Demo soubor středoškolská fyzika, autor Ing. Vlček.
Soubor je určen k nahlédnutí, nikoliv k výuce.

ÚVOD

Tato publikace seznamuje studenty s mechanikou**,** termikou**,** optikou, jadernou fyzikou**,** teorií kmitání, akustikou **na středoškolské úrovni. Snažil jsem se o shrnutí všech základních poznatků z tohoto oboru při zachování** stručnosti, **přehlednosti a rozumného rozsahu publikace. V zájmu úspory nákladů chci tuto publikaci šířit digitálně jako soubory Wordu (mechanika,termika(+ mol. fyzika), optika, jaderná fyzika(+astrofyzika). Jejich celková velikost je dohromady přibližně 2 MB, což umožňuje jejich snadný přenos disketou nebo mailem. Doporučuji nespojovat do jednoho souboru. Při kopírování doporučuji zkontrolovat správnost řeckých písmen a jiných speciálních znaků, v různých verzích Wordu mohou mít jiné fonty. Při kreslení obrázků mám určitá technická omezení, prosím čtenáře o pochopení. Je třeba si uvědomit, že potřebná kapacita paměti by byla při zpracování dokonalejším programem asi stokrát větší.**

Tento způsob šíření učebnic je výrazně levnější **než vydávání publikací. Navíc umožňuje vyučujícím** upravit publikace dle konkrétních potřeb školy**. Prosím všechny uživatele, aby o případných** větších úpravách textu **na tomto místě** informovali čtenáře**.**

MECHANIKA

KINEMATIKA – NAUKA O POHYBU

Pohyb je základní vlastností hmoty, neexistuje těleso, které by bylo v absolutním klidu. O klidu nebo pohybu tělesa rozhodujeme porovnáváním jeho polohy vzhledem k okolním tělesům. Cestující letícím v letadle je vzhledem k letadlu v klidu, ale vzhledem k zemskému povrchu se pohybuje.

Klid a pohyb tělesa jsou relativní (relativní = vztažný, poměrný). Při popisu pohybů ve fyzice si volíme nějaké těleso, o kterém předpokládáme, že je v klidu, a vzhledem k němu posuzujeme pohyby ostatních těles. Jestliže zvolíme **jeden bod tělesa za počáteční** (počátek) a zvolíme **tři osy** jím procházející, dostaneme **soustavu souřadnic**. Vzhledem k této soustavě pak určujeme polohu a pohyb ostatních těles. Proto se tato soustava nazývá **vztažná soutava.** Nejčastěji budeme používat pravoúhlou vztažnou soustavu spojenou se Zemí, o které budeme předpokládat, že je v klidu. Otáčení Země okolo její osy a pohyb Země okolo Slunce nebudeme uvažovat, čímž se popis pohybů těles zjednoduší.

Pohyb skutečných těles je složitý a jejich fyzikální popis není jednoduchý. Každý pohyb brzdí tření (např. odpor vody brzdí pohyb lodě). Tření pneumatik o vozovku umožňuje pohyb auta, ale současně třetí v ložiscích kol, v převodovce a na jiných místech pohyb brzdí. Abychom následující úvahy o pohybu skutečných těles co nejvíce zjednodušili, nahradíme pohyb skutečných těles pohybem jejich modelu, který se nazývá **hmotný bod a má zanedbatelné rozměry.**

Křivka spojující jednotlivé polohy hmotného bodu, které postupně zaujímal při pohybu, se nazývá **trajektorie** hmotného bodu. Trajektorií hmotného bodu padajícího volným pádem je úsečka. Trajektorie Země obíhající okolo Slunce má tvar elipsy. **Podle tvaru trajektorie rozdělujeme pohyby na přímočaré a křivočaré.** Zvláštním případem křivočarého pohybu je **pohyb po kružnici**.

Délka trajektorie, po které se hmotný bod určitý čas pohybuje, se nazývá **dráha.** Jestliže řekneme, že těleso vykonalo dráhu 1 m, nevypovídáme nic o tvaru trajektorie, po které se těleso pohybovalo, udáváme jen délku úseku trajektorie, který za tento čas přešlo.V tomto smyslu **je dráha fyzikální veličina**.

ROVNOMĚRNÝM POHYBEM nazýváme pohyb, při němž pohybující se těleso vykoná v libovolných, ale stejných časových intervalech stejné dráhy.

Různé rovnoměrné pohyby srovnáváme např. podle dráhy, kterou vykonají tělesa za jednu sekundu. Jestliže vykoná těleso za čas ***t*** dráhu ***s***, potom podíl ***s / t*** určuje **velikost rychlosti *v*** pohybujícího se tělesa **$v = s / t$.**

Jednotkou **rychlosti** je **metr za sekundu** ($m \cdot s^{-1}$). **1 metr za sekundu je rychlost rovnoměrného pohybu, při kterém se za 1 sekundu vykoná dráha 1 metru. Velikost rychlosti rovnoměrného pohybu je konstantní, s časem se nemění.** Píšeme v = konst.
Příklad: Běžec uběhl dráhu 10 km za 40 min. Vypočítejte jeho rychlost za předpokladu, že běžel rovnoměrným pohybem.
s = 10 000 m   *t* = 40 . 60 = 2 400 s   v = s / t = 4,166 m/s = 4,166 . 3600 / 1000 = 15 km/hod

V praxi se používají i jiné jednotky rychlosti. Rychlost automobilu se udává v **km/hod.**

Z definičního vztahu pro velikost rychlosti rovnoměrného pohybu můžeme vypočítat dráhu vykonanou tělesem rovnoměrným pohybem   **s = v . t.**

Z tohoto vztahu vyplývá, že dráha *s* rovnoměrného pohybu je přímo úměrná času ***t***, po který se těleso pohybuje. Konstantou úměrnosti je velikost rychlosti ***v***.

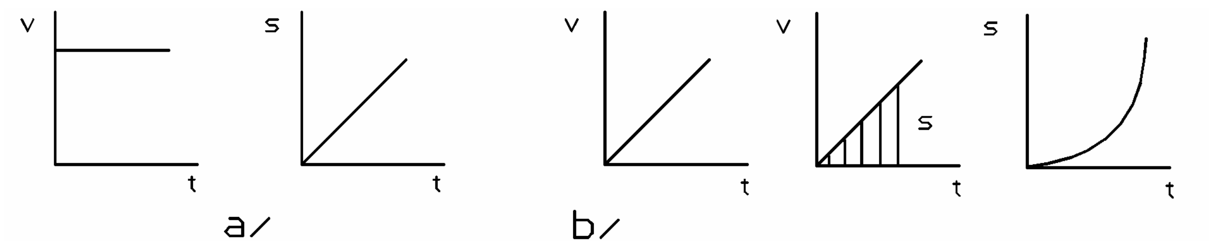
Příklad*:* Chodec jde rychlostí 5 km/ hod po dobu 1hod 20 minut. Kolik km ujde? Jaká je jeho rychlost v m/s?
s = 5 . 4/3 = 20/3 = 6,66 km.   v = 5 . 1000 / 3600 = 1,39 m/s

Nerovnoměrný pohyb tělesa zpravidla nahrazujeme rovnoměrným pohybem, jehož dráha a doba trvání jsou stejné jako při skutečném nerovnoměrném pohybu tělesa. Průměrnou rychlost v_p nerovnoměrného pohybu v daném úseku trajektorie vypočítáme jako podíl dráhy ***s*** a příslušného časového intervalu ***t***, za který těleso vykonalo dráhu ***s***.

$v_p = s / t$.

Příklad*:* Cyklista ujel za 2 minuty 500 m. Jaká je jeho průměrná rychlost?
v = 500 m / 120 m/s = 4,2 m/s nebo v= 0,5/ (2/6) = 15 km/hod

Chceme-li zjistit rychlost tělesa v určitém místě jeho trajektorie, zvolíme v okolí tohoto místa její malý úsek. Z délky tohoto úseku trajektorie, dráhy ***s*** a krátkého časového intervalu ***t***, za který těleso zvolený úsek trajektorie projelo, vypočítáme průměrnou rychlost v_p tělesa na tomto úseku. Čím menší úsek trajektorie zvolíme, tím méně změn rychlosti můžeme předpokládat. Proto se vypočítaná hodnota rychlosti bude víc přibližovat ke skutečné hodnotě rychlosti tělesa na zvoleném místě trajektorie, k **okamžité rychlosti** tělesa.



Obrázek: a/ Rovnoměrný pohyb   b/ Rovnoměrně zrychlený pohyb(vyšrafovaná plocha = dráha rovnoměrně zrychleného pohybu)

Nejjednodušší nerovnoměrný pohyb je **POHYB ROVNOMĚRNĚ ZRYCHLENÝ.** Přibližně rovnoměrně zrychlený pohyb koná lyžař sjíždějící z kopce, volně padající těleso, rozjíždějící se vlak.

Pohyb těchto těles brzdí odporová síla, jejíž velikost se zvětšuje s rychlostí tělesa . Proto se rovnoměrně zrychlený pohyb tělesa po určité době změní v rovnoměrný pohyb, i když na těleso bude stále působit konstantní tahová síla. Aby popis pohybů těles byl jednodušší, nebudeme prozatím o vlivu brzdicích sil uvažovat.

Rozjíždí-li se těleso z klidu, znamená to, že v čase *t* = 0 s je počáteční rychlost *v* = 0. Potom je rychlost tělesa pohybujícího se rovnoměrně zrychleným pohybem přímo úměrná času **v = a t**. Konstanta úměrnosti ***a*** se nazývá velikost **zrychlení** rovnoměrně zrychleného pohybu. Platí pro ni **a = v / t.**
Jednotkou zrychlení je **metr za sekundu na druhou** ($m \cdot s^{-2}$).
1 metr za sekundu na druhou je zrychlení rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu, jehož rychlost se za 1 sekundu zvětší o 1 metr za sekundu.

Velikost zrychlení rovnoměrně zrychleného pohybu je konstantní, s časem se nemění, což zapisujeme ***a*** = konst.

Vzorem pro výpočet dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu odvodíme ze závislosti ***v = f (t).*** Dráha se rovná ploše trojúhelníku v tomto grafu.
$s = a \cdot t^2 / 2$

Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu roste přímo úměrně s druhou mocninou času. Grafem **závislosti dráhy** rovnoměrně zrychleného pohybu **na čase je část paraboly**.
Příklad: Vlak se rozjíždí rovnoměrně zrychleně a za dobu t = 125 s dosáhne rychlosti v = 90 km . h^{-1}. Vypočítejte zrychlení vlaku a dráhu, kterou vykonal během rozjíždění.
v = 90 km . h^{-1} = 25 m . s^{-1} (90 000/3 600) m/s
a = v / t = 25 m . s^{-1} : 125 s = 0,2 m . s^{-2},

Na daném místě Země padají ve vakuu všechna tělesa se stejným zrychlením. Zrychlení **volného pádu** se nazývá **tíhová zrychlení** a označuje se ***g.*** Vztahy pro rychlost a dráhu volného pádu píšeme ve tvaru **v = g . t,**   **s = g . t² / 2.**
(Pokud kámen padá rychleji než papír, způsobuje to odpor vzduchu. Ve vakuu by jejich rychlost byla stejná.)

Velikost tíhového zrychlení není na Zemi všude stejná, zvětšuje se od rovníku k pólům. Na rovníku má hodnotu 9,78 m . s^{-2}, na pólech 9,83 m . s^{-2}. Dohodou byla stanovena hodnota tzv. **normálního tíhového zrychlení g_n = 9,8**06 65 **m . s^{-2}**, která se přibližně rovná tíhovému zrychlení na 45. rovnoběžce při hladině moře.
Příklad: Jak dlouho trvá volný pád z výšky 50 m? Jak velkou rychlost má dopadající předmět?
t = √(2s / g) = √(50 . 2 / 10) = 10 s   v = 10 . 10 = 100 m/s
Příklad: Jak hluboká je propast, do které padá volně puštěný kámen 4 s? Odpor vzduchu zanedbejte.
s = gt^2/2 = 10 . 4^2 / 2 = 80 m   v = 10 . 4 = 40 m/s
V obou případech jsme zanedbali odpor vzduchu, skutečná rychlost je ve skutečnosti nižší.

TERMODYNAMIKA

Těleso nebo skupinu těles, jejichž stav zkoumáme, nazýváme **termodynamická soustava**. Ta je oddělena od okolí skutečným nebo myšleným rozhraním. Veličiny, které určují stav soustavy, např. tlak, teplota, objem, energie, počet části, jsou **stavové veličiny.**
Jestliže u soustavy nemůže docházet k výměně energie s okolím a ani se nemění její chemické složení a hmotnost, pak tuto soustavu nazýváme **izolovaná soustava.** Krátkodobě lze za ni považovat např. čaj v termosce.
Je-li termodynamická soustava ve stálých vnějších podmínkách, přejde samovolně po uplynutí dostatečně dlouhé doby do rovnovážného stavu. V tomto stavu setrvává, pokud zůstanou tyto podmínky zachovány (např. vložíme-li horký předmět do studené vody)
V rovnoběžném stavu soustava nemění svůj objem, teplotu, tlak, neprobíhají změny skupenství ani chemické reakce. Soustava je také v mechanické rovnováze.

VNITŘNÍ ENERGIE SOUSTAVY A JEJÍ ZMĚNY

Při studiu mechanických dějů jste poznali, že **součet kinetické a potenciální energie izolované soustavy je stálý.** U padajícího předmětu se mění jeho potenciální energie tíhová v energii kinetickou tak, že součet obou energií zůstává konstantní.
Zákon zachování energie platí obecně pro libovolné děje. Při studiu těchto dějů je však třeba přihlédnout ještě k tzv. **vnitřní energii** soustavy.
Vnitřní energie soustavy zahrnuje:
1. **celkovou kinetickou energii** všech neuspořádaně se pohybujících částic, které tvoří soustavu;
2. . **celkovou potenciální energii** částic podmíněnou jejich vzájemným působením;
3. **. potenciální a kinetickou energii kmitajících atomů uvnitř molekuly;**

Vnitřní energie *U* soustavy budeme nazývat součet celkové kinetické energie neuspořádaně se pohybujících částic soustavy (atomů, molekul, iontů) a celkové potenciální energie vzájemné polohy těchto části.
Vnitřní energie soustavy je stavovou veličinou, která se může měnit dvěma ději: **konáním práce** nebo **tepelnou výměnou.**
Změna vnitřní energie konáním práce nastává např. při tření těles (obrábění kovů, tření čepů v ložisku, brždění automobilu, apod.), při stlačení plynu v izolované nádobě (hustilka) při prudkém

míchání kapaliny, při ohýbání drátu, při mletí různých látek. Povrch letadel, družic a meteorů se odporem zemské atmosféry zahřívá na teploty i několik set °C.
Vysvětlíme změnu vnitřní energie konání práce z hlediska molekulové fyziky, např. při tření. Částice ležící na styčných plochách se vzájemnými nárazy více rozkmitají a předávají pak část své energie dalším částicím. Proto se zvětšuje teplota těles, a tím i jejich vnitřní energie na úkor vykonané práce.
Zákon zachování energie, který jste poznali v mechanice, nyní zobecníme: **Při dějích probíhajících v izolované soustavě zůstává součet kinetické, potenciální a vnitřní energie konstantní.**
Tepelná výměna je děj, při němž neuspořádaně se pohybující částice jednoho tělesa narážejí na neuspořádaně se pohybující částice druhého tělesa a vyměňují si energii. (horký předmět se ochlazuje ponořením do studené vody).
Tepelná výměna může také probíhat mezi tělesy, která se vzájemně nedotýkají. V tomto případě se výměna energie uskutečňuje **tepelným zářením (sáláním).**
Vnitřní energie se nazývá teplo. Jednotka tepla je **joule (J). Jestliže se vnitřní energie tělesa tepelnou výměnou zvětšila (zmenšila), říkáme pro stručnost, že těleso přijalo (odevzdalo) teplo.**
Jestliže např. těleso přijalo tepelnou výměnou teplo Q = 1 kJ, znamená, že jeho vnitřní energie = 1 kJ.
Mezi tělesy tvořícími izolovanou soustavu platí při tepelné výměně **zákon zachování energie.**
Ponoříme-li např. do vody v termosce těleso o teplotě nižší než je teplota vody, pak mezi vodou a tělesem proběhne tepelná výměna. Změna vnitřní energie vody se rovná přírůstku vnitřní energie tělesa. Celková vnitřní energie uvažované soustavy zůstává při tomto ději stálá.

PRVNÍ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Přírůstek vnitřní energie *U* soustavy je roven součtu práce *W* vykonané silami, kterými okolní tělesa působí na soustavu, a tepla *Q* odevzdaného okolními tělesy soustavě. Tento poznatek nazýváme **první termodynamický zákon** a matematicky ho vyjadřujeme vztahem

U = W + Q

Stlačíme-li plyn (vykonáme práci), dojde k jeho ohřátí, zvýší se jeho vnitřní energie. Zahříváme-li vodu v hrnci, zvýší se její vnitřní energie.
Teplo *Q* dodané soustavě se rovná součtu přírůstku její vnitřní energie *U* a práce *W´*, kterou soustava vykoná (zákon zachování energie).
První termodynamický zákon lze také formulovat tak, že není možné sestrojit zařízení, tzv. **perpetum mobile**, které by vykonávalo práci bez změny své energie nebo energie okolí.

TEPELNÁ ROVNOVÁHA, TEPLOTA

Z výkladu o tepelné výměně vyplývá, že po uvedení dvou těles do vzájemného styku mohou nastat dva případy:
a) Mezi tělesy nedojde k tepelné výměně, jejich původní rovnovážné stavy se nemění.
Jestliže po uvedení těles do vzájemného dotyku se jejich rovnovážné stavy nezmění, říkáme, že tělesa jsou ve vzájemné tepelné rovnováze. Tělesa ve vzájemné tepelné rovnováze mají stejnou teplotu.
b) Mezi tělesy dochází k **tepelné výměně**, která skončí teprve po určité době, kdy se vytvoří stav tepelné rovnováhy. V tomto případě říkáme, že tělesa měla na počátku děje různou teplotu. Těleso, u kterého se při tepelné výměně vnitřní energie zmenšila, mělo na počátku děje vyšší teplotu než těleso, které přijalo teplo, a tím se jeho vnitřní energie zvětšila. V okamžiku vytvoření tepelné rovnováhy se teploty obou těles vyrovnají.
Poznatek o tepelné rovnováze využíváme k **měření teploty.** Těleso, jehož teplotu chceme měřit, uvedeme do vzájemného styku s tělesem srovnávacím – **teploměrem.** Po vytvoření stavu tepelné rovnováhy je teplota tělesa rovna teplotě teploměru. Přitom předpokládáme, že po vyrovnání teplot mezi tělesem a teploměrem se teplota tělesa příliš nezměnila, takže teploměr i po vytvoření tepelné rovnováhy udává původní teplotu tělesa. Z toho např. vyplývá, že za teploměr volíme takové těleso, jehož měřící element (např. baňka s kapalinou) není příliš veliký.
K měření teploty je třeba nejen vybrat vhodné srovnávací těleso, ale také sestrojit **teplotní stupnici** a stanovit **jednotku teploty.** Nejčastěji používáme **Celsiovu teplotní stupnici**, která má dvě základní teploty: 0 °C a 100 °C. Teplotu 0 °C přiřazujeme rovnovážnému stavu vody a ledu za normálního tlaku $1{,}013\,25 \cdot 10^5$ Pa a teplotu 100 °C rovnovážnému stavu vody a její syté páry (viz dále) za normálního tlaku . Mezi těmito teplotami je stupnice rozdělena na 100 stejných dílků, jeden dílek odpovídá teplotnímu rozdílu jednoho **Celsiova stupně.** Na základě změny např. objemu kapaliny v teploměru měříme pomocí této stupnice **Celsiovu teplotu *t*.**

Nejobvyklejší teploměr rtuťový nebo lihový jsou příklady **kapalinových teploměrů.** Rtuťovým teploměrem lze měřit teploty od –39 °C, lihovým od -114 °C do 78 °C.
Pro měření velmi vysokých teplot se používají **teploměry odporové** (teplota se měří na základě změny elektrického odporu a termistoru **pyrometry** (jsou založeny na poznatku, že dvě tělesa zahřátá na tutéž teplotu vydávají záření stejné barvy). Pro měření velmi nízkých teplot se používají odporové teploměry. K přesnému měření teplot ve značně velkém rozsahu užíváme **termočlánky**, jejichž hlavní část tvoří dva různé kovy spojené ve dvou místech. Udržují-li se tyto spoje na různých teplotách, vznikne mezi nimi termoelektrické napětí. Jeho velikost závisí pouze na rozdílu teplot obou míst. Vyráběné termočlánky mají téměř nulový rozptyl parametrů. Tímto způsobem se např. měří teplota hrotu páječky.

Jednotka **kelvin (K)** je základní jednotkou SI a je definována jako 273,16 díl termodynamické teploty trojného bodu vody (viz dále). Vyjadřování teplot v kladných a záporných hodnotách není vždy nejvýhodnější. Zavádíme proto její počítání v kelvinech od **absolutní nuly –273,15 °C**. Platí že **rozdíl 1 °C = 1 K**. **0 °C = 273,15 K** **100 °C = 373,15 K**
Příklad: Převeďte teplotu 30 °C na kelviny. 30 + 273,15 = 303,15 K
Příklad: Převeďte teplotu -50 °C na kelviny. -50 + 273,15 = 223,15 K
Příklad: Převeďte teplotu 324 K na °C. 324 – 273,15 = 60,85 °C
Příklad: Převeďte teplotu 250 K na °C. 250 – 273,15 = -23,15 °C
Experimenty ukazují, že termodynamická teplota libovolné soustavy se může neomezeně přiblížit hodnotě 0 K (jí odpovídá hodnota –273,15 °C), ale nemůže jí dosáhnout. **Teplota 0 K je počátkem termodynamické teplotní stupnice.** Při teplotě 0 K nabývá kinetická energie částic, ze kterých se soustava skládá, nejnižší hodnoty, ale není nulová. V blízkosti teploty 0 K se značně mění vlastnosti látek, např. elektrické a magnetické vlastnosti (supravodivost – ztráta elektrického odporu).

SKUPENSTVÍ LÁTEK
Plynná látka. Molekuly plynu se skládají z jednoho nebo několika atomů, mají různé tvary a rozměry. Za normálních podmínek je střední vzdálenost mezi molekulami plynu velká ve srovnání s rozměry molekul. Pro tyto vzdálenosti jsou přitažlivé síly mezi molekulami malé a můžeme je zanedbat. Molekuly plynu se neustále pohybují v různých směrech a různě velikými rychlostmi. Změna směru a velikosti rychlosti nastává v důsledku srážek molekul s jinými molekulami. Mezi jednotlivými srážkami se molekuly pohybují rovnoměrně přímočaře.
<u>Pevná látka</u>. Velká většina pevných látek je složena z částic s pravidelným uspořádáním . Částice vytvářejí krystalovou strukturu. Některé pevné látky však nemají pravidelné uspořádání, jsou to amorfní látky (např. sklo, vosk).
Střední vzdálenost mezi částicemi pevné látky je asi 0,2 nm až 0,3 nm. Vzájemné přitažlivé síly mezi částicemi způsobují, že pevná látka na rozdíl od plynu **vytváří těleso určitého tvaru a objemu.**
Částice v pevné látce vykonávají kolem svých rovnovážných poloh kmitavé neuspořádané pohyby.
<u>Kapalná látka</u>. Molekuly kapaliny nejsou tak volně pohyblivé jako je tomu u plynu. Jsou k sobě připoutány přitažlivými silami, neboť střední vzdálenost mezi molekulami kapaliny je asi 0,2 nm. Zároveň vzájemné působení molekul není tak silné, aby všechny molekuly byly navzájem vázány jako u pevné látky.
Každá molekula kapaliny kmitá kolem své rovnovážné polohy, která se ale s časem mění. A to tím rychleji, čím vyšší je teplota kapaliny. Je-li kapalina v klidu, přesuny molekul z jedné rovnovážné polohy do druhé se dějí všemi možnými směry. Působí-li na kapalné těleso vnější síly, dějí se přesuny převážně ve směru působících vnějších sil. Proto je kapalina tekutá, **nezachovává svůj tvar.**

MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA
Přijme-li těleso teplo ***Q*** tepelnou výměnou, vzroste jeho vnitřní energie o hodnotu ***U***. Nenastane-li současně změna skupenství, zvýší se teplota tělesa o ***t***.
Tepelná kapacita tělesa udává, jaké teplot musí těleso (nebo soustava) přijmout, aby se jeho teplota zvětšila o 1 °C.
Jednotkou tepelné kapacity je [*C*] = **J / K**.
Z experimentů vyplývá, že **tepelná kapacita závisí na druhu látky, ze které je těleso**.
<u>c = C / m = Q / (m t)</u>

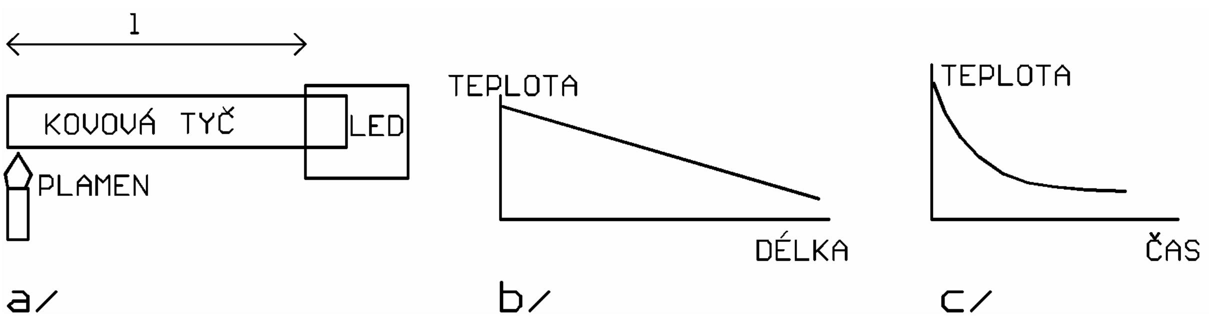
kde ***m*** je hmotnost tělesa. Jednotkou **měrné tepelné kapacity je J . kg^{-1} . K^{-1}.**
Poznámka: Jako jednotku tepelné kapacity lze užít **J . °C^{-1}** a u měrné teplené kapacity jednotku J . kg^{-1} . °C^{-1}.
Měrná tepelná kapacita udává, jaké teplot musí těleso z daného materiálu o hmotnosti 1 kg přijmout, aby se jeho teplota zvětšila o 1 °C. Je to látková konstanta, která má pro různé látky různou hodnotu. Např. pro měď je ***c*** = 383 J . kg^{-1} . K^{-1}; přijme-li těleso z mědi o hmotnosti 1 kg teplo 383 J, zvýší se jeho teplota o 1 K neboli o 1 °C.
Hodnoty měrných tepelných kapacit různých látek jsou uvedeny v tabulkách.
Přesná měření ukazují, že měrná tepelná kapacita látky se poněkud mění se změnou teploty. Proto se hodnoty této veličiny udávají v tabulkách pro určitou teplotu, např. 20 °C.
Z běžně známých látek má voda největší měrnou tepelnou kapacitu, ***c* = 4,18 kJ . kg^{-1} . K^{-1}**. Proto se voda užívá jako chladící kapalina, např. u automobilových motorů. Voda je rovněž vhodná k přenosu vnitřní energie, např. v ústředním topení.
Příklad Na vařiči se ohřívá voda o objemu 2 l. Jaké teplo přijme, zvýší-li se její teplota z 20 °C na 80 °C? Jak dlouho trvá ohřívání, je-li příkon topného tělesa vařiče 500 W?
Teplo $\boldsymbol{Q = c \,.\, m\ \nabla t}$ do něhož dosadíme $\boldsymbol{m = V_c\, \varsigma}$. Z tabulek vyhledáme, že $\boldsymbol{\varsigma}$ = 1 000 kg . m^{-3}, ***c*** = 4,18 . 10³ J . kg^{-1} . K^{-1}, vypočítáme ***m*** = 2 kg. Pro zadané hodnoty proto dostáváme
Q = 2 . 4,18 . 10³ . 60 J = 0,502 MJ
Je-li ***P*** příkon topného tělesa, pak za dobu ***τ*** vykoná toto těleso práci $\underline{\mathbf{W = P\tau}}$. Tato práce je rovna teplu ***Q***, které přijme voda. Tedy $\underline{\mathbf{P\tau = Q}}$ a z toho $\underline{\boldsymbol{\tau = Q / P}}$. Pro zadané hodnoty je ***τ*** = 10 030 s = 16,7 min.

Pokud do tepelně izolované nádoby s kapalinou vložíme těleso, jehož teplota je větší než teplota kapaliny, probíhá mezi tělesy **tepelná výměna** do okamžiku, kdy se tvoří rovnovážný stav, tzn. teploty tělesa a kapaliny se vyrovnají na výslednou teplotu ***t***, přičemž.
Hmotnost teplejšího tělesa označíme $\boldsymbol{m_1}$, jeho počáteční teplotu $\boldsymbol{t_1}$, měrnou kapacitu látky, z niž je těleso zhotoveno, $\boldsymbol{c_1}$. Kapalina nechť má hmotnost $\boldsymbol{m_2}$, počáteční teplotu $\boldsymbol{t_2}$, měrnou tepelnou kapacitu $\boldsymbol{c_2}$. Výsledná teplota soustavy je ***t***. $t_2 < t < t_1$. Při tepelné výměně odevzdá teplejší těleso kapalině teplo $\mathbf{Q_1 = c_1\, m_1\, (t_1 - t)}$. Kapalina přijme teplo $\mathbf{Q_2 = c_2\, m_2\, (t - t_2)}$. Ze zákona zachování energie vyplývá pro izolovanou soustavu, že úbytek vnitřní energie tělesa $\boldsymbol{U_1 = Q_1}$ se rovná přírůstku vnitřní energie kapaliny $\boldsymbol{U_2 = Q_2}$. **Celková vnitřní energie tělesa a kapaliny v tepelné izolované nádobě se** přitom **nemění.** Proto platí $\boldsymbol{Q_1 = Q_2}$ nebo-li
$\underline{\mathbf{c_1 m_1\, (t_1 - t) = c_2 m_2\, (t - t_2)}}$
Dostali jsme tzv. **KALORIMETRICKOU ROVNICI,** která obsahuje sedm veličin, z nichž můžeme kteroukoliv vypočítat, jsou-li ostatní zadány (změřeny).
K experimentálnímu potvrzení této rovnice , případně k měření měrné tepelné kapacity, se používají **kalorimetry.**
Směšovací kalorimetr je tepelně izolovaná kovová nádoba s míchačkou a teploměrem. Vložíme-li do vnitřní nádoby směšovacího kalorimetru s kapalinou pevné těleso o vyšší teplotě, než je teplota kapaliny, proběhne mezi tělesy tepelná výměna.
Při ní se zvýší teplota nejen kapaliny, ale i vnitřní nádoby, míchačky a teploměru. Proto při přesných měřeních je třeba uvažovat i tepelnou kapacitu kalorimetru s příslušenstvím. Po vytvoření rovnovážného stavu s výslednou teplotou *t* platí kalorimetrická rovnice ve tvaru
$\underline{\mathbf{c_1 m_1\, (t_1 - t) = c_2 m_2\, (t - t_2)}}$ (pokud zanedbáme tepelnou kapacitu kalorimetru)
Příklad*:*V kalorimetru o je voda o hmotnosti 600 g a teplotě 20,0 °C. Do vody ponoříme těleso z mědi a hmotnosti 250 g vyjmuté z vroucí vody za normálního tlaku. Určete výslednou teplotu této tepelně izolované soustavy po dosažení rovnovážného stavu, je-li měrná tepelná kapacita mědi 383 J . kg^{-1} . K^{-1}. *c vody* = 4,18 . 10³ J . kg^{-1}. K^{-1}(z tabulek),
Aby se ochladilo měděné těleso na výslednou teplotu ***t***, odevzdá teplo $\underline{\mathbf{Q_1 = c_1 m_1\, (t_1 - t).}}$
Voda přijme na zvýšení teploty o $t = t_2$ teplo $\underline{\mathbf{Q_2 = c_2\, m_2\, t - t_2) = (c_2 m_2)\,.\,(t - t_2).}}$
Jelikož nedochází k další tepelné výměně, platí $Q_1 = Q_2$ a po dosazení
$\underline{\mathbf{c_1\, m_1\, (t_1 - t) = c_2\, m_2\,.\,(t - t_2).}}$
Odtud po úpravě výsledná teplota $\underline{\boldsymbol{t = (c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2) / (c_1 m_1 + c_2 m_2)}}$
Po dosazení zadaných hodnot je t = 22,94 °C.
Příklad: V kalorimetru je olej o hmotnosti 0,25 kg a teplotě 12 °C. Do oleje ponoříme měděný předmět o hmotnosti 0,5 kg a teplotě 100 °C. Výsledná teplota soustavy po dosažení tepelné

rovnováhy je 33 °C. Určete měrnou tepelnou kapacitu oleje. Tepelnou výměnu mezi kalorimetrem a ovzduším neuvažujte.
$c_2 = c_1 m_1 (t_1 – t) /(m_2 . (t – t_2)) = 383 . 0,25 . (100 – 20) / (0,5 . (33 – 12)) = 2443,9$ J/(kg.K)

VEDENÍ TEPLA
Zahříváme-li plamenem jeden konec kovové tyče, pozorujeme, že se postupně zvyšuje teplota i těch částí tyče, které nejsou přímo v plameni. Uvnitř tělesa probíhá tepelná výměna, při které přechází vnitřní energie z míst o vyšší teplotě na místa s teplotou nižší. Těleso, v němž dochází k přenosu vnitřní energie, je přitom v klidu. Tento způsob přenosu vnitřní energie nazýváme **vedení tepla.**
Vedení tepla probíhá např. při ohřívání nebo ochlazování předmětů ponořených do kapaliny, při ohřívání pájky topnou spirálou apod.
Z hlediska molekulové fyziky je přenos vnitřní energie vedením děj, při němž **se přenos vnitřní energie** z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou **uskutečňuje vzájemnými srážkami částic** látky. Schopnost látky přenášet teplo vedením se nazývá **tepelná vodivost.**
Udržujeme-li konce stejnorodé tyče na stálých teplotách t_1 *a* t_2 ($t_1 > t_2$), ustálí se po určité době teplota v tyči tak, že rovnoměrně klesá od teploty t_1 k teplotě t_2 . Přitom předpokládáme, že nedochází k tepelné výměně mezi tyčí a okolím.
Z experimentů vyplývá, že v ustáleném stavu **projde** libovolným průřezem o obsahu ***S*** za dobu ***τ*** **teplo *Q***, které je **přímo úměrné obsahu *S***, **teplotnímu rozdílu** $\nabla t = t_1 – t_2$ a **nepřímo úměrné délce tyče *d*.** Teplo *Q* také **závisí na materiálu**, ze kterého je tyč vyrobena. Tyto experimentálně zjištěné závislosti vyjadřuje vztah $\underline{\mathbf{Q = \lambda . S \nabla t . \tau / d}}$
Veličina **λ** se nazývá **součinitel tepelné vodivosti.** Jeho jednotkou je $\mathbf{W . m^{-1}. K^{-1}}$.
Součinitel tepelné vodivosti se mění s teplotou látky, proto se v tabulkách udává pro určitou teplotu. Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti různých látek při teplotě 20 °C jsou uvedeny v tabulkách. Např. pro měď je $\lambda = 395$ W . m^{-1} . K^{-1}.

Z výše uvedeného vzorce vyplývá, že ohřívání (ochlazování) předmětů v kalorimetru (ale i kdekoliv jinde) probíhá **při velkém rozdílu teplot rychle**. S klesajícím rozdílem teplot při jejich vyrovnávání (pokud v soustavě není zdroj tepla) se tento proces neustále zpomaluje. Změna teplot v závislosti na čase má proto exponenciální průběh (funkce $\mathbf{e^{-t/\tau}}$ a $\mathbf{1 - e^{-t/\tau}}$**)** podobně jako nabíjení a vybíjení kondenzátoru.



Obrázek: a/ Vedení tepla b/ Teplotní průřez tyče z obr. a
c/ Závislost teploty ochlazovaného tělesa na čase(při vyrovnávání teplot, bez zdroje tepla)

<u>KMITÁNÍ, VLNĚNÍ, AKUSTIKA</u>

Periodické pohyby konají např. části chvějící se struny na kytaře, kyvadlo nástěnných hodin, těleso zavěšené na pružině. Nejkratší doba, za kterou doje k opakování téhož pohybového stavu, je **perioda *T***. Počet opakování téhož pohybového stavu za časovou jednotku je **frakvence *f***. Frekvence je převrácenou hodnotou periody, tzn. že platí: $\underline{\mathbf{f = 1 / T.}}$

Jednotkou periody je **sekunda *s*,** jednotkou frekvence **hertz (**Hz), přičemž 1 **Hz** = 1 $\mathbf{s^{-1}}$.

Opakuje-li se pravidelně změna libovolné fyzikální veličiny (např. teplota, tlak, elektrické napětí, proud), mluvíme o **periodickém ději.** Periodický pohyb je pak zvláštním případem periodického děje v oblasti jevů v mechanice.

Sledujme **pohyb kuličky**, kterou zavěsíme na **pružinu**. Vychýlíme-li kuličku z rovnovážné polohy (v rovnovážné poloze působí na kuličku pouze dvě stejně velké síly opačného směru: tíhová síla směrem dolů a síla pružnosti směrem vzhůru), koná **kmitavý pohyb.** Kulička se opakovaně pohybuje z krajní polohy **A** do krajní polohy **B** a zpět, přičemž prochází rovnovážnou polohou **O**.

Pohyb kmitající kuličky z libovolné výchozí polohy (např. v rovnovážné polohy 0) přes všechny pohybové stavy včetně krajních poloh **A** a **B** s návratem do výchozí polohy, se nazývá **kmit.** Doba jednoho kmitu odpovídá **periodě** T, počet kmitů za sekundu frekvenci f.

Během jednoho kmitu se kulička nepohybuje rovnoměrně. Při přemísťování z krajní polohy do polohy rovnovážné koná pohyb zrychlený, přemísťování z rovnovážné polohy do polohy krajní pohyb zpomalený. Rovnovážnou polohou prochází kulička s největší rychlostí. V krajních polohách, v nichž se na okamžik zastavuje, má nulovou rychlost. Kmitavý pohyb kuličky na pružině je tedy periodický, přímočarý a nerovnoměrný.

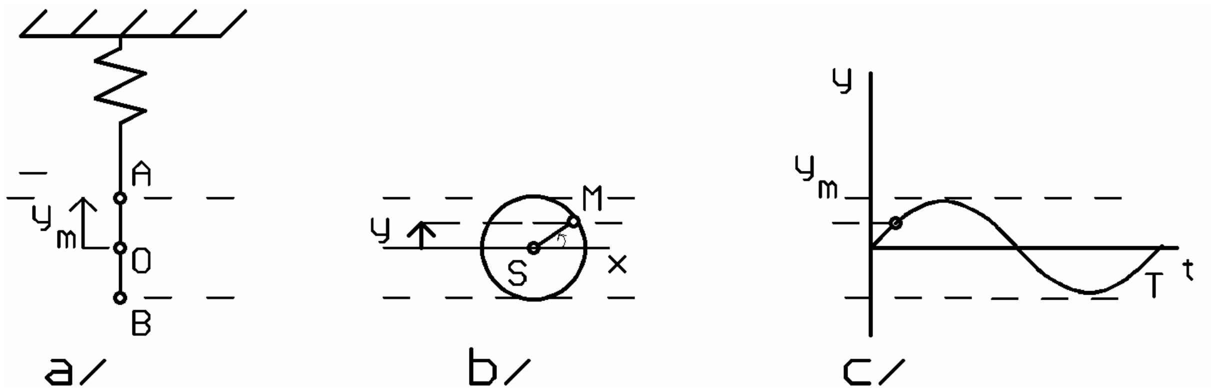
Máme-li popsat kmitání kuličky podrobněji, musíme stanovit její polohu, rychlost a zrychlení v libovolném čase.

Vzdálenost kuličky od rovnovážné polohy v určitém okamžiku kmitání nazýváme **okamžitá výchylka** y. Zvolíme-li vztažnou soustavu tak, že rovnovážná poloha kuličky je v počátku této soustavy, kmitá kulička podél osy y. Směr vektoru posunutí y kuličky je kladný, pohybuje-li se kulička v kladné části osy **y**, a záporný, pohybuje-li se v záporné části osy **y**.

V rovnovážné poloze je okamžitá výchylka y nulová, v krajních polohách je maximální. Tato největší hodnota okamžité výchylky je nazývá **amplituda výchylky** y_m. (nebo také výkmit y_m).
Hodnota výchylky *y* se mění podle funkce sinus. Tuto funkci **definujeme rozvinutím y ové souřadnice** bodu M, který se pohybuje rovnoměrným kruhovým pohybem**, podle času** (obr. **b** a **c**)

Kmitavý pohyb, pro jehož okamžitou výchylku platí tento vztah, nazýváme **pohyb sinusový.**

Okamžitá výchylka harmonického pohybu je periodickou funkcí času, periodicky se mění podle funkce sinus. Úhel ωt nazýváme **fáze harmonického pohybu** a veličinu ω **úhlová frekvence,** pro kterou platí $\underline{\omega = 2\pi f = 2\pi / T}$
kde f je frekvence a T perioda kmitavého pohybu. **Jednotkou úhlové rychlosti je rad.s^{-1}.**



Obrázek: a/ Kmitový pohyb kuličky na pružině
b/ Rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici
c/ Sinusový průběh

Na základě souvislosti harmonického pohybu s rovnoměrným pohybem po kružnici odvodíme i vztahy pro rychlost a zrychlení. Na obr. **b** je vyznačen bod *M*, který se pohybuje po kružnici o poloměru r stálou úhlovou rychlostí ω. Závislost jeho y-ové souřadnice na čase má sinusový průběh (viz obr. **c**)
Průmět **v** do svislého směru, který odpovídá rychlosti kmitajícího bodu. má hodnotu $\underline{v = v_0 \cos \omega t}$.
Dosadíme-li $\underline{v_0 = \omega r}$ (je to vztah pro rychlost pohybu hmotného bodu po kružnici), a uvážíme-li, že $\underline{r = y_m}$, dostaneme: $\underline{v = \omega y_m \cos \omega t}$

Rychlost harmonického pohybu je rovněž periodickou funkcí času, ale mění se **podle funkce kosinus**. Největší rychlost $\mathbf{v = \omega \cdot y_m}$ má kmitající bod v rovnovážné poloze 0 (kde okamžitá výchylka *y* je nulová), nejmenší rychlost $\mathbf{v = 0}$ (m . s^{-1}) v obou krajních polohách (kde okamžitá výchylka je maximální a rovná se amplitudě výchylky y_m). $\underline{a = -\omega^2 \cdot y}$

Zrychlení harmonického pohybu je přímo úměrné okamžité výchylce, ale má vzhledem k výchylce opačný směr. proto se kmitající bod s rostoucí výchylkou zpomaluje, zatímco při zmenšování výchylky se zrychluje. Harmonický pohyb je tedy nerovnoměrný periodický pohyb s periodicky se měnící rychlostí i zrychlením.

Fáze harmonického pohybu

Vztahy pro okamžitou výchylku, rychlost a zrychlení harmonického pohybu, které jsme odvodili v předchozím článku, platí jen v případě, měříme-li čas od okamžiku, kdy kmitající bod prochází právě rovnovážnou polohou. Proto pro čas **$t = 0$** s je také fáze harmonického pohybu **$\omega t = 0$** a okamžitá výchylka **y** nulová.

U harmonického kmitání se však setkáváme také s případy, kdy kmitající bod v počátečním okamžiku, tj. v čase **$t = 0$** s je v jiné poloze než v rovnovážné. Okamžitou výchylku pak vyjádříme vztahem **$y = y_m \sin(\omega t + \varphi)$**

kde **fázi** harmonického pohybu představuje výraz **$(\omega t + \varphi)$**, přičemž veličinu φ nazýváme **počáteční fáze harmonického pohybu.** Vztah je **obecnou rovnicí** harmonického kmitání, kterou vyjadřujeme periodické změny veličin nejen v oblasti mechanických kmitů, ale obecně u všech periodických dějů s harmonickým průběhem.

Dynamika harmonického pohybu

Sledujme opět pohyb kuličky zavěšené na pružině. Pokud je kulička v klidu, je v rovnovážné poloze. Vychýlíme-li kuličku z rovnovážné polohy směrem dolů o délku ***y*,** prodlouží se pružina rovněž o délku **y** a na kuličku bude působit síla pružnosti ***F***, která je namířena proti vektoru posunutí ***y***. Tato síla pak vrací kuličku zpět do rovnovážné polohy.

Pokud nepřekročíme při prodloužení pružiny mez její pružnosti, je velikost síly ***F*** podle Hookova zákona přímo úměrná prodloužení pružiny a tedy okamžité výchylky ***y***. Platí tedy rovnice **$F = k \cdot y$**

kde konstanta úměrnosti ***k*** se nazývá **tuhost pružiny** a vyjadřuje elastické vlastnosti pružiny při deformaci vnější silou.

Obdobná situace nastane, vychýlíme-li kuličku z rovnovážné polohy směrem vzhůru. Na kuličku bude působit síla pružnosti způsobená stlačením pružiny o délku **y**. Také v tomto případě je síla **F** namířena proti vektoru posunutí **y** a její velikost je přímo úměrná okamžité výchylce **y**. Opět platí rovnice **$F = ky$**.

V obou případech, tj. při prodloužení i stlačení pružiny, se působením síly **F** vrací kulička do rovnovážné polohy, v níž nabývá maximální rychlosti a setrvačností se pak pohybuje na opačnou stranu od rovnovážné polohy. **Síla pružnosti F je tedy příčinou periodicky se opakujícího kmitání kuličky**, je příčinou uvedeného harmonického pohybu.

Obecně **je harmonický pohyb způsoben silou pružnosti *F*, která stále směřuje do rovnovážné polohy** (má tedy opačný směr než vektor posunutí **y**) a **její velikost je přímo úměrná okamžité výchylky y**. Vyslovili jsme **dynamickou podmínku harmonického pohybu,** kterou lze vyjádřit rovnicí: **$F = -k \cdot y$**

Kulička zavěšená na pružině představuje model tzv. **mechanického oscilátoru,** což je zařízení které koná kmitavý pohyb. Kmitavý pohyb oscilátoru je harmonický, je-li splněna uvedená dynamická podmínka harmonického pohybu.

$F = m \cdot a = k \cdot y$ $\quad$ $a = m^2 y$ $\quad$ **$f = (1 / 2\pi) \cdot \sqrt{(k / m)}$** $\quad$ **$T = 2\pi \cdot \sqrt{(m / k)}$**

Jak vidíme, **frekvence i perioda harmonického kmitání závisí jen na hmotnosti kmitajícího bodu a na tuhosti pružiny**, tj. na parametrech oscilátoru. Přitom nezávisí na velikosti tíhového zrychlení, i když jsme pohyb oscilátoru sledovali v tíhovém poli Země.

KYVADLO

ATOMOVÁ FYZIKA, ASTROFYZIKA
KVANTOVĚ MECHANICKÝ MODEL ATOMU

Na základní škole jste se ve fyzice a chemii seznámili s modely atomu, ve kterých se elektron považuje za velmi malou částici (korpuskuli). Vědecké pokusy však ukázaly, že proud volných elektronů dopadajících na povrch krystalu se po odrazu chová jako světlo a po dopadu na stínítko vytvoří interferenční obrazce . Na základě výsledků těchto a podobných pokusů vyslovil francouzský fyzik Louis de Broglie (čti: lui d´brolji) roku 1924 hypotézu, že korpuskulárně vlnový charakter nemá jen záření (viz optika), ale i částice, např. elektrony. Správnost této hypotézy potvrdily další pokusy. Tak vznikla **kvantová teorie hmoty,** podle které **má každé záření současně vlnový i korpuskulární charakter a každá částice (korpuskule) má současně korpuskulární i vlnový charakter.**

Světlo je elektromagnetické záření. Při odrazu, lomu, interferenci nebo polarizaci (viz optika) se projevuje jeho vlnový charakter. Při fotoelektrickém jevu se projevuje jeho korpuskulární charakter. Kvantum elektromagnetického záření – foton, považujeme za částici (korpuskuli).

Při vysvětlování některých jevů, např. elektrického proudu v kovech, **považujeme elektron za částici.** V atomovém obalu se však projevuje **vlnový charakter elektronu**. V atomovém obalu se elektron nechová jako částice, ale jako **elektromagnetická vlna.** Proto pohyb elektronu v atomovém obalu nemůžeme porovnávat s pohybem tělesa nebo hmotného bodu. **Nelze proto určit přesnou polohu elektronu v určitém čase**, ale pouze **velikost pravděpodobnosti jeho výskytu na daném místě** (viz učebnice chemie).

Jednotlivým elektronům v atomovém obalu určitého prvku přísluší různé hodnoty energie. Protože každý atom si neustále vyměňuje energii s okolím, mění se ustavičně energie jednotlivých elektronů v jeho atomovém obalu. Z kvantové teorie hmoty pro elektron v atomovém obalu vyplývá:

a) **Energie elektronu může nabývat pouze určité hodnoty**; energetické stavy elektronu jsou kvantované.

b) V atomovém obalu daného atomu neexistují dva elektrony se stejnou hodnotou energie.

c) Energie elektronu se zvětšuje, jestliže přijímá energii od okolí a opačně při vyzařování energie do okolí se jeho energie zmenšuje.

d) Elektron **přijímá nebo vyzařuje energii pouze po kvantech**, pro jejichž velikost platí

$\underline{\mathbf{h \,.\, f = E_2 - E_1,}}$

kde $\boldsymbol{h}$ je Planckova konstanta, $\boldsymbol{f}$ je frekvence přijatého (vyslaného) elektromagnetického záření, $\boldsymbol{E_1}$ je počáteční a $\boldsymbol{E_2}$, konečná hodnota energie elektronu.

e) Při vyzařování energie přechází elektron do takového volného energetického stavu, ve kterém má nejmenší energií.

Tyto poznatky vyjadřují **základní charakteristiku kvantově mechanického modelu atomu.**

Stav elektronu v atomovém obalu charakterizují čtyři **kvantová čísla: hlavní *a*, vedlejší *l*, magnetické *m*** a **spinové *s***. Kvantování energie v atomu se popisuje pomocí hlavního kvantového čísla ***a*,** které může nabývat hodnoty 1, 2, 3… Stavu s větším hlavním kvantovým číslem přísluší větší energie. Stav elektronu v atomovém obalu se zpřesňuje dalšími kvantovými čísly.

Energetické hladiny atomu můžeme znázornit přímkami, jejichž vzdálenost odpovídá rozdílu energii mezi příslušnými energetickými hladinami atomu. Energie je vyjádřená v jednotce **elektronvolt,** která se v atomové a jaderné fyzice často používá **l eV = 1,6 . 10^{-19} J.**

Spektrum atomu vodíku

Víte, že bílé světlo vysílané Sluncem je složeno z barevných světel. Jestliže bílé světlo prochází trojbokým hranolem, rozkládá se na barevné složky. Při dopadu takto rozloženého světla na bílé stínítko vytvoří se pás barevných stop, který se nazývá **spektrum** (viz optika).

Vznik spektra si vysvětlíme na atomu vodíku pomocí kvantově mechanického modelu atomu.

Jádro atomu vodíku tvoří jeden proton, v atomovém obalu je jeden elektron. Stav, ve kterém má elektron v atomovém obalu nejmenší energii, se nazývá **základní stav.** V základním stavu atomu $\boldsymbol{n}$ = 1, a proto je atom nejstabilnější. **Pohlcením kvanta energie** z okolí přejde elektron do **stavu s větší energií;** jeho energie se zvětší o energii pohlceného kvanta záření. Atom je ve vzbuzeném (excitovaném) stavu. Takovýto stav je však **nestabilní**. Proto se elektron za velmi krátký čas **vrací do** neobsazeného **stavu s menší energií**. Při tomto přechodu **vyzáří část své energie** ve formě kvanta elektromagnetického záření, **ve formě fotonu**.