entropie se může definovat jako rozdíl entropie v koncovém a počátečním stavu děje. Jak jsme už zmínily, entropie je stavová veličina, což znamená, že nás nemusí zajímat „cesta“ kterou jsme se dostali z počátečního stavu do koncového, ale pouze hodnoty v počátečním a koncovém stavu.

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_{\varphi_i}^{\varphi_f} \frac{dQ}{T} \quad (14)$$

S_i - entropie systému v počátečním stavu

S_f - entropie systému v koncovém stavu

φ_f - koncový stav

φ_i - počáteční stav

Q - je přenesená energie v podobě tepla

T - teplota systému v kelvinech

Z tohoto vzorce vyplívá, že změna entropie nezávisí pouze na množství přeneseného tepla, ale i na teplotě při které děj probíhá. Vzhledem k tomu, že T je vždy kladná (nejnižší teplota je 0 K), tak ΔS bude mít vždy stejné znaménko jako Q . Jednotkou entropie i změny entropie v jednotkách SI je joule na kelvin.

Rovnici (14) může dále zjednodušit, pokud se bude jednat o děj izotermický.

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{Q}{T} \quad (15)$$

Rovnici (14) jsme mohli zjednodušit na rovnici (15) protože platí

$$\int dQ = Q \quad (16)$$

kde Q je celková energie přenesená během děje ve formě tepla.

Změnu entropie soustavy během nevratného děje mezi dvěma rovnovážnými stavy dost často určujeme tak, že uvažujeme mezi těmito stavy libovolný vratný děj a změnu entropie vratného děje vypočítáme z rovnice (12). Poté bude platit, že změna entropie nevratného děje by byla rovna změně entropii, pokud by se jednalo o vratný děj.

Pokud by byla změna teploty systému malá v porovnání s teplotou v kelvinech během počátečního a koncového stavu, můžeme vypočítat změnu entropie takto

$$\Delta S = S_f - S_i \approx Q/\bar{T} \quad (17)$$

Kde \bar{T} je průměrná teplota systému během děje.

Už jsme zde zmiňovali, že entropie je stavová veličina (stavová funkce). Toto tvrzení můžeme získat jedině z fyzikálního pokusu. Můžeme dokázat, že entropie je stavová veličina v důležitém případě a to tehdy pokud ideální plyn koná vratný děj. Pro dosažení vratného procesu provádíme posloupnost velkého množství malých kroků tak, aby byl plyn vždy po každém kroku v rovnovážném stavu.

Můžeme zde využít 1. Zákon termodynamiky v diferenciálním tvaru

$$dU = \delta Q - \delta W \quad (18)$$

kde δQ je teplo předané plynu, dU je změna vnitřní energie a δW je práce vykonaná plynem

Dále zde využijeme některých rovnic platných pro vratné děje.

$$\delta W = p dV \quad (19)$$

$$dU = nC_v dT \quad (20)$$

$$p = nRT/V \quad (21)$$

(platí pro ideální plyn)

$$\text{Dostaneme } dQ = nRTdV/V + nC_v dT \quad (22)$$

Po vydělení celé rovnice T a integraci v intervalech od počátečního do koncového stavu dostáváme nový tvar:

$$\int_{\varphi_i}^{\varphi_f} \frac{dQ}{T} = \int_{\varphi_i}^{\varphi_f} \frac{nRdV}{V} + \int_{\varphi_i}^{\varphi_f} nC_v \frac{dT}{T} \quad (23)$$

$\int_{\varphi_i}^{\varphi_f} \frac{dQ}{T}$ tento výraz je z rovnice (12) roven změně entropie

$$\Delta S = S_f - S_i \quad (24)$$

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{nR \ln V_f}{V_i} + nC_v \ln \frac{T_f}{T_i} \quad (25)$$

Můžeme si zde všimnout, že jsme při integraci nemuseli určit karetní vratný děj. Z čehož plyne, že integrace musí být platná pro všechny vratné děje, které převádějí plyn ze stavu φ_i

do stavu φ_f . Změna entropie ΔS mezi počátečním a koncovým stavem ideálního plynu závisí pouze na vlastnostech počátečního stavu (V_i, T_i) a koncovém stavu (V_f, T_f). Změna entropie nezávisí na tom, jak plyn přejde z jednoho stavu do druhého. [2,4]

4.3 Mikroskopický pohled na entropii

V předchozí části jsme definovali entropii a její změnu pomocí makroskopického stavu. Nyní si nadefinujeme entropii pomocí mikroskopického stavu. Každé možné rozdělení molekul nazýváme mikrostavem systému. Všechny ekvivalentní mikrostavy seskupujeme do konfigurace systému, přičemž počet mikrostavů v konfiguraci nazýváme násobností W konfigurace, je to její statistická váha. Pro systém o N molekulách, které mohou být rozděleny do dvou polovin nádoby, je dána násobnost vztahem

$$W = \frac{N!}{n_L!n_P!} \quad (26)$$

kde n_P je počet molekul v pravé straně nádoby, n_L je počet molekul na levé straně. Základním postulátem statistické mechaniky je předpoklad, že všechny mikrostavy mohou nastat se stejnou pravděpodobností. Konfigurace s největší násobností nastávají nejčastěji. Je-li N velmi velké (např. $N = 10^{22}$ molekul nebo více), jsou molekuly téměř vždy v konfiguraci s $n_P = n_L$. Násobnost W konfigurace systému a jeho entropie S v takové konfiguraci jsou svázány Boltzmanovým vztahem pro entropii.

V roce 1877 rakouský fyzik Ludwig Boltzmann objevil následující vztah.

$$S = k \ln W \quad (27)$$

Kde S je entropie dané konfigurace, k je Boltzmannova konstanta.

$$(k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$$

W je násobnost konfigurace



Obr. 19 Náhrobek Ludwiga Boltzmana ve Vídni



Obr. 20 Zde si nechal na svůj náhrobek vytesat vzorec, který objevil

Pokud je N velmi velké, je výhodné použít aproximaci pro $\ln N!$

$$\ln N! \approx N(\ln N) - N \quad (28)$$

4.4 Entropie kolem nás: motory, tepelné stroje

Už jsme si řekli, že entropie uzavřeného systému při nevratném ději roste. Ale zatím nevíme, jak se entropie bude chovat při vratném ději. Vědci zjistili, že pokud se jedná o vratný děj, tak se entropie nemění. Proto můžeme říct, že entropie uzavřeného systému opravdu nikdy neklesá. V části uzavřeného systému totiž entropie může klesat, ale vždy lze najít stejně velký, či větší přírůstek v jiné části tohoto systému. Proto můžeme říci, že entropie jako celek nikdy neklesá. Tato skutečnost je jednou z forem druhého termodynamického zákona. Matematicky ji můžeme vyjádřit pomocí této nerovnice.

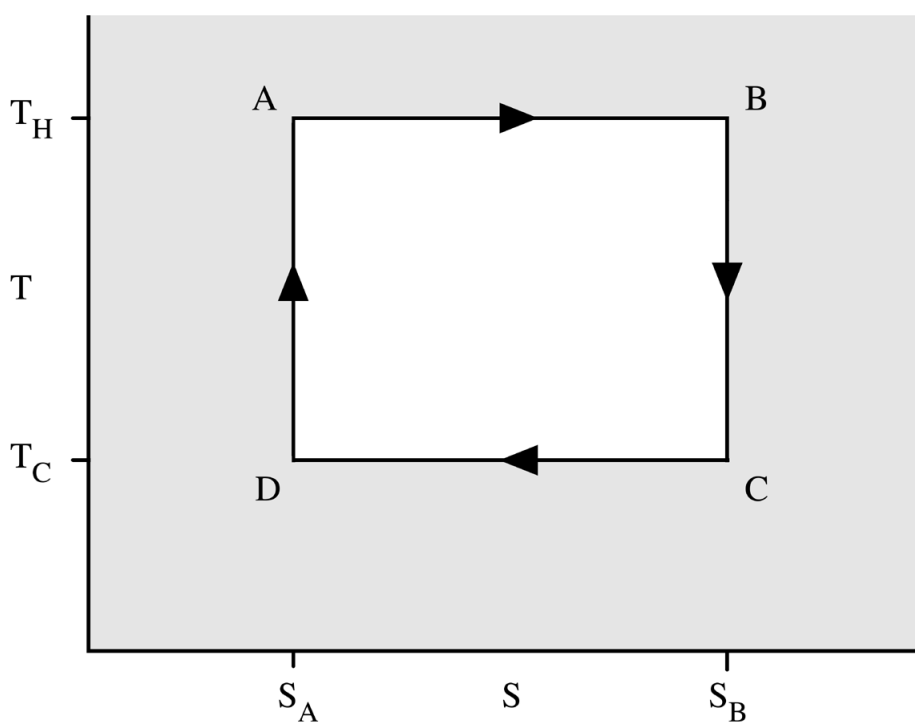
$$\Delta S \geq 0 \quad (29)$$

Znaménko $>$ platí pro nevratné děje. Znaménko rovnosti platí pro děje vratné. Tento vztah platí pouze pro uzavřený systém. Ve skutečném světě je většina dějů do jisté míry nevratná kvůli tření, víření a dalším podobným činitelům. Děje, při nichž se entropie nemění, jsou vždy pouze určitou idealizací dějů skutečných.

Tepelný stroj je takový stroj, který se svým okolím vyměňuje teplo či práci. Může být tepelný motor, který s okolím vyměňuje teplo a dodává práci. Anebo můžeme mít jiný druh tepelného stroje, kterému práci dodáváme, aby odebral teplo chladnější lázni a předal ho teplejší (chladnička, tepelné čerpadlo). Může existovat i kombinace těchto strojů.

Tepelný motor (motor), je zařízení, které odebírá svému okolí teplo a koná práci. Důležitá je zde pracovní látka. V parních strojích to je voda, a její plynné skupenství (pára). V dnešních automobilech to bývá nejčastěji směs benzínu a jeho par smíchaných se vzduchem. V naftových motorech je to zase nafta. Každý stroj by měl umět pracovat trvale a ne jednorázově. Pracuje v takzvaných cyklech.

Důležité je, že na začátku každého cyklu je stroj ve výchozím stavu. Dále zde budeme uvažovat ideální motor. Což je motor, kde probíhají pouze vratné děje. Nenastává zde žádný ztrátový přenos energie. Nyní zde budeme studovat jeden z těchto ideálních strojů a to konkrétně Carnotův stroj. Tento stroj je pojmenován podle francouzského vědce a inženýra Carnota (Sadi Nicolas Léonard Carnot). Popis cyklu tohoto děje není nijak složitý. Skládá se ze dvou dějů izotermických a ze dvou adiabatických.



Obr. 21 Schéma Carnotova cyklu

(Carnotův cyklus stroje, vyneseny do diagramu proměnných entropie S teploty T , neboli T - S diagramu. Během dějů AB a CD zůstává teplota stálá, jedná se tedy o izotermické děje. Během dějů BC a DA , zůstává stejná entropie, jedná se o adiabatické děje.)

Pro výpočet práce vykonané Carnotovým motorem během cyklu využijeme znalost prvního zákona termodynamiky.

$$dU = \delta Q + \delta W \quad (30)$$

Kde dU představuje malou změnu vnitřní energie termodynamické soustavy, δQ teplo a δW práci vnějších sil (neboli energii dodanou soustavě prací vnějších sil). Změna vnitřní energie dU označuje úplný diferenciál funkce stavu (stavové) U , která je závislá pouze na veličinách určujících stav a není závislá na způsobu, jakým se soustava dostane z jednoho stavu do stavu jiného.

Pro zjednodušení použijeme následujícího vztahu.

$$\Delta U = Q - W \quad (31)$$

Kde ΔU je změna vnitřní energie, Q je teplo dodané systému a W je práce systému. Pracovní látka opakovaně prochází počátečním stavem cyklu. Jestliže X označíme libovolnou veličinu pracovní látky (např. objem, teplotu, tlak, entropii) musí platit, že změna X je rovna nule pro každý cyklus. Pokud Q je celkové teplo vyměněné během cyklu a W je celková práce vykonaná během cyklu, pak můžeme zapsat první zákon termodynamiky pro Carnotův cyklus v následujícím tvaru

$$W = |Q_H| - |Q_C| \quad (32)$$

Kde Q_H je teplo přijaté pracovní látkou během rozpínání, Q_C je teplo předané látkou během stlačení

V Carnotově motoru probíhají dva vratné přenosy tepla, proto dochází ke dvěma změnám entropie pracovní látky. Jedna za teploty T_H a jedna za teploty T_C . Celková změna entropie pracovní látky během cyklu je tedy

$$\Delta S = \Delta S_H + \Delta S_C = \frac{|Q_H|}{T_H} - \frac{|Q_C|}{T_C} \quad (33)$$

Kde ΔS_H je kladné, protože energie $|Q_H|$ je dodaná pracovní látce ve formě tepla (nárůst entropie), ΔS_C je záporná, protože energie $|Q_C|$ je pracovní látce ve formě tepla odebrána. Protože entropie je stavová veličina, musí platit $\Delta S = 0$ pro úplný cyklus. Dosazením do předchozí rovnice dostáváme

$$\frac{|Q_H|}{T_H} = \frac{|Q_C|}{T_C} \quad (34)$$

Protože platí $T_H > T_C$, musí platit $|Q_H| > |Q_C|$. Odebrali jsme tedy více tepla z teplejší lázně, nežli jsme dodali tepla studenější lázni. Toto by sice mohlo svádět k mylnému závěru, že změna entropie pro jakýkoliv cyklus je rovna nule, protože pracovní látka se při každém uzavřeném cyklu vrátí do počátečního stavu. A proto by měli, všechny stavové veličiny, nabýt svých počátečních hodnot. Ve skutečnosti je změna entropie větší než nula pro nevratné cykly, tedy pro všechny reálné motory. Probíhá-li totiž cyklus rychle, nelze vůbec předchozí rovnice uvažovat, jelikož pracovní látka nestihne vyrovnávat teplotu s lázněmi. V takovémto nerovnovázném cyklu dochází ke zvýšení entropie pracovní látky (produkce entropie). Změnu entropie lázni je možné vypočítat. Využijeme zde druhého termodynamického zákona.

$$\frac{|Q_H|}{T_H} - \frac{|Q_C|}{T_C} + \Delta S > 0 \quad (35)$$

Důležitou vlastností všech strojů je jejich účinnost. Zkoumáme ji hlavně v reálném životě, vypovídá nám o tom, jak moc malé či velké ztráty má daný stroj, při konání práce.

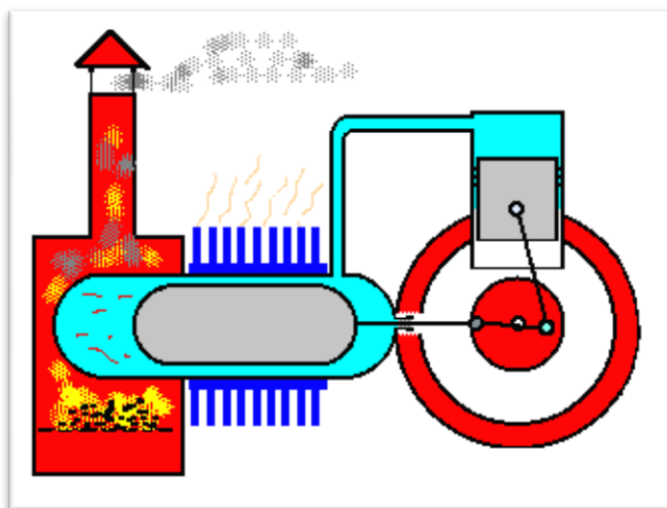
$$\eta = \frac{|W|}{|Q_H|} = \frac{\text{energie získaná}}{\text{energie dodaná}} \quad (36)$$

Dalším tepelným motorem je Stirlingův motor. Zde probíhají též 2 izotermické děje, ale nejsou spojeny adiabaty jako Carnotově stroji, izochorickým dějem (konstantní objem). Stirlingův motor má dva pracovní prostory, mezi nimiž může

volně proudit plyn. Jeden z prostorů je studený, druhý horký. Toho je docíleno buď přímým ohříváním a chlazením komor, nebo, a to častěji, vnějším ohříváčem a chladičem. Mezi ohříváčem a chladičem je obvykle zařazen ještě regenerátor, akumulující teplo plynu procházejícího z ohříváče do chladiče nebo naopak.

Tento motor má mnoho modifikací - písty mohou být v samostatných válcích, nebo v jednom válci společném, kdy jeden z pístů pracuje v dvojčinném režimu. Stirlingův motor byl poprvé navržen v roce 1816 Robertem Stirlingem. V dnešní době se už podařilo sestrojít tento motor o výkonu 3,7 MW.

Hlavní výhodou je skutečnost, že tento motor může pracovat s nejrůznějšími zdroji vnější tepelné energie. Od geotermální či solární až po fosilní paliva či biomasou. Termická účinnost se u motorů s výkonem 1 až 25 kW pohybuje v rozmezí 25 až 33%. Energetická účinnost v rozmezí 18 až 22%. Výhodami jsou tichý chod, vysoká životnost či minimální možnost poruchy. [2, 4]



Obr. 22 Stirlingův motor

Teoreticky by také tento motor mohl pracovat s větší účinností a tím přispět k šetření energie a ochraně přírody, v praxi se to ale moc nedaří, protože se dá těžko dosáhnout vysoká pracovní teplota.

Nevýhodou je špatná regulovatelnost a malá pohotovost k provozu. Potřebuje také poměrně velký chladič s výkonným ventilátorem a pro dosažení vysoké účinnosti musí pracovat s vysokými tlaky plynu. Používá se tedy většinou jako stacionární motor. [2, 17, 4]

4.5 Entropie, druhý zákon termodynamiky a šipka času

Obsahem druhého zákona termodynamiky je tendence fyzikálních systému vyvíjet se do stavů s vyšší entropií. Podstata tohoto zákona spočívá na statistické úvaze: existuje mnoho cest, jimiž systémy mohou dosáhnout vyšší entropie, a „mnoho cest“ značí větší pravděpodobnost toho, že se systém vyvine do jedné s konfigurací s vyšší entropií. Měli bychom si zde povšimnout, že se nejedná o zákon v klasickém slova smyslu, protože ač jsou takové události vzácné a nepravděpodobné, může něco sklouznout ze stavu vysoké entropie do stavu o entropii nižší. Zkusíme si zde uvést jeden názorný příklad. Představte si knížku, která má 500 stran a stránky ještě nejsou svázané, ale jdou volně za sebou. Pokud bude takto seřazená, můžeme říct, že systém je zcela uspořádaný, což by znamenalo, že má nulovou entropii. Knižku ponese nešikovný student a upustí ji na zem. Je dosti pravděpodobné, že se stránky zpřehází, ale může mít štěstí a zpřehází se jen málo stránek. Knižku poté předá stejně nešikovnému kamarádovi a ten ji znova upustí na zem. Je dosti pravděpodobné, že se knížka ještě více zpřehází. A je zde i možnost, i když téměř nulová, že se knížka dostane do úplně původního uspořádání. Pokud by knížka opakovaně padala na zem, je pravděpodobné že by byla stále víc a víc zpřeházená. Takže se ukazuje, že systém s mnoha složkami časem spěje do stavu vyšší neuspořádanosti, což znamená do stavu s vyšší entropií. [2,5,8]

Třebaže to nemusí být na první pohled zřejmé, objevuje se zde myšlenka, že druhý termodynamický zákon „zplodil“ šipku času. Ukazuje se to tehdy, kdy má

soustava velké množství složek. Představme si lahev se stlačeným oxidem uhličitým. Pokud bychom lahev „odzátkovali“ oxid by se rozptýlil po místnosti. Pokud bychom tento děj fotili a nafotili například 40 fotek, tak bychom dokázali poznat, i bez toho aniž bychom děj viděli na vlastní oči, jak děj probíhal. Ale pokud bychom měli jen jednu molekulu oxidu uhličitého, nemohli bychom rozhodnout z těchto fotek, jak děj probíhal. Nevěděli bychom, co čemu předcházelo. Kdyby vám někdo ukázal film, kde by se molekuly oxidu uhličitého, rozmístěné po celé místnosti, samovolně začaly shlukovat do jednoho místa, asi byste nevěřili, že je to pravda. Bylo by to pravděpodobně proto, že by vám byl film puštěn pozpátku. Šipka času totiž míří ve směru rostoucí entropie. Věci s mnoha složkami spějí z nižší k vyšší entropii, od pořádku k nepořádku, protože je to snadné a tak k tomu dochází neustále. Avšak dospět od vyšší k nižší entropii, od nepořádku k pořádku, je obtížnější, a proto se to stává vzácně, pokud vůbec. Všimněme si, že entropická šipka času není zcela pevná: netvrdíme, že tato definice času je zcela stoprocentně spolehlivá. Jelikož podle druhého zákona termodynamiky je vzrůst entropie jen statisticky pravděpodobný jev. (Vrátím se ještě k předchozímu tvrzení o zpětně puštěném filmu s oxidem uhličitým. V 19. století francouzský matematik Joseph Liouville matematicky dokázal, že je možné, aby se molekuly oxidu uhličitého „narovnaly“ zpátky do lahve z prostoru místnosti. Tento výsledek může být použit k ustanovení tzv. Poincarého teorému rekurence. Tento teorém říká, že vyčkáme-li dostatečně dlouho, systém s konečnou energií a omezený v konečném objemu prostoru se vrátí do stavu libovolně blízkého původnímu stavu. Háček je v tom, jak dlouho bychom na to museli čekat. U systémů s větším počtem složek bychom museli čekat déle než je věk celého vesmíru než by se systém uskupil do původní konfigurace. Nicméně je zajímavé, že v nekonečně velkém čase, by se každý fyzikální systém v prostoru v principu navrátil do původního uspořádání) [2,5,8]

V předchozích úvahách jsme pracovali převážně s klasickou fyzikou. Pokud budeme pracovat s kvantovou mechanikou, bude problém ještě o něco složitější. Ale oba přístupy nás přivedou k myšlence, že v době vzniku vesmíru byla

entropie nejnižší. Od tohoto okamžiku entropie celého vesmíru stále rostla. Naopak nejvyšší entropii mají černé díry. Černé díry jsou charakterizovány svoji hmotností (která určuje jejich velikost), rychlostí otáčení (momentem hybnosti) a elektrickým nábojem. Jeden způsob jak se dovědět toho, že mezi všemi fyzikálními systémy dané velikosti, s jakýmkoliv složením, mají právě černé díry nejvyšší entropii, vyplývá přímo z definice entropie. Entropie odpovídá míře neuspořádanosti systému, k čím většímu počtu přeskupení složek objektů může dojít, aniž by se nějak projevíly na „vzhledu“, tím je entropie větší. A i přesto, že u černé díry nemůžeme říct, jaké má složky, jelikož nevíme, co se stane, když hmota spadne do jejího středu, tak můžeme říci, že přeskupení těchto složek nemá na její hmotnost, moment hybnosti nebo elektrický náboj vliv. [2,5]

5 Využití při výuce fyziky

Čas je jednou z fyzikálních veličin, kterou využíváme i v běžném životě. Znalostem o času a jeho měření se učíme už od útlého věku. Ale přesto nepředpokládáme, že by většina z vás v tomto věku měla o přístroje měřící čas větší zájem. V této práci je ukázáno, jak fungovali určité druhy hodin. Některé z nich jsou velmi jednoduché na sestavení. Což by mohlo být i podnětem pro sestavení daných hodin na cvičeních z fyziky (možno i při běžné hodině při vhodném tématu). Vhodné k tomuto účelu jsou hodiny vodní, přesýpací či svíčkové. Už o něco náročnější je výroba slunečních hodin. Na vhodném typu školy (např. strojní průmyslová škola) by mohlo být zajímavé pustit se do konstrukce mechanických hodin. Správná funkčnost každého typu hodin má svá úskalí. Například u konstrukce vodních hodin se budeme potýkat s hydrostatickým tlakem. Tato problematika je zde nastíněna v kapitole 2.2.4. Své tvůrčí schopnosti by měli studenti předvést i při konstrukci kalendáře. Tato práce neobsahuje komplexní přehled kalendářů, ale pouze vybrané kalendáře. Byly vybrány pro jejich přesnost, či z důvodu používání v dnešní době. Ve výuce na střední škole by se mohly použít i termodynamické zákony a jejich využití v praxi. Entropie se bohužel na středních školách většinou neprobírá, proto její spojitost s plynutím času použít nemůžeme.

6 Závěr

Cílem této práce bylo zabývat se vybranými fyzikálními veličinami. Pro nás hlavní veličinou zkoumání byl čas. Věnovali jsme se zde jeho definici, měření a spojitostí s dalšími fyzikálními veličinami. Naši předci nejprve měřili čas pomocí různých přírodních úkazů. Střídání dne a noci (obíhání Země kolem své osy), střídání ročních období (oběh kolem Slunce). S přibývajícím znalostmi začali lidé používat stále důmyslnějších přístrojů k měření času. Začaly vznikat různé typy hodin. Od slunečních, vodních, svíčkových, přesýpacích až po hodiny mechanické či atomové. Pomocí času můžeme nejen měřit dobu dané události, ale můžeme určité události řadit historicky (v pořadí ve kterém nastaly). I to byl jeden z důvodů, proč vznikly kalendáře. Naši předci měli potřebu své činy zaznamenávat. Jejich touha o znalosti světa však nesahala jen do dob minulých, ale snažili se určitým způsobem zjistit, kdy jaká událost nastane. Potřebovali vědět, kdy mají zaset obilí, kdy ho sklídit, kdy má přijít oteplení atd. K tomu jim nejlépe posloužily právě kalendáře. Dalšími zkoumanými veličinami zde jsou energie a entropie. Jsou zde nastíněny jejich zajímavé spojitosti a spojitosti s časem. Není zde ani opomenuta závislost času a prostoru. Ale této oblasti jsme se zabývali jen okrajově, z důvodu celistvého pohledu na čas. V kapitole první a druhý zákon termodynamiky se zajímáme i o přístroje, které se lidstvo snažilo sestrojít, ale jejichž existence je vyvrácena fyzikálními zákony (perpetuum mobile prvního a druhého druhu). Zjistili jsme, že čas je stejně „starý“ jako náš samotný vesmír. Což znamená, že začal plynout se vznikem našeho vesmíru. Jeho směr plynutí určuje entropie. Celková entropie vesmíru stále roste, stejně jako plyne čas. Vysvětlujeme zde v této souvislosti i pojem šipka času.

Literatura

- [1] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. Fyzika, mechanika, BRNO: Nakladatelství PROMETHEUS, 2006
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. Fyzika, mechanika-termodynamika, BRNO: Nakladatelství PROMETHEUS, 2006
- [3] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. Fyzika, Elektromagnetické vlny-Optika-Relativita, BRNO: Nakladatelství PROMETHEUS, 2006
- [4] Odehnal, M. Supravodivost a jiné kvantové jevy, PRAHA: Nakladatelství Československé akademie věd, 1992
- [5] Greene, B. Struktura vesmíru, Praha: Nakladatelství Paseka, 2006
- [6] Krempaský, J. Fyzika, BRATISLAVA 1982
- [7] Bednařík, M. Studijní materiály k předmětu Fyzika I, ČVUT
- [8] Blažek, J. Úvod do termodynamiky a statistické fyziky, České Budějovice: Jihočeská univerzita
- [9] Burian, J. Řím- světla a stíny antického velkoměsta, Praha 1970
- [10] Kubelka, V. Římské reálie, Uherské Hradiště,
- [11] Kolektiv autorů Encyklopedie Diderot, Praha 1999
- [12] Kotulová, E. Kalendář aneb kniha o věčnosti času
- [13] http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/12_energie/12_energie.htm
- [14] <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cas>
- [15] <http://www.sweb.cz/radioaktivita.cz/radioaktivita.htm>
- [16] <http://images.google.cz/imgres?imgurl=http://www.ehodinky.cz/>

- [17] <http://mfweb.wz.cz/fyzika>
- [18] <http://astronuklfyzika.cz>
- [19] http://cs.wikibooks.org/wiki/M%C4%9B%C5%99en%C3%AD_%C4%8Dasu_ve_star%C3%A9m_%C5%98%C3%ADm%C4%9B
- [20] <http://www.zemepis.com/mercasu.php>
- [21] <http://antika.avonet.cz/article.php?ID=1500>
- [22] <http://www.volny.cz/soukenikp/encyklopedie.htm>
- [23] <http://www.google.cz/custom?q=mereni+mechanicke+energie>