

Meno a priezvisko:
Škola: Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium
Školský rok/blok:
Predmet: Fyzika
Skupina:
Trieda:
Dátum:
Teória

1 Molekulová fyzika a termodynamika

Vnútrotná energia, práca, teplo

1.10 Vnútrotná energia

Z bežnej skúsenosti vieme, že ak pustíme loptičku z určitej výšky, nikdy sa nevráti po odraze naspäť do pôvodnej výšky. S každým ďalším odrazom sa bude postupne výška výstupu loptičky znižovať. Na prvý pohľad to vyzerá, že porušujeme zákon zachovania energie. V skutočnosti musíme zobrať do úvahy ešte časticovú stavbu látky, ktorá súvisí s vnútornou energiou telesa. K tejto energii prispieva:

1. celková kinetická energia všetkých neusporiadane sa pohybujúcich častíc,
2. celková potenciálna energia všetkých molekúl,
3. celková kinetická a potenciálna energia kmitajúcich atómov vo vnútri molekúl, z ktorých je látka zložená,
4. energia atómov (energia elektrónov, jadrová energia, ...).

Vnútrotná energia nie je vo všeobecnosti konštantná veličina – môže dochádzať k:

1. zmene vnútornej energie konaním práce – trenie dvoch telies, stláčanie plynu, prudké miešanie kvapaliny, ohýbanie drôtu, mletie kávy,
2. zmene vnútornej energie tepelnou výmenou – ohrievanie vody na variči, ochladzovanie potravín v chladničke, tavenie kovu v peciach,

1.11 Zmena vnútornej energie konaním práce

Z praxe vieme, že pri trení dvoch telies sa zväčšuje ich teplota. Ako dobrý príklad môžeme uviesť zahrievanie rúk v zime bez rukavíc

Zmena stavu telesa pri trení je spôsobená tým, že častice ležiace na dotykových plochách sa vzájomnými nárazmi viac rozkmitajú a odovzdávajú tak časť svojej energie ďalším časticiam. Preto sa zväčšuje teplota oboch telies a tým aj ich vnútrotná energia.

Na základe tohoto môžeme zovšeobecniť zákon zachovania energie:

Pri dejoch prebiehajúcich v izolovanej sústave telies je súčet kinetickej, potenciálnej a vnútornej energie telies konštantný.

Deje, pri ktorých sa konaním práce mení vnútrotná energia telesa, sú známe už veľmi dávno (zapálenie ohňa trením), ale celý rad z nich sa využíva aj v bežnej praxi: obrábanie kovov, trenie čapov v ložiskách, stláčanie plynu, mletie rôznych materiálov, Aj povrch nadzvukových lietadiel sa v dôsledku odporu zemskej atmosféry ohrieva na stovky stupňov Celsia. Rast vnútornej energie konaním práce môžeme pozorovať pri páde meteoru a pohybe umelých družíc Zeme. V tepelných motoroch sa vnútrotná energia paliva využíva nakonanie mechanickej práce.

1.12 Zmena vnútornej energie tepelnou výmenou

Ak ponoríme do nádoby s teplotou vodou studený predmet, pozorujeme nárast teploty predmetu a pokles teploty vody. Po určitom čase sa vytvorí rovnovážny stav, pri ktorom sú teploty oboch telies rovnaké (predpokladáme, že voda s telesom tvoria izolovanú sústavu).

Pri dotyku obidvoch telies dochádza k zrážkam častíc ležiacich na rozhraní obidvoch telies, pri ktorom častice teplejšieho telesa odovzdávajú časť svojej energie časticiam studenšieho telesa. Odovzdávanie energie prebieha aj medzi rôznymi časticami rovnakého telesa, ak majú rôznu teplotu. Vzhľadom k tomu, že obe telesá sú v pokoji, nedochádza k zmene vnútornej energie konaním práce.

Tepelná výmena môže prebiehať tiež u telies, ktoré **nie sú vo vzájomnom dotyku**. V tom prípade sa prenos vnútornej energie uskutočňuje **tepelnou výmenou žiarením**.

Ak odovzdá teplejšie teleso studenšiemu telesu tepelnou výmenou energiu, hovoríme, že teplejšie teleso odovzdalo studenšiemu telesu teplo. (Analogicky pre prípad, keď studenšie teleso prijme teplo od telesa teplejšieho).

Teplo Q je určené energiou, ktorou pri tepelnej výmene odovzdá teplejšie teleso studenšiemu, $[Q] = J$ (joule).

Pri tepelnej výmene medzi telesami v izolovanej sústave platí zákon zachovania energie: úbytok vnútornej energie telesa s väčšou teplotou sa rovná prírastku vnútornej energie telesa s pôvodne nižšou teplotou. Celková vnútorná energia izolovanej sústavy zostáva konštantná.

Poznámka: V 18. storočí bolo teplo nesprávne považované za zvláštnu látku, tzv. tepelné fluidum, ktoré pri tepelnej výmene prechádza z teplejšieho telesa na studenšie. Napriek tomu, že táto teória nebola schopná vysvetliť všetky javy, udržala sa až do polovice 19. storočia, keď sa začala rozvíjať kinetická teória plynov.

1.13 Merná tepelná kapacita

Ak prijme teleso **teplo** Q tepelnou výmenou, vzrastie jeho **vnútorná energia** o hodnotu ΔU a zvýši sa **teplota** telesa o Δt (**ak nenastane zmena skupenstva látky**).

Tepelnú kapacitu definujeme vzťahom

$$C = \frac{Q}{\Delta t} ; [C] = J.K^{-1}$$

Merná tepelná kapacita sa definuje vzťahom

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m.\Delta t} ; \text{ kde } m \text{ je hmotnosť telesa. Platí } [c] = J.kg^{-1}.K^{-1}.$$

Z tohoto vzťahu pre **teplo** dodané telesu vyplýva: $Q = c.m.\Delta t$

Merná tepelná kapacita udáva, aké množstvo tepla je potrebné dodať jednému kilogramu látky, aby sa jej teplota zvýšila o jeden stupeň Celsia (resp. o jeden Kelvin).

Merná tepelná kapacita je veličina charakteristická pre danú látku. Pre rôzne látky a rôzne skupenstvá má rôzne hodnoty. Ak platí pre merné tepelné kapacity dvoch látok A a B nerovnosť $c_A < c_B$, znamená to, že látke B je potrebné dodať väčšie teplo, aby sme ohriali obe látky o rovnaký prírastok teploty. (Preto sa merná tepelná kapacita uvádza v tabuľkách pre určitú teplotu.)

Pre všetky látky platí, že sa s klesajúcou teplotou ich merná tepelná kapacita znižuje, ale tento pokles nie je príliš veľký. Preto je možné pre daný stupeň presnosti výpočtu považovať merné tepelné kapacity homogénnych látok v určitom teplotnom intervale za konštantné.

Z bežných látok okolo nás má najväčšiu mernú tepelnú kapacitu **voda** $c \doteq 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Táto veľká hodnota mernej tepelnej kapacity predurčuje vodu na použitie ako chladiacej kvapaliny (napríklad v motoroch aut, ...) alebo ako kvapaliny, ktorú môžeme použiť na prenos energie (napríklad jadrové elektrárne, ústredné kúrenie v domoch a bytoch, ...). Relatívne malú tepelnú kapacitu majú kovy, čo uľahčuje ich tepelné spracovanie.

1.14 Výhrevnosť

Merná tepelná kapacita udáva, aké množstvo tepla je potrebné dodať jednému kilogramu látky, aby sa jej teplota zvýšila o jeden stupeň Celsia (resp. o jeden Kelvin). Z praxe ale vieme, že látky môžu teplo aj uvoľňovať. Ak spalujeme napríklad určité množstvo uhlia, dreva alebo papiera, uvoľní sa určité množstvo tepla. V súvislosti s tým sa definuje fyzikálna veličina

H , ktorá sa nazýva výhrevnosť a je definovaná vzťahom: $H = \frac{Q}{m}$; $[H] = \text{J.kg}^{-1}$

Výhrevnosť udáva, aké teplo sa uvoľní spálením jedného kilogramu látky; pre rôzne látky je rôzna.

1.15 Kalorimetrická rovnica

Uvažujme situáciu, keď do tepelne izolovanej nádoby umiestnime teplejšie teleso s hmotnosťou m_1 , ktorého teplota je t_1 a merná tepelná kapacita c_1 . Predpokladajme, že chladnejšia kvapalina má hmotnosť m_2 , teplotu t_2 , ($t_2 < t_1$) a mernú tepelnú kapacitu c_2 . Ďalej predpokladajme, že látka, z ktorej je vyrobené teleso chemicky nereaguje s kvapalinou a pri tepelnej výmene medzi telesom a kvapalinou nenastáva zmena skupenstva. Tepelná výmena bude prebiehať tak dlho, pokiaľ nenastane rovnovážny stav, pri ktorom sa teploty telesa a kvapaliny vyrovnajú na výslednú teplotu t ($t_2 < t < t_1$).

Zo zákona zachovania energie vyplýva, že úbytok vnútornej energie telesa je rovnaký ako prírastok vnútornej energie kvapaliny (celková vnútorná energia v tepelne izolovanej sústave je konštantná).

Teplo $Q_1 = m_1 c_1 (t_1 - t)$, ktoré odovzdalo teleso, sa rovná teplu $Q_2 = m_2 c_2 (t - t_2)$, ktoré prijme kvapaline v nádobe.

Platí takzvaná **kalorimetrická rovnica**:

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 c_2 (t - t_2)$$

Táto rovnica sa v jednotlivých konkrétnych prípadoch môže odlišovať. Vo všeobecnosti možno formulovať kalorimetrickú rovnicu pre izolovanú sústavu takto:

Teplo, ktoré odovzdá jedno teleso (teplejšie) druhému, je rovnaké ako teplo, ktoré druhé teleso (chladnejšie) prijme od prvého, teda

$$Q_{\text{odovzdané}_\text{jedným_telesom}} = Q_{\text{prijaté}_\text{druhým_telesom}}$$

Meranie mernej tepelnej kapacity sa vykonáva v kalorimetroch. Zmiešavací kalorimeter je tepelne izolovaná nádoba s miešačkou (kovová alebo plastová palička so slučkou na konci) a teplomerom. Ak vložíme do zmiešavacieho kalorimetra s kvapalinou teleso s vyššou teplotou ako je teplota kvapaliny, zvýši sa teplota nielen kvapaliny, ale aj nádoby, miešačky a teplomeru. Kalorimetrická rovnica bude mať preto tvar:

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 c_2 (t - t_2) + C_k (t - t_2)$$

kde $C_k (t - t_2)$ je teplo prijaté kalorimetrom a jeho príslušenstvom pri prírastku teploty $\Delta t = t - t_2$ a C_k je tepelná kapacita kalorimetra.

1.16 Prvý termodynamický zákon

V praxi existuje málo dejov, pri ktorých telesom prijíma alebo odovzdáva teplo len tepelnou výmenou alebo konaním práce. Bežné sú deje, pri ktorých dochádza k odovzdávaniu alebo prijímaniu tepla oboma spôsobmi. Napríklad, ak plyn stláčame piestom a zároveň zahrievame teplejším telesom, prijíma plyn teplo súčasne oboma spôsobmi.

Môžeme formulovať **prvý termodynamický zákon**:

Prírastok vnútornej energie sústavy ΔU sa rovná súčtu práce W vykonanej okolitými telesami pôsobiacimi na sústavu určitými silami a tepla Q odovzdaného okolitými telesami sústave, teda:

$$\Delta U = W + Q$$

Iná formulácia:

Nemožno zostrojiť perpetum mobile prvého druhu. Perpetum mobile prvého druhu je periodicky pracujúci stroj, ktorý by v priebehu jedného cyklu vykonal väčšiu prácu ako je prijatá energia z okolia.

Tepelnou výmenou a konaním práce sa môže daná sústava:

1. Prijímať energiu – práca vykonaná okolnými telesami pôsobiacimi na sústavu silami a teplo prijaté sústavou sú veličiny kladné, t.j. $W > 0$ a $Q > 0$.
2. Odovzdávať energiu – v tomto prípade považujeme prácu vykonanú sústavou a teplo dodané okolitým telesám za veličiny záporné, t.j. $W < 0$ a $Q < 0$.

Zmena vnútornej energie ΔU je kladná, aj sa vnútorná energia sústavy zväčšila, v opačnom prípade je vnútorná energia záporná.

Z prvého termodynamického zákona vyplývajú dva zvláštne prípady zmeny vnútornej energie: zmena vnútornej energie konaním práce a zmena vnútornej energie tepelnou výmenou:

1. $Q = 0$ - dostávame $\Delta U = W$, tj. zmena vnútornej energie je daná prácou vykonanou silovým pôsobením okolitých telies. Dej, pri ktorom neprebíha tepelná výmena medzi sústavou a okolím (teda vnútorná energia sa mení len konaním práce, sa nazýva **adiabatický dej**.
2. $W = 0$ - dostávame $\Delta U = Q$, tj. pri deji, pri ktorom sa mení vnútorná energia len tepelnou výmenou, sa zmena vnútornej energie sústavy rovná teplu, ktoré sústava prijala (resp. odovzdala).

Namiesto práce W , ktorú vykonajú okolité telesá pôsobiace silou na zvolenú sústavu po určitej dráhe, býva výhodnejšie uvažovať prácu W' , ktorú vykoná sústava tým, že pôsobí na okolité telesá po rovnakej dráhe silou opačného smeru. Podľa zákona akcie a reakcie platí: $W = -W'$ a prvý termodynamický zákon dostávame v tvare $\Delta U = -W' + Q$, teda $Q = \Delta U + W'$: teplo dodané sústave sa rovná súčtu prírastkov jej vnútornej energie ΔU a práci W' , ktorú sústava vykoná. Ak sústava konaním práce odovzdá energiu okolitým telesám, je $W < 0$ a $W' > 0$.

Jednoducho si je možné zapamätať prvý termodynamický zákon pomocou varenia cestovín, ryže, polievky, ... v hrnci zakrytom pokrievkou: šporák dodáva hrncu teplo Q , čím sa zvyšuje vnútorná energia obsahu hrnca (teda rastie U , to znamená $\Delta U > 0$) a zároveň para vo vnútri hrnca začína nadvihovať pokrievku – tj. para koná prácu W' . Teda platí: $Q = \Delta U + W'$.