

Fyzika

1. ročník

Mgr. Jarmila Uričová

Považská Bystrica 2011

Názov: Fyzika 1. ročník

Autor: Mgr. Jarmila Uričová

Odborný garant: Mgr. Vojtech Prosnan

Vydavateľ: Stredná odborná škola strojnícka, Považská Bystrica

OBSAH

ÚVOD	5
1 ZÁKLADNÉ POJMY	6
1.1 Obsah a význam fyziky	6
1.2 Fyzikálne veličiny a ich jednotky	6
1.3 Meranie fyzikálnych veličín a chyby merania	7
1.4 Medzinárodná sústava jednotiek SI	10
2 KINEMATIKA.....	13
2.1 Mechanický pohyb. Relatívnosť pokoja a pohybu	13
2.2 Rozdelenie mechanických pohybov	14
2.3 Rovnomerný priamočiary pohyb	15
2.4 Nerovnomerný pohyb	17
2.5 Rovnomerne zrýchlený priamočiary pohyb	18
2.6 Voľný pád	20
2.7 Skladanie pohybov a rýchlostí.....	22
2.8 Rovnomerný pohyb po kružnici	24
3 DYNAMIKA.....	27
3.1 Sila a jej účinky.....	27
3.2 Prvý Newtonov pohybový zákon – zákon zotrvačnosti	28
3.3 Druhý Newtonov pohybový zákon – zákon sily a jeho dôsledky	29
3.4 Hybnosť telesa a impulz sily.....	31
3.5 Tretí Newtonov pohybový zákon – zákon akcie a reakcie a jeho dôsledky ...	33
3.6 Šmykové trenie.....	35
3.7 Valivý odpor.....	38
3.8 Dostredivá a odstredivá sila	39
4 MECHANICKÁ PRÁCA A ENERGIA	42
4.1 Mechanická práca.....	42
4.2 Mechanická energia	43
4.3 Výkon a účinnosť	46
5 MECHANIKA TEKUTÍN	49
5.1 Základné vlastnosti tekutín	49
5.2 Tlak v tekutine	49
5.3 Pascalov zákon	51
5.4 Archimedov zákon	53
5.5 Plávanie telies.....	57
5.6 Rovnica spojitosti toku	59
6 MOLEKULOVÁ FYZIKA A TERMIKA.....	63
6.1 Kinetická teória látok	63
6.2 Teplota a jej meranie	65
6.3 Vnútorná energia sústavy, teplo	68
6.4 Prenos vnútornej energie.....	71
6.5 Kalorimeter, kalorimetrická rovnica	75

7 ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PLYNOV	77
7.1 Atmosféra Zeme a jej vrstvy	77
7.2 Atmosferická tlaková sila, atmosferický tlak.....	79
7.3 Reálny a ideálny plyn a jeho vlastnosti	82
7.4 Stavové veličiny, stavová rovnica	83
7.5 Deje s ideálnym plynom.....	84
7.6 Práca plynu, kruhový dej, druhý termodynamický zákon	89
8 ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTOK	94
8.1 Rozdelenie pevných látok	94
8.2 Deformácia pevných látok.....	95
8.3 Teplotná rozt'ažnosť pevných látok.....	98
8.4 Topenie, tuhnutie, sublimácia a desublimácia	101
9 ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI KVAPALÍN.....	104
9.1 Teplotná objemová rozt'ažnosť kvapalín.....	104
9.2 Vyparovanie, skvapalňovanie, var	105
LITERATÚRA	107

ÚVOD

Mladí priatelia,

sú zákony ľudské, ktoré vydávajú panovníci a parlamenty, zákony mravné, ktoré nám diktuje naše svedomie a zákony prírodné. Na rozdiel od zákonov ľudských, prírodné zákony sa nedajú porušovať, ani obchádzať, ale môžeme ich využívať vo svoj prospech. Najvšeobecnejšie a najzákladnejšie zákony prírody skúma práve fyzika.

Určité fyzikálne poznatky už máte zo základnej školy. Tieto si budete na strednej škole ďalej prehĺbovať a rozširovať.

Nezabúdajte, že fyzika zasahuje do každodenného života, a preto sa nevyhnete riešeniu niektorých problémov, ktoré sa pred Vami zrazu objavia. Viaceré vedomosti z fyziky by mali byť súčasťou Vášho všeobecného vzdelania. Niektoré z týchto fyzikálnych poznatkov Vám ponúkajú aj tieto učebné texty.

Želám Vám veľa úspechov pri získavaní nových poznatkov z fyziky. Pamätajte si, že vedomosti získavané v mladosti sú ako rytie do kameňa, vedomosti získavané v starobe sú ako písanie do piesku.

autorka

1 ZÁKLADNÉ POJMY

1.1 Obsah a význam fyziky

Prírodné javy na Zemi a vo vesmíre študuje niekoľko vedných odborov, ktoré zahrňame pod spoločný názov **prírodné vedy**. Patrí medzi ne fyzika, biológia, chémia, geológia a astronómia.

Názov fyzika je odvodený z gréckeho slova **fysis**, čo znamená **príroda**.

Fyzika skúma prírodné javy a deje, hľadá medzi nimi vzťahy, súvislosti, ktoré vyjadruje fyzikálnymi zákonmi.

Fyzika sa pôvodne zaoberala všetkými dejmi v prírode. Neskôr, s pribúdaním poznatkov, sa však jednotlivé vedy začali osamostatňovať. Postupne sa osamostatňovali aj **technické vedy** napr. stavebníctvo, strojárstvo, elektrotechnika, ktoré využívajú poznatky z fyziky pre svoju prax a spätne ovplyvňujú jej rozvoj.

Vývoj fyziky je tesne spätý s technikou. Bez zložitých technických zariadení by nedošlo k mnohým fyzikálnym objavom. Na druhej strane technika využíva fyzikálne poznatky čoraz viac.

Rozvoj fyziky aj ostatných vied bol podnecovaný najmä praktickými potrebami ľudí.

Fyzikálne poznatky možno rozdeliť do 6 tematických oblastí. Sú to **mechanika, molekulová fyzika a termodynamika, elektrina a magnetizmus, vlnenie a optika, fyzika atómu a vesmír.**

Úlohy 1.1

1. Uveďte príklady využitia fyzikálnych poznatkov vo vašom odbore.
2. Uveďte príklady využitia fyzikálnych poznatkov v domácnosti.
3. Vymenujte niektoré deje, ktorými sa zaoberá fyzika.
4. Uveďte aspoň 3 prírodné javy, ktoré fyzika pomohla človeku objasniť a tak vyvrátiť poveru o ich nadprirodzenom pôvode.
5. Uvážte, čím sa zaoberajú jednotlivé časti fyziky uvedené v závere článku 1.1.
6. Vyhľadajte na internete technické vedy a vyberte z nich 5, ktoré využívajú poznatky z fyziky.
7. Vyhľadajte na internete odvetvia národného hospodárstva a vyberte z nich 5, ktoré využívajú poznatky z fyziky. Uvážte, ktoré konkrétne poznatky sa v týchto odvetviach využívajú.

1.2 Fyzikálne veličiny a ich jednotky

Úlohou fyziky je štúdium fyzikálnych objektov napr. telies, polí. Fyzika objekty pozoruje, slovné opisuje a vysvetľuje ich vlastnosti. Každú vlastnosť objektu sa fyzik snaží určiť aj kvantitatívne, to znamená, stanoviť jej veľkosť.

Vlastnosti fyzikálnych objektov, ktoré môžeme merať a číselne vyjadrovať ich veľkosť, sa nazývajú fyzikálne veličiny, napr. hmotnosť, dĺžka, objem, čas, rýchlosť, zrýchlenie, sila.

Na určovanie hodnoty fyzikálnej veličiny sa spravidla používa postup, ktorý nazývame meranie.

Fyzikálne veličiny sú určené číselnou hodnotou a jednotkou, čo môžeme vyjadriť takto:

fyzikálna veličina = číselná hodnota . jednotka veličiny,

napr. sila = 50 newtonov, objem telesa = 12 litrov, dĺžka tyče = 2 metre, rýchlosť auta = 90 kilometrov za hodinu.

Na označenie veličín a jednotiek sa používajú **značky**,

napr. $F = 50 \text{ N}$, $V = 12 \text{ l}$, $l = 2 \text{ m}$, $v = 90 \text{ km.h}^{-1}$.

Číselná hodnota vyjadruje, koľkokrát je meraná fyzikálna veličina väčšia ako jednotka, t. j. vyjadruje kvantitu. Jednotka predstavuje druh veličiny, t. j. vyjadruje kvalitu.

Fyzikálne veličiny delíme na skalárne a vektorové.

1. Skalárne fyzikálne veličiny (skaláry)

Sú určené číselnou hodnotou (veľkosťou) a fyzikálnou jednotkou, napr. čas 3 s, dĺžka 2 m, hmotnosť 12 kg, teplota 27°C.

2. Vektorové fyzikálne veličiny

Sú určené číselnou hodnotou, fyzikálnou jednotkou a smerom, napr. sila, rýchlosť, zrýchlenie, hybnosť. **Znázorňujú sa orientovanou úsečkou. Veľkosť fyzikálnej veličiny určuje dĺžka úsečky a smer je vyznačený šípkou.**

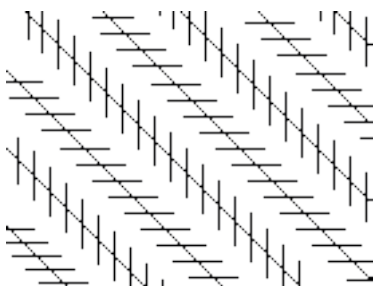
Ak sa o fyzikálnej veličine v texte píše ako o vektore, je zvykom vyznačovať ju **tučným písmom** napr. F , v , a , p . V ručne písaných textoch, napr. pri zápisoch na školskej tabuli alebo v poznámkovom zošite, vyznačujeme vektorovosť veličiny pomocou **vodorovnej šípky nad značkou veličiny**, napr. $\vec{F}$, $\vec{v}$, $\vec{a}$, $\vec{p}$.

Úlohy 1.2

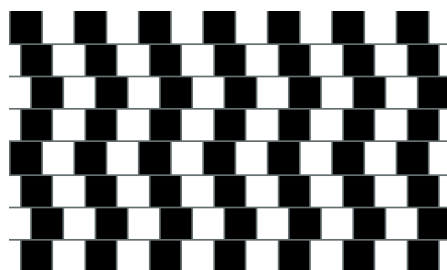
1. Vyberte z uvedených pojmov tie, ktoré sú fyzikálnymi veličinami: hmotný bod, dráha, rýchlosť, pevná látka, čas, objem, topenie, sila, atóm, hustota, trajektória.
2. Vyberte z fyzikálnych veličín tie, ktoré sú skalárne fyzikálne veličiny: sila, obsah, objem, rýchlosť, dĺžka, hmotnosť, teplota, čas, zrýchlenie, hustota.
3. Vyberte z úlohy 2 tie fyzikálne veličiny, ktoré sú vektorové fyzikálne veličiny.

1.3 Meranie fyzikálnych veličín a chyby merania

Často sa uspokojujeme s odhadmi fyzikálnych veličín, napr. dĺžky, hmotnosti, času, objemu, rýchlosti. Pritom sa spoliehame na svoje zmysly, využívame svoje skúsenosti. Na obrázkoch 1.3-1, 1.3-2 vidíte, že zmysly, napr. oči, nás môžu niekedy klamať, a preto zmysly nie sú také dokonalé, aby sme sa mohli spoliehať len na ne a na našu skúsenosť.



Obr. 1.3-1



Obr. 1.3-2

Optické klamy

Odmerajte vzdialenosti medzi priamkami. Sú priamky rovnobežné alebo rôznobežné?

Niektoré veličiny vôbec nemôžeme pozorovať svojimi zmyslami, napr. odpor vodiča, elektrické napätie, preto ich musíme merať alebo vypočítať z iných nameraných veličín.

Merať fyzikálnu veličinu znamená porovnávať jej veľkosť s veľkosťou veličiny rovnakého druhu, ktorú zvolíme za jednotku.

Tak napr. dĺžku tyče môžeme porovnávať s dĺžkou 1 meter, hmotnosť telesa s hmotnosťou 1 kilogram, objem kvapaliny s objemom 1 liter.

Meraním zistíme veľkosť fyzikálnych veličín.

Vo všeobecnosti vo fyzike platí, že každé fyzikálne meranie má splniť dve úlohy:

- určiť veľkosť fyzikálnej veličiny,
- určiť presnosť, s akou sa podarilo meranie uskutočniť.

Meranie fyzikálnych veličín môže byť priame a nepriame.

1. Priame meranie fyzikálnej veličiny

Hodnotu veličiny zistíme na meracom prístroji napr. tiaž telesa na silomeri, rýchlosť pomocou tachometra, hmotnosť na váhach, objem kvapaliny v odmernom valci, priemer telesa posuvným meradlom.

2. Nepriame meranie fyzikálnej veličiny

Hodnotu veličiny vypočítame zo vzťahu, ktorým veličina súvisí s inými, priamo nameranými veličinami napr. hustota $\rho = \frac{m}{V}$, zrýchlenie rovnomerne

zrýchleného pohybu $a = \sqrt{\frac{2s}{t^2}}$, hydrostatický tlak $p_h = h \rho g$.

Žiadne meranie nie je celkom presné, aj keď sa o to snažíme. Pri každom meraní sa môžeme o určitú hodnotu pomýliť – urobiť chybu.

Chyba merania je každá odchýlka odmeranej hodnoty veličiny od jej skutočnej hodnoty.

Chyby merania sú nevyhnutným dôsledkom vplyvov prostredia, nedokonalosti meracej metódy, nepresnosti meracích prístrojov, nedokonalosti našich zmyslov.

Chyby merania delíme na náhodné a sústavné.

1. Náhodné chyby

Pri meraniach sa vyskytujú nepravidelne.

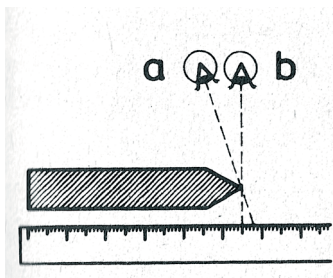
➤ **Majú svoj pôvod v pozorovateľovi** – napr. pri meraní dĺžky nepozeralme na stupnicu meradla vždy kolmo (obr. 1.3-3), meradlo neprikladáme rovnobežne s meranou dĺžkou (obr. 1.3-4), nesprávne priložíme začiatok meradla (obr. 1.3-5).

2. Sústavné chyby

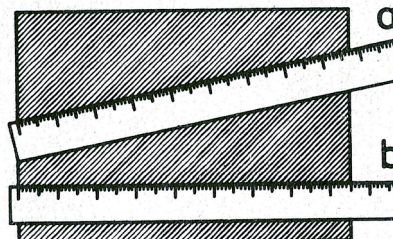
Pri meraniach sa vyskytujú pravidelne.

➤ **Vznikajú nedokonalosťou meracej metódy** – chybu môžeme zmenšiť použitím vhodnejšej, modernejšej metódy.

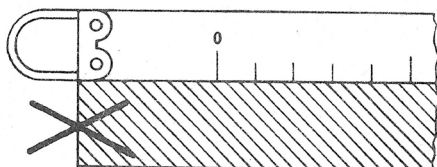
➤ **Vznikajú nepresnosťou meracieho prístroja** – napr. pri meraní teploty kvapalinovým teplomerom ukazuje teplomer stabilne o 1°C navyše. Chybu môžeme zmenšiť porovnaním s dokonalejšími prístrojmi alebo zakúpením nového presnejšieho meracieho prístroja.



Obr. 1.3-3
Na stupnicu pozeráme kolmo



Obr. 1.3-4
Meradlo prikladáme rovnobežne s meranou dĺžkou



Obr. 1.3-5
Meradlo k meranému predmetu prikladáme od nuly

Chyby môžeme zmenšiť zvýšením pozornosti pri meraní, praxou a cvikom.

Vplyv chýb na výsledok merania môžeme zmenšiť opakovaním merania.

Najpravdepodobnejšiu hodnotu meranej veličiny určíme ako aritmetický priemer z nameraných hodnôt, t.j.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$
, kde $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ sú namerané hodnoty fyzikálnej veličiny a n je počet hodnôt.

Presnosť merania vyjadrujeme pomocou absolútnej a relatívnej chyby merania.

Absolútnu chybu merania vypočítame zo vzťahu

$$\Delta x = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2}{n(n-1)}}$$

Absolútna chyba merania (tolerancia, odchýlka) sa udáva v jednotkách meranej veličiny.

Výsledok merania potom zapíšeme v tvare

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad \text{napr. } d = (4,157 \pm 0,007) \text{ mm}.$$

Na posúdenie presnosti merania má väčší význam relatívna chyba merania.

Relatívnu chybu merania vyjadrujeme v percentách.

Relatívnu chybu merania určíme podielom absolútnej chyby merania a aritmetického priemeru meranej fyzikálnej veličiny podľa vzťahu

$$\partial x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} 100\%$$

Meranie je tým presnejšie, čím menšia je relatívna chyba merania.

Úlohy 1.3

1. Uveďte príklady merania aspoň 3 fyzikálnych veličín priamou metódou.
2. Navrhnite postup merania hustoty látky a zrýchlenia telesa pri rovnomernej zrýchlenom pohybe nepriamou metódou.
3. Uvážte, aké chyby merania sa môžu vyskytnúť pri nepriamom meraní hustoty.

4. Pomocou posuvného meradla 5-krát odmerajte hrúbku ľubovoľného drôtu a vypočítajte aritmetický priemer z nameraných hodnôt.

1.4 Medzinárodná sústava jednotiek SI

Fyzikálne veličiny sa dajú vyjadrovať v rôznych jednotkách. V rozličných štátoch sa používali najrozmanitejšie jednotky. Ich vzájomné prevody boli veľmi ťažké, pretože jednotky nepatrili do desiatkovej sústavy.

Jednotkou dĺžky bola, napr. siaha, ktorá sa delila na 6 stôp a stopa mala 12 palcov. Piad' zase bola vzdialenosť medzi koncami palca a prostredného prsta ruky pri ich maximálnom roztvorení. Stopy, palce, piade u rôznych ľudí mali rôzne dĺžky. Dokonca niektoré jednotky mali rovnaký názov, ale ich veľkosti boli rozdielne, napr. francúzska námorná míľa je o 3 m kratšia ako anglická.

Medzinárodný styk v obchode, priemysle a vo vede si vynútil zavedenie jednotnej Medzinárodnej sústavy jednotiek, označovanej SI, podľa francúzskeho názvu Systeme International d'Unités (čítaj systém enternasjonal dynité). Sústava SI u nás platí od roku 1963.

Medzinárodná sústava jednotiek SI priraduje každej fyzikálnej veličine jednotku a umožňuje prevody jednotiek medzi sebou.

Sústava SI obsahuje základné, doplnkové, odvodené jednotky, násobky a diely jednotiek. Do sústavy SI nepatria vedľajšie jednotky.

1. Základné jednotky sústavy SI

Je ich sedem. Patria medzi najčastejšie používané jednotky.

Tabuľka 1.4-1

Základné jednotky sústavy SI			
jednotka		veličina	
názov	značka	názov	značka
kilogram	kg	hmotnosť	m
meter	m	dĺžka	l
sekunda	s	čas	t
ampér	A	elektrický prúd	I
mól	mol	látkové množstvo	n
kelvin	K	termodynamická teplota	T
kandela	cd	svietivosť	I

2. Doplnkové jednotky sústavy SI

Sú dve.

Tabuľka 1.4-2

Doplnkové jednotky sústavy SI			
jednotka		veličina	
názov	značka	názov	značka
radián	rad	rovinný uhol	λ, β, γ
steradián	sr	priestorový uhol	ω

3. Odvođené jednotky sústavy SI

Tvorí sa kombináciou základných jednotiek. Kvôli dĺžke a zložitosti sa niektoré z nich označujú iným názvom, napr. newton, ohm, pascal, volt, watt. Medzi odvodené jednotky patrí, napr. jednotka rýchlosti $m \cdot s^{-1}$ (využijeme vzťah $[v] = \frac{[s]}{[t]} = m \cdot s^{-1}$),

jednotka hustoty $kg \cdot m^{-3}$ (využijeme vzťah $[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{kg}{m^3} = kg \cdot m^{-3}$), jednotka sily $N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$ (využijeme vzťah $[F] = [m] \cdot [a] = kg \cdot m \cdot s^{-2}$), jednotka tlaku $Pa = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$ (využijeme vzťah $[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{m^2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$).

4. Predpony násobkov a dielov jednotiek SI

Slúžia na vyjadrenie násobkov alebo častí základných a odvodených jednotiek.

Tabuľka 1.4-3

Predpony násobkov jednotiek SI				
Názov predpony	kilo	mega	giga	tera
Značka	k	M	G	T
Znamená násobok	10^3	10^6	10^9	10^{12}
Slovne	tisíc	milión	miliarda	bilión

Tabuľka 1.4-4

Predpony dielov jednotiek SI				
Názov predpony	mili	mikro	nano	piko
Značka	m	μ	n	p
Znamená násobok	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
Slovne	tisícina	milióntina	miliardtina	biliónina

Tabuľka 1.4-5

Niektoré často používané predpony mimo sústavy SI				
Názov predpony	hekto	deka	deci	centi
Značka	h	da	d	c
Znamená násobok	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}
Slovne	sto	desať	desatina	stotina

Okrem jednotiek SI je povolené používať aj niekoľko jednotiek, ktoré do SI nepatria, ale v praxi sa vžili natoľko, že ich zatiaľ nemožno úplne odstrániť. Nazývajú sa **vedľajšie jednotky**.

Sú to napr. pre čas minúta, hodina, deň, rok, pre objem liter, pre hmotnosť tona, pre uhol uhlový stupeň, uhlová minúta a uhlová sekunda, pre teplotu Celziov stupeň ($^{\circ}\text{C}$). Pri výpočtoch je potrebné prepočítať tieto jednotky do sústavy SI.

Úlohy 1.4

1. K daným fyzikálnym veličinám uveďte fyzikálne jednotky (ľubovoľné z nich vyjadrite v základných jednotkách sústavy SI): hmotnosť, čas, dĺžka, elektrický prúd, svietivosť, látkové množstvo, termodynamická teplota, objem, obsah, dráha, rýchlosť, zrýchlenie, rovinný uhol, sila, práca, výkon.
2. K daným fyzikálnym jednotkám uveďte fyzikálne veličiny: tona, hodina, volt, svetelný rok, steradián, Celziov stupeň, metrický cent, liter, kilometer za hodinu, joule, ohm.
3. Ktorá z uvedených fyzikálnych veličín nepatrí medzi základné jednotky sústavy SI: elektrický prúd, práca, svietivosť a termodynamická teplota?
4. Ktoré z uvedených fyzikálnych veličín patrí medzi základné jednotky sústavy SI: elektrický odpor, výkon, dĺžka, objem a látkové množstvo?
5. Ktorá z uvedených fyzikálnych jednotiek je jednotka vedľajšia a ktorá odvodená: mol, radián, watt a liter?
6. Premeňte na jednotku uvedenú v zátvorke:
 - a) 100g(kg), 3,5kg(dg), 8500kg(t), 140t(q), 0,08q(kg), 14dg(g)
 - b) 300m(km), 0,08m(cm), 3,45m(dm), 185dm(mm), 3,84cm(dm), 0,6km(m)
 - c) 42dm²(m²), 864,5 cm²(mm²), 24ha(m²), 15á(m²), 25 000 mm²(m²), 0,84 m²(cm²)
 - d) 1,25m³(cm³), 0,008 m³(mm³), 0,24 dm³(cm³), 15hl(l), 872 m³(l), 12,5hl(m³)
 - e) 15min(h), 0,75h(min), 1 500s(min), 270min(h), 3,15h(h a min), 1,4h(s)
7. Zapíšte s použitím predpôň:

a) 7 000 m	e) 0,1 l	i) 88 000 000 000 Pa
b) 500 l	f) 72 000 000 N	j) 0,000 124 555 m
c) 0,09 m	g) 0,000,125 m	k) 0,000 000 007 880 m
d) 0,006 g	h) 10 g	l) 3 000 000 000 000 N
8. Vyjadrite jednotkami bez predpôň:

a) 5,97 kg	e) 127 dl	i) 74 000 μm
b) 772 cm	f) 0,314 MN	j) 12 000 pm
c) 200 mm	g) 54 TPa	k) 544 hl
d) 14 dg	h) 200 cg	l) 385,3 GN
9. Vyhľadajte na internete grécku abecedu. Zopakujte si čítanie a písanie malých písmen gréckej abecedy.
10. Vyhľadajte na internete definície aspoň 3 základných jednotiek sústavy SI.

2 KINEMATIKA

2.1 Mechanický pohyb. Relatívnosť pokoja a pohybu

Časť fyziky, ktorá skúma pokoj a pohyb telies, hľadá príčiny a zákonitosti mechanického pohybu, sa nazýva **mechanika**.

Mechanika sa rozdeľuje na kinematiku a dynamiku.

Kinematika sa zaoberá pohybom telies v priestore a čase, pričom neskúma príčiny vzniku pohybu.

Dynamika je časť fyziky, ktorá skúma príčiny pokoja alebo pohybu telies.



Obr. 2.1-1



Mechanickým pohybom vo fyzike označujeme taký pohyb, pri ktorom **dochádza k zmene polohy telesa vzhľadom k inému telesu** napr. idúce auto alebo chodec sa pohybujú vzhľadom na vozovku (obr. 2.1-1).

Keď pozorujeme telesá okolo seba, vidíme, že niektoré sú v pokoji, iné sa pohybujú. Ako príklady telies nachádzajúcich sa v pokoji môžeme uviesť stromy, budovy, stojace autá, dopravné značky na okraji vozovky. Tieto telesá nemenia svoju polohu vzhľadom na ostatné telesá, ktoré sú v ich okolí.

Príkladmi telies nachádzajúcich sa v pohybe sú plávajúca loď, letiace lietadlo, rozbiehajúce sa auto, padajúce kamene, ležúci hmyz.

O tom, či je teleso v pokoji alebo v pohybe, môžeme rozhodnúť len vzhľadom na iné telesá, napr. dom je v pokoji vzhľadom na povrch Zeme, idúci vlak je v pohybe vzhľadom na koľajnice.

Sústavu telies, na ktorú vzťahujeme pokoj alebo pohyb skúmaného telesa, nazývame vzťažná sústava. Najčastejšie za vzťažnú sústavu volíme zemský povrch.

Pokoj a pohyb telesa je relatívny. To znamená, že **opis pohybu alebo pokoja telesa závisí od voľby vzťažnej sústavy.**

Napr. predstavte si, že sedíte na sedadle v idúcom autobuse. Vzhľadom na podlahu autobusu ste v pokoji, ale vzhľadom na vozovku ste v pohybe. Učebnica, ktorá leží na lavici v triede, je vzhľadom na lavicu, podlahu, iné lavice v pokoji, ale vzhľadom na Slnko je v pohybe, lebo Zem sa otáča okolo svojej osi a ešte aj obieha okolo Slnka.

Žiadne teleso nemôže byť v pokoji vo všetkých vzťažných sústavách, to znamená, nemôže byť v absolútnom pokoji. **Absolútny pokoj neexistuje.**

Všetky telesá vo vesmíre sú v neustálom pohybe. Pohyb je základnou a neoddeliteľnou vlastnosťou hmoty.

Úvahy o pohybe telesa sa značne zjednodušia, ak nahradíme teleso hmotným bodom.

Hmotný bod je zjednodušený model telesa, ktorý používame pri opise jeho pohybu.

Teleso môžeme hmotným bodom nahradiť vtedy, ak rozmery a tvar telesa nemajú vplyv na riešenie danej úlohy alebo sú zanedbateľné vzhľadom na dĺžku dráhy. Napr. rozmery a tvar lietadla sú zanedbateľné vzhľadom na dĺžku dráhy letu, ale nemôžu byť zanedbateľné pri skúmaní obtekania telies tekutinou (kvapalinou a plynom).

Úlohy 2.1

1. Vysvetlite na príklade, prečo je pokoj a pohyb telesa relatívny?
2. Aké pohyby koná teleso, ktoré je v pokoji vzhľadom na povrch Zeme?
3. Kedy môžeme považovať auto, lietadlo za hmotný bod a kedy nie?

2.2 Rozdelenie mechanických pohybov

Pri pohybe hmotného bodu vzhľadom na zvolenú vzťažnú sústavu sa menia jeho súradnice v závislosti od času. Hmotný bod postupne prechádza rôznymi polohami.

Geometrická čiara, ktorú hmotný bod pri pohybe opisuje, je trajektória pohybu.

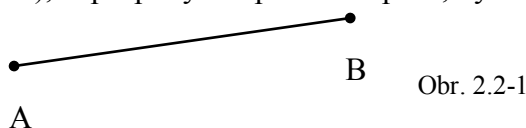
Dĺžka trajektórie sa nazýva dráha. Označuje sa s a jej jednotkou je meter.

Mechanické pohyby delíme podľa rôznych kritérií:

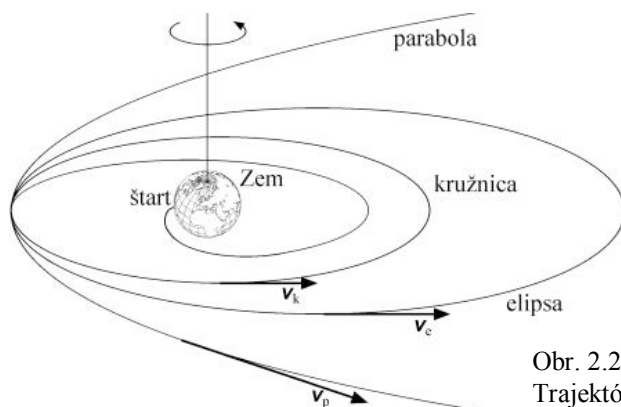
Podľa tvaru trajektórie pohyby delíme na priamočiare a krivočiare.

1. Priamočiare pohyby

Trajektóriou je priamka (obr. 2.2-1), napr. pohyb dopravného pásu, výtahu, auta na priamom úseku diaľnice.



2. Krivočiare pohyby



Trajektóriou je krivka (obr. 2.2-2) a to **uzavretá krivka** napr. kružnica, elipsa – trajektória družice v gravitačnom poli Zeme alebo **otvorená krivka** napr. parabola – trajektória družice vzdľahujúcej sa od Zeme parabolickou (únikovou) rýchlosťou.

Obr. 2.2-2
Trajektórie umelých družíc Zeme pri rôznych rýchlostiach

Podľa veľkosti rýchlosti pohyby delíme na rovnomerné a nerovnomerné.

1. Rovnomerné pohyby

Veľkosť rýchlosti sa pri rovnomernom pohybe s časom nemení, ale môže sa meniť smer vektora rýchlosti.

Príkladom rovnomerného pohybu môže byť rovnomerný priamočiary pohyb, pri ktorom sa nemení veľkosť vektora rýchlosti a ani jeho smer napr. pohyb auta na priamom úseku cesty.

Iným príkladom je rovnomerný pohyb po kružnici, pri ktorom sa síce nemení veľkosť vektora rýchlosti, ale mení sa jeho smer, napr. pohyb bodov otáčajúceho sa hriadeľa, brúsneho kotúča.

2. Nerovnomerné pohyby

Veľkosť rýchlosti sa pri nerovnomernom pohybe s časom mení. V závislosti od veľkosti zrýchlenia sa môže jednať o **zrýchlený pohyb**, napr. pohyb rozbiehajúceho sa auta alebo **spomalený pohyb** napr. pohyb brzdiaceho auta.

Pohyb telesa môže byť posuvný a otáčavý.

1. Posuvný pohyb



Obr. 2.2-3



Pri posuvnom pohybe sa teleso pohybuje tak, že všetky priamky, pevne spojené s telesom, zostávajú rovnobežné a všetky body telesa opisujú rovnaké trajektórie, napr. pohyb kabíny výťahu, pohyb lyžiara na svahu (obr. 2.2-3).

2. Otáčavý (rotačný) pohyb

Pri otáčavom pohybe sa teleso otáča (rotuje) okolo osi. Trajektórie jednotlivých bodov telesa sú sústredné kružnice so stredom na osi otáčania. Kružnice majú rôzne polomery, preto body telesa opisujú rôzne dráhy, napr. pohyb brúsneho kotúča, vrtáka, kolesa na aute, ventilátora.



V praxi sa často stretávame s pohybom telies, ktoré konajú posuvný a súčasne aj otáčavý pohyb, napr. koleso pohybujúceho sa auta (obr. 2.2-4), motocykla.

Obr. 2.2-4

Úlohy 2.2

1. Čo je dráha a čo je trajektória? Je rozdiel medzi týmito pojmami?
2. Uveďte príklady z vášho odboru na posuvný a otáčavý pohyb.

2.3 Rovnomerný priamočiary pohyb

Rovnomerný priamočiary pohyb je najjednoduchší priamočiary pohyb. **Je to pohyb po priamke stálou rýchlosťou ($v = \text{konšt.}$).**

Teleso sa pohybuje rovnomerne, ak v ľubovoľných, ale rovnako veľkých časových intervaloch prejde rovnaké dráhy, napr. auto idúce stálou rýchlosťou na priamom úseku cesty, pohyb nástrojov (posuv noža pri sústružení).

Veľkosť rýchlosti rovnomerného priamočiareho pohybu je daná vzťahom

$$v = \frac{s}{t}, \text{ kde } s \text{ je dráha, ktorú prejde hmotný bod za čas } t. \text{ Jednotkou rýchlosti je } m \cdot s^{-1},$$

lebo $[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{m}{s} = m \cdot s^{-1}.$

Grafom závislosti rýchlosti od času pri rovnomernom priamočiarom pohybe je časť priamky, ktorá je rovnobežná s časovou osou - s osou t (obr. 2.3-1). Jedná sa o konštantnú funkciu, lebo pri rovnomernom pohybe je $v = \text{konšt.}$

Dráhu rovnomerného priamočiareho pohybu určíme zo vzťahu

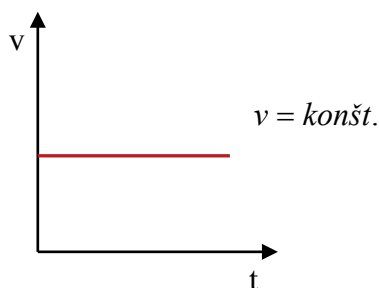
$$s = v t \text{ a čas } t = \frac{s}{v}. \text{ Jednotkou dráhy je meter, lebo } [s] = [v] \cdot [t] = m \cdot s^{-1} \cdot s = m.$$

Jednotkou času je sekunda, pretože $[t] = \frac{[s]}{[v]} = \frac{m}{m \cdot s^{-1}} = s.$

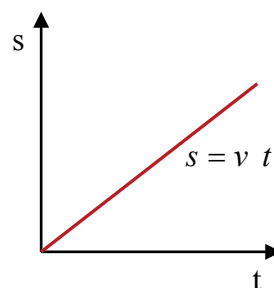
Grafom závislosti dráhy od času pri rovnomernom priamočiarom pohybe je časť priamky rôznobežnej s časovou osou - s osou t (obr. 2.3-2). Jedná sa o lineárnu funkciu, konkrétne o priamu úmernosť. Konštantou úmernosti je rýchlosť v .

Vzťah medzi dráhou a časom je pri konštantnej rýchlosti slovne vyjadrený takto:

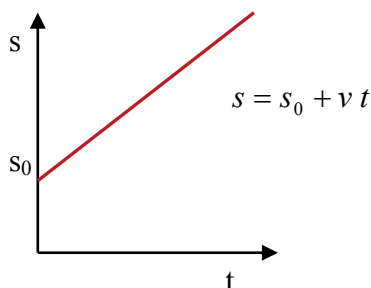
Dráha rovnomerného pohybu závisí priamoúmerne od času.



Obr. 2.3-1 Graf závislosti rýchlosti od času pri rovnomernom priamočiarom pohybe



Obr. 2.3-2 Graf závislosti dráhy od času pri rovnomernom priamočiarom pohybe



Obr. 2.3-3 Graf závislosti dráhy od času pri rovnomernom priamočiarom pohybe so začiatkovou dráhou s_0

Vzťah $s = v t$ platí za predpokladu, že v čase $t = 0$ je dráha hmotného bodu $s_0 = 0$. Ak v čase $t = 0$ dráha $s_0 \neq 0$ (teleso už predtým prešlo určitú tzv. začiatkovú dráhu), platí pre dráhu rovnomerného priamočiareho pohybu vzťah

$$s = s_0 + v t.$$

Graf závislosti dráhy od času pri rovnomernom priamočiarom pohybe so začiatkovou dráhou s_0 je na obr. 2.3-3. Začiatkový bod grafu sa na

zvislej osi (osi s) posúva do bodu $[0, s_0]$.

Úlohy 2.3

1. Premeňte na m.s^{-1} : 90 km.h^{-1} , 540 km.h^{-1} , $10,8 \text{ km.h}^{-1}$, 162 km.h^{-1} .
2. Premeňte na km.h^{-1} : 15 m.s^{-1} , $16,5 \text{ m.s}^{-1}$, 100 m.s^{-1} , $5,3 \text{ m.s}^{-1}$.
3. V správach o počasi informovali, že rýchlosť vetra bude v priebehu dňa nadobúdať v nárazoch 41 m.s^{-1} . Bude to mierny vietor alebo sa máme pripraviť na víchricu? Pomôžte si vyjadrením rýchlosti v jednotkách km.h^{-1} .
4. Za aký čas (vyjadrite v minútach) prejde vlak tunelom, keď sa pohybuje rýchlosťou 60 km.h^{-1} ? Dĺžka vlaku je 150 m a tunela $1,5 \text{ km}$. [1,65 min]
5. Vypočítajte vzdialenosť Mesiaca od Zeme v kilometroch, ak laserový lúč vyslaný zo Zeme na Mesiac sa po odraze vrátil späť za $2,56 \text{ s}$. Rýchlosť svetla vo vákuu je $300\,000 \text{ km.s}^{-1}$. [384 000 km]
6. Vypočítajte rýchlosť reaktívneho lietadla v m.s^{-1} , ak letelo 150 minút a preletelo dráhu $3\,060 \text{ km}$. [340 m.s^{-1}]
7. Auto a cyklista sa pohybujú proti sebe rovnomerným priamočiarym pohybom. Ich počiatočná vzdialenosť AB je 300 m . Veľkosť rýchlosti auta je 36 km.h^{-1} , cyklistu 18 km.h^{-1} . Určte čas a miesto ich stretnutia. [20 s, 200 m od A]
8. Syn išiel na chatu autom o 15 minút neskôr ako jeho otec. Syn išiel priemernou rýchlosťou 90 km.h^{-1} , jeho otec rýchlosťou 80 km.h^{-1} . Ako ďaleko je chata, ak prídu obidvaja súčasne? [180 km]

2.4 Nerovnomerný pohyb

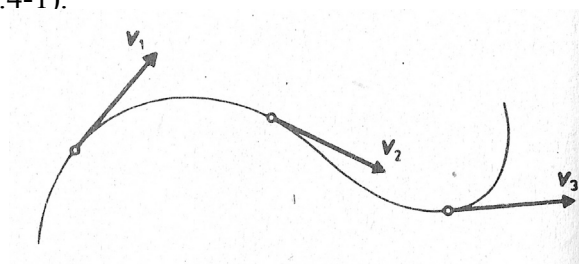
Rýchlosť väčšiny telies sa mení, ich pohyb je nerovnomerný.

Pohyb niektorých telies, napr. vozidiel, je v istých úsekoch zrýchlený, v iných rovnomerný a v ďalších spomalený. Každý kto cestoval autom alebo vlakom vie, že pri prekonávaní väčších vzdialeností sa auto a vlak nepohybujú stále rovnakou rýchlosťou. Na ceste sú úseky, na ktorých sa môžu pohybovať rýchlejšie a na iných úsekoch je rýchlosť obmedzená dopravnou značkou.

Podobne je to aj so šprintérom. Ak sa šprintér pohyboval priemernou rýchlosťou napr. 10 m.s^{-1} , nepohyboval sa touto rýchlosťou od začiatku. Najprv bol pri štarte v pokoji a až po rozbehu sa mu podarilo dosiahnuť maximálnu rýchlosť, ktorá bola možno aj o niečo väčšia ako 10 m.s^{-1} .

Ak zvolíme veľmi malý časový interval, tak teleso prejde za tento časový interval veľmi malú dráhu, na ktorej sa rýchlosť príliš nemení. Táto rýchlosť sa označuje ako okamžitá rýchlosť. **Okamžitá rýchlosť je rýchlosť, ktorú má hmotný bod v danom okamihu na určitom mieste trajektórie.** Okamžitú rýchlosť, napr. vozidiel, môžeme odčítať na tachometri.

Vektor okamžitej rýchlosti má vždy smer dotýčnice k trajektórii pohybu v danom mieste (obr. 2.4-1).



Obr. 2.4.-1

Pretože rýchlosť telesa pri nerovnomernom pohybe sa mení, zavádzame pojem **priemerná rýchlosť nerovnomerného pohybu**. Vypočítame ju zo vzťahu $v_p = \frac{s}{t}$,

kde s je celková dráha, ktorú teleso prešlo za určitý čas t .

Pre dve rôzne rýchlosti v_1, v_2 a prejdene dráhy s_1, s_2 platí vzťah

$$v_p = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{s_1 + s_2}{\frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}}.$$

Priemerná rýchlosť nerovnomerného pohybu je rýchlosť, pri ktorej by teleso prešlo určitú dráhu za rovnaký čas, keby sa pohybovalo rovnomerne.

Nerovnomerný pohyb sa opisuje veľmi ťažko, preto ho niekedy nahrádzame rovnomerným pohybom.

Úlohy 2.4

1. Cyklista išiel do kopca rýchlosťou 5 km.h^{-1} , dolu kopcom rýchlosťou 20 km.h^{-1} . Aká je priemerná rýchlosť cyklistu na celkovej dráhe nahor a nadoľ, ak dĺžka dráhy pri stúpaní sa rovná dĺžke dráhy pri zostupe? [8 km.h^{-1}]
2. Automobil prešiel dráhu 15 km rýchlosťou 75 km.h^{-1} , dráhu 20 km rýchlosťou 100 km.h^{-1} . Aká bola jeho priemerná rýchlosť? [$87,5 \text{ km.h}^{-1}$]
3. Prvú tretinu dráhy prešiel vlak rýchlosťou 20 km.h^{-1} , druhú tretinu rýchlosťou 30 km.h^{-1} a poslednú rýchlosťou 80 km.h^{-1} . Aká bola jeho priemerná rýchlosť? [$31,3 \text{ km.h}^{-1}$]

2.5 Rovnomerne zrýchlený priamočiary pohyb

Rovnomerne zrýchlený priamočiary pohyb je špeciálnym prípadom nerovnomerného priamočiareho pohybu.

Rovnomerne zrýchlený priamočiary pohyb je pohyb po priamke so stálym zrýchlením $a = \text{konšt.}$

Teleso sa pohybuje rovnomerne zrýchlene, ak v ľubovoľných, ale rovnako veľkých časových intervaloch, zväčší veľkosť svojej rýchlosti o rovnakú hodnotu napr. rozbiehajúce sa auto, voľný pád.

Veľkosť zrýchlenia rovnomerne zrýchleného pohybu je daná vzťahom

$$a = \frac{v}{t} \text{ alebo všeobecnejšie } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ kde } \Delta v \text{ je zmena rýchlosti za časový interval } \Delta t.$$

Zrýchlenie je zmena rýchlosti za určitý čas. Jednotkou zrýchlenia je $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, pretože

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{s}} = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

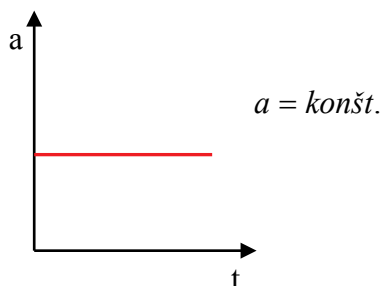
Zrýchlenie je vektorová veličina, má veľkosť, smer a fyzikálnu jednotku.

Grafom závislosti zrýchlenia od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe je časť priamky, ktorá je rovnobežná s časovou osou - s osou t (obr. 2.5-1). Jedná sa o konštantnú funkciu, lebo pri rovnomerne zrýchlenom pohybe je $a = \text{konšt.}$

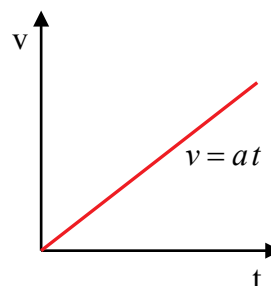
Ak hmotný bod vykonáva rovnomerne zrýchlený pohyb s nulovou začiatočnou rýchlosťou $v_0 = 0$, platia pre veľkosť jeho rýchlosti a pre dráhu vzťahy

$$v = a t, \quad s = \frac{1}{2} a t^2.$$

Grafom závislosti rýchlosti od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe je časť priamky rôznobežnej s časovou osou - s osou t (obr. 2.5-2). Jedná sa o lineárnu funkciu, konkrétne o priamu úmernosť. Konštantou úmernosti je zrýchlenie a .



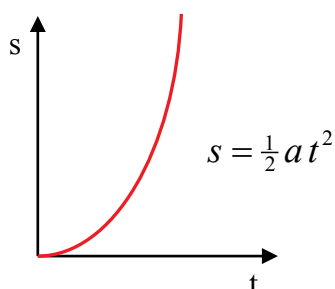
Obr. 2.5-1 Graf závislosti zrýchlenia od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe



Obr. 2.5-2 Graf závislosti rýchlosti od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe

Vzťah medzi rýchlosťou a časom je pri konštantnom zrýchlení slovne vyjadrený takto:

Rýchlosť rovnomerne zrýchleného pohybu závisí priamo úmerne od času.



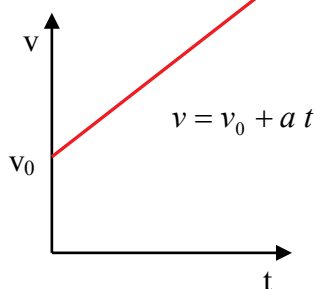
Obr. 2.5-3 Graf závislosti dráhy od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe

Grafom závislosti dráhy od času pri rovnomerne zrýchlenom pohybe je časť paraboly (obr. 2.5-3). Jedná sa o kvadratickú funkciu.

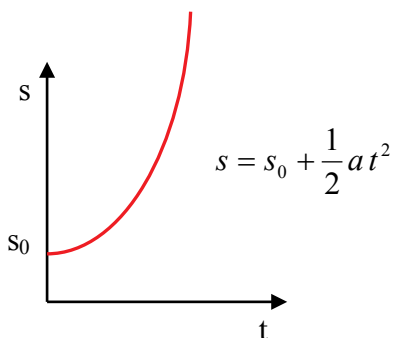
Ak začiatočná rýchlosť hmotného bodu nie je nulová $v_0 \neq 0$ napr. auto išlo určitou konštantnou rýchlosťou a potom začalo zrýchľovať, platia vzťahy

$$v = v_0 + a t, \quad s = s_0 + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{alebo} \quad s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2.$$

Grafy závislosti rýchlosti od času (obr. 2.5-4) a dráhy od času rovnomerne zrýchleného pohybu (obr. 2.5-5) sú posunuté od začiatku súradnej sústavy na zvislej osi (osi y) o hodnoty v_0 a $s_0 = v_0 t$.



Obr. 2.5-4 Graf závislosti rýchlosti od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe so začiatkovou rýchlosťou v_0



Obr. 2.5-5 Graf závislosti dráhy od času pri rovnomerne zrýchlenom priamočiarom pohybe so začiatkovou dráhou s_0

Pri rovnomerne spomalenom pohybe sa veľkosť rýchlosti rovnomerne s časom znižuje, zrýchlenie má opačný smer ako rýchlosť, napr. pristávajúce lietadlo, brzdiace auto. V tomto prípade sa vo vzťahoch na výpočet veľkosti rýchlosti a dráhy rovnomerne spomaleného pohybu nachádza znamienko mínus. Platia vzťahy

$$v = v_0 - at, \quad s = s_0 - \frac{1}{2} at^2 \quad \text{alebo} \quad s = v_0 t - \frac{1}{2} at^2.$$

Úlohy 2.5

1. Strela prenikla do dreva do hĺbky 15 cm. Aká bola jej rýchlosť pri dopade na povrch dreva, ak pohyb strely v dreve trval 0,001 s a ak predpokladáme, že pohyb strely v dreve bol rovnomerne spomalený? [300 m.s⁻¹]
2. Vlak, ktorý má rýchlosť 72 km.h⁻¹, možno použitím bŕzd zastaviť za 2 minúty. V akej vzdialenosti od stanice začne rušňovodič brzdiť, aby sa vlak v stanici zastavil? [1 200 m.s⁻¹]
3. Automobil, ktorý sa rozbiehal rovnomerne zrýchleným pohybom, dosiahol rýchlosť 100 km.h⁻¹ za 6 s. Určte dráhu, ktorú automobil prešiel. [83 m]
4. Autobus pohybujúci sa rýchlosťou 43,2 km.h⁻¹ zväčšuje svoju rýchlosť počas 10 s so stálym zrýchlením 1,8 m.s⁻². Akú dráhu prejde za tento čas? [210 m]
5. Vozidlo má začiatkovú rýchlosť 6 m.s⁻¹ a za prvých 5 s prejde dráhu 40 m. Aké je jeho zrýchlenie? [0,8 m.s⁻²]

2.6 Voľný pád



Všetky telesá voľne spustené v blízkosti povrchu Zeme padajú zvisle k Zemi. Tento pohyb nazývame voľný pád, napr. padajúci kameň, zoskok parašutistu z lietadla.

Prvé pokusy s voľným pádom uskutočnil už v 17. storočí taliansky fyzik Galileo Galilei (1564 – 1642). Dokázal, že sa jedná o **pohyb rovnomerne zrýchlený** a že všetky telesá padajú na tom istom mieste v blízkosti povrchu Zeme

s rovnakým zrýchlením, ak na ne nepôsobí odpor vzduchu.

Blízkosť povrchu Zeme je dôležitá pre predpoklad, že zrýchlenie je konštantné, lebo so zväčšujúcou nadmorskou výškou sa veľkosť zrýchlenia mení. Predpoklad vákua je dôležitý preto, aby teleso nebolo nadľahčované vzduchom a nepôsobili na neho odporové sily.

Zrýchlenie voľného pádu sa nazýva tiažové zrýchlenie g . Meraním sa zistilo, že jeho hodnota sa mení so zemepisnou šírkou miesta na Zemi a tiež s nadmorskou výškou.

Najväčšiu hodnotu má **na póloch $g = 9,83 \text{ m.s}^{-2}$** , najmenšiu **na rovníku $g = 9,78 \text{ m.s}^{-2}$** .

V našej zemepisnej šírke je tiažové zrýchlenie $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Pri riešení fyzikálnych úloh stačí za tiažové zrýchlenie dosadiť zaokrúhlenú hodnotu $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Vzťahy na určenie veľkosti rýchlosti a dráhy pri voľnom páde sa ľahko získajú zo vzťahov na výpočet veľkosti rýchlosti a dráhy rovnomerne zrýchleného pohybu tak, že sa ľubovoľné zrýchlenie nahradí tiažovým zrýchlením g .

Pre veľkosť rýchlosti dopadu, dráhu a čas voľného pádu platí

$$v = g t, \quad s = \frac{1}{2} g t^2, \quad t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \frac{v}{g}.$$

Z uvedených vzťahov vidíme, že veľkosť rýchlosti dopadu a ani čas dopadu nezávisia od hmotnosti telesa.



Tento poznatok je v rozpore s našou bežnou skúsenosťou. Ak hodíme z mostu do rieky pierko a kamienok, dopadne do vody podstatne skôr kameň. Problém je v tom, že v skutočnosti na padajúci predmet pôsobí ešte i odporová sila vzduchu. Vzhľadom k tomu, že je závislá na ploche telesa, je odporová sila výrazne väčšia u ľahkého pierka s veľmi členitým povrchom ako u kamienka. Navyše ľahké pierko je vo vzduchu viac nadľahčované, preto pierko dopadne na hladinu vody neskôr.

Existuje však tzv. Newtonova trubica - trubica, z ktorej možno vyčerpať vzduch. Po vyčerpaní vzduchu pierko i kamienok dopadnú na jej dno naraz (obr. 2.6-1). Vo vyčerpanej trubici nie je vzduch a teda ani na padajúci predmet nepôsobí odporová sila vzduchu.

Obr. 2.6-1 Newtonova trubica

Úlohy 2.6

1. Deravé vedro s vodou padá voľným pádom. Vyteká z neho voda?
2. Teleso dopadlo na zem za 9 s. Určte, z akej výšky padalo a aká bola jeho rýchlosť pri dopade. [405 m, 90 m.s⁻¹]
3. Kameň padá voľným pádom z výšky 10 m. Aká je jeho rýchlosť pri dopade? [14,5 m.s⁻¹]
4. Teleso padá voľným pádom 10 s. Akú rýchlosť dosiahne za tento čas a akú dráhu vykoná počas desiatej sekundy? [100 m.s⁻¹, 95 m]
5. Šachta v bani je hlboká 2000 m. Ako dlho by v nej padal voľne pustený kameň a akou rýchlosťou by dopadol? Odpor vzduchu zanedbajte. [200 m.s⁻¹, 20 s]

2.7 Skladanie pohybov a rýchlostí

Zložený pohyb koná teleso vtedy, ak z nejakého dôvodu musí konať dva alebo viac pohybov súčasne.

Predstavte si motorový čln, ktorého posádka pláva kolmo na protihľý breh rieky. Vzhľadom na breh rieky koná čln súčasne dva pohyby. Čln je unášaný prúdom rieky a je poháňaný motorom. Pohyb motorového člna je zložený pohyb.

Uvedená predstava o skladaní pohybov viedla v dávnej minulosti talianskeho fyzika Galilea Galileiho k formulácii pravidla, ktoré dnes nazývame **princíp nezávislosti pohybov**:

Ak hmotný bod koná súčasne dva alebo viac pohybov, jeho výsledná poloha je taká, ako keby konal tieto pohyby za sebou v ľubovoľnom poradí.

Motorový čln z nášho príkladu sa pri zložennom pohybe dostane do toho istého miesta na protihľom brehu rieky, ako keby sa najprv nechal unášať vodným prúdom a potom bol ťahaný kolmo na breh alebo ak by tieto pohyby konal v opačnom poradí.

Skladanie rýchlostí



Predstavte si kajakára (obr. 2.7-1) plávajúceho na kajaku po rieke a to v smere prúdu, proti smeru prúdu, kolmo na protihľý breh rieky. Zaujímá nás výsledná rýchlosť v jednotlivých prípadoch.

Obr. 2.7-1

1. Skladanie rýchlostí súhlasného smeru – napr. kajakár pláva v smere prúdu (po prúde) rieky.

Označme v_1 rýchlosť kajaku, v_2 rýchlosť vodného prúdu.

Veľkosť výslednej rýchlosti vypočítame $v = v_1 + v_2$.

Grafické znázornenie skladania dvoch rýchlostí súhlasného smeru je na obr. 2.7-2.



Obr. 2.7-2 Skladanie rýchlostí súhlasného smeru

Výsledná rýchlosť má rovnaký smer ako rýchlosti v_1 , v_2 .

2. Skladanie rýchlostí opačného smeru – napr. kajakár pláva proti prúdu rieky.

Veľkosť výslednej rýchlosti vypočítame $v = v_1 - v_2$.

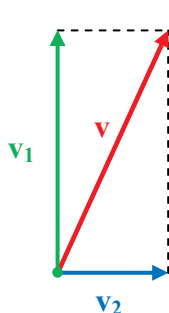
Grafické znázornenie skladania dvoch rýchlostí opačného smeru je na obr. 2.7-3.



Obr. 2.7-3 Skladanie rýchlostí opačného smeru

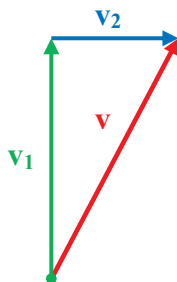
Výsledná rýchlosť má rovnaký smer ako väčšia rýchlosť.

3. Skladanie dvoch navzájom kolmých rýchlostí – napr. kajakár pláva kolmo na protihľý breh rieky.



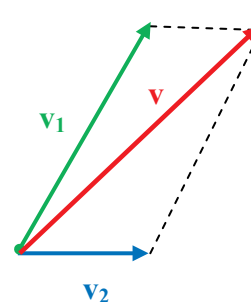
Obr. 2.7-4

Skladanie kolmých rýchlostí -
rovnoobežníkové pravidlo



Obr. 2.7-5

Skladanie kolmých rýchlostí -
trojuholníkové pravidlo



Obr. 2.7-6

Skladanie rôznobežných rýchlostí -
rovnoobežníkové pravidlo

Veľkosť výslednej rýchlosti vypočítame využitím Pytagorovej vety $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$.

Grafické znázornenie skladania dvoch navzájom kolmých rýchlostí je na obr. 2.7-4. Výsledná rýchlosť je uhlopriečka rovnoobežníka, ktorého stranami sú obe skladané rýchlosti.

Rovnoobežník nazývame **rovnoobežník rýchlostí**. V uvedenom prípade sme využili **rovnoobežníkové pravidlo**.

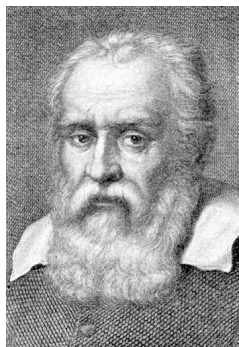
Pri skladaní rýchlostí môžeme použiť aj zjednodušený postup tzv. **trojuholníkové pravidlo**. Vektory rýchlostí v_1 , v_2 spojíme za sebou tak, že dodržíme veľkosť a smer vektorov rýchlostí v_1 , v_2 a potom spojíme začiatkový a koncový bod rýchlostí v_1 , v_2 (obr. 2.7-5).

Pri skladaní viacerých rýchlostí je výhodné použiť mnohoúhľníkové pravidlo.

4. Ak rýchlosti zvierajú uhol $\alpha \neq 90^\circ$ (obr. 2.7-6), tak pri grafickom skladaní opäť využijeme rovnoobežníkové alebo trojuholníkové pravidlo.

Veľkosť výslednej rýchlosti vypočítame využitím kosínusovej vety, ktorú sa naučíte v matematike.

Galileo Galilei (1564 – 1642)

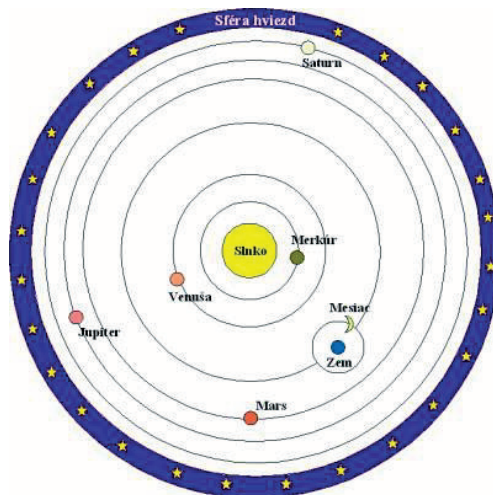


Galileo Galilei sa narodil v talianskom meste Pisa. Pôvodne študoval medicínu. Neskôr sa venoval matematike a fyzike. Robil experimenty s kyvadlom, zaoberal sa voľným pádom telies, zdokonalil astronomický ďalekohľad a ako prvý ho obrátil k oblohe. Objavil mesačný reliéf, škvrny na Slnku, 4

mesiace Jupitera, fázy Venuše a prítomnosť hviezd v Mliečnej dráhe. Spochybňoval dovtedy uznávané 1800 rokov staré Aristotelove teórie, podľa ktorých je Zem stredom nehybného sveta.

Bol pokračovateľom Koperníkovho učenia o heliocentrickom modeli vesmíru (obr. 2.7-7). Kvôli svojim revolučným vedeckým myšlienkam sa dostal do sporu s cirkvou. Bol pozvaný do

Galileo Galilei sa narodil v talianskom meste Pisa. Pôvodne študoval medicínu. Neskôr sa venoval matematike a fyzike. Robil experimenty s kyvadlom, zaoberal sa voľným pádom telies, zdokonalil astronomický ďalekohľad a ako prvý ho obrátil k oblohe. Objavil mesačný reliéf, škvrny na Slnku, 4 mesiace Jupitera, fázy Venuše a prítomnosť hviezd v Mliečnej dráhe. Spochybňoval dovtedy uznávané 1800 rokov staré Aristotelove teórie, podľa ktorých je Zem stredom nehybného sveta. Bol pokračovateľom Koperníkovho učenia o heliocentrickom modeli vesmíru (obr. 2.7-7). Kvôli svojim revolučným vedeckým myšlienkam sa dostal do sporu s cirkvou. Bol pozvaný do



Obr. 2.7-7

Koperníkov heliocentrický model vesmíru

Ríma, kde na nátlak pred inkvizičným tribunálom poslušne odvolal svoje učenie, že Zem sa točí a obieha okolo Slnka. Pri odchode zo siene vraj Galileo vyriekol pamätný výrok: „*A predsa sa točí.*“

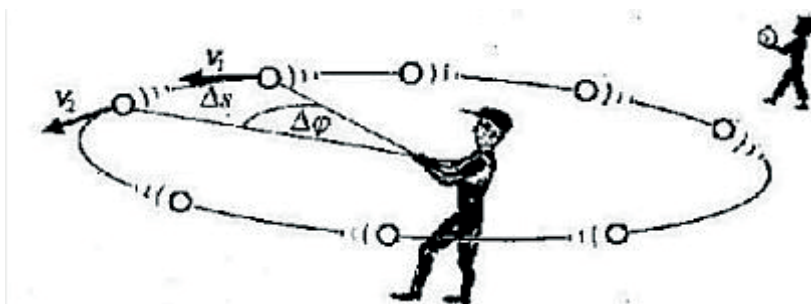
Až do konca svojho života mal domáce väzenie vo Florencii, kde pracoval so svojimi žiakmi na problémoch mechaniky.

Úlohy 2.7

1. Pri tom istom pohone sa pohybuje loďka po prúde rieky rýchlosťou 6 km.h^{-1} a proti prúdu rýchlosťou $2,4 \text{ km.h}^{-1}$. Aká je rýchlosť prúdu a rýchlosť loďky vzhľadom na vodu? [$1,8 \text{ km.h}^{-1}$, $4,2 \text{ km.h}^{-1}$]
2. Dva vlaky sa po 2 rovnobežných koľajach pohybujú proti sebe, prvý rýchlosťou 36 km.h^{-1} , druhý rýchlosťou 54 km.h^{-1} . Cestujúci v prvom vlaku zistil, že druhý vlak prechádzal okolo neho 6 s. Aká je dĺžka druhého vlaku? [150 m]
3. Eskalátor dopraví stojaceho cestujúceho zo stanice metra k východu za 1 minútu. Ak sa eskalátor zastaví, prejde cestujúci po schodoch eskalátora rovnakú vzdialenosť za 3 minúty. Za aký čas dopraví eskalátor k východu cestujúceho, ak cestujúci bude vystupovať po pohybujúcich sa schodoch rovnakou rýchlosťou, ako vystupoval po stojacich schodoch? [45 s]
4. Akú rýchlosť musí dodať motor člnu, ktorý sa má pohybovať kolmo na breh rieky rýchlosťou $3,2 \text{ m.s}^{-1}$, keď rýchlosť toku rieky je $1,2 \text{ m.s}^{-1}$? [$3,4 \text{ m.s}^{-1}$]

2.8 Rovnomerný pohyb po kružnici

S pohybom po kružnici sa v praxi stretávame veľmi často. Konajú ho body na obvode telesa s pevnou osou, napr. body na obvode kolesa, brúsneho kotúča, kotúčovej pily, ventilátora.



Obr. 2.8-1 Rovnomerný pohyb telesa po kružnici

Rovnomerný pohyb po kružnici je najjednoduchší krivočiary pohyb.

Trajektória je kružnica a veľkosť rýchlosti sa nemení. Mení sa len smer rýchlosti. Vektor rýchlosti má v každom bode trajektórie smer dotýčnice ku kružnici, po ktorej sa bod pohybuje (obr. 2.8-1).

Rovnomerný pohyb po kružnici je periodický pohyb. Periodický pohyb a teda aj rovnomerný pohyb po kružnici charakterizuje frekvencia a perióda.

Periódou T je najkratší čas, za ktorý hmotný bod vykoná jednu otáčku.

Frekvencia f je počet otáčok za 1s.

Medzi periódou a frekvenciou platia vzťahy $T = \frac{1}{f}$ a $f = \frac{1}{T}$. Jednotkou periódy je sekunda, lebo $[T] = \frac{1}{[f]} = \frac{1}{s^{-1}} = s$. Jednotkou frekvencie je $s^{-1} = Hz$, pretože $[f] = \frac{1}{[T]} = \frac{1}{s} = s^{-1} = Hz$.

Jednotka s^{-1} bola hertzom pomenovaná na počesť nemeckého fyzika Heinricha Hertza.

Pri pohybe hmotného bodu po kružnici rozlišujeme obvodovú rýchlosť a uhlovú rýchlosť.

1. Obvodová rýchlosť

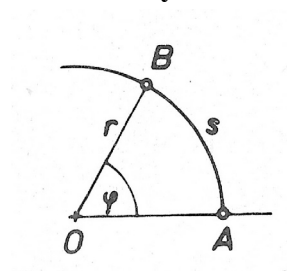
Obvodová rýchlosť je rýchlosť pohybu hmotného bodu po obvode kružnice (obr. 2.8-2).

Pri odvodzovaní vzťahu na výpočet veľkosti obvodovej rýchlosti využijeme vzťah na výpočet veľkosti rýchlosti rovnomerného pohybu $v = \frac{s}{t}$. Keď za dráhu s dosadíme obvod kruhu $s = o = 2 \pi r = \pi d$, za čas t dosadíme periódu T a potom za periódu T dosadíme $T = \frac{1}{f}$ dostaneme $v = \frac{2 \pi r}{T} = 2 \pi r f$.

Jednotkou obvodovej rýchlosti je $m.s^{-1}$.

Zo vzťahu na výpočet veľkosti obvodovej rýchlosti v vidíme, že **obvodová rýchlosť hmotného bodu závisí od jeho vzdialenosti od osi otáčania. Čím je bod ďalej od osi otáčania, tým je jeho obvodová rýchlosť väčšia.**

2. Uhlová rýchlosť



Uhlová dráha φ je uhol, ktorý opíše sprievodič hmotného bodu za čas t . Jednotkou uhlovej dráhy je radián. Má skratku rad. Radián je jednotka rovinného uhla.

Sprievodič hmotného bodu je spojnica stredu kružnice s pohybujúcim sa hmotným bodom (obr. 2.8-2).

Uhlovú rýchlosť vypočítame ako podiel uhlovej dráhy φ a času t , za ktorý sprievodič opíše túto uhlovú dráhu (uhol).

Obr. 2.8-2 Časť trajektórie rovnomerného pohybu po kružnici

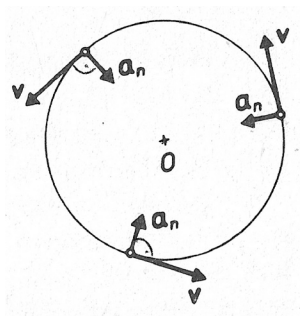
Platí $\omega = \frac{\varphi}{t}$. Jednotkou uhlovej rýchlosti je $rad.s^{-1}$.

Ak do vzťahu $\omega = \frac{\varphi}{t}$ za uhlovú dráhu dosadíme plný uhol $\varphi = 2\pi rad$, ktorý sprievodič opíše za jednu periódu a za periódu T dosadíme $T = \frac{1}{f}$, dostaneme $\omega = \frac{2 \pi}{T} = 2 \pi f$.

Zo vzťahu na výpočet uhlovej rýchlosti ω vidíme, že **uhlová rýchlosť hmotného bodu závisí priamo úmerne od frekvencie otáčania hmotného bodu a nezávisí od jeho vzdialenosti od osi otáčania.**

Medzi obvodovou a uhlovou rýchlosťou platí vzťah $v = \omega r$.

Obr. 2.8-3 Normálové zrýchlenie smeruje do stredu kružnice



Pri rovnomernom pohybe po kružnici sa veľkosť rýchlosti hmotného bodu nemení, mení sa však smer rýchlosti. Rýchlosť teda nie je konštantná, má len stálu veľkosť.

Ak sa mení rýchlosť, znamená to, že hmotný bod má zrýchlenie. Zrýchlenie má smer normály k trajektórii hmotného bodu, smeruje stále do stredu kružnice, po ktorej sa hmotný bod pohybuje. Preto sa toto zrýchlenie nazýva **normálové alebo dostredivé zrýchlenie** a označuje sa a_n alebo a_d .

Pre veľkosť normálového zrýchlenia platí vzťah $a_n = v\omega$. Ak do vzťahu dosadíme

$v = \omega r$ alebo $\omega = \frac{v}{r}$, dostaneme pre veľkosť dostredivého zrýchlenia vzťah $a_n = \omega^2 r$

alebo $a_n = \frac{v^2}{r}$. Jednotkou dostredivého zrýchlenia je m.s^{-2} .

Heinrich Hertz (1857 – 1894)



Bol jeden z najvýznamnejších nemeckých fyzikov 19. storočia. Narodil sa v Hamburgu v zámožnej rodine. Vyštudoval techniku, neskôr matematiku a fyziku. Bol univerzitným profesorom.

Jeho význam spočíva najmä v experimentálnom dôkaze existencie elektromagnetických vln a v preskúmaní ich vlastností, čo vytvorilo základy pre vynájdenie rádia a televízie. Vted y ešte nemohol tu šť, že tak to vln y sa raz bu d úšírit z televíznych antén a satelitov po celom svete.

Na jeho počesť bola pomenovaná jednotka frekvencie hertz.

Úlohy 2.8

1. V mikrovlnke sa otáča tanier s priemerom 32 cm s frekvenciou 6 otáčok za minútu. Určte obvodovú rýchlosť bodov na okraji taniera. $[0,1\text{m.s}^{-1}]$
2. Koleso s priemerom 60 cm vykoná 1 000 otáčok za minútu. Určte periódu, obvodovú a uhlovú rýchlosť. $[0,06\text{ s}, 31,41\text{m.s}^{-1}, 104,69\text{ rad.s}^{-1}]$
3. Kabína centrifúgy, ktorá je umiestnená 6 m od osi otáčania vykoná za 60 s 30 otáčok. Určte obvodovú a uhlovú rýchlosť. $[18,84\text{ m.s}^{-1}, 3,14\text{ rad.s}^{-1}]$
4. Minútová ručička hodiniek je trikrát väčšia ako sekundová. Koľkokrát má koncový bod sekundovej ručičky väčšiu rýchlosť ako minútovej? $[20 - \text{krát}]$
5. Priemer kolesa traktora je 1,2 m. Určte uhlovú rýchlosť kolesa, ak traktor ide rýchlosťou 40 km.h^{-1} . $[18,52\text{ rad. s}^{-1}]$

3 DYNAMIKA

Dynamika je časť mechaniky, ktorá skúma príčiny zmeny pohybového stavu telesa. Zaoberá sa vplyvom pôsobenia síl na pohyb telies.

Názov dynamika je odvodený z gréckeho slova *dynamis*, ktoré znamená **sila**.

Základy dynamiky položil anglický fyzik Isaac Newton v 17. storočí, keď sformuloval pohybové zákony.

3.1 Sila a jej účinky

Sila sa prejavuje pri vzájomnom pôsobení telies.

Silové pôsobenie sa prejaví vždy vtedy, keď na seba navzájom pôsobia dve telesá. Nevieme si predstaviť pôsobenie sily na teleso bez prítomnosti iného telesa.



Obr. 3.1-2



Obr. 3.1-1

Vzájomné pôsobenie telies (interakcia) sa môže uskutočniť pri vzájomnom styku telies alebo prostredníctvom fyzikálnych polí (gravitačného poľa, magnetického a elektrického poľa).

Ak držíme v ruke tašku s nákupom, pôsobíme na ňu určitou silou.

Súčasne cítime, že taška nám ťahá

ruku, čiže aj ona pôsobí na nás rovnako veľkou silou opačného smeru (obr. 3.1-1).

Ak sedíme na stoličke, pôsobíme tlakovou silou na stoličku a stolička spätne pôsobí na nás rovnako veľkou silou opačného smeru (obr. 3.1-2).

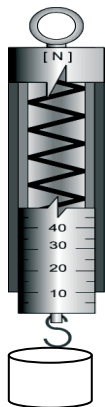
Príkladom vzájomného pôsobenia telies prostredníctvom fyzikálnych polí je napr. pôsobenie Zeme gravitačnou silou na Mesiaca a Mesiaca rovnako veľkou gravitačnou silou na Zem, vzájomne na seba pôsobia magnetickou silou póly dvoch magnetov alebo elektrickou silou dva elektricky nabité náboje.

Veľkosť tohto pôsobenia opisujeme pomocou fyzikálnej veličiny, ktorú nazývame **sila**.

Sila je vektorová veličina. Má veľkosť, smer a fyzikálnu jednotku. Silu znázorňujeme orientovanou úsečkou, ktorej dĺžka predstavuje veľkosť sily a smer sily je znázornený šípkou (obr. 3.1-3).



Obr. 3.1-3 Znázornenie sily orientovanou úsečkou



Výsledkom vzájomného silového pôsobenia telies môže byť deformácia telesa alebo zmena jeho pohybového stavu. Hovoríme, že **sila má na telesá statický (pokojevý, deformačný) účinok alebo dynamický (pohybový) účinok.**

1. Statický účinok sily

O statickom účinku sily na teleso hovoríme vtedy, ak v dôsledku pôsobiacej sily vzniká deformácia telesa, napr. lisovaním, rezaním, ohýbaním.

Obr. 3.1-4 Statický účinok sily

Statické účinky sily využívame napr. aj pri meraní sily pružinovým silomerom (obr. 3.1-4).

Príčinou deformácie pružiny je tiaž zaveseného telesa, teda ťahová sila, ktorou teleso pôsobí na pružinu.

2. Dynamický účinok sily



O dynamickom účinku sily na teleso hovoríme vtedy, ak pôsobiaca sila uvádza teleso do pohybu napr. ťažná sila motora dáva do pohybu auto, vlak, pohyb lopty vykopnutej hráčom (obr. 3.1-5).

Pohybový účinok sily závisí nielen od veľkosti pôsobiacej sily, ale aj od jej smeru a jej pôsobiska. Preto hovoríme, že **sila je určená veľkosťou, smerom a pôsobiskom.**

Obr. 3.1-5 Dynamický účinok sily

Úlohy 3.1

1. Uveďte aspoň 3 príklady na vzájomné pôsobenie telies.
2. Pri zrážke osobného automobilu s nákladným automobilom je podstatne viac poškodený osobný automobil. Nie je to v rozpore s tvrdením o vzájomnom silovom pôsobení telies?
3. Vykonajte jednoduchý pokus, ktorým ukážete statický a dynamický účinok sily.
4. Pohybový účinok sily, napr. otáčavý účinok závisí nielen od veľkosti pôsobiacej sily, ale aj od jej smeru a pôsobiska. Overte tento poznatok pri zatváraní otvorených dverí alebo okna v triede, pričom postupne meňte veľkosť pôsobiacej sily, jej pôsobisko a smer.

3.2 Prvý Newtonov pohybový zákon – zákon zotrvačnosti

Tri pohybové zákony – zákon zotrvačnosti, zákon sily a zákon akcie a reakcie sformuloval v 17. storočí anglický fyzik Isaac Newton (1643 – 1727). Newtonove pohybové zákony sú základné zákony mechaniky.

Isaac Newton (1643 – 1727)



Zo skúsenosti vieme, že žiadne teleso, ktoré je v pokoji, sa samo od seba nedá do pohybu. Vlak sa rozbieha pôsobením ťažnej sily lokomotívy, bicykel sa uvedie do pohybu silou svalov cyklistu. Teleso zostane v relatívnom pokoji, kým naň nepôsobí silou iné teleso.

Rovnako však aj zastavenie telesa spôsobuje iné teleso napr. vykopnutá lopta sa zastaví v dôsledku odporovej sily prostredia.

Je známe, že žiadne teleso nezmení svoju rýchlosť alebo smer pohybu bez pôsobenia iného telesa, napr. zmena smeru pohybu biliardovej gule nastane nárazom na inú biliardovú guľu. Menej si uvedomujeme, že teleso zostane v rovnomernom priamočiari pohybe, ak naň nepôsobí sila, napr. keby neexistovali odporové sily, kopnutá lopta, vystrelený náboj, by sa po uvedení z pokoja do pohybu pohybovali rovnomerne priamočiaro.

Až do 17. storočia sa nesprávne predpokladalo, že aj rovnomerný priamočiary pohyb je vždy spojený s pôsobením sily.

Vlastnosť telies zotrvať v pokoji alebo si zachovávať predošlý pohybový stav a nemeniť smer pohybu, sa nazýva zotrvačnosť.

Všetky tieto poznatky môžeme zhrnúť do **zákona zotrvačnosti**, ktorý znie:

Teleso zotráva v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe, kým nie je nútené vonkajšími silami tento stav zmeniť.

Úlohy 3.2

1. Prečo sú námorné tankové lode určené na prepravu ropy rozdelené priečkami na jednotlivé cisterny?
2. Vysvetlite princíp odstred'ovania bielizne.
3. Aká je fyzikálna podstata prášenia kobercov, prachovky, striasania vody z mokrých rúk?
4. Ako vysvetlite, že pri zakopnutí padáte dopredu?
5. Prečo sa pri plevaní neodporúča ťahať stebľa buriny prudkým pohybom?
6. Prečo cirkusový akrobat pri skokoch na rýchlo bežiacom koni padne opäť do sedla?
7. Živočíchy vychádzajúce z vody sa často triasajú. Ako tu funguje zákon zotrvačnosti?
8. Ak líšku alebo zajaca prenasleduje pes, zachraňujú sa často tak, že náhle urobia rýchly skok nabok práve vtedy, keď ich má pes dolapiť. Prečo to robia?
9. Vysvetlite, prečo je nebezpečné vyskakovať z idúceho auta, vlaku? Ako môžete nebezpečenstvo úrazu zmenšiť?
10. Ako sa uplatní zotrvačnosť pri narážaní kladiva, sekery, motyky na drevenú rukoväť?
11. O akej zmene pri pohybe vlaku svedčí náhly pohyb zasúvacích dverí v kupé a) v smere pohybu vlaku, b) proti smeru pohybu vlaku?
12. Na list pevného papiera položte niekoľko kníh. Pri dostatočne prudkom vytiahnutí papiera zostanú knihy na mieste. Podobne sa správajú aj naukladané tanieri na obruse prestretom na stole, ak obrus prudko vytiahnete. Vysvetlite.

3.3 Druhý Newtonov pohybový zákon – zákon sily a jeho dôsledky

Ak chceme dosiahnuť pri rozbiehaní nákladného auta väčšie zrýchlenie, musí na auto pôsobiť väčšia ťažná sila motora. Čím je väčšia ťažná sila motora, tým väčšie je zrýchlenie pohybu auta.

Zrýchlenie pohybu telesa je teda spôsobené silou, ktorá pôsobí na teleso.

Zrýchlenie nákladného auta závisí aj od hmotnosti nákladu, ktorý vieže. Čím je náklad ťažší, tým je zrýchlenie pri tej istej ťažnej sile motora menšie.

Tieto poznatky možno zhrnúť do **zákona sily**, ktorého matematický zápis má tvar

$$a = \frac{F}{m}.$$

Veľkosť zrýchlenia telesa, ktoré udeľuje telesu pôsobiaca sila, je priamo úmerná veľkosti tejto sily a nepriamo úmerná hmotnosti telesa.

Druhý pohybový zákon zapisujeme vo vektorovom tvare rovnicou $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$.

Jednoduchou úpravou rovnice $a = \frac{F}{m}$ dostaneme vzťah na výpočet sily $F = m a$.



Obr. 3.3-1 Voľný pád

Ak dosadíme do rovnice $F = m a$ hmotnosť $m = 1\text{ kg}$ a zrýchlenie $a = 1\text{ m.s}^{-2}$, dostaneme vzťah pre jednotku sily newton $1\text{ N} = 1\text{ kg} \cdot 1\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Newton je sila, ktorá udeľuje telesu o hmotnosti 1 kg zrýchlenie 1 m.s^{-2} . Odtiaľ potom vyplýva vzťah tejto jednotky k základným jednotkám SI $\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (rozmer newtona).

Znáмым príkladom sily z každodenného života je **sila, ktorá je príčinou voľného pádu telies**. Ak vieme, že každé voľné teleso padá k Zemi s tiažovým zrýchlením g , potom silu, ktorou pôsobí Zem na teleso, určíme podľa druhého pohybového zákona vzťahom

$F_G = m g$, kde m je hmotnosť telesa. Túto silu nazývame **tiažová sila**.

Ak je teleso na pevnej vodorovnej podložke a nemôže sa vplyvom tiažovej sily pohybovať, pôsobí na podložku tlakovou silou, ktorú nazývame **tiaž telesa**. **Tiaž telesa G je teda dôsledkom tiažovej sily F_G , ktorou pôsobí Zem na teleso.**

Tiaž telesa vypočítame zo vzťahu $G = m g$.



Obr. 3.3-2 Knihy pôsobia tlakovou silou na policiu

Dôsledky druhého pohybového zákona

Zaujímavé dôsledky má druhý pohybový zákon pre objasnenie dvoch základných druhov pohybu – rovnomerného priamočiareho pohybu a rovnomerne zrýchleného pohybu.

1. Ak koná teleso rovnomerný priamočiary pohyb, jeho rýchlosť sa nemení $v = \text{konšt.}$, a preto je aj jeho zrýchlenie nulové $a = 0\text{ m.s}^{-2}$. V tomto prípade je vzhľadom na rovnicu $F = m a$ nulová aj sila $F = 0\text{ N}$.

Ak nepôsobí na teleso silou žiadne iné teleso alebo ak je výslednica síl od ostatných telies nulová, koná teleso rovnomerný priamočiary pohyb.

2. Ak teleso koná rovnomerne zrýchlený pohyb, pohybuje sa so stálym zrýchlením $a = \text{konšt.}$, a preto podľa rovnice $F = m a$ je stála aj sila $F = \text{konšt.}$, ktorá telesu zrýchlenie udeľuje.

Ak na teleso pôsobí stálou silou iné teleso, koná teleso rovnomerne zrýchlený pohyb.

Zmena pohybu (zmena rýchlosti) telesa závisí aj od smeru pôsobiacej sily.
Sila v smere pohybu spôsobuje zrýchlenie telesa,

sila proti smeru pohybu spôsobuje spomalenie telesa,
sila kolmá na smer pohybu spôsobuje zmenu smeru pohybu telesa (zakrivenie trajektórie).



Napr. predstavte si, že ku križovatke sa blíži kamión. Vodič kamióna pred križovatkou zabrzdí. Pri brzdení pôsobí na kamión stála sila proti smeru pohybu, preto rýchlosť kamióna rovnomerne klesá. Jeho pohyb pred križovatkou je rovnomerne spomalený.

Cez križovátku vodič nezrýchľuje ani nespomaľuje, kamión križovátku prejde rovnomerným pohybom.

Za križovatkou vodič pridá plyn, na kamión pôsobí stála sila v smere pohybu a rýchlosť kamióna rovnomerne rastie. Jedná sa o pohyb rovnomerne zrýchlený.

Telesá, na ktoré pôsobí sila, konajú pohyb buď spomalený, zrýchlený alebo menia smer pohybu.

Úlohy 3.3

1. Ako sa pohybuje teleso, ak nepôsobí naň silou žiadne iné teleso alebo ak je výslednica síl od ostatných telies nulová? Uveďte príklad.
2. Ako sa pohybuje teleso, na ktoré pôsobí stála sila? Uveďte príklad.
3. S akým zrýchlením štartuje lietadlo s hmotnosťou 20 t, ak ťažná sila motorov je 11 kN? Trenie a odpor vzduchu zanedbajte. [$0,55 \text{ m.s}^{-2}$]
4. Vypočítajte hmotnosť vlečky traktora v tonách, ak ju posúvajú 4 robotníci po vodorovnej dráhe so zrýchlením $0,9 \text{ m.s}^{-2}$. Každý robotník pôsobí na vlečku silou 0,5 kN. [2,222 t]
5. Na teleso s hmotnosťou 4 kg pôsobí stála sila 8000 mN. Akú veľkú rýchlosť bude mať teleso na konci desiatej sekundy, keď bolo na začiatku v pokoji? [20 m.s^{-1}]
6. Určte ťažnú silu lokomotívy, ak udeľuje vlaku s hmotnosťou 2500 t zrýchlenie 5 cm.s^{-2} . Celková odporová sila pôsobiaca proti pohybu vlaku je 0,5% tiaže vlaku. [25kN]
7. Vagón s hmotnosťou 16 t sa pohyboval začiatočnou rýchlosťou 36 km.h^{-1} a zotrvačnosťou prešiel do úplného zastavenia dráhu 0,5 km. Určte veľkosť stálnej brzdiacej sily v kN, ktorá pôsobila proti smeru pohybu. [1,6 kN]
8. Aká stála brzdiaca sila je potrebná na to, aby sa automobil s hmotnosťou 10 q zastavil za 10 s, keď sa pohybuje rýchlosťou 50 km.h^{-1} . [1389N]

3.4 Hybnosť telesa a impulz sily

Hybnosť telesa

Zotrvačnosť je schopnosť telesa zotrvávať v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe.

O zotrvačnosti telies v pohybe rozhoduje ich hmotnosť a rýchlosť. Zotrvačnosť telesa je tým väčšia, čím má teleso väčšiu hmotnosť a rýchlosť.

Napr. pri brzdení kamióna a osobného auta, ktoré sa pohybujú rovnakou rýchlosťou po vodorovnej ceste, má väčšiu zotrvačnosť kamión, lebo je ťažší.

Ak sa pohybujú po vodorovnej ceste dvaja cyklisti, ktorí majú rovnakú hmotnosť, ale rôzne veľkosti rýchlostí, pri súčasnom zabrzdení má väčšiu zotrvačnosť ten, ktorý išiel rýchlejšie.

Na vyjadrenie pohybového stavu telesa zavádzame fyzikálnu veličinu nazývanú **hybnosť telesa**. **Hybnosť telesa je mierou zotrvačnosti telesa**. Veľkosť hybnosti telesa vypočítame zo vzťahu $p = m v$, kde m je hmotnosť telesa a v je jeho rýchlosť. Jednotkou hybnosti je $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Hybnosť je vektorová veličina. Vzťah pre hybnosť telesa vo vektorovom tvare je $\mathbf{p} = m \mathbf{v}$. Vektor hybnosti aj rýchlosti majú rovnaký smer.

Impulz sily

Hybnosť, ktorú teleso nadobudne, závisí nielen od veľkosti pôsobiacej sily, ale aj od času, za ktorý sila pôsobí na teleso.

Časový účinok sily nazývame impulz sily.

Vzťah na výpočet impulzu sily odvodíme z druhého pohybového zákona $F = m a$. Ak dosadíme do rovnice za zrýchlenie $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, dostaneme vzťah $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ a jeho úpravou vzťah $F \Delta t = m \Delta v$.

Označme $I = F \Delta t$ a $p = m \Delta v$, kde I je impulz sily a p je hybnosť telesa.

Impulz sily sa rovná zmene hybnosti telesa $I = \Delta p$.

Jednotkou impulzu sily je $\text{N} \cdot \text{s}$.

Z rovnice $F \Delta t = m v$ vyjadríme rýchlosť telesa $v = \frac{F \Delta t}{m}$.

Zo vzťahu je zrejmé, že rýchlosť v , ktorú teleso dosiahne pôsobením sily F za čas Δt , je nepriamo úmerná jeho hmotnosti m .

Úlohy 3.4

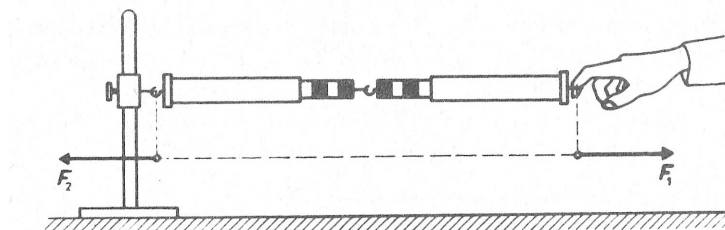
1. Vysvetlite, prečo kameň hodený do okna, okno rozbije, ale strela v ňom urobí len malý otvor?
2. Prečo kováč pokladá kovaný predmet na masívnu nákovu?
3. Položíme si na hlavu závažie 1kg, nič sa nám nestane. Ťažko to však povieme v prípade, že nám na ňu spadne z výšky napr. 10m. Prečo?
4. Prečo je bezpečnejšie skákať do piesku ako na tvrdú zem?
5. Ktorá sila vyvolá väčšiu zmenu hybnosti? Sila 0,4 kN pôsobiaca za čas 0,02 s alebo sila 40 N pôsobiaca za čas 0,2 s?
6. Aký veľký je impulz sily, ktorý dodal telesu s tiažou 0,065 kN rýchlosť 420 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$? [27,3 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
7. Pôsobením konštantnej sily na teleso, ktoré bolo pôvodne v pokoji, s hmotnosťou 2000 g sa toto posunie o 40dm za 1,5 s. Aký je impulz sily pôsobiacej na teleso? [5,3 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
8. Automobil s hmotnosťou 11 t znížil svoju rýchlosť zo 72 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ na 36 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ pri rovnomernej spomalenom pohybe. Vypočítajte veľkosť zmeny hybnosti pri brzdení. [11000 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

9. Lopta s hmotnosťou 200 g dopadla kolmo na pevnú stenu rýchlosťou 15 m.s^{-1} a odrazila s rýchlosťou 10 m.s^{-1} . Náraz trval 0,05 s. Akou veľkou priemernou silou pôsobila stena na loptu? [100 N]

3.5 Tretí Newtonov pohybový zákon – zákon akcie a reakcie a jeho dôsledky

Už na začiatku učiva dynamiky v článku 3.1 ste spoznali, že silové pôsobenie telies je vždy vzájomné. Ak pôsobí jedno teleso na druhé, tak aj druhé teleso pôsobí silou na prvé.

Vlastnosti síl, ktorými telesá navzájom na seba pôsobia, si ukážeme na pokusnom zariadení so silomermi (obr. 3.5-1).



Obr. 3.5-1 Vzájomné pôsobenie dvoch silomerov

Jeden silomer upevníme na zvislú tyč stojana. Ak potiahneme rukou za voľný koniec druhý silomer vo vyznačenom smere, pozorujeme na ňom pôsobenie sily F_1 a na druhom silomeri pôsobenie sily F_2 . Sily F_1 , F_2 na oboch silomeroch majú rovnakú veľkosť.

Výsledok pokusu potvrdzuje tretí pohybový zákon, ktorý znie:

Sily, ktorými na seba vzájomne pôsobia dve telesá, sú rovnako veľké, navzájom opačného smeru a súčasne vznikajú a zanikajú.

Ak nazveme jednu silu akcia a druhú reakcia, môžeme tretí pohybový zákon vysloviť vetou:

Každá akcia vyvoláva rovnako veľkú reakciu opačného smeru.

Každá z týchto síl však pôsobí na iné teleso, preto sa akcia a reakcia vo svojich účinkoch vzájomne nerušia.

Pôsobenie akcie a reakcie sa teda odlišuje od prípadu, keď dve rovnako veľké sily opačného smeru pôsobia súčasne na ten istý hmotný bod. Vtedy sa sily rušia.



Obr. 3.5-2 Zákon akcie a reakcie v praxi

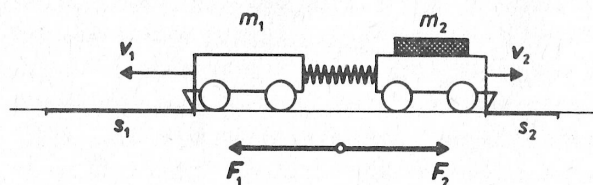
Pomocou zákona akcie a reakcie sa vysvetľuje činnosť rôznych zariadení, napr. raketových motorov, reaktívnych turbín. Vo vojenskej technike sa zákon akcie a reakcie uplatňuje pri spätnom náraze pri výstrele.

Dôsledky tretieho pohybového zákona

Sily akcie a reakcie, ktorými na seba vzájomne pôsobia dve telesá, sú rovnako veľké, ale opačného smeru.

Majú tieto rovnako veľké sily aj rovnaký pohybový účinok na obidve telesá? Pokusom sa môžeme presvedčiť, že **ak majú telesá rôzne hmotnosti, sily akcia a reakcia telesám udeľujú rovnako veľké hybnosti opačného smeru, ale veľkosti rýchlostí telies sú rôzne.**

Dva vozičky s rôznymi hmotnosťami m_1 , m_2 , pričom $m_1 < m_2$, spojíme tenkou niťou a vložíme medzi ne stlačenú pružinu (obr. 3.5-3).



Obr. 3.5-3
Vozičky na seba pôsobia akciou a reakciou za rovnaký čas

Ak prepálime spojovaciu niť, uvedie pružina obidva vozičky do pohybu. Voziček s menšou hmotnosťou prejde väčšiu dráhu. Z toho usudzujeme, že má väčšiu rýchlosť. Voziček s väčšou hmotnosťou prejde menšiu dráhu, preto má menšiu rýchlosť. Vysvetlenie je jednoduché. V okamihu prepálenia nite pôsobia na seba vozičky prostredníctvom pružiny silami F_1 , F_2 . Vzhľadom na to, že **akcia F_1 a reakcia F_2 sú rovnako veľké, ale opačného smeru**, môžeme písať

$$F_1 = F \quad \text{a} \quad F_2 = -F.$$

Pretože vozičky na seba pôsobia akciou a reakciou za rovnaký čas Δt , platí pre ich impulzy

$$F_1 \Delta t = F \Delta t \quad \text{a} \quad F_2 \Delta t = -F \Delta t.$$

Z článku 3.4 vieme, že pre telesá, ktoré sú pôvodne v pokoji sa impulz sily rovná hybnosti telesa $I = p$, preto pre dané vozičky platí

$$F \Delta t = m_1 v_1 \quad \text{a} \quad -F \Delta t = m_2 v_2$$

a odtiaľ dostaneme

$$m_1 v_1 = -m_2 v_2.$$

Hybnosti, ktoré vozičky pri vzájomnom pôsobení nadobudnú, sú rovnako veľké, ale opačného smeru.

Inak to platí pre ich rýchlosti. Ak uvažujeme veľkosti rýchlostí, dostaneme z poslednej

rovnice vzťah $m_1 v_1 = m_2 v_2$ a odtiaľ po úprave $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$.

Veľkosti rýchlostí vozičkov sú v prevrátenom pomere k ich hmotnostiam.

To znamená, že ak má teleso väčšiu hmotnosť, tak pri vzájomnom silovom pôsobení nadobudne menšiu rýchlosť a opačne.

Telesá, ktoré navzájom na seba pôsobia len akciou a reakciou, pričom na ne nepôsobí silou už žiadne iné teleso, tvoria **izolovanú sústavu telies**.

V izolovanej sústave telies platí **zákon zachovania hybnosti**.

Ak pôsobia navzájom na seba telesá len akciou a reakciou, súčet ich hybností sa nemení.

Platí $m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots + m_n v_n = \text{konšt.}$

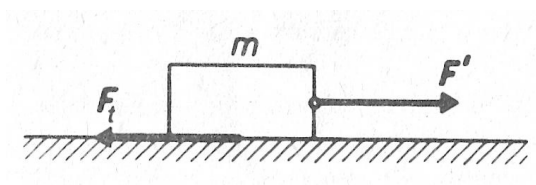
alebo iný zápis $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \text{konšt.}$

Úlohy 3.5

1. Pomocou zákona akcie a reakcie objasnite princíp činnosti raketových motorov, reaktívnych turbín a vysvetlite spätný náraz pri výstrele. Prečo musí strelec pri streľbe rátať so spätným nárazom?
2. Pohybujú sa niektoré živočíchy podobne ako raketa?
3. Strela vyletela z pušky vo vodorovnom smere rýchlosťou $0,8 \text{ km.s}^{-1}$. Akou veľkou rýchlosťou sa pohybuje puška pri spätnom náraze, ak je hmotnosť pušky 400 – krát väčšia ako hmotnosť strely? [2 m.s^{-1}]
4. Nálož má hmotnosť 30 000 g. Pri jej výbuchu odletela 10 - kilogramová časť rýchlosťou 144 km.h^{-1} . Akou rýchlosťou v m.s^{-1} odletí zvyšok nálož? [20 m.s^{-1}]
5. Signalizačná raketa s hmotnosťou 60 g vystrelí 6 g plynov v jednom smere a získa tým rýchlosť 35 m.s^{-1} . Aká je rýchlosť vystrelených plynov? [350 m.s^{-1}]
6. Aká veľká sila pôsobila na strelu s hmotnosťou 20 g, ktorá preletela hlavňou za 0,01 s a získala rýchlosť 800 m.s^{-1} ? Akú veľkú rýchlosť získala puška pri spätnom náraze, ak mala hmotnosť 5 kg? [1600 N , $3,2 \text{ m.s}^{-1}$]

3.6 Šmykové trenie

V praxi sa často stretávame s pôsobením síl, ktoré pôsobia proti pohybu telies, čím ich pohyb brzdia. Tieto sily vznikajú vtedy, ak sa pohybuje teleso po povrchu iného telesa (obr. 3.6-1) alebo ak sa pohybuje teleso vo vode, vo vzduchu alebo v inom látkovom prostredí, napr. ťahanie nákladu po podložke, pohyb auta po vozovke, pohyb lietadla vo vzduchu, pohyb plavca vo vode.



Obr. 3.6-1 Šmykové trenie

O šmykovom trení hovoríme vtedy, ak posúvame teleso po povrchu iného telesa. Brzdiaca sila, ktorá pritom na teleso pôsobí, sa nazýva **tracia sila**. Tracia sila pôsobí proti smeru pohybu telesa.

Príčinou šmykového trenia je skutočnosť, že stykové plochy dvoch telies nie sú dokonale hladké, ich nerovnosti do seba zapadajú a bránia vzájomnému pohybu telies. Pritom sa uplatňuje i silové pôsobenie častíc v styčných plochách.

Pre veľkosť trecej sily platí vzťah $F_t = \mu F_n$, kde μ je súčiniteľ šmykového trenia a F_n je tlaková sila.

Jednotkou trecej sily je newton N.

Súčiniteľ šmykového trenia vypočítame zo vzťahu $\mu = \frac{F_t}{F_n}$.

Súčiniteľ šmykového trenia je bezrozmerné číslo.

$$\text{Platí } [\mu] = \frac{[F_t]}{[F_n]} = \frac{N}{N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}} = 1.$$

Súčiniteľ šmykového trenia závisí od akosti stykových plôch a od materiálu (tabuľka 3.6-1).

Číselné hodnoty súčiniteľa šmykového trenia pre stykové plochy rôznej drsnosti a rozličných materiálov sú uvedené v MFChT.

Pri šmykovom trení platí, že

- **trecia sila F_t je priamo úmerná tlakovej sile F_n kolmej na podložku**
(tlaková sila kolmá na podložku je v prípade pohybu telesa po vodorovnej rovine tiažová sila pôsobiaca na teleso $F_n = G = m g$, v prípade pohybu po naklonenej rovine zložka tiažovej sily kolmá na podložku),
- **vzhľadom na rôzne hodnoty súčiniteľa šmykového trenia závisí trecia sila aj od drsnosti stykových plôch a od materiálu,**
- **trecia sila medzi telesami v pokoji je vždy väčšia ako trecia sila medzi rovnakými telesami v pohybe,**
- **trecia sila nezávisí od veľkosti stykových plôch,**
- **pri malých rýchlostiach nezávisí trecia sila od veľkosti rýchlosti telesa pri pohybe.**

Tabuľka 3.6-1

Číselné hodnoty súčiniteľa šmykového trenia		
dvojica stykových plôch	úprava povrchu	súčiniteľ šmyk. trenia
kov na kove	suchý namastený	0,15 – 0,20 0,05 – 0,10
kov na dreve	suchý namastený	0,25 – 0,50 0,05 – 0,10
kov na koži	suchý namastený	0,25 – 0,60 0,125 – 0,25
drevo na dreve	suchý namastený	0,25 – 0,50 0,04 – 0,25
kov na kameni	suchý	0,25
drevo na kameni	suchý	0,25 – 0,40
kameň na kameni	suchý	0,65 – 0,75
guma na asfaltovej vozovke	suchý	až 0,15
guma na dláždenej vozovke	suchý	až 0,10
guma na utlačenej zemine	suchý	až 0,20

Ak máme teleso uviesť do pohybu so zrýchlením a (obr. 3.6-1), nestačí naň pôsobiť len silou $F = m a$, ako to vyplýva z 2. Newtonovho pohybového zákona, ale musíme vyvinúť väčšiu silu F' , než je sila $F = m a$, a to väčšiu o silu, ktorou prekonáme treciu silu F_t . Preto platí, že $F' = F + F_t = m a + F_t$ a z toho dostaneme $F' - F_t = m a$.

Z posledného vzťahu vyplýva, že o veľkosti zrýchlenia a , s ktorým uvádzame teleso s hmotnosťou m do pohybu, rozhoduje rozdiel síl $F' - F_t$, a nielen samotná sila F' .

Existencia šmykového trenia má veľký význam v každodennom živote i v technickej praxi.

Trecia sila umožňuje chôdzu, jazdu vozidiel, lisovanie a obrábanie materiálov, prenos pohybu remeňovými prevodmi. Pokojová trecia sila zaisťuje spájanie súčastí strojov, spájanie predmetov klincami, zväzovanie predmetov povrazmi. V praxi sa snažíme niekedy treciu silu zväčšiť, napr. posýpaním vozoviek a chodníkov v zimnom období, hlbšími drážkami na podošvách zimnej obuvi, zimným prezúvaním pneumatík.

Šmykové trenie má však aj niektoré nepriaznivé dôsledky. Trecie sily pôsobiace medzi vzájomne sa pohybujúcimi súčiastkami strojov spôsobujú ich opotrebovanie a nežiadúce zahrievanie. Preto sa snažíme trecie sily zmenšiť mazaním a vyhlad'ovaním stykových plôch.

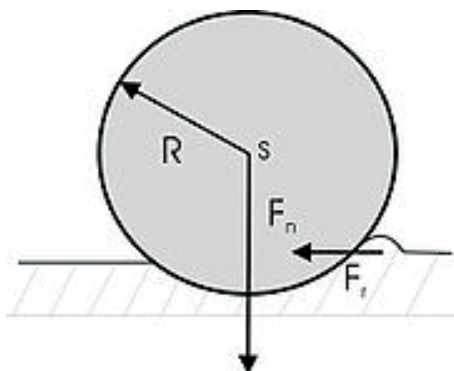
Treciu silu sa snažíme zmenšiť aj u lyží, saní voskovaním klzných plôch.

Úlohy 3.6

1. Uveďte príklady z vášho odboru, kde je trecia sila užitočná.
2. Uveďte príklady z vášho odboru, kde je trecia sila neužitočná a je snaha ju zmenšiť.
3. Prečo nie je možné po ideálnej hladkej ploche chodiť?
4. Keby sa železničné koľaje mazali, napr. vazelinou, znížilo by sa trenie a ušetrilo by sa veľké množstvo pohonných hmôt. Súhlasíte s týmto názorom?
5. Prečo je ťažké udržať v rukách živú rybu?
6. Prečo niektoré ryby pri rýchlom pohybe pritláčajú plutvy k telu?
7. Sánky je možné tlačiť alebo ťahať. Čo je z hľadiska konania práce výhodnejšie?
8. Prečo by mal motorista brzdiť v havarijnej situácii pokiaľ možno prerušovane? Aký význam má u áut antiblokovací systém kolies tzv. ABS?
9. Zo skúsenosti viete, že chôdza do kopca je namáhavá. Prečo?
10. Aká je tiaž pňa, ktorý ťahá traktor rovnomerným pohybom po vodorovnej ceste silou 8,7 kN, ak súčiniteľ šmykového trenia je 0,6? [14,5 kN]
11. Teleso hmotnosti 20 kg udržuje po vodorovnej rovine v rovnomernom priamočiari pohybu stála sila, ktorá je 20 % z tiaže telesa. Aký veľký je súčiniteľ šmykového trenia? [0,2]
12. Osobný automobil so začiatočnou rýchlosťou 80 km.h⁻¹ treba rovnomerným brzdením zastaviť na vodorovnej ceste bez toho, aby sa kolesá kĺzali. Súčiniteľ šmykového trenia je 0,3. Aký najkratší brzdný čas a najkratšiu brzdnú dráhu možno dosiahnuť brzdením 4 kolies? [7,41 s, 82,36 m]
13. Vagón hmotnosti 16 t, ktorý stojí na kľáždiciach, chcú uviesť do rovnomerne zrýchleného pohybu. Akou veľkou ťahovou silou musí pôsobiť lokomotíva, ak vagón za 30 s prejde od začiatku pohybu dráhu 11 m? Počas pohybu pôsobí trecia sila rovnajúca sa 0,05 tiaže vagónu. [8391,1 N]
14. Psí záprah ťahá po snehu sane silou 5 kN. Aká je hmotnosť saní v tonách aj so záťažou, ak sa sane pohybujú rovnomerne priamočiaro? Súčiniteľ šmykového trenia je 0,05. [1 t]
15. Akou minimálnou silou je treba pritlačiť na zvislú stenu teleso s hmotnosťou 5 kg, aby neskĺzlo? Súčiniteľ šmykového trenia je 0,2. [250 N]

3.7 Valivý odpor

Valivý odpor vzniká vtedy, keď sa pevné teleso kruhového prierezu valí po pevnej podložke, napr. cestný valec po ceste, ložiská.



Obr. 3.7-1 Vznik valivého odporu

Pri valivom pohybe jedného telesa po povrchu druhého telesa vzniká deformácia telies. Deformácia vyvoláva treciu silu F_t , ktorá pôsobí na teleso proti smeru jeho pohybu (obr. 3.7-1).

Pre veľkosť trecej sily platí vzťah $F_t = \xi \frac{F_n}{R}$,

kde ξ je rameno valivého odporu, F_n je tlaková sila a R je polomer telesa.

Veľkosť odporovej sily F_t pri valivom trení závisí priamo úmerne od veľkosti tlakovej sily F_n a nepriamo úmerne od polomeru telesa R .

Jednotkou trecej sily je newton, označuje sa N.

Základnou jednotkou ramena valivého odporu je meter.

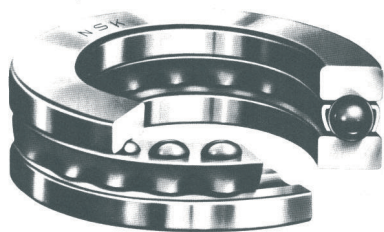
Rameno valivého odporu závisí od materiálov, z ktorých je zhotovené teleso a podložka a od úpravy ich povrchov (tabuľka 3.7-1). Niektoré číselné hodnoty ramena valivého odporu sú uvedené v MFChT.



Obr. 3.7-2 Trecia sila pri valení telesa je menšia ako pri šmykovom trení

Pri valivom odpore platí, že

- trecia sila F_t je priamo úmerná tlakovej sile F_n kolmej na podložku,
- trecia sila F_t je nepriamo úmerná polomeru telesa R ,
- vzhľadom na rôzne hodnoty ramena valivého odporu trecia sila závisí aj od materiálu a úpravy povrchov stykových plôch,
- pri rovnakých podmienkach je odporová sila pri valení omnoho menšia ako trecia sila pri šmykovom trení.



Obr. 3.7-3 Gul'ôčkové a valčekové ložiská

Kvôli tomu, že odporová sila pri valení telesa je menšia ako trecia sila pri šmykovom trení, preto v praxi často nahrádzame šmýkanie telies valením (obr. 3.7-2). Pri premiestňovaní ťažkých bremien podložíme medzi bremeno a podlahu valčeky. Pri uložení hriadeľov v strojoch a kolesách motorových vozidiel sa používajú gul'ôčkové a valčekové ložiská (obr. 3.7-3).

Tabuľka 3.7-1

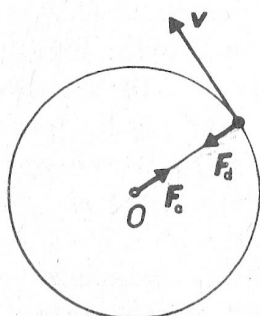
Číselné hodnoty ramena valivého odporu	
materiál	rameno valivého odporu [m]
oceľové kolesá na oceľových koľajniciach	0,0005
oceľové gul'ôčky (valčeky) v gul'ôčkovom (valčekovom) ložisku	0,00001
oceľové kolesá na ceste	0,006 – 0,060
gumové kolesá na ceste	0,0024
drevo na dreve	0,0005 – 0,0015

Úlohy 3.7

1. Aké je rameno valivého odporu, keď ťaháme 2 valce s polomerom 20 cm tiaže 2 kN silou 1 kN? [0,05 m]
2. Železničný vozeň s hmotnosťou 20 t a priemerom kolies 1000 mm sa pohybuje po vodorovnej trati. Aká sila udrží vozeň v rovnomernom pohybe, ak rameno valivého odporu je 0,0005 m? [200 N]
3. Vypočítajte hmotnosť nákladu aj s vozom v tonách, ak gumové kolesá voza majú priemer 90 cm a sila 120 N udrží voz v rovnomernom priamočiariom pohybe. Rameno valivého odporu je 0,0024m. [2,25 t]

3.8 Dostredivá a odstredivá sila

Keď ideme napr. na motorke stálou rýchlosťou a motorka ide do zákruty, máme pocit, akoby nás nejaká sila ťahala smerom von zo zákruty.



Jedná sa o zotrvačnú silu, ktorú v tomto prípade nazývame **odstredivá sila F_o** .

Reakciou na odstredivú silu je **dostredivá sila F_d** .

Dostredivá a odstredivá sila predstavujú akciu a reakciu, súčasne vznikajú a zanikajú.

Obr. 3.8-1 Dostredivá a odstredivá sila pri pohybe hmotného bodu po kružnici

Vráťme sa k prípadu pohybu hmotného bodu po kružnici (pozri článok 2.8). V prípade pohybu hmotného bodu po kružnici je príčinou normálového alebo dostredivého zrýchlenia sila, ktorá rovnako ako toto zrýchlenie smeruje stále do stredu kružnice (obr. 3.8-1). Táto sila sa nazýva dostredivá sila.

Pôsobením dostredivej sily sa trajektória hmotného bodu zakrivuje do tvaru kružnice.

Veľkosť dostredivej sily určíme z druhého Newtonovho pohybového zákona $F = m a$, kde m je hmotnosť telesa a a je zrýchlenie, ktoré sila telesu udeľuje.

Ak do rovnice dosadíme za $a = a_n$, $a_n = \frac{v^2}{r}$ alebo $a_n = \omega^2 r$, dostaneme pre veľkosť odstredivej sily (zároveň aj pre veľkosť dostredivej sily, lebo $F_o = F_d$) vzťahy

$$F_o = \frac{m v^2}{r} \text{ alebo } F_o = m \omega^2 r, \text{ kde } m \text{ je hmotnosť telesa, } v \text{ je obvodová rýchlosť,}$$

r je polomer kružnice a ω je uhlová rýchlosť.

Z prvého vzťahu na výpočet F_o vyplýva, že **odstredivá sila pri jazde auta do zákruty závisí priamo úmerne od hmotnosti telesa, od druhej mocniny rýchlosti telesa a nepriamo úmerne od polomeru trajektórie**. S odstredivou silou musí vodič pri jazde zákrutou počítať a znížiť rýchlosť.

Z druhého vzťahu na výpočet F_o vyplýva, že **odstredivá sila pri otáčavom pohybe telesa okolo pevnej osi závisí priamo úmerne od hmotnosti telesa, od druhej mocniny uhlovej rýchlosti telesa a od vzdialenosti bodu telesa od osi otáčania**.



Obr. 3.8-2 Jazda auta v zákrute



Obr. 3.8-3 Odstredivá sila pôsobí na ľudí sediacich na kolotoči

Ak sa otáčame na kolotoči, tak pri väčšej frekvencii otáčania kolotoča, je aj odstredivá sila väčšia.

Ak zanikne v určitom bode trajektórie dostredivá sila, (napr. pri jazde autom zákrutou veľkou rýchlosťou), zanikne súčasne aj odstredivá sila a potom hmotný bod koná rovnomerný priamočiary pohyb v smere dotýčnice ku kružnici v bode, v ktorom sa hmotný bod nachádzal v okamihu zániku obidvoch síl (obr. 3.8-1).

Napr. iskry, ktoré odletujú od brúsneho kotúča pri brúsení, majú smer dotýčnice k brúsnemu kotúču v tých bodoch, v ktorých od neho odletujú. Keď roztočíme guľôčku na niti a niť pustíme alebo sa pretrhne, guľôčka odletí v smere dotýčnice ku kružnicovej trajektórii.

Odstredivá sila sa využíva aj v odstredivke na bielizeň a v odstredivke na oddelenie rozptýlených častíc s rôznou hustotou v kvapaline.

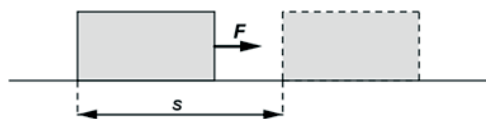
Úlohy 3.8

1. Ako závisí odstredivá sila od hmotnosti vozidla a od polomeru zákruty?
2. Od čoho závisí odstredivá sila pri otáčavom pohybe telesa okolo pevnej osi ?
3. Uveďte a vysvetlite aspoň 2 príklady na využitie odstredivej sily v praxi?
4. Prečo sa motocyklista pri jazde zákrutou nakláňa a ktorým smerom?
5. Aká sila pôsobí na cestujúceho v autobuse pri jazde zákrutou? Ako sa prejaví jej účinky?
6. Prečo majú zákruty diaľnic veľké polomery krivosti?
7. Prečo vodič auta pri jazde zákrutou znižuje rýchlosť?
8. Prečo sú pri práci s rýchloobrátkovými rotačnými nástrojmi predpísané ochranné okuliare?
9. Auto s hmotnosťou 1 t išlo do zákruty s polomerom 0,04 km rýchlosťou 80 km.h⁻¹. Akou veľkou odstredivou silou pôsobia pneumatiky auta na povrch vozovky? [12,321 kN]
10. Aký je polomer zákruty, ak auto s hmotnosťou 1,5 t prešlo zákrutou rýchlosťou 90 km.h⁻¹? Odstredivá sila, ktorou pôsobia pneumatiky auta na povrch vozovky je 20,833 kN. [45 m]
11. Určte najmenší súčiniteľ šmykového trenia medzi pneumatikami auta a cestou tak, aby auto mohlo prejsť zákrutou s polomerom 0,2 km rýchlosťou 108 km.h⁻¹ a nedostalo šmyk. (Návod: $F_t = F_o$) [0,45]
12. Vypočítajte rýchlosť, ktorou nákladný automobil hmotnosti 4 tony prechádza zákrutou s polomerom 60 m, ak veľkosť odstredivej sily, ktorou pôsobia pneumatiky auta na povrch vozovky je 25,350 kN. [70,2 km.h⁻¹]
13. Automobil s hmotnosťou 20 q vchádza do zákruty s polomerom 120 dm rýchlosťou 54 km.h⁻¹. Aká odstredivá sila pôsobí na vozovku? [37,5 kN]

4 MECHANICKÁ PRÁCA A ENERGIA

4.1 Mechanická práca

V bežnom živote rozumieme prácou takmer každú ľudskú činnosť, pri ktorej musíme vynaložiť námahu. Vo fyzike je tento pojem vymedzený presnejšie.



Obr. 4.1-1 Pôsobením sily sa teleso premiestňuje po určitej trajektórii

Teleso koná mechanickú prácu, ak pôsobí silou na iné teleso, ktoré sa pôsobením tejto sily premiestňuje po určitej trajektórii (obr. 4.1-1).

Príkladmi konania práce z fyzikálneho hľadiska je ťahanie nákladu po podložke, ťahanie sánok, zdvíhanie materiálu žeriavom do určitej výšky, ťahanie pluhu traktorom (obr. 4.1-2).



Obr. 4.1-2 Žeriav premiestňujúci náklad a pohybujúci sa traktor pri oraní poľa konajú z fyzikálneho hľadiska prácu

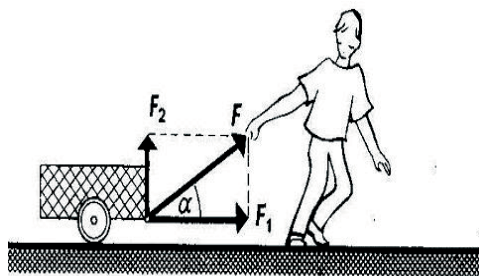


Obr. 4.1-3 Cvičiteľka z fyzikálneho hľadiska prácu nekoná, ak nepohybuje činkami

Ak teleso len držíme a nepremiestňujeme ho pôsobením sily, napr. držíme rukou tašku s nákupom, držíme činky, tak z fyzikálneho hľadiska prácu nekonáme, aj keď cítime svalovú námahu (obr. 4.1-3).

Človek, ktorý nesie po schodoch tašku s nákupom, koná prácu. Veľkosť práce, ktorú vykoná, nezávisí len od hmotnosti nákupu, ale aj od toho, na ktoré poschodie tašku s nákupom vynesie.

Ak **smer sily je zhodný s trajektóriou** (obr. 4.1-1), mechanickú prácu určíme zo vzťahu $W = F s$, kde F je pôsobiaca sila a s je dráha.



Obr. 4.1-4 Smer sily zvierá s trajektóriou uhol α

Ak **smer sily nie je zhodný s trajektóriou** a zvierá s ňou uhol α (obr. 4.1-4), mechanickú prácu určíme zo vzťahu $W = F s \cos \alpha$.

Vysvetlenie je jednoduché. V tomto prípade sa pri premiestňovaní telesa neuplatní celá sila F , ale len jej zložka F_1 , ktorej smer je zhodný s trajektóriou. Preto prácu koná len sila F_1 , teda práca je $W = F_1 s$. Na výpočet veľkosti sily F_1

využijeme goniometrickú funkciu kosínus $\cos \alpha = \frac{F_1}{F}$ vo vzniknutom pravouhlom

trojuholníku (obr. 4.1-4). Ak zo vzťahu vyjadríme silu F_l a dosadíme do vzťahu

$$W = F_l s, \text{ dostaneme } W = F s \cos \alpha.$$

O veľkosti vykonanej práce rozhoduje nielen veľkosť sily a dráhy, ale aj uhol, ktorý zvierá smer sily a trajektória.

Práca je maximálna vtedy, keď $\alpha = 0^\circ$, lebo $\cos 0^\circ = 1$.

Práca je nulová vtedy, keď $\alpha = 90^\circ$, lebo $\cos 90^\circ = 0$.

Sila prácu nekoná, ak je jej smer kolmý na smer trajektórie. Preto, keď nesieme školskú aktovku kolmo na vodorovnú podložku po ktorej sa pohybujeme, tak naša ruka z fyzikálneho hľadiska prácu nekoná.

Jednotkou práce je joule, označuje sa J.

Zo vzťahu $W = F s$ odvodíme, že $1\text{ J} = 1\text{ N} \cdot 1\text{ m}$.

Prácu 1J vykoná stála sila 1N pri premiestnení telesa po dráhe 1m (smer sily musí byť zhodný s trajektóriou).

Úlohy 4.1

1. Vyjadrite jednotku práce joule J pomocou základných jednotiek sústavy SI.
2. Kedy koná človek pri chôdzi väčšiu prácu, keď robí malé alebo veľké kroky?
3. Koná prácu človek idúci po vodorovnej rovine, ak zanedbáme odpor prostredia?
4. Konáme mechanickú prácu, ak chceme odtlačiť ťažký náklad a napriek tomu, že sa veľmi unavíme, nepohneme ním?
5. Vypočítajte akú prácu vykoná elektromotor výtahu, keď ťa s kamarátom dopraví na 5. poschodie. Výška jedného poschodia je 5m. O hmotnosti kabíny neuvažujte.
6. Lano ťahá kabínu vysutej dráhy nahor silou 4 kN. Vrchol dosiahne za 5 minút pri rýchlosti $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Aká veľká práca sa vykoná, ak sa kabína dostane na vrchol? Pohyb kabíny je rovnomerný priamočiary. [6 MJ]
7. Určte prácu, ktorú pri voľnom páde telesa s hmotnosťou 2000 g vykoná sila za prvú $\frac{1}{12}$ minúty. Odpor vzduchu neuvažujte. [2,5 kJ]
8. O akú vzdialenosť sa posunie teleso, ak sila 0,152 kN, ktorá pôsobí na teleso pod uhlom 51° , vykoná prácu 5,14 kJ? [53,7 m]
9. Akú prácu vykonal nákladný automobil, ktorý s nákladom o hmotnosti 5 t, dosiahol pri rovnomerne zrýchlenom pohybe po priamej ceste za 12 s rýchlosť $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$? [1,5 MJ]

4.2 Mechanická energia

Spoločným názvom mechanická energia sa označuje potenciálna a kinetická energia.

1. Potenciálna (polohová) energia

Ak zdvihneme teleso do určitej výšky nad povrch Zeme získa energiu. Takto získaná energia sa nazýva potenciálna energia.



Obr. 4.2-1 Zdvihnuté činky a sekera majú potenciálnu energiu

Potenciálnu energiu má každé teleso zdvihnuté do určitej výšky nad povrchom Zeme (obr. 4.2-1).

Ak teleso padne z tejto výšky, vykoná rovnako veľkú mechanickú prácu. Preto platí $W = E_p$.

Keď rukou zdvihneme teleso rovnomerným pohybom do výšky h nad povrch Zeme, prekonáva sila našej ruky tiažovú silu F_G ,

ktorou pôsobí Zem na teleso a vykoná prácu $W = F_G h$. Tým teleso získa vzhľadom na Zem potenciálnu energiu $E_p = F_G h$, pričom $F_G = m g$. Platí, že $E_p = W = F_G h = m g h$.

Vzťah na výpočet potenciálnej energie je $E_p = m g h$.

Jednotkou potenciálnej energie je joule, označuje sa J .

Potenciálna energia je veličina relatívna. Určujeme ju vzhľadom na rôzne telesá, najčastejšie vzhľadom na povrch Zeme, na podlahu v miestnosti, na rovinu dosky stola.



Potenciálnu energiu má aj voda na „hrane“ vodopádu (obr. 4.2-2). Pri páde vody z výšky sa potenciálna energia mení na kinetickú. Vo vodných elektrárnach túto energiu využívame na pohon turbín. Turbína roztáča rotor alternátora, v ktorom sa mechanická energia premieňa na elektrickú energiu.

Obr. 4.2-2 Voda má mechanickú energiu

2. Kinetická (pohybová) energia

Kinetickú energiu má každé teleso v pohybe, napr. pohybujúce sa auto, motocyklista, vagón, lopta, strela, sane ťahané psím záprahom, otáčajúca sa turbína (obr.4.2-3). K tomu, aby sme teleso uviedli do pohybu musíme vykonať prácu.



Obr. 4.2-3 Pohybujúci sa motocykel, sane a lopta majú kinetickú energiu

Predpokladajme, že na voľné teleso s hmotnosťou m začne pôsobiť stála sila veľkosti F . Podľa druhého pohybového zákona $F = m a$ sa teleso pohybuje so zrýchlením a . Ak je teleso na začiatku v pokoji, prejde za čas t pôsobením sily $F = m a$ dráhu $s = \frac{1}{2} a t^2$ v smere pôsobiacej sily.

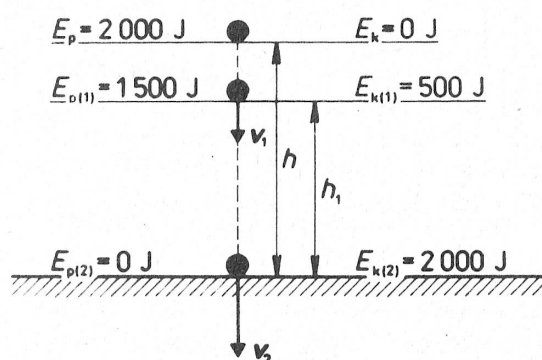
V tomto prípade vykoná stála sila veľkosti F prácu W , ktorá sa rovná kinetickej energii E_k . Platí, že $E_k = W = F s = m a \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} m (a t)^2 = \frac{1}{2} m v^2$.

Vzťah na výpočet kinetickej energie je $E_k = \frac{1}{2} m v^2$.

Jednotkou kinetickej energie je joule J . Rozmer joula je $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$.

Kinetická energia telesa je relatívna veličina. Určujeme ju vždy vzhľadom na určitú vzťažnú sústavu, najčastejšie vzhľadom na povrch Zeme.

Zákon zachovania mechanickej energie



Obr. 4.2-4 Zachovanie mechanickej energie pri páde lopty

Ak padá vykopnutá lopta k zemi, tak v najvyššom bode, kde sa lopta zastavila, má maximálnu potenciálnu energiu a kinetická energia je nulová (obr. 4.2-4). Pri páde lopty sa postupne jej potenciálna energia znižuje a zvyšuje sa kinetická energia. Pri dopade lopty na zem je kinetická energia maximálna a potenciálna energia je nulová. Celková mechanická energia lopty počas pádu zostáva stála.

Celková mechanická energia sa nemení, napr. aj pri skoku športovca o žrdi (obr. 4.2-5), pri pohybe kyvadla, pri kmitaní závažia zaveseného na pružine.

Pri spomínaných dejoch platí **zákon zachovania mechanickej energie**, ktorý znie:

Pri všetkých mechanických dejoch sa mení potenciálna energia na kinetickú a naopak, pričom celková mechanická energia izolovanej sústavy telies zostáva stála.

Platí $E_p + E_k = \text{konšt.}$

Zákon zachovania mechanickej energie platí len za predpokladu, že na teleso počas jeho pohybu nepôsobia silou žiadne iné telesá (napr. odpor vzduchu) okrem Zeme, ktorá uvádza teleso buď do pohybu rovnomerne spomaleného, ak je teleso vrhnuté zvisle nahor alebo do pohybu rovnomerne zrýchleného pri voľnom páde. Teda teleso a Zem tvoria izolovanú sústavu telies.

Obr. 4.2-5 Skok športovca o žrdi



V každodennom živote zisťujeme, že celková mechanická energia telesa nie je stála, ale sa postupne zmenšuje. Loptička spustená z určitej výšky na podlahu sa od podlahy odrazí, ale už do tej istej výšky nevystúpi a po niekoľkých ďalších odrazoch od podlahy sa nakoniec zastaví. Znamená to, že jej pôvodná mechanická energia zanikla?

Podľa zákona zachovania energie nie je možný zánik energie. Nastáva len premena jednej formy energie na druhú, prenos energie z jedného telesa na druhé.

Spomínaná loptička sa po určitom čase zastavila preto, lebo mechanická energia sa spotrebovala na prekonanie odporu vzduchu, časť sa zmenila na teplo pri nárazoch na podlahu a pri prekonávaní tretej sily pri pohybe po podlahe.

Úlohy 4.2

1. Prečo je pri štiepaní hrubších kusov dreva výhodnejšia ťažšia sekera s dlhším poriskom?
2. Gumové pneumatiky auta, pružiny tlmičov, nárazníky vagónov zoslabujú nárazy a údery. Prečo?
3. Aká konštrukcia čelnej časti automobilu je bezpečnejšia? Pevná, či ľahšie deformovateľná?
4. Prečo sa zviera i človek pred skokom prikrčí?
5. Vysvetlite, aké premeny energie prebiehajú pri využití vody z priehrady na pohon turbíny.
6. Kameň s hmotnosťou 9000 g je vo výške 49 m. Akú má potenciálnu energiu?
[4,41 kJ]
7. Futbalista s hmotnosťou 80 kg, bežiaci po ihrisku rýchlosťou $7,2 \text{ km.h}^{-1}$, odkopne loptu s hmotnosťou 700 g. Začiatočná rýchlosť odkopnutej lopty je 20 m.s^{-1} . Vypočítajte kinetickú energiu futbalistu a lopty. Výsledky porovnajte. [160 J, 140 J]
8. Kladiivo s hmotnosťou 1000 g dopadlo na skobu rýchlosťou 5 m.s^{-1} , pričom skoba prenikla do steny o 2 cm. Aká veľká je priemerná odporová sila steny? [625 N]
9. Baranidlo s hmotnosťou 3 q padá z výšky 50 dm. Pri prvom náraze zarazí kôl do hĺbky 500 mm. Aký veľký je odpor pôdy? [29,4 kN]
10. Strela s hmotnosťou 20 g prenikla do hĺbky 10 cm kmeňu stromu. Akou veľkou rýchlosťou sa pohybovala strela pred nárazom, ak priemerná odporová sila stromu je 4 kN? [200 m.s^{-1}]
11. Automobil s hmotnosťou 2 t, ktorý má rýchlosť 72 km.h^{-1} , začal brzdiť. Priemerná brzdiaca sila bola 4 kN. Akú dráhu prešiel automobil pri brzdení? [100 m]
12. Vozidlo s hmotnosťou 5 q nadobudlo po prejení dráhy 12,5 m od začiatku pohybu kinetickú energiu 6,25 kJ. Akú rýchlosť dosiahlo vozidlo na konci dráhy? [5 m.s^{-1}]
13. Teleso s hmotnosťou 2000 g voľne padá z výšky 45 m. Aká bude jeho potenciálna a kinetická energia za 2 s od začiatku pohybu? Aká bude jeho celková mechanická energia? [500 J, 400 J, 900 J]

4.3 Výkon a účinnosť

Výkon

V praxi je často dôležité na posúdenie činnosti strojov alebo ľudí poznať nielen veľkosť vykonanej práce, ale i čas, za ktorý sa práca vykoná.

Výkon je fyzikálna veličina, ktorá udáva množstvo vykonanej práce za určitý čas.

Výkon určíme ako podiel mechanickej práce W a času t , za ktorý bola práca vykonaná. Výkon vypočítame zo vzťahu $P = \frac{W}{t}$.

Jednotkou výkonu je watt, označuje sa W .

Zo vzťahu $P = \frac{W}{t}$ vyplýva, že $1 W = \frac{1 J}{1 s}$.

Stroj alebo človek má výkon $1W$, ak vykoná prácu $1J$ za $1s$.

Vzťah wattu k základným jednotkám je $W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}{s} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$.

Údaj o výkone stroja je uvedený na výrobnom štítku stroja.

Rozlišujeme **priemerný výkon**, ktorý sa vzťahuje k určitému časovému intervalu a **okamžitý výkon**, ktorý sa vzťahuje k určitému časovému okamihu.

Zo vzťahu $P = \frac{W}{t}$ môžeme vypočítať mechanicкую prácu $W = P t$, pričom P je výkon stroja a t čas, za ktorý stroj pracuje.

Jednotkou takto vypočítanej **mechanickej práce je wattsekunda**, v praxi sa často využíva **kilowatthodina** napr. pri určení spotreby elektrickej energie v domácnostiach, pri meraní práce elektromotora.

Platí, že $1 W \cdot s = 1 J$

$1 W \cdot h = 1 W \cdot 3600s = 3600 J$

$1 kW \cdot h = 1 kW \cdot 1 h = 1 kW \cdot 3600s = 3600 kJ$.

V prípade, že ťahová sila motora vyrovnáva odporové sily pôsobiace proti pohybu, napr. auta, traktora, elektrickej lokomotívy, teleso sa pohybuje rovnomerne priamočiaro

a výkon je určený súčinom veľkosti sily a rýchlosti. Platí vzťah $P = \frac{W}{t} = \frac{F s}{t} = F v$.
Pôsobiacia sila a rýchlosť majú súhlasný smer.

Účinnosť

Nie všetka energia dodaná stroju za určitý čas sa využije na užitočnú prácu. Stroje musia prekonávať odporové sily pôsobiace proti pohybu. Práca spojená s prekonávaním odporových síl, napr. trecej sily sa mení neúčinne, najčastejšie na teplo a vznikajú straty.

Čím je užitočná práca stroja väčšia, tým je stroj hospodárnejší.

Na posúdenie hospodárnosti strojov určujeme ich účinnosť.

Účinnosť stroja definujeme ako podiel výkonu P a príkonu P_0 . Platí vzťah

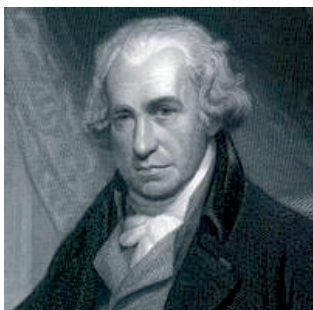
$$\eta = \frac{P}{P_0} 100\% . \text{ Účinnosť sa udáva v \% .}$$

$$\text{výkon} = \frac{\text{práca vykonaná strojom}}{\text{časový interval}}$$

$$\text{príkon} = \frac{\text{energia dodaná stroju}}{\text{časový interval}}$$

Stroj nikdy nemôže vykonať väčšiu prácu, ako je energia, ktorú sme mu dodali. Protirečilo by to zákonu zachovania energie. Výkon stroja je vždy menší ako jeho príkon $P < P_0$, preto je účinnosť $\eta < 1$ alebo ak ju vyjadríme v percentách, je $\eta < 100\%$.

James Watt (1736 – 1819)



Bol anglický mechanik, vynálezca a fyzik – samouk, ktorý sa vypracoval z remeselníka na jedného z významných mužov histórie.

Známy je predovšetkým ako vynálezca parného stroja. Nie je to celkom pravda, lebo v skutočnosti zdokonalil Thomasov Newcomenov parný stroj. Urobil také vylepšenia, ktoré umožnili parný stroj priemyselne využívať. Prvé dva parné stroje boli na svete v roku 1776, jeden slúžil na odvodňovanie uhoľnej bane, druhý na pohon vysokej pece. Wattovým zdokonalením parného stroja sa v Anglicku začala veľká priemyselná revolúcia. Na jeho počesť bola pomenovaná jednotka výkonu watt.

Úlohy 4.3

1. Čo znamená, že stroj pracuje s účinnosťou 83%?
2. Koľko % sú straty stroja, ak stroj pracuje s účinnosťou 0,77?
3. Pozrite doma výrobné štítky aspoň 3 elektrospotrebičov. Odpíšte z nich hodnotu príkonu. Ktoré ďalšie údaje sú uvádzané na štítku?
4. Lietadlo sa má vzniesť za 1 minútu do výšky 1,5 km. Aký výkon musí vyvinúť motor, keď hmotnosť lietadla je 3,5 t? [875 kW]
5. Aký je výkon elektrickej lokomotívy, ktorá má pri rýchlosti 100 km.h⁻¹ ťažnú silu 40 kN? [1111,2 kW]
6. Akú ťažnú silu vyvíja rušeň s výkonom 2,21 MW, keď sa pohybuje rýchlosťou 72 km.h⁻¹? [110,5 kN]
7. Aký príkon v kW musí mať elektromotor čerpadla, ktoré vyčerpá za 4 s vodu s objemom 100 l do výšky 2 m? Hustota vody je 1000 kg.m⁻³. [5 kW]
8. Automobil s hmotnosťou 3 t sa pohybuje stálou rýchlosťou 40 km.h⁻¹ po vodorovnej ceste. Určte výkon jeho motora, ak súčiniteľ trenia je 0,06. [20 kW]
9. K pracovnému piestu hydraulického lisu priteká za sekundu 0,4 l oleja s pretlakom 0,25 MPa. Aký výkon je potrebný na pohon lisu? [100 W]
10. Aká účinnosť má Peltonova turbína poháňaná množstvom vody 2,25 m³.s⁻¹ pri spáde 90 m, keď jej výkon je 1839 kW? [90,81%]
11. Mechanická lopata, ktorou pohybuje motor s príkonom 3677,5 W vyzdvihne 180 t piesku do výšky 6 m za hodinu. Aká je účinnosť zariadenia? [81,57%]
12. Aký príkon musí mať motor hobl'ovačky, ak dĺžka pracovného zdvihu je 1650 mm, čas potrebný na 1 zdvih je 11 s, pôsobiaca sila je 11400 N a účinnosť stroja je 82%. [2,085 kW]
13. Za koľko minút zdvihne rovnomerným pohybom žeriav, ktorého elektromotor má príkon 9 kW, bremeno hmotnosti 12 t do výšky 900 cm, ak účinnosť celého zariadenia je 65,4%? [3 min]
14. Traktor ťahá pluh rýchlosťou 1,2 m.s⁻¹. Aký veľký odpor kladie pôda pluhu pri výkone 17,652 kW? [14,71 kN]
15. Vodopádom vysokým 50 m padá za minútu 450 000 m³ vody. Určte výkon vodopádu. [3750 MW]

5 MECHANIKA TEKUTÍN

5.1 Základné vlastnosti tekutín

Tekutina je spoločný názov pre kvapaliny a plyny (resp. aj pre plazmu). **Spoločnou vlastnosťou tekutín je tekutosť**, čiže neschopnosť udržať svoj stály tvar vďaka možnému vzájomnému pohybu častíc.

Tekutiny sa skladajú z častíc (molekúl, atómov, iónov), ktoré sú v neustálom neusporiadanom pohybe. Častice na seba navzájom pôsobia príťažlivými a odpudivými silami. Veľmi ľahká vzájomná zmena polohy častíc tekutín spôsobuje, že tekutiny nemajú vlastný tvar, ale prispôbujú sa tvaru telies, v ktorých sa nachádzajú. Sú dobre deliteľné.

Kvapaliny a ani plyny nie sú dokonale tekuté.

Rozdielnú tekutosť kvapalín pozorujeme napr. u vody a oleja. Príčinou rozdielnej tekutosti sú vnútorné odporové sily, ktoré pôsobia proti vzájomnému pohybu častíc. Medzi vrstvami pohybujúcej sa kvapaliny vzniká **vnútorné trenie**. Charakterizuje ho **viskozita**. Rôzne kvapaliny sa odlišujú svojou viskozitou. **Čím je vnútorné trenie väčšie, tým je kvapalina viskóznejšia**, napr. med je viskóznejší ako voda.

Základné vlastnosti kvapalín: nemajú stály tvar, majú stály objem, v tiažovom poli Zeme majú v pokoji vodorovný voľný povrch, sú málo stlačiteľné.

Základné vlastnosti plynov: nemajú stály tvar a objem, sú rozpúšťavé a dobre stlačiteľné.

Pre zjednodušenie úvah sa zavádza pojem **ideálna kvapalina** (je nestlačiteľná, dokonale tekutá – bez vnútorného trenia) a **ideálny plyn** (je dokonale stlačiteľný, dokonale tekutý – bez vnútorného trenia).

Úlohy 5.1

1. Vymenujte 4 látky v kvapalnom a 4 látky v plynnom skupenstve.
2. Vymenujte spoločné vlastnosti kvapalín a plynov.
3. Vymenujte rozdielne vlastnosti kvapalín a plynov.
4. Ako vyzerá voda vo fľaši v beztlakovom stave napr. v rakete? Môžeme túto vodu odzátkať, aby sme sa napili?

5.2 Tlak v tekutine

Skalárna fyzikálna veličina, ktorá určuje stav tekutiny v pokoji, sa nazýva **tlak p** .

Zo základnej školy viete, že tlak vypočítame zo vzťahu $p = \frac{F}{S}$, kde F je veľkosť tlakovej sily pôsobiacej kolmo na rovinnú plochu (sila je rovnomerne rozložená na celej ploche) a S je obsah tejto plochy. Jednotkou tlaku je pascal Pa.

Zo vzťahu pre tlak vyplýva, že $1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$. 1 Pa je tlak, ktorý vyvolá tlaková sila 1 N

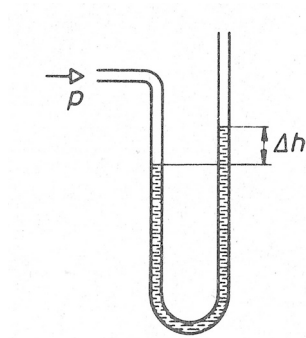
rovnomerne rozložená na ploche 1 m^2 a pôsobiaca kolmo na túto plochu.

Pascal má rozmer $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$, lebo $[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{m^2} = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$.

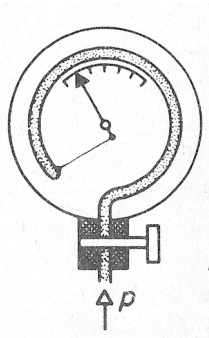
Tlak v tekutinách meriame manometrom (tlakomerom), napr. meranie tlaku vzduchu a kvapaliny, meranie tlaku v uzavretom priestore – v pneumatike, v parnom kotli.

Keď je tlak plynu v uzavretej nádobe väčší ako atmosferický tlak, je v nádobe **pretlak** vzhľadom na atmosferický tlak.

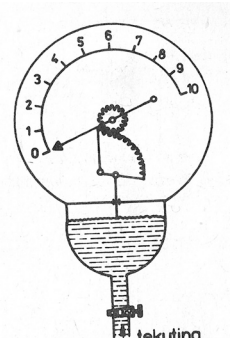
Keď je tlak plynu v uzavretej nádobe menší ako atmosferický tlak, je v nádobe **podtlak** vzhľadom na atmosferický tlak.



Obr. 5.2-2
Otvorený manometer



Obr. 5.2-3
Bourdonov manometer



Obr. 5.2-4
Membránový manometer

Na meranie malých podtlakov alebo pretlakov v atmosfére sa používa otvorený kvapalinový manometer. Skladá sa z otvorenej trubice tvaru U a veľkosť tlaku sa dá určiť z rozdielu hladín kvapaliny v ramenách trubice (obr. 5.2-2).

Na meranie veľkých pretlakov sa používa deformačný manometer. Využíva zmenu geometrického tvaru deformačného člena. Podľa toho sú aj pomenované: membránový, skrinkový a vlnovcový manometer, Bourdonova trubica. Tlak sa prevádza na mechanické napätie, spôsobuje výchylku. Táto výchylka sa mechanicky prenáša na stupnicu alebo sa zaznamenáva pomocou elektrických snímačov polohy resp. deformácie. Na obr. 5.2-3 je v deformačnom manometri použitá **Bourdonova trubica**. Tlaková sila vyvolaná tlakom tekutiny narovnáva kruhovo ohnutú trubicu, ktorej koniec je pripojený pákovým mechanizmom na ručičku prístroja.

Pri **membránovom manometri** pôsobí tlaková sila tekutiny na pružnú membránu, ktorá sa prehýba (obr. 5.2-4). Prehnutie membrány, ktoré je úmerné tlakovej sile, sa prenáša pákovým mechanizmom na ručičku. Ručička ukazuje príslušný tlak na stupnici.

Úlohy 5.2

1. Aký je princíp nasávania vody kvapátkom?
2. Aký je princíp vysávania elektrickým vysávačom?
3. Ak vám uletí balón naplnený ľahkým plynom, napr. vodíkom, héliom, vo väčšej výške väčšinou praskne. Prečo?
4. Špeciálne druhy tlakomerov majú svoje vlastné názvy. Vyhľadajte na internete názvy tlakomerov podľa určenia.
5. Na píst s obsahom plochy 10 cm^2 pôsobí sila $0,1 \text{ kN}$. Aký veľký tlak vyvolá táto sila v kvapaline? [$0,1 \text{ MPa}$]

6. Určte tlakovú silu, ktorou pôsobí para na poistnú záklopku s priemerom 6 cm a manometer ukazuje tlak 98,066 kPa. [277,27 N]
7. Vypočítajte priemer kruhovej podstavy väčšieho piesta hydraulického zariadenia, ak tlaková sila 0,01152 MN vyvolá v kvapaline tlak 15,923 kPa. [96 cm]
8. Vo vnútri zaváracej fľaše pôsobí tlak vodnej pary 1,962 kPa, zvonka pôsobí tlak vzduchu $0,98 \cdot 10^5$ Pa. Vnútorňý priemer hrdla zaváracej fľaše je 90 mm. Aká tlaková sila uzatvára kryt fľaše? (Návod: Výsledný tlak sa rovná rozdielu tlaku vzduchu a tlaku vodnej pary.) [610,7 N]
9. Akou veľkou tlakovou silou pôsobí vzduch na povrch ľudského tela s obsahom plochy $1,6 \text{ m}^2$ za normálneho atmosférického tlaku 101,325 kPa? [162,12 kN]

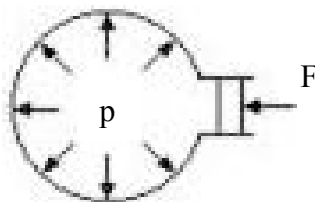
5.3 Pascalov zákon

Na základe pozorovaní a meraní sformuloval francúzsky fyzik a matematik Blaise Pascal v 17. storočí zákon o tlaku v kvapalinách vyvolanom vonkajšou silou. Sériou pokusov dokázal rovnomerné šírenie tlaku v kvapaline (obr. 5.3-1).

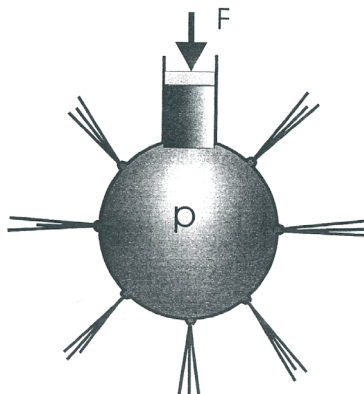
Pascalov zákon znie:

Tlak v kvapaline, ktorý vznikne pôsobením vonkajšej sily na povrch kvapaliny v uzavretej nádobe, je v každom mieste kvapaliny rovnaký.

Sklenú banku s otvormi naplníme vodou (obr. 5.3-2).



Obr. 5.3-1 Pôsobenie tlaku v kvapaline



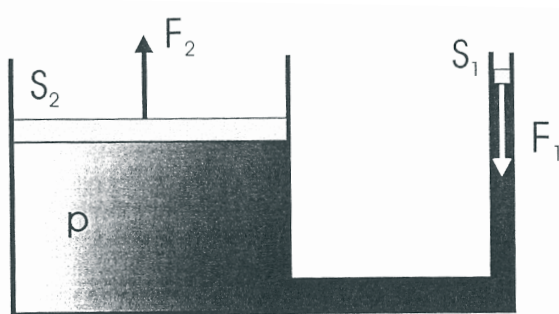
Obr. 5.3-2 Overenie Pascalovho zákona

Ak pôsobíme tlakovou silou na piest, voda vystrekuje rovnako prudko každým otvorom. Podobný pokus si môžete vyskúšať sami, potrebujete k tomu igelitové vrecko a špendlík či ihlu.

Záveru vyplývajúce z Pascalovho zákona platia aj pre plyny.

V technickej praxi sa stretneme s využitím Pascalovho zákona najmä v hydraulických zariadeniach (využívajú kvapalinu najmä olej) a v pneumatických zariadeniach (využívajú stlačený plyn zvyčajne vzduch).

Základnou časťou hydraulického zariadenia (obr. 5.3-3) sú dve spojené valcové nádoby s rôznymi prierezmi S_1 , S_2 . V nádobách je uzavretá kvapalina pohyblivými piestami. Pôsobením vonkajšej tlakovej sily F_1 na menší piest s obsahom prierezu S_1 vzniká v kvapaline tlak, ktorý má podľa Pascalovho zákona v každom mieste kvapaliny rovnakú hodnotu $p = \frac{F_1}{S_1}$. Pri tomto tlaku pôsobí kvapalina na väčší piest s obsahom



Obr.5.3-3 Hydraulické zariadenie

prierezu S_2 tlakovou silou $F_2 = p S_2 = \frac{F_1}{S_1} S_2$. Odtiaľ po úprave

dostaneme rovnicu $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

Na piest v širšej nádobe pôsobí kvapalina toľkokrát väčšou silou, ako je sila pôsobiaca na piest v užšej nádobe, koľkokrát je obsah

prierezu širšieho piesta väčší ako obsah prierezu užšieho piesta.

V hydraulickom zariadení teda môžeme vyvolať tlakové sily mnohonásobne väčšie ako je sila, ktorou pôsobíme na piest v užšej nádobe.

Ak sa posunie menší piest po dráhe s_1 nadol, vystúpi piest v širšej nádobe o menšiu dráhu s_2 nahor, ale posunuté objemy kvapaliny $V_1 = S_1 s_1$ a $V_2 = S_2 s_2$ sú na základe nestlačiteľnosti kvapaliny rovnaké. Preto platí, že $S_1 s_1 = S_2 s_2$ a z toho $\frac{S_1}{S_2} = \frac{s_2}{s_1}$.

Plošné obsahy prierezov valcov sú v prevrátenom pomere k dráham, o ktoré sa piesty pôsobením síl posunú.

Na základe tlaku v kvapalinách môžeme zväčšovať a ľahko odovzdávať silové pôsobenie. Veľkosťou piestu sa dá ovplyvniť aj veľkosť tlakovej sily.

Na princípe hydraulického zariadenia pracujú hydraulické zubárske kreslá, vyklápacie zariadenia nákladných áut, hydraulické ramená bagrov, hydraulické zdvíhaky, hydraulické brzdy áut, hydraulické ovládače kormidiel oceánskych lodí, lisy, pneumatické zbíjačky, pneumatické kladivá, pneumatické ovládanie dverí metra.

Blaise Pascal (1623 – 1662)



Bol francúzsky filozof, matematik a fyzik. Narodil sa v rodine sudcu. Bol zázračným dieťaťom. V jedenástich rokoch napísal svoju prvú vedeckú prácu o zvuku, v šestnástich rokoch o kužeľosečkách a v devätnástich rokoch skonštruoval prvý mechanický počítací stroj (predchodca dnešnej kalkulačky). Vo fyzike je jeho meno spojené so známym zákonom o šírení tlaku v kvapalinách. Na jeho pamiatku bola pomenovaná jednotka tlaku pascal Pa.

Úlohy 5.3

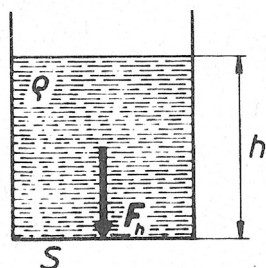
1. Bude rovnako účinný hydraulický lis, ak jeho valce namiesto kvapaliny vyplnía plyn?
2. Aký je fyzikálny princíp pneumatickej zbíjačky?
3. Dve nádoby s kvapalinou sú uzavreté pohyblivým piestom. V prvej nádobe pôsobí sila F na piest s plochou S a vyvolá v kvapaline tlak p . V druhej nádobe bude rovnaká sila F pôsobiť na piest s plochou $2S$. Aký bude tlak v kvapaline v druhej nádobe vzhľadom k tlaku p ? Svoje tvrdenie zdôvodnite výpočtom.

4. Hydraulické napínacie zariadenie určené na skúmanie pevnosti materiálov namáhaných ťahom má plochu malého piesta 5cm^2 a plochu veľkého piesta 1dm^2 . Akú veľkú napínaciu silu dosiahneme na veľkom pieste, ak na malom pieste budeme pôsobiť silou $0,01\text{kN}$? [200 N]
5. Hydraulický zdvihák v autoservise má obsah malého piesta 100cm^2 a veľkého piesta 1m^2 . Hmotnosť nákladného automobilu je $2,350\text{ t}$. Akou silou musíme pôsobiť na menší piest pri zdvíhaní tohto automobilu? [235 N]
6. Zubár zodvihol pomocou hydraulického zariadenia pacienta v kresle o 10 cm . Hmotnosť pacienta s kreslom je 100kg . Ako silou musel zubár pôsobiť na malý piest, ak pomer veľkosti plôch veľkého a malého piesta je $S_1/S_2 = 20$? [50 N]
7. Plošné obsahy prierezov valcov hydraulického lisu sú $0,0012\text{ m}^2$ a 108 cm^2 . Akou tlakovou silou pôsobí väčší piest, ak na menší piest pôsobí sila $0,1\text{ kN}$? O koľko sa posunie veľký piest, ak na malý piest pôsobí sila po dráhe 126 mm ? [900 N, 14 mm]
8. Hydraulický lis má obsahy prierezov valcov 20 cm^2 a 60 cm^2 . Aká tlaková sila pôsobí na menší piest, ak na väčší piest pôsobí sila 180 N ? [60 N]
9. Prierezy valcov hydraulických bŕzd na predné a zadné kolesá automobilu sú 27 mm^2 a 25 mm^2 . Koľkokrát je tlaková brzdiaca sila pôsobiaca na predné kolesá väčšia ako na zadné? [1,08]

5.4 Archimedov zákon

Je známe, že **na každé teleso ponorené pod voľným povrchom kvapaliny pôsobí tlaková sila**, ktorú nazývame **hydrostatická tlaková sila**, napr. hydrostatickou tlakovou silou pôsobí voda na dno a steny bazéna, na priehradné múry, na piliere mostov, na telo potápača, na ponorku alebo na morské živočíchy.

Hydrostatická tlaková sila je výsledkom pôsobenia tiažového poľa Zeme na jednotlivé častice kvapalného telesa.



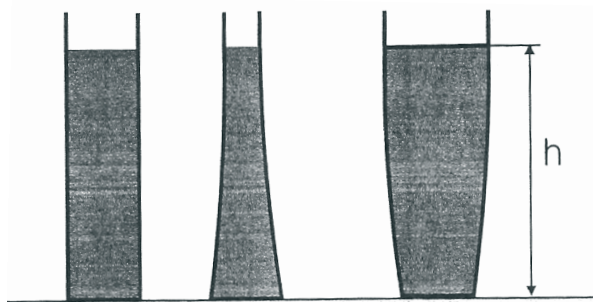
Obr. 5.4-1 Hydrostatická tlaková sila

Veľkosť hydrostatickej tlakovej sily F_h , ktorou pôsobí kvapalina v hĺbke h na dno nádoby s obsahom S , je daná tiažou G kvapaliny v nádobe (obr. 5.4-1).

Preto platí $F_h = G = m g = \rho V g = \rho S h g$, kde ρ je hustota kvapaliny, g je tiažové zrýchlenie a $V = S h$ je objem stĺpca kvapaliny s obsahom podstavy S a výškou h .

Je zaujímavé, že veľkosť hydrostatickej tlakovej sily nezávisí od tvaru nádoby a od celkového objemu kvapaliny v nádobe (**hydrostatický paradox**) (obr. 5.4-2).

Zdôvodnenie: Vo všetkých nádobách je tá istá kvapalina v rovnakej výške. Hydrostatická tlaková sila pôsobiaca na rovnaké plochy dna je vo všetkých prípadoch rovnaká.



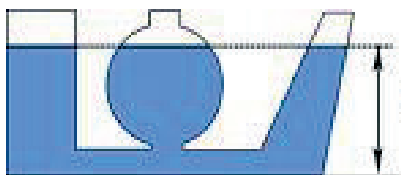
Obr. 5.4-2 Hydrostatický paradox

Tlak v kvapaline, vyvolaný hydrostatickou tlakovou silou, sa nazýva hydrostatický tlak a označuje sa p_h . Hydrostatický tlak v kvapaline je vyvolaný vlastnou tiažou kvapaliny.

Hydrostatický tlak v hĺbke h pod voľným povrchom kvapaliny s hustotou ρ je

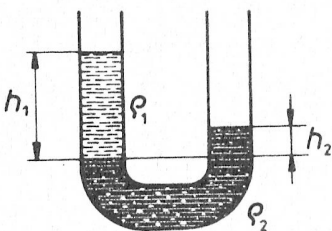
$$p_h = \frac{F_h}{S} = \frac{\rho S h g}{S} = \rho h g.$$

Hydrostatický tlak je priamo úmerný hustote kvapaliny a hĺbke miesta pod voľným povrchom kvapaliny.



Obr. 5.4-3 Spojené nádoby

Pomocou vzťahu pre hydrostatický tlak $p = h \rho g$ sa dá vysvetliť, prečo vo všetkých ramenách spojených nádob vystúpi určitá kvapalina do rovnakej výšky a to bez ohľadu na tvar a objem jednotlivých ramien. Podľa Pascalovho zákona je vo všetkých ramenách spojených nádob rovnaký tlak p , tá istá hustota kvapaliny ρ a stále tiažové zrýchlenie g , preto je aj výška kvapaliny h vo všetkých ramenách rovnaká.



Obr. 5.4-4 Spojené nádoby s kvapalinami rôznej hustoty

Inak je tomu, ak v ramenách spojených nádob sú navzájom nezmiešateľné kvapaliny rôznych hustôt ρ_1, ρ_2 (obr. 5.4-4). Pretože hydrostatické tlaky $p_1 = \rho_1 h_1 g$ a $p_2 = \rho_2 h_2 g$ sú na rozhraní oboch kvapalín rovnaké, platí

$$\rho_1 h_1 g = \rho_2 h_2 g \text{ a odtiaľ } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

Hustoty kvapalín sú v prevrátenom pomere k výškam stĺpcov kvapalín nad spoločnou hladinou.

Tento poznatok sa využíva na určovanie hustoty neznámej kvapaliny, ak poznáme hustotu druhej kvapaliny, napr. vody $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.

Archimedov zákon sformuloval v 3. storočí pred našim letopočtom grécky učenec Archimedes. Archimedov zákon znie:

Teleso ponorené do kvapaliny je nadľahčované hydrostatickou vztlakovou silou, ktorej veľkosť sa rovná tiaži kvapaliny s rovnakým objemom, ako je objem ponorenej časti telesa.

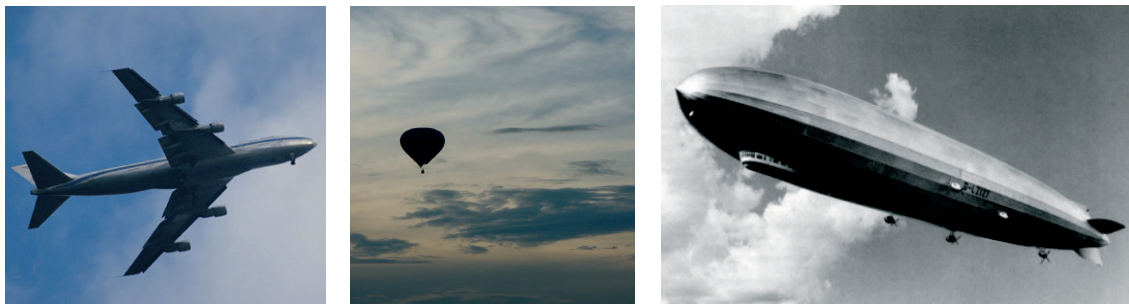
Veľkosť hydrostatickej vztlakovej sily, ktorou je teleso v kvapaline nadľahčované, vypočítame podobne ako veľkosť hydrostatickej tlakovej sily zo vzťahu $F_{vz} = \rho S h g = \rho V g$, kde ρ je

Obr. 5.4-5 Na loď pôsobí hydrostaticá vztlaková sila

hustota kvapaliny a V je objem ponorenej časti telesa.

Podobne ako v kvapalinách sú telesá nadľahčované aj v plynoch.

Vzhľadom na veľmi malú hustotu plynov je však vztlaková sila pôsobiaca na teleso nachádzajúce sa v plyne omnoho menšia ako vztlaková sila pôsobiaca na teleso v kvapaline. Vztlaková sila v plynoch sa využíva pri letoch lietadiel, balónov a vzducholodí (obr. 5.4-6).



Obr. 5.4-6 Nadľahčovanie telies vo vzduchu

A na záver trochu humoru.

Znenie Archimedovho zákona slovami začínajúcimi iba na písmeno "k":
Kameňom klesajúcim kvapalinou kmása kontrasila, ktorá kradne kameňu kilogramy.

Študent ponorený do učenia je nadľahčovaný silou - protekciou, ktorá sa rovná obsahu peňaženky jeho rodičov.

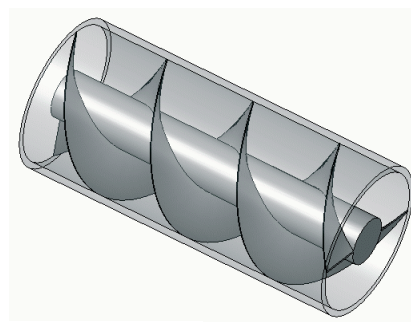
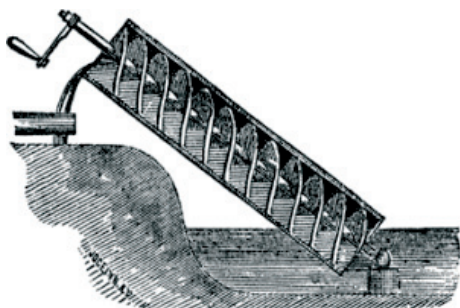
Archimedes (asi 287 – 212 pred n. l.)



Archimedes (v preklade „Železný um“) bol najvýznamnejším matematikom, fyzikom a vynálezcom staroveku (Edison staroveku).

Narodil sa v Syrakúzach na Sicílii v šľachtickej vzdelanej rodine. Od malička vynikal bystrým rozumom. Archimedes študoval dlhé roky v egyptskej Alexandrii. Po návrate do Syrakúz zasvätil svoj život výskumom a pokusom.

V matematike sa zaoberal určovaním obsahov plôch a objemov telies (niečo podobné ako integrálny počet), štúdiom mnohostenov.



Obr. 5.4-7 Archimedova skrutka

Vo fyzike sa preslávil Archimedovým zákonom pre kvapaliny, objavil zákony mechanickej rovnováhy telies, študoval ťažisko telies, preskúmal činnosť jednoduchých strojov (páka, kladka, naklonená rovina, klin), zdokonalil kladkostroj, nekonečnú skrutku (Archimedova skrutka - obrovská špirála uzatvorená v drevenom valci,

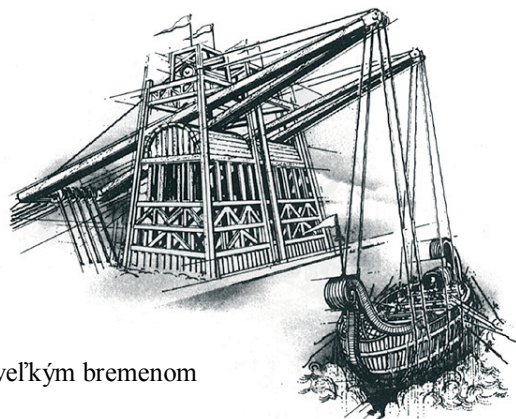
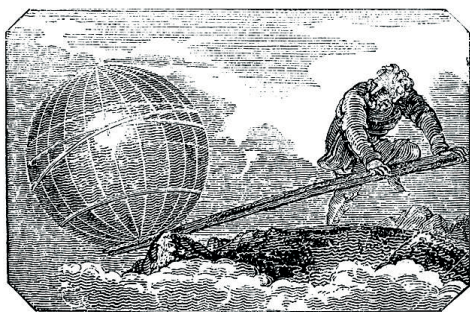
využívala sa na zavlažovanie polí, na rovnakom princípe pracuje mlynček na mäso), venoval sa konštrukcii vojnových strojov (vrhače).

Známe Archimedove výroky:

„Dajte mi pevný bod a pohnem Zemou.“ Uvedomil si, že dostatočne dlhá páka umožňuje pohnúť akýmkoľvek bremenom a znásobiť tak moc človeka nad prírodou.

„Heuréka!“ (Našiel som to!) Pri kúpeli prišiel na zákon o nadľahčovaní telies v kvapaline a s týmto nadšeným výkrikom vraj vybehol nahý na ulicu.

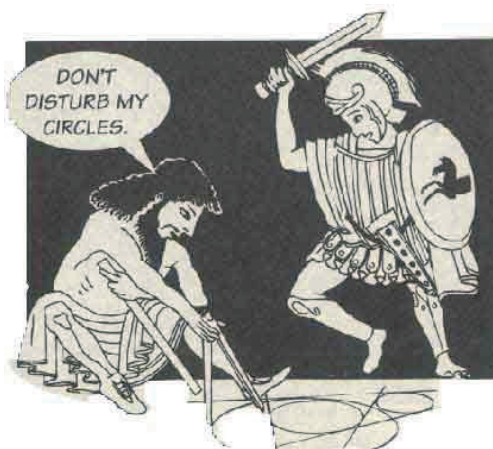
„Nedotýkajte sa mojich kruhov!“ Tieto slová stihol zvoliť skôr, ako ho rímsky vojak zahľbeného našiel kresliť v piesku nejaké geometrické obrazce a prebodol ho mečom pri dobytí Syrakúz Rimanmi.



Obr. 5.4-8, obr. 5.4-9 Páka umožňuje pohnúť aj veľkým bremenom



Obr. 5.4-10 Našiel som to!

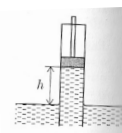


Obr.5.4-11 Zahľbený Archimedes

Úlohy 5.4

1. Prečo sú hrádze rybníkov a steny priehrad hrubšie dole ako hore?
2. Dve rovnaké nádoby sú až po okraj naplnené vodou. V jednej z nich pláva kúsok dreva. Ktorá nádoba má väčšiu tiaž? Urobte pokus.
3. Hoci veľryba žije vo vode, dýcha pľúcami. No aj napriek tomu, že má pľúca, nevydrží žiť na súši ani hodinu. Prečo?
4. Prevažná väčšina vodných rastlín má tenké ohybné steblo. Pevné tvrdé steblá sú nevhodujúce. Prečo?

5. Vysvetlite, prečo môže človek ležať na hladine vody s rukami umiestnenými za hlavou.
6. Vodné vtáky (kačice, husi, labute) sú iba nepatrne ponorené pod hladinu vody. Vysvetlite prečo.
7. Prečo má potápač pocit bolesti vtedy, keď sa potápa alebo vynára z vody? Prečo veľmi rýchle vynorenie ohrozuje jeho život?
8. Ako vzniká aerodynamická vztlaková sila, ktorá pôsobí pri pohybe lietadla?
9. Niektoré veľké morské vtáky celé hodiny, ba aj dni, sprevádzajú lode. Letia zväčša v prúde teplého vzduchu, ktorý stúpa nad loďou. Dlho letia s nehybnými krídlami a malými stratami energie. Na účet akej energie sa v tomto prípade premiestňujú?
10. Vyhľadajte na internete viac poznatkov o nekonečnej skrutke a historku o tom, ako Archimedes prišiel na to, že nepoctivý klenotník primiešal do zlatej koruny kráľa Hierona aj striebro.
11. Nádobu tvaru kocky s hranou 10 cm je naplnená až po horný okraj vodou. Určte hydrostatickú tlakovú silu, ktorou voda pôsobí na dno nádoby. [10 N]
12. Vypočítajte hydrostatický tlak v MPa v hĺbke 0,02 km pod vodnou hladinou. [0,2 MPa]
13. V akej hĺbke je tlak morskej vody 43,05 MPa, ak priemerná hustota morskej vody je $1,025 \text{ g.cm}^{-3}$. [4200 m]
14. Určte hustotu a názov kvapaliny, ktorá má v hĺbke 0,2 km tlak 2 MPa. [1000 kg.m^{-3}]
15. Valcová nádoba s obsahom prierezu 30 cm^2 a výšky 10 cm bola naplnená vodou, zakrytá listom papiera a obrátená dnom nahor do zvislej polohy. Akou veľkou silou je pritláčaný papier k nádobe za normálneho atmosférického tlaku 101,325 kPa? (Návod: Výslednú silu vypočítate ako rozdiel atmosférickej tlakovej sily a hydrostatickej tlakovej sily.) [300,975 N]
16. Hustomer sa ponorí vo vode do hĺbky 2 cm, v cukrovom roztoku do hĺbky 1 cm. Určte hustotu cukrového roztoku. [2000 kg.m^{-3}]
17. V akej hĺbke pod vodnou hladinou je hydrostatický tlak približne rovnaký ako normálny atmosférický tlak? [10,13 m]
18. Piest čerpadla, ktorý tesne prilieha k vnútornej stene dlhej valcovej trubice ponorenej do vody, sa pohybuje smerom nahor (obr. 5.4-12). Do akej výšky môže voda vystúpiť pri tomto spôsobe jej čerpania? (Návod: Hydrostatický tlak sa rovná atmosférickému tlaku.) [10 m]



Obr. 5.4-12

5.5 Plávanie telies

Dôsledky Archimedovho zákona nám pomôžu vysvetliť, prečo niektoré telesá v kvapaline klesajú na dno, iné plávajú alebo sa vznášajú.

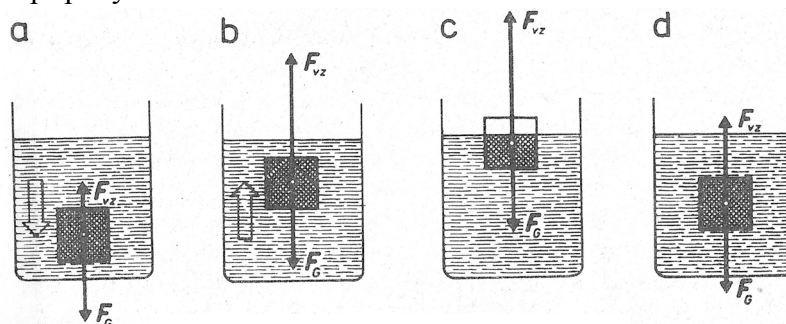
Predpokladajme, že na teleso ponorené v kvapaline pôsobí Zem tiažovou silou F_G v smere zvisle nadol a kvapalina hydrostatickou vztlakovou silou F_{vz} v smere zvisle nahor (obr. 5.5-1).

Veľkosť tiažovej sily vypočítame zo vzťahu $F_G = mg = V \rho_t g$, kde V je objem telesa a ρ_t je hustota telesa. Veľkosť hydrostatickej vztlakovej sily vypočítame zo vzťahu $F_{vz} = V' \rho_k g$, kde V' je objem ponorenej časti telesa a ρ_k je hustota kvapaliny. Pre veľkosť výslednice oboch týchto síl platí

$$F = F_G - F_{vz} = V \rho_t g - V' \rho_k g$$

Zo vzťahu vyplýva, že výslednica tiažovej sily a vztlakovej sily, ktorá na teleso v kvapaline pôsobí, závisí od hustoty tuhého telesa ρ_t a od hustoty kvapaliny ρ_k , v ktorej je teleso ponorené.

Môžu nastať prípady:



Obr.5.5-1 Správanie sa telies v tekutine

1. Hustota telesa je väčšia ako hustota kvapaliny $\rho_t > \rho_k$.

Tiažová sila pôsobiaca na teleso je väčšia ako hydrostatická vztlaková sila $F_G > F_{vz}$. Výslednica síl smeruje nadol a **teleso klesá ku dnu** (obr. 5.5-1a). Takto sa správajú telesá, ktorých priemerná hustota je väčšia ako hustota kvapaliny napr. kamene, železné predmety vo vode.

2. Hustota telesa je menšia ako hustota kvapaliny $\rho_t < \rho_k$.

Tiažová sila pôsobiaca na teleso je menšia ako hydrostatická vztlaková sila $F_G < F_{vz}$. Výslednica síl smeruje nahor, čo spôsobuje, že **teleso stúpa k voľnému povrchu kvapaliny**. Vynorí sa a ušáli sa v takej polohe, pri ktorej sú sily F_G , F_{vz} v rovnováhe (obr. 5.5-1b, c).

Teleso z látky, ktorej hustota je menšia ako hustota kvapaliny **pláva na hladine kvapaliny** napr. korok, drevo vo vode, železný predmet v ortuti.

V kvapaline však plávajú aj telesá vyrobené z materiálov s väčšími hustotami ako je hustota kvapaliny napr. vo vode plávajú lode, plechovky, duté sudy. Tieto telesá sa nepotopia preto, lebo obsahujú dutiny vyplnené vzduchom, ktorého hustota je veľmi malá, takže priemerná hustota telies je potom menšia ako hustota vody.

3. Hustota telesa je rovnaká ako hustota kvapaliny $\rho_t = \rho_k$.

Tiažová sila pôsobiaca na teleso je rovnaká ako hydrostatická vztlaková sila $F_G = F_{vz}$. Výslednica síl je nulová a na teleso nepôsobí žiadna sila.



Obr.5.5-2 Vo vode sa vznášajú ryby, potápači, ponorky

Teleso sa v kvapaline vznáša (nestúpa ani neklesá) (obr. 5.5-1d). Takto sa správajú telesá, ktorých priemerná hustota je približne rovnaká ako hustota kvapaliny, napr. vo vode sa vznášajú ryby, potápači v skafandri, ponorky (obr. 5.5-2).



Obr. 5.5-3 Hustomer

Experimenty potvrdzujú, že **ponor telies závisí od hustoty kvapaliny. Objem ponorenej časti telesa je tým väčší, čím je menšia hustota kvapaliny.** Na tomto princípe sú založené **hustomery** (obr. 5.5-3). Používajú sa na meranie hustoty kvapaliny.

Úlohy 5.5

1. Prečo je omnoho ľahšie udržať sa na hladine vody v mori ako v rieke?
2. Zmení sa ponor lode ak vypláva z rieky na more?
3. Potápač stratil v zmatku pod vodou orientáciu. Ako môže jednoducho zistiť, kde je hore a kde dole?
4. Aká vztlaková sila v kN pôsobí na teleso s objemom 100 dm^3 , ak je úplne ponorené do glycerínu s hustotou $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$? [1,25 kN]
5. Bude plávať vo vode dutá oceľová kocka s hranou dĺžky 20 cm a objemom $1,141 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$? Hustota ocele je $7,8 \text{ g.cm}^{-3}$. Svoje tvrdenie zdôvodnite výpočtom. [potopí sa]
6. Drevený hranol plávajúci na vode má ponorené $\frac{2}{3}$ svojho objemu. Aká je hustota dreva? [666,7 kg.m^{-3}]
7. Vypočítajte silu, ktorá uvádza do pohybu balón s hmotnosťou $0,6 \text{ t}$ a objemom 800 m^3 , ak balón stúpa zvisle nahor. Hustota vzduchu je $1,29 \text{ kg.m}^{-3}$. [4,32 kN]
8. Ľadovec s hustotou 920 kg.m^{-3} pláva na morskej hladine. Aká časť objemu ľadovca je nad hladinou, ak hustota morskej vody je $1,025 \text{ g.cm}^{-3}$? [10,2%]
9. Plošný obsah prierezu lode vo výške vodnej hladiny je 3800 m^2 . Po naložení nákladu sa ponor lode zvýšil o 2 m . Aká je hmotnosť nákladu lode, keď hustota morskej vody je $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$? [7752 t]
10. Určte hmotnosť ponorky v tonách s výtlakom 1500 m^3 , keď je úplne ponorená a keď sa v morskej vode hustoty $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$ voľne vznáša. [1530 t]
11. Ľadovec plávajúci v mori vyčnieva nad hladinu vody objemom 200 m^3 . Určte objem celého ľadovca, ak hustota ľadu je $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$. [1700 m^3]
12. Dve telesá s objemom V a $2V$ sú na váhach v rovnováhe. Väčšie teleso ponoríme do oleja s hustotou $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$. Aká má byť hmotnosť kvapaliny, do ktorej treba súčasne ponoriť menšie teleso, aby sa nenarušila rovnováha? [2,4 g.cm^{-3}]
13. Môže chlapec z dna jazera zdvihnúť kameň s hmotnosťou 65 kg , ak na súši zdvihne kameň s hmotnosťou 40 kg ? Hustota kameňa je $2,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Svoje tvrdenie zdôvodnite výpočtom. [áno]

5.6 Rovnica spojitosti toku

Dynamika tekutín je časť fyziky, ktorá sa zaoberá zákonitosťami pohybu tekutín.

Prúdením nazývame usmernený pohyb tekutín. Prúdenie tekutín má v praxi veľký význam, napr. prúdiaca voda, para, vzduch poháňajú turbíny vodných, tepelných,

jadrových a veterných elektrární. Ropovodmi preteká ropa, plynovodmi prúdi zemný plyn, parovodmi para, vodovodmi voda do domácností a firiem, tlakovým potrubím sa rozvádza olej k mazacím miestam strojov.

Prúdenie pary sa využíva v parných motoroch a prúdenie plynu v spaľovacích motoroch.

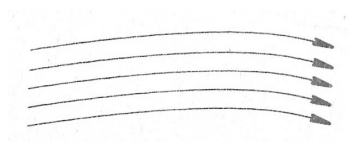
Zákony prúdiacej tekutiny sa využívajú pri konštrukcii trupov lodí, ponoriek, lietadiel, raketových striel a karosérií áut.

Opis pohybu tekutín je zložitejší v porovnaní s pohybom tuhých telies a to z toho dôvodu, že jednotlivé častice tekutiny sa môžu po sebe posúvať, môžu pri pohybe ľahko meniť svoju vzájomnú polohu.

Trajektórie jednotlivých častíc prúdiacej tekutiny znázorňujeme myslenými čiarami tzv. **prúdnicami** (obr. 5.6-1), (obr. 5.6-2).

Prúdenie tekutiny môže byť laminárne a turbulentné.

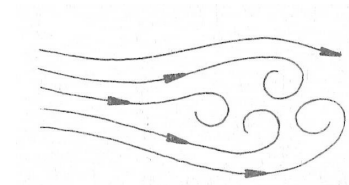
1. Laminárne prúdenie tekutiny



Obr. 5.6-1 Laminárne prúdenie tekutiny

Laminárne prúdenie tekutiny je také prúdenie, pri ktorom sú **prúdnice súbežné, navzájom sa nepretínajú** obr. 5.6-1. **Laminárne prúdenie vzniká pri malých rýchlostiach.**

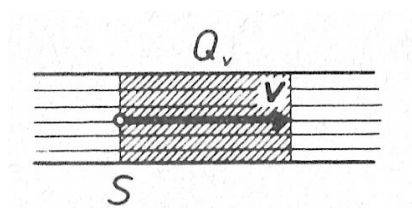
2. Turbulentné prúdenie tekutiny



Obr. 5.6-2 Turbulentné prúdenie tekutiny

Turbulentné prúdenie tekutiny je také prúdenie, pri ktorom **sa prúdnice zvlňujú, navzájom sa pretínajú, tvoria sa víry** (obr. 5.6-2). **Turbulentné prúdenie vzniká pri väčších rýchlostiach.** Prejavuje sa šumom vody, napr.

šum horskej bystriny, šum vody vo vodovodnom potrubí. Do vzdušných turbulencií sa môže dostať letiace lietadlo, vodné turbulencie vznikajú za plávajúcou loďou.



Obr. 5.6-3 Ustálené prúdenie tekutiny

Najjednoduchším prípadom laminárneho prúdenia je **ustálené prúdenie ideálnej kvapaliny, ktoré je charakterizované stálou rýchlosťou a stálym tlakom kvapaliny v určitom ľubovoľne zvolenom mieste toku** (obr. 5.6-3). Pri ustálenom prúdení preteká každým prierezom potrubia za rovnaký čas

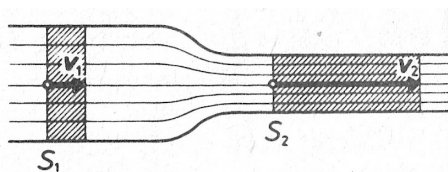
rovnaký objem kvapaliny, takže **kvapalina sa v žiadnom mieste nehromadí.**

Objem kvapaliny V , ktorý pretečie daným prierezom trubice S za jednotku času t , sa nazýva **objemový prietok** Q_v .

Objemový prietok vypočítame $Q_v = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot s}{t} = S \cdot v$, kde s je dráha, ktorú častice kvapaliny prejdú za čas t rýchlosťou v .

Jednotkou objemového prietoku je $m^3 \cdot s^{-1}$.

Objem kvapaliny, ktorý preteká potrubím za ľubovoľný čas, meriame **vodomerom**, objem plynu **plynomerom**.



Obr. 5.6-4 Prúdenie tekutiny v trubici s rôznymi prierezmi

Pri pohybe tekutiny trubicou z rôznymi prierezmi je situácia iná. Pretože objemový prietok je v ľubovoľnom priereze rovnaký, pohybujú sa častice v zúženom mieste trubice väčšou rýchlosťou ako v širšom mieste trubice.

Ak je v priereze s obsahom S_1 , rýchlosť prúdu kvapaliny v_1 , je objemový prietok $Q_{v1} = S_1 v_1$. Ak je v priereze s obsahom S_2 , rýchlosť prúdu kvapaliny v_2 , je objemový prietok $Q_{v2} = S_2 v_2$.

Pretože kvapalina sa nemôže v potrubí hromadiť, platí, že objemové prietoky sa rovnajú

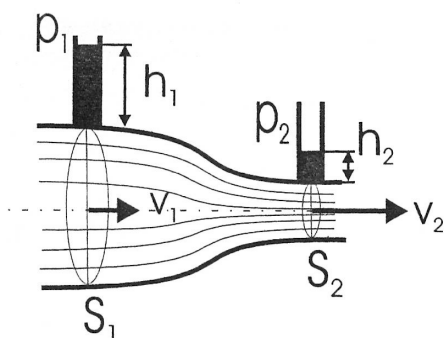
$$Q_{v1} = Q_{v2} \text{ a preto aj } S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ a pre ľubovoľný prierez } S \text{ platí } S v = \text{konšt.}$$

Pri ustálenom prúdení ideálnej kvapaliny je súčin obsahu prierezu potrubia a rýchlosti prúdu pre všetky prierezy stály. Tento vzťah sa nazýva rovnica spojitosti (kontinuity) toku.

Z rovnice kontinuity vyjadríme rýchlosť prúdu kvapaliny $v = \frac{\text{konšt.}}{S}$.

Z uvedeného vzťahu vyplýva, že **rýchlosť prúdu kvapaliny je nepriamo úmerná obsahu prierezu trubice, t. j. čím väčšia je rýchlosť prúdu kvapaliny, tým menší je obsah prierezu potrubia.**

Využitím rovnice spojitosti $S_1 v_1 = S_2 v_2$ môžeme vypočítať rýchlosť prúdiacej kvapaliny, ak poznáme zvyšné 3 fyzikálne veličiny, napr. rýchlosť vody vytekajúcej z dýzy vodometu, rýchlosť prúdenia krvi v tepnách.



Obr. 5.6-5 Prúdenie tekutiny v trubici s rôznymi prierezmi

Pri prúdiacej tekutine sa tlak v potrubí rôzneho prierezu mení. **V mieste väčšieho prierezu má prúdiaca tekutina väčší tlak, ale menšiu rýchlosť, zatiaľ čo v mieste menšieho prierezu má tekutina menší tlak, ale väčšiu rýchlosť.**

Úlohy 5.6

1. Prečo sa prúd vody vytekajúci z vodovodného kohútika postupne zužuje?

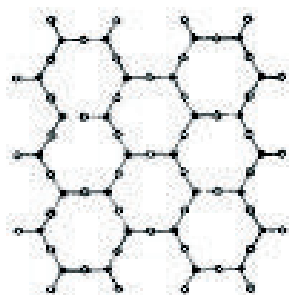
2. Ak veslár pláva po prúde rieky, tak sa zdržiava väčšinou v strede rieky. Ak pláva proti prúdu rieky, zdržiava sa radšej v blízkosti brehu. Vysvetlite.
3. Silný vietor zdvíha ľahké predmety, napr. listy, papiere, vysoko nad zem. Vysvetlite.
4. Keď okolo vás prechádza vlak veľkou rýchlosťou, cítite, ako vás prúd vzduchu priťahuje k vlaku. Prečo?
5. Ak padá sneh a súčasne fúka vietor, vytvára sa za osamelými stromami snehová priehlbina. Prečo?
6. Uveďte príklady využitia energie prúdiacej tekutiny.
7. Na čo slúžia parné a vodné turbíny?
8. Vyhľadaj na internete princíp činnosti Francisovej, Peltonovej a Kaplanovej turbíny a oboznám s ich činnosťou svojich spolužiakov.
9. Ktorá z troch uvedených turbín v predchádzajúcej úlohe sa najviac využíva v našich hydroelektrárnach a prečo?
10. Vyhľadaj na internete, kde na Slovensku sa nachádzajú tepelné a vodné elektrárne.
11. Potrubím prúdi voda rýchlosťou $0,36 \text{ km.h}^{-1}$. Priemer potrubia je 10 cm . Aký je objemový prietok vody potrubím? [$7,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
12. Voda preteká potrubím s obsahom prierezu $0,8 \text{ m}^2$ rýchlosťou $14,4 \text{ km.h}^{-1}$. Aký objem vody pretečie potrubím za 2 s ? [$6,4 \text{ m}^3$]
13. Koncovka hadice má štyrikrát menší polomer, ako je polomer hadice. Koľkokrát sa zvýši pomocou tejto koncovky veľkosť rýchlosti vytekajúcej kvapaliny oproti pôvodnej rýchlosti kvapaliny v hadici? Svoje tvrdenie zdôvodnite výpočtom.
14. Voda preteká potrubím s obsahom prierezu 80 dm^2 rýchlosťou 4 m.s^{-1} . Aká je rýchlosť prúdiacej vody v zúženej časti potrubia, ktoré má obsah 4000 cm^2 ? [8 m.s^{-1}]
15. Peter pravidelne polieva trávnik pred domom. Pri polievaní používa hadicu s vnútorným priemerom 4 cm , ktorá je zakončená dýzou, ktorej priemer je štyrikrát menší. Voda v hadici prúdi rýchlosťou 50 cm.s^{-1} . Akou veľkou rýchlosťou v m.s^{-1} vystrekuje voda z dýzy? Akou veľkou rýchlosťou v cm.s^{-1} by musela voda pretekať hadicou, aby z dýzy vystrekovala rýchlosťou 20 m.s^{-1} ? [8 m.s^{-1} , 125 cm.s^{-1}]
16. U človeka, ktorý nevykonáva nijakú fyzickú aktivitu, má aorta, t. j. hlavná cieva vychádzajúca zo srdca, obsah prierezu 3 cm^2 a krv v nej prúdi rýchlosťou 30 cm.s^{-1} . Najtenšie cievy (vlásočnice) majú priemer $6 \mu\text{m}$. Krvný obeh človeka má približne 6 miliárd vlásočníc. Akou rýchlosťou prúdi krv vo vlásočniciach? [$0,05 \text{ cm.s}^{-1}$]
17. Potrubím s obsahom prierezu 20 cm^2 pretečie za minútu 1 hl vody. Určte objemový prietok a rýchlosť vody. [$1,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $0,8 \text{ m.s}^{-1}$]
18. Potrubím s premenlivým prierezom pretečie $0,05 \text{ hl}$ vody za sekundu. Aká veľká je rýchlosť pretekajúcej vody v miestach s prierezmi s plošnými obsahmi 20 cm^2 a 100 cm^2 ? [$2,5 \text{ m.s}^{-1}$, $0,5 \text{ m.s}^{-1}$]
19. Hadica s polomerom 15 mm je zakončená dýzou s priemerom $0,05 \text{ dm}$. Z dýzy strieka voda rýchlosťou $0,027 \text{ km.s}^{-1}$. Akou rýchlosťou prúdi voda v hadici? [$0,75 \text{ m.s}^{-1}$]
20. Potrubím s prierezom obsahu $0,4 \text{ dm}^2$ pretečie za 60 sekúnd 12 hl vody. Určte objemový prietok a rýchlosť vody. [4 l.s^{-1} , 1 m.s^{-1}]

6 MOLEKULOVÁ FYZIKA A TERMIKA

6.1 Kinetická teória látok

Myšlienka o tom, že látky sa skladajú z častíc je veľmi stará. Prvé predstavy o časticovej štruktúre látok pochádzajú z 5. storočia pred našim letopočtom od starovekých gréckych filozofov Leukippa a Demokrita. Ich názory však boli skôr špekulatívne a rýchlo sa na ne zabudlo. Do 19. storočia panovala predstava, že každá látka vyplňa daný priestor spojito.

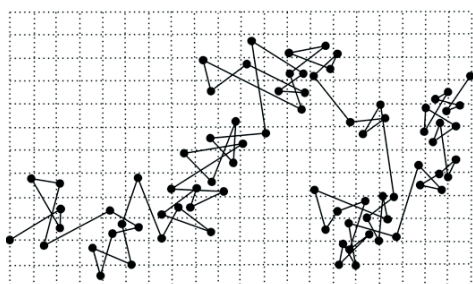
Až koncom 19. storočia vznikla tzv. kinetická teória látok, ktorá sa zakladá na troch experimentálne overených poznatkoch.



1. Látky ktoréhokoľvek skupenstva sa skladajú z častíc (atómov, iónov, molekúl) (obr. 6.1-1). Priestor, ktorý teleso z danej látky zaberá, nie je týmito časticami vyplnený úplne. Medzi časticami sú medzery. Štruktúra látky je preto nespojitá (diskrétna).

Obr. 6.1-1 Látky sa skladajú z častíc

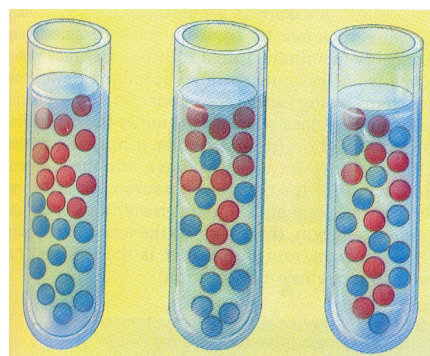
2. Častice sa v látkach pohybujú, ich pohyb je neprestajný a neusporiadaný (chaotický). Častice sa v látke pohybujú rýchlosťami rôznych smerov a veľkostí. Táto forma pohybu sa nazýva **tepelný pohyb** (obr.6.1-2).



Kvôli malým rozmerom častíc nemôžeme tento pohyb pozorovať priamo, existujú však nepriame dôkazy existencie tohto javu, napr. **difúzia, osmóza, Brownov pohyb a tlak plynu.**

Obr. 6.1-2 Tepelný pohyb častíc v látke

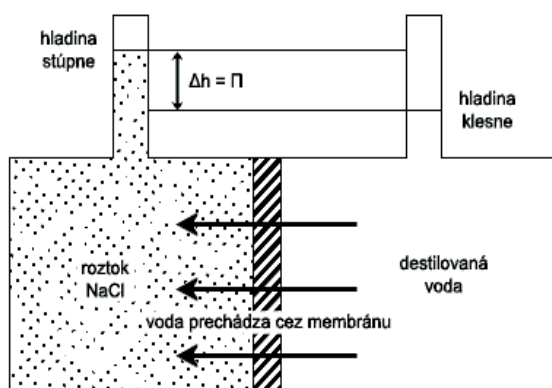
a) Difúzia je samovoľné prenikanie častíc jednej tekutiny (kvapaliny, plynu) medzi častice druhej tekutiny, spôsobené iba vlastným pohybom častíc (obr. 6.1-3), napr. šírenie vôní a pachov, konzervovanie potravín soľou. Difúzia sa vysvetľuje neustálym a neusporiadaným pohybom častíc, z ktorých sú tekutiny zložené. Priebeh difúzie môžeme urýchliť zvýšením teploty tekutiny napr. zahriatím. Pri vyššej teplote sa zväčšuje rýchlosť neusporiadane sa pohybujúcich častíc.



Obr. 6.1-3 Difúzia

b) Osmóza je prenikanie molekúl vody ako rozpúšťadla cez polopriepustnú membránu (blanu) z menej koncentrovaného do viac koncentrovaného roztoku. Polopriepustné osmotické blany, ktoré sa nachádzajú v prírode, sú veľmi tenké materiály s výnimočne malou pórovitosťou. Póry takýchto blán majú veľkosť približne $0,0001\ \mu\text{m}$ (sú 10 000 000 - krát menšie ako 1 mm). Príroda mala svoje dôvody, aby vytvorila blanu o takej pórovitosti, pretože podobnú veľkosť má molekula vody H_2O .

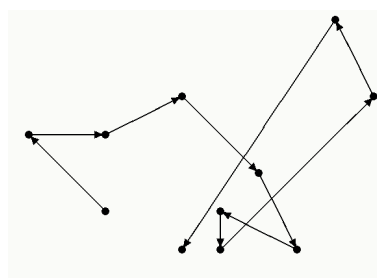
Z polopriepustných osmotických blán sú zložené steny buniek živých organizmov. Takéto blany sa nachádzajú aj v našich črevách a v koreňoch rastlín. Vďaka osmóze sa odohráva väčšina vnútrobunkových procesov, čo umožňuje organizmu existenciu, teda život (obr. 6.1-4).



Obr. 6.1-4 Demonštrácia vplyvu osmózy

Podľa obrázku 6.1-4 môžeme vysvetliť, prečo človeku neuhasí smäd slaná voda. Človek bez pitnej vody na mori zahynie od smädu.

Bunková stena sa správa ako polopriepustná membrána, prepúšťa len molekuly vody, ale nie molekuly soli. Bunky strácajú vodu, človek je dehydrovaný a zomiera.



Obr. 6.1-5 Častica koná neprestajný, neusporiadaný pohyb v dôsledku mnohých nárazov molekúl kvapaliny

c) Brownov pohyb bol prvýkrát pozorovaný pri pohybe peľových zrníček rozptýlených vo vode anglickým botanikom Róbertom Brownom (1773 – 1858). V súčasnosti Brownovým pohybom nazývame pohyb malej častice v tekutine, napr. zriedené mlieko,

zriedený tuš, zrnká krupice vo vode (obr. 6.1-5).

Pozorovaná častica vykonáva v tekutine neprestajný, neusporiadaný pohyb. Vysvetľujeme ho ako dôsledok mnohých nárazov molekúl tekutiny na pozorovanú časticu. Rýchlosť Brownovej častice sa zväčšuje so zvyšujúcou sa teplotou pozorovanej vzorky.

d) Tlak plynu je spôsobený ustavičnými zrážkami pohybujúcich sa molekúl plynu so stenami nádoby. Tento jav je príčinou tlakových síl a tlaku plynu. Pohyb molekúl plynu je chaotický a počet molekúl, ktoré narazili na stenu nádoby kolíše.

3. Častice na seba navzájom pôsobia príťažlivými a zároveň odpudivými silami. Veľkosť týchto síl závisí od vzdialenosti medzi časticami. Existenciu príťažlivých a odpudivých síl, ktorými na seba častice vzájomne pôsobia, potvrdzujú javy ako napr. súdržnosť pevných a kvapalných látok, nevyhnutnosť pôsobenia vonkajších síl pri stláčaní pevných telies.

Úlohy 6.1

1. Prečo cítime vôňu kvetov aj vtedy, keď nie sme priamo pri nich?
2. Smotana sa na mlieku vytvára rýchlejšie, keď je mlieko v studenej miestnosti. Prečo?
3. Prečo pri písaní kriedou na tabuľu krieda k tabuli prilne?
4. Prečo jemné častice ílu vo vode len veľmi pomaly klesajú na dno?
5. Ako vysvetlíte, že v tzv. práškovej metalurgii sa kovové čiastočky pôsobením veľkých tlakových síl spájajú?

6. Na akom fyzikálnom jave je založené konzervovanie zeleniny kuchynskou soľou?
7. Ak otvoríte fľašku s voňavkou v uzavretej miestnosti, čoskoro sa v nej vôňa rozšíri. Prečo? Je možné, aby sa molekuly voňavky pri svojom náhodnom pohybe vrátili všetky späť do fľašky?
8. Prečo sa kocka cukru roztopí rýchlejšie v horúcom ako v studenom čaji? Prečo sa kocka cukru rýchlejšie rozpustí v čaji, keď ho miešame?
9. Prečo uhorka nakrájaná na rezy po osolení „pustí šťavu“?
10. Prečo dozreté čerešne pri dlhotrvajúcich dažďoch praskajú?

6.2 Teplota a jej meranie

S pojmom teplota sa stretávame v živote veľmi často, napr. v predpovedi počasia sa dozvieme, aká bude teplota vzduchu, v čase dovoleník nás zaujíma teplota mora, meriame si teplotu tela, zaujíma nás teplota potravín.

Teplota je fyzikálna veličina, ktorá súvisí so stavom telesa.

Základnou jednotkou teploty v sústave SI je **kelvin**, ale v bežnom živote sa z praktických dôvodov častejšie používa **stupeň Celzia** alebo **stupeň Fahrenheita**.

Najpoužívanejšie teplotné stupnice sú Celziová, Kelvinová a Fahrenheitova teplotná stupnica.

1. Celziová teplotná stupnica

Anders Celsius

Zaviedol ju roku 1742 švédsky astronóm **Anders Celsius**.

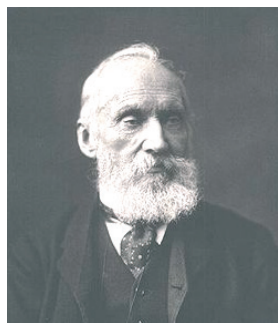
Teplotná stupnica **má dve základné teploty** - **0°C** (teplota tuhnutia vody za normálneho tlaku 101,325 kPa) a **100°C** (teplota varu vody za normálneho tlaku). Medzi týmito bodmi je stupnica rozdelená na 100 rovnakých dielikov. **Jeden dielik prislúcha teplotnému rozdielu jedného Celziovho stupňa.**

Teplotu vyjadrenú v °C označujeme t . Stupeň Celzia je vedľajšou jednotkou sústavy SI.



2. Kelvinova (termodynamická) teplotná stupnica

William Thomson

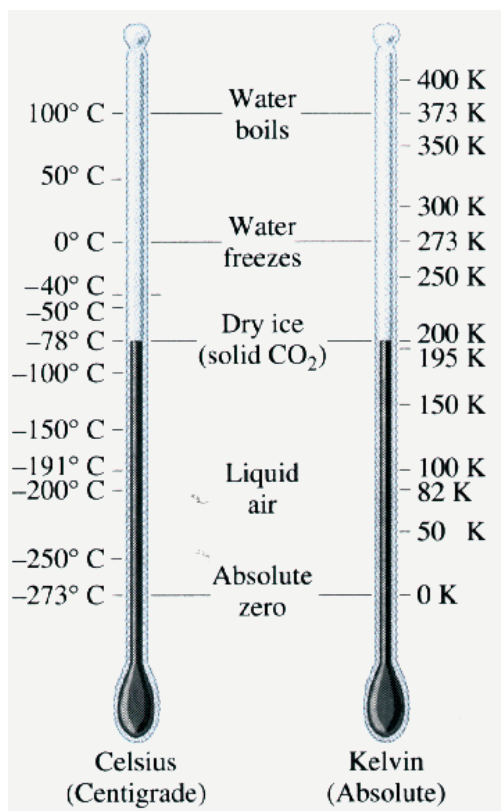


Teplotnú stupnicu navrhol škótsky matematik a fyzik **William Thomson**, ktorý bol za svoje výrazné vedecké úspechy povýšený do šľachtického stavu a je známy ako lord Kelvin.

Termodynamická teplotná stupnica **má iba jednu základnú teplotu T_r** , ktorá prislúcha rovnovážnemu stavu sústavy ľad, voda a nasýtená vodná para. Tento rovnovážny stav sa nazýva **trojný bod vody** a pridelila sa mu teplota $T_r = 273,16\text{K}$.

Termodynamická teplota sa označuje T a jej jednotkou je kelvin K. 0 K je teplota absolútnej nuly, teda najnižšia teplota, ktorá je fyzikálne definovaná.

Porovnanie Celziovej a Kelvinovej teplotnej stupnice je na obr. 6.2-1. Teplota 0°C prislúcha 273,15K, teplota 100 °C prislúcha teplota 373,15K a teplota -273,15 °C zodpovedá teplota 0K ako začiatok termodynamickej teplotnej stupnice.



Obr.6.2-1 Porovnanie Celsiovej a Kelvinovej teplotnej stupnice

Preklad textu z obr. 6.2-1

Water boils – var vody
 Water freezes – mrznutie (tuhnutie) vody
 Dry ice (solid CO₂) – suchý ľad (pevný CO₂)
 Liquid air – kvapalný vzduch
 Absolute zero – absolútna nula

Ak chceme premeniť teplotu v °C na K, pripočítame hodnotu 273,15. Platí vzťah
 $T = (t + 273,15) K$

napr. 10 °C = (10 + 273,15) K = 283,15 K
 - 5 °C = (-5 + 273,15) K = 268,15 K

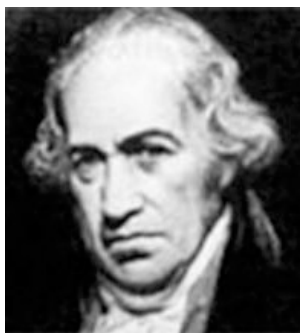
Ak chceme premeniť teplo t v K na °C, odčítame hodnotu 273,15. Platí vzťah
 $t = (T - 273,15) °C$

napr. 12 K = (12 - 273,15) °C = -261,15 °C
 300 K = (300 - 273,15) °C = 26,85 °C

Teplotný rozdiel $\Delta t = t_2 - t_1$ v stupňoch Celzia a teplotný rozdiel $\Delta T = T_2 - T_1$ v kelvinoch sa rovnajú. Platí $\Delta t = \Delta T$.

3. Fahrenheitova teplotná stupnica

Gabriel Fahrenheit



Zaviedol ju roku 1724 **nemecký fyzik Gabriel Fahrenheit**. Bol inšpirovaný stupnicou dánskeho astronóma Ole Roemera.

Jednotkou teploty je stupeň Fahrenheita. Má značku °F.

Ako základ pre svoju stupnicu si Fahrenheit vybral **2 význačné body** a to teplotu tuhnutia zmesi vody, ľadu a soli (0°F), čo bola vtedy najnižšia dosiahnuteľná teplota a normálnu teplotu ľudského tela (96°F).

Neskôr boli význačné body upravené na 32°F (bod tuhnutia vody) a 212°F (bod varu vody). Tieto význačné body sú od seba vzdialené 180 stupňov, teda jeden stupeň Fahrenheita zodpovedá 5/9 kelvina, resp. stupňa Celzia.

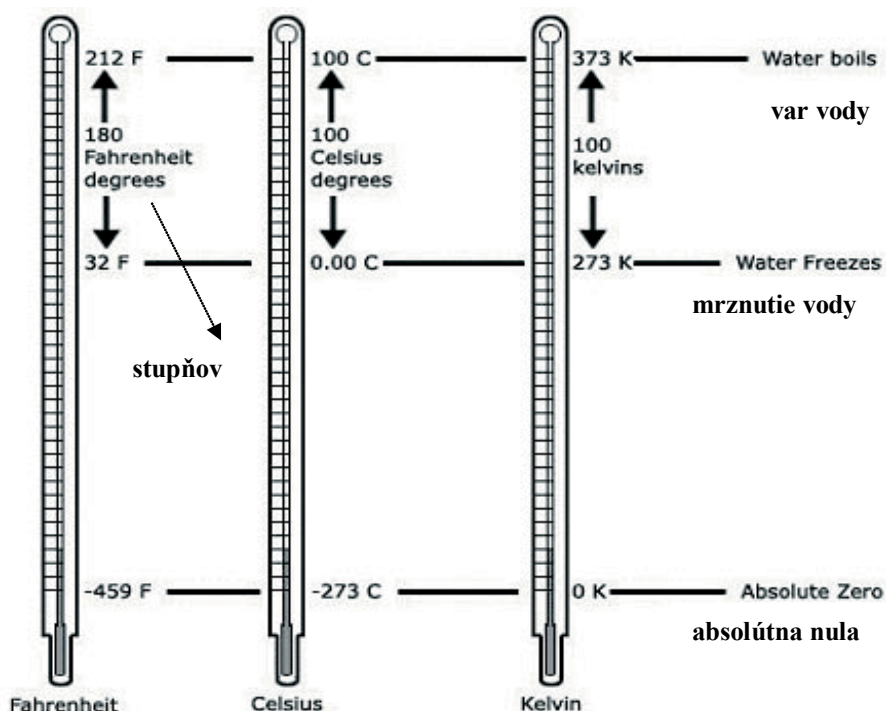
Normálna teplota ľudského tela je približne 98,6°F.

Jediná teplota, ktorá je rovnaká v Celsiovej aj Fahrenheitovej stupnici, je presne 40°C/F.

Fahrenheitova teplotná stupnica sa v súčasnosti používa prevažne v USA a v anglicky hovoriacich krajinách.

Porovnanie Fahrenheitovej, Celsiovej a Kelvinovej teplotnej stupnice je na obr. 6.2-2.

Obr. 6.2-2 Porovnanie Fahrenheitovej, Celsiovej a Kelvinovej teplotnej stupnice



Teplotu vnímame našimi zmyslami, ale naše zmysly nás môžu niekedy oklamať. Vyskúšajte si nasledovný pokus. Do jednej z troch nádob nalejte studenú vodu, do druhej vlažnú a tretiu naplňte teplou vodou. Jednu ruku ponorte do studenej vody, druhú do teplej. Po chvíli vložte do vlažnej vody obidve ruky súčasne. Čo budete pociťovať?

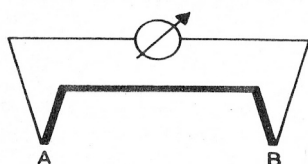
Na meranie teploty sa používajú teplomery. V praxi sa používajú rôzne druhy teplomerov.

Kvapalinový teplomer – pri meraní teploty sa využíva teplotná objemová rozťažnosť kvapalín (so zmenou teploty sa mení objem kvapaliny). Ako teplotomerná kvapalina sa najčastejšie používa zafarbený lieh a ortuť.

Bimetálový teplomer – na meranie teploty sa využíva bimetálový (dvojkovový) pásik zložený z dvoch kovov s rôznymi teplotnými súčiniteľmi dĺžkovej rozťažnosti. Pri zmene teploty sa pásik ohýba a tento pohyb sa prenáša na ručičku prístroja.

Plynový teplomer – pri meraní teploty sa využíva závislosť tlaku plynu od teploty pri stálom objeme plynu. Plynové teplomery sa plnia vodíkom, héliom, dusíkom.

O odporový teplomer – pri meraní teploty sa využíva závislosť elektrického odporu vodiča (odporový snímač teploty) alebo polovodiča (termistor) od teploty. U vodičov s rastúcou teplotou odpor rastie, u polovodičov s rastúcou teplotou odpor klesá.



Obr. 5.1-2 Termočlánok

Termoelektrický teplomer (termočlánok) – pri meraní teploty sa využíva termoelektrický jav (elektróny, ktoré sú nositeľmi elektrického prúdu, sa významne podieľajú aj na vedení tepla). Zmenou teploty dvoch rôznych kovov sa mení vzniknuté termoelektrické napätie. Hlavnú časť termočlánku tvoria dva rozličné kovy spojené

v miestach A, B (obr. 5.1-2). Ak sa udržujú tieto spoje pri rôznych teplotách, meracím prístrojom prechádza elektrický prúd. Jeho veľkosť závisí od rozdielu teplôt oboch miest.

Radiačný teplomer – je založený na meraní tepelného žiarenia vyžarujúceho objektom, ktorého teplotu chceme merať. Tepelné žiarenie optický systém sústreďuje do detektora (snímača), ktorý je citlivý na tepelné žiarenie.

Radiačný teplomer sa používa na bezdotykové meranie teploty. Umožňuje merať vysoké teploty až do 3 500°C. Vhodný je na meranie teploty pohybujúcich sa objektov alebo povrchov, ktoré sú neprístupné alebo sa ich nedá dotknúť. Medzi radiačné teplomery patrí aj **pyrometer**, u ktorého sa teplota meria pomocou termoelektrického snímača.

Náuka o bezkontaktnom meraní teploty sa nazýva pyrometria. Názov pyrometer je odvodený z gréckych slov pyr (oheň) a metrein (merať).

Úlohy 6.2

1. Možno odmerať teplotu jednej kvapky lekárskeho teplomerom?
2. Prečo sviečka v prudkom vetre zhasne?
3. Má vietor vplyv na údaje teplomera?
4. Prečo sa kačice rady zdržiavajú vo vode aj za silného mrazu?
5. Klesá teplota medveďa v čase jeho zimného spánku?
6. V zime pri silnom vetre je nám na otvorenom priestranstve omnoho chladnejšie ako v závetrí. Sú na týchto miestach aj rozdielne teploty?
7. Vyjadrite teploty 20K, 102,3K a 520K v °C a teploty –25°C, 57,5°C a 300,1°C v kelvinoch.
8. Zvoľte si dve ľubovoľné teploty v °C a vypočítajte ich teplotný rozdiel $\Delta t = t_2 - t_1$. Potom tieto teploty vyjadrite v kelvinoch a opäť vypočítajte teplotný rozdiel $\Delta T = T_2 - T_1$. Výsledky porovnajte.
9. Vyjadrujú zápisy $t = 150^\circ\text{C}$ a $T = 150\text{K}$ tú istú teplotu? Aký je teplotný rozdiel týchto teplôt v °C?
10. Vyjadrite obidva zápisy v kelvinoch, ak $t = 38^\circ\text{C}$, $\Delta t = 38^\circ\text{C}$.
11. Aká je najnižšia možná fyzikálne definovaná teplota? Uveďte ju v K a v °C.

6.3 Vnútoraná energia sústavy, teplo

Každé teleso má svoju vnútornú energiu. Pomenovanie vnútorná je inšpirované tým, že je v telese doslova skrytá a to tak, že je rozptýlená do jednotlivých častíc (molekúl, atómov, iónov).

Vnútoraná energia telesa je určená celkovou energiou jeho častíc.

Zo základnej školy viete, že **častice látky konajú neprestajný neusporiadaný pohyb** (posuvný, rotačný, kmitavý) tzv. **tepelný pohyb**.

Celková kinetická energia všetkých neusporiadane sa pohybujúcich častíc je jednou zložkou vnútornej energie telesa.

Častice na seba navzájom pôsobia silami, preto majú potenciálnu energiu. Celková potenciálna energia všetkých častíc, ktorá závisí od ich vzájomnej polohy, je ďalšou zložkou vnútornej energie telesa.

Vnútornou energiou sústavy (telesa alebo skupiny telies) nazývame súčet celkovej kinetickej energie neusporiadane sa pohybujúcich častíc telesa a celkovej potenciálnej energie vzájomnej polohy týchto častíc.

Vnútorná energia sústavy sa označujeme U a jej jednotkou je joule J.

Keď ponoríme do teplej vody chladnejšie teleso, pozorujeme zvýšenie teploty telesa a zníženie teploty vody. Po určitom čase sa teploty vody a telesa vyrovnajú, hovoríme, že nastala **tepelná rovnováha**.

Dej, ktorý prebieha pri styku dvoch telies rôznej teploty, môžeme vysvetliť z hľadiska molekulovej fyziky nasledovne.

Pri styku oboch telies nastávajú zrážky častíc, ktoré ležia na rozhraní týchto telies. Pri týchto zrážkach častice teplejšieho telesa odovzdávajú časť svojej energie časticiam studenšieho telesa. Odovzdávanie energie neprebieha iba na rozhraní oboch telies, ale aj navzájom medzi časticami toho istého telesa, kým majú rozličnú teplotu.

Tepelná výmena je dej, pri ktorom častice teplejšieho telesa narážajú na častice studenšieho telesa a odovzdávajú im časť svojej energie.

Tepelná výmena prebieha pri tavení kovov v peciach, pri zohrievaní pokrmov na sporáku, pri ochladzovaní potravín v chladničke.

Tepelná výmena sa môže uskutočniť aj prostredníctvom tepelného žiarenia.

Pri tepelnej výmene telesá menia veľkosť svojej vnútornej energie.

Chladnejšie teleso pri tepelnej výmene svoju vnútornú energiu zvyšuje, hovoríme, že prijíma teplo.

Teplejšie teleso svoju vnútornú energiu znižuje, hovoríme, že odovzdáva teplo. Vždy teplejšie teleso odovzdáva teplo chladnejšiemu telesu.

Teplo je zmena vnútornej energie pri tepelnej výmene. Platí $Q = \Delta U$. Jednotkou tepla podobne ako aj energie je joule J.

Teplo, ktoré teleso prijme alebo odovzdá pri tepelnej výmene inému telesu, vypočítame zo vzťahu $Q = m c \Delta T$, kde m je hmotnosť telesa, c je merná tepelná kapacita a ΔT je teplotný rozdiel.

Merná tepelná kapacita udáva, koľko tepla musíme dodať 1kg látky, aby sa jej teplota zvýšila o 1°C.

Vypočíta sa $c = \frac{Q}{m \Delta T}$. Jednotkou mernej tepelnej kapacity je $J.kg^{-1}.K^{-1}$,

$$\text{lebo } [c] = \frac{[Q]}{[m] [\Delta T]} = \frac{J}{kg \cdot K} = J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}.$$

Merná tepelná kapacita má pre rozličné látky rôzne hodnoty, ktoré sú uvedené v MFChT pri teplote 20°C. Z bežne známych látok má najväčšiu mernú tepelnú kapacitu voda $c_{H_2O} = 4180 J.kg^{-1}.K^{-1}$. Preto sa voda používa napr. ako chladiaca kvapalina v automobilových motoroch, je vhodná na prenos vnútornej energie v ústrednom kúrení, v jadrových elektrárňach. Pomerne malú mernú tepelnú kapacitu majú kovy, napr. olovo $c_{Pb} = 129 J.kg^{-1}.K^{-1}$, med' $c_{Cu} = 383 J.kg^{-1}.K^{-1}$, železo

$c_{Fe} = 452 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, hliník $c_{Al} = 896 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Táto vlastnosť kovov uľahčuje ich tepelné spracovanie.

Malú mernú tepelnú kapacitu má aj ortuť $c_{Hg} = 139 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, preto sa dlhé roky používala ako teplotomerná látka v lekárskejších teplomeroch. Jej používanie bolo zakázané z dôvodu, že je jedovatá v kvapalnom i plynnom skupenstve.

Okrem mernej tepelnej kapacity sa zavádza aj pojem **tepelná kapacita telesa**. Je definovaná vzťahom $C = \frac{Q}{\Delta T}$. Jednotka tepelnej kapacity je J.K^{-1} , pretože

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

Tepelná kapacita udáva, aké teplo musí teleso alebo sústava prijať, aby sa jeho teplota zvýšila o 1°C .

Súvislosť medzi mernou tepelnou kapacitou a tepelnou kapacitou vyjadruje vzťah

$$c = \frac{C}{m}.$$

James Prescott Joule (1818 – 1889)



Anglický vedec Joule nebol fyzikom, ale zámožným majiteľom pivovaru neďaleko Manchestra.

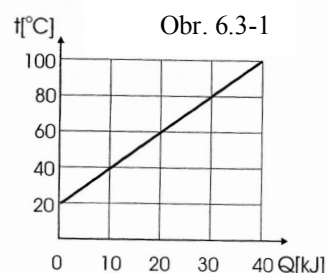
Fyziku a chémiu študoval zo záľuby. Skúmal premeny tepelnej energie na mechanickú a elektrickej na tepelnú. Podľa Jouleovho - Lenzovho zákona ($Q = W = U I t = P t$) môžeme vypočítať spotrebu elektrickej energie a s ňou spojené náklady na prevádzku elektrických spotrebičov.

Jouleovi sa dostalo cti tým, že jeho menom bola pomenovaná jednotka energie a tepla.

Úlohy 6.3

1. Prečo sa pri rezaní dreva zahrieva píla viac ako drevo?
2. Prečo prímorské podnebie vykazuje menšie teplotné rozdiely medzi dňom a nocou, letom a zimou ako podnebie vnútrozemské?
3. Pociťujú ryby teplo a chlad?
4. V saune musia byť drevené lavice bez akýchkoľvek vyčnievajúcich kovových častí. Prečo?
5. Prečo sa radiátory ústredného kúrenia umiestňujú pod okná?
6. Prečo sa za chladného počasia živočíchy zvinú do kľbka?
7. Prečo spoteného koňa za mrazu prikrývajú?
8. Za silných mrazov si vtáky načechrávajú perie. Prečo takto ľahšie znášajú zimu?
9. Aké množstvo tepla je potrebné k ohriatiu vzduchu v miestnosti s rozmermi 50 dm, 600 cm, 4 m z 10°C na 20°C pri stálom tlaku? Merná tepelná kapacita vzduchu je $1,006 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, hustota vzduchu je $1,3 \text{ kg.m}^{-3}$. [1,57 MJ]
10. V jazere je 100 hl vody. Koľko tepla prijme voda, keď sa jej teplota zvýši zo 16°C na 21°C ? Merná tepelná kapacita vody je $4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. [2,1.10⁵ MJ]

11. Teplota látky s hmotnosťou 7,5 kg sa zvýši o 20 K dodaním tepla 134,4 kJ. Vypočítajte mernú tepelnú kapacitu neznámej látky a určte o akú látku sa jedná. Vypočítanú hodnotu porovnajte s hodnotami merných tepelných kapacít látok uvádzaných v článku 6.3. [896 J.kg⁻¹.K⁻¹]
12. Akú tepelnú kapacitu má železné závažie s hmotnosťou 5000 g? Merná tepelná kapacita železa je 0,452 kJ.kg⁻¹.K⁻¹. [2,26 kJ.K⁻¹]
13. Na udržanie stálej teploty v miestnosti sa za hodinu spotrebuje 4,2 MJ tepla. Koľko litrov vody pretečie radiátorom ústredného kúrenia za hodinu, keď má voda pri vstupe do radiátora teplotu 80°C, pri výstupe 70°C? [100 l]
14. Za aký čas vyjadrený v minútach zohreje elektrický ponorný varič s príkonom 0,5 kW a s účinnosťou 75% 2000 g vody teploty 10°C na bod varu? (Pri výpočte okrem iného využite aj Joulov - Lenzov zákon $W = Q = Pt$, ktorý vyjadruje vzťah medzi elektrickou prácou a teplom.) [33,4 min]
15. Na obrázku 6.3-1 je graf znázorňujúci závislosť teploty telesa s hmotnosťou 2 kg od prijatého tepla. Aké teplo prijme teleso pri zohriatí zo 40°C na 100 °C? Akú tepelnú kapacitu a mernú tepelnú kapacitu má teleso podľa zadania príkladu? [30kJ, 0,5 kJ.K⁻¹, 0,25 kJ.kg⁻¹.K⁻¹]
16. Snehová guľa s hmotnosťou 200 g dopadne rýchlosťou 108 km.h⁻¹ na stenu domu, kde sa zastaví. O akú hodnotu vzrastie vnútorná energia snehovej gule a steny? [90 J]
17. Určte hmotnosť závažia, ktoré by sme zdvihli do výšky 1000 cm, aby sa jeho potenciálna energia rovnala teplu, ktoré je treba k ohriatiu 1000 g vody o 100°C. [4,2 t]
18. Výtah s hmotnosťou 0,6 t bol rovnomerne ťahaný do výšky 150 dm silou 6,8 kN. Vypočítajte, aká veľká časť energie sa pri tomto deji premení v miestach trenia na vnútornú energiu. (Návod: $\Delta U = W - E_p$) [12 kJ]
19. Olovená strela pohybujúca sa rýchlosťou 504 km.h⁻¹ narazí na násyp a zastaví sa. Ako sa zmení jej teplota vyjadrená v °C, ak predpokladáme, že 60 % energie strely sa spotrebuje na zvýšenie jej vnútornej energie? Merná tepelná kapacita olova je 129 J.kg⁻¹.K⁻¹. [46 °C]
20. V elektrickej práčke sa zohrieva 300 dl vody. Koľko tepla voda prijme, ak sa jej teplota zvýši z 288 K na 363 K? Vyjadrite uvedené teploty a teplotný rozdiel v °C. [9,45 MJ, 14,85°C, 89,85°C, 75°C]



6.4 Prenos vnútornej energie

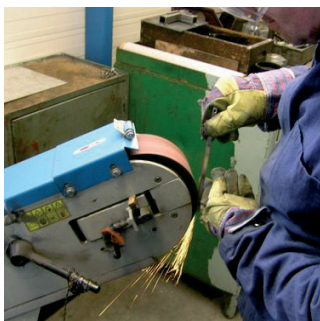
Vnútorná energia sústavy sa môže meniť. Deje, pri ktorých sa mení vnútorná energia telesa, delíme do dvoch skupín:

- deje, pri ktorých sa mení vnútorná energia **konaním práce**,
- deje, pri ktorých zmena vnútornej energie nastáva **tepelnou výmenou (vedením, prúdením, žiarením)**.

1. Zmena vnútornej energie telesa konaním práce

Zmena vnútornej energie konaním práce nastáva pri ohýbaní drôtu, pri prudkom miešaní kvapaliny, pri mletí látok, pri stláčaní plynu v tepelných motoroch, pri trení

telies (obrábanie kovov - brúsenie, vŕtanie, pílenie, pri brzdení auta, zahrievanie trupu lietadiel, umelých družíc pri lete v atmosfére) (obr. 6.4-1).



Zmena stavu telesa pri trení je spôsobená tým, že častice, ktoré sa nachádzajú na dotkových plochách, vzájomnými nárazmi sa viac rozkmitajú a odovzdávajú časť svojej energie ďalším časticiam. Preto sa zvyšuje teplota telies a tým aj vnútorná energia na úkor vykonanej práce.

Obr. 6.4-1 Zmena vnútornej energie telesa pílením a brúsením

2. Zmena vnútornej energie telesa pri tepelnej výmene

Teplo sa môže šíriť z jedného telesa na druhé tromi rozličnými spôsobmi: vedením, prúdením a žiarením.

a) Vedenie tepla



Obr. 6.4-2 Zmena vnútornej energie telesa vedením

Ak položíme hrniec s vodou na plynový sporák, oheň z horáka zohreje vodu v hrnci, a to napriek tomu, že oheň – zdroj tepla, nie je v priamom kontakte s vodou (obr. 6.4-2). Teplo teda musí byť schopné prejsť cez kov z vonkajšej steny hrnca do vnútra. Tento spôsob prenosu vnútornej energie nazývame **vedením**.

Pri vedení tepla častice látky s vyššou kinetickou energiou odovzdávajú časť svojej kinetickej (pohybovej) energie prostredníctvom vzájomných zrážok časticiam s menšou kinetickou energiou. Prebieha tepelná výmena, pri ktorej prechádza vnútorná energia z miest s vyššou teplotou na miesta s nižšou teplotou dovtedy, kým sa teploty nevyrovnajú.

Po vyrovnaní teplôt nastáva tepelná rovnováha. Častice sa pritom nepremiestňujú, ale len kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh. **Pri vedení tepla je teleso v pokoji.**

Vedenie tepla nastáva pri ohrievaní a ochladzovaní predmetov, ktoré sú ponorené do kvapaliny, pri zahrievaní jedného konca kovovej tyče, pri varení a pečení.

Uvažujte, od čoho závisí množstvo tepla, ktoré prejde napr. bočnými múrmi vašej učebne do okolia.

Únik tepla určite závisí od materiálu, z ktorého je múr postavený, od obsahu plochy múru, od času, za ktorý teplo uniká, od teploty v miestnosti a teploty okolia, od hrúbky múrov.

Experimentálne bolo zistené, že ľubovoľným prierezom obsahu S za čas τ prejde teplo Q , ktoré je priamoúmerné obsahu S , teplotnému rozdielu $\Delta t = t_2 - t_1$, času τ , za ktorý teplo uniká do okolia a nepriamo úmerné hrúbke (dĺžke) d . Únik tepla závisí aj od látky, ktorá teplo vedie.

Tieto experimentálne zistené závislosti vyjadruje vzťah
$$Q = \lambda \frac{S \Delta t \tau}{d}$$
. Veličina λ je

súčiniteľ tepelnej vodivosti. Jeho jednotkou je $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

Hodnoty súčiniteľov tepelnej vodivosti rôznych látok pri teplote $20^{\circ}C$ sú uvedené v MFChT.

Tabuľka č. 6.4-1

Hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti niektorých tuhých látok pri teplote $20^{\circ}C$

Látka	striebro	meď	hliník	železo	ocel' 0,2%C	tehly	polys- tyrén	sklená vata
$\frac{\lambda}{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$	418	395	229	73	50	0,28- 1,2	0,16	0,03 - 0,05

Vedenie tepla je najčastejší spôsob šírenia tepla v pevných látkach. Schopnosť látky prenášať teplo vedením sa nazýva **tepelná vodivosť**.

Látky, ktoré dobre vedú teplo (majú veľkú hodnotu λ), nazývame tepelné vodiče, napr. kovy. Pritom kov, ktorý je lepším elektrickým vodičom, je aj lepším vodičom tepla. Je to spôsobené tým, že tepelná aj elektrická vodivosť kovov je sprostredkovaná voľnými elektrónmi.

Dobrá tepelná vodivosť kovov sa využíva v technike, kovové sú, napr. radiátory ústredného kúrenia, steny parného kotla, chladiace telesá v chladničke.

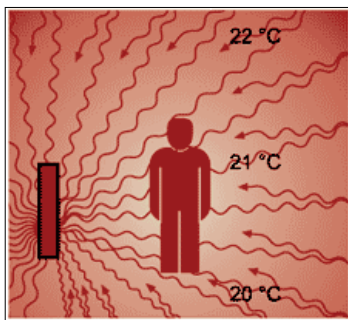
Látky, ktoré slabo vedú teplo (majú malú hodnotu λ), nazývame tepelné izolanty. Zlými vodičmi tepla je vákuum, plyny, napr. vzduch, pórovité a sypké látky, tkaniny, perie, sklená vata, polystyrén, suché drevo, suchý piesok.

Tepelné izolanty sa používajú na **tepelnú izoláciu** napr. zateplovanie budov tepelne izolujúcimi stavebnými látkami, dvojité okná s izolačnou vzduchovou vrstvou, vrstva vzduchu medzi dvojitými stenami kalorimetra, vákuum medzi dvojitými stenami termosky, obaľovanie parovodov izolačnou vrstvou, držadlá z dreva alebo plastov na nádobách na varenie.

Tepelné izolanty majú veľký význam v priemysle, stavebníctve a to najmä v súvislosti s úsporami energie.

b) Prúdenie tepla

Prúdenie tepla je založené na fyzikálnom poznatku, že **teplejšia tekutina (kvapalina, plyn) má menšiu hustotu, a preto v tiažovom poli stúpa smerom nahor.**



Obr. 6.4-3 Prúdenie tekutiny

Prúdiaca tekutina pritom prenáša energiu z teplejších miest do chladnejších miest.

Napr. vzduch, ktorý sa zohreje v blízkosti radiátora, elektrického ohrievača sa rozpína, jeho hustota klesá a vzduch stúpa nahor. Priestor pri radiátore, ohrievači sa zaplňa

studenším vzduchom, ktorý klesá nadol a celý dej sa opakuje, až kým sa nevyhreje celá miestnosť (obr. 6.4-3).

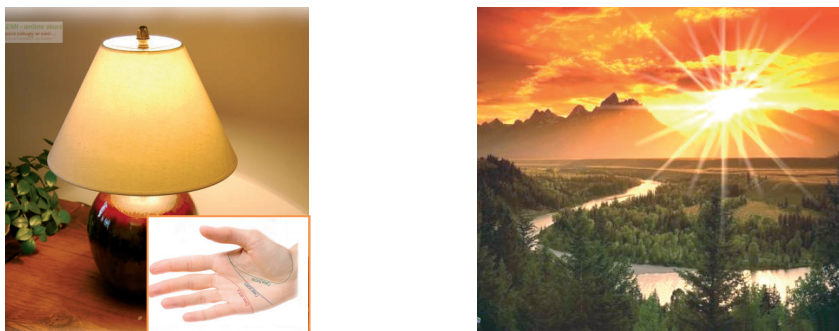
V rýchlovarnej kanvici voda zohriata od elektrickej špirály stúpa smerom nahor a na jej miesto sa tlačí chladnejšia voda (obr. 6.4-3). Celý dej sa opäť opakuje dovtedy, kým sa celá kvapalina nezohreje. Takýto dej sa nazýva **prirodzené prúdenie**.

V elektrickom ohrievači zvyčajne vzduch, ktorý sa ohrieva od rozžeravenej špirály poháňa ventilátor smerom, ktorým nám to vyhovuje. Takýto dej sa nazýva **nútené prúdenie**. Nútené prúdenie nastáva aj pri ochladzovaní motora auta prúdiacou vodou, pri ochladzovaní projekčnej žiarovky ventilátorom, pri etážovom kúrení.

V oboch prípadoch sa pohybuje látka a prenáša vnútornú energiu z jedného miesta na iné. Tu je rozdiel medzi prúdením a vedením tepla.

c) Žiarenie

Tepelná výmena môže prebiehať aj **medzi dvoma telesami, ktoré sa navzájom nedotýkajú**. V tomto prípade **sa prenos energie uskutočňuje prostredníctvom tepelného žiarenia**.



Obr. 6.4-4 Šírenie tepla žiarením

Napr. keď sa rukou priblížime zdola k zapnutej stolovej lampe (obr. 6.4-4) cítime, že je horúca. Pritom vieme, že zohriaty vzduch stúpa smerom nahor, preto o prenos tepla prúdením tu nepôjde. Musí existovať iný dej, vďaka ktorému sa teplo z lampy šíri aj smerom k našej ruke. Tento spôsob šírenia tepla nazývame **šírenie tepla žiarením**. Sprostredkujú ho častice svetla – fotóny. Každý fotón má určitú energiu a pri dopade na našu ruku časť energie ruka pohltí (časť sa aj odrazí) a preto cítime teplo.

Žiarením sa dostáva aj energia zo Slnka na Zem (obr. 6.4-4).

Zatiaľ čo pri prúdení a vedení tepla je potrebná sprostredkujúca látka napr. kov, voda, vzduch, **žiarenie môže prenášať energiu aj vákuom**.

Tmavé telesá pohlcujú viac tepelného žiarenia ako svetlé a lesklé telesá. Preto sa v lete obliekame do svetlejšieho oblečenia ako v zime.

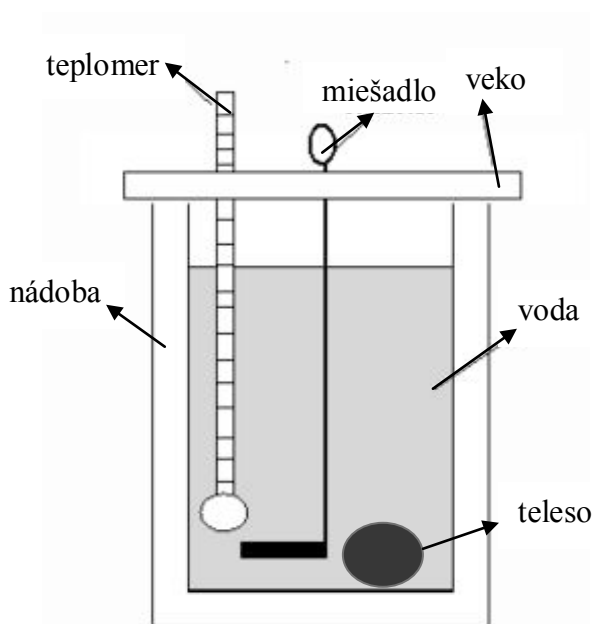
Úlohy 6.4

1. Ktorými 2 spôsobmi sa šíri teplo v kozmickej lodi? Ktorý prenos vnútornej energie v kozmickej lodi nie je možný a prečo?
2. Prečo sa začneme mimovoľne triasť, keď nám je zima? Prečo sa pri práci „zahrejeme“?
3. Prečo sa pri zatĺkaní klinca jeho hlavička zohrieva?
4. Prečo sa pri dotyku rukou zdajú studené kovové predmety chladnejšie ako drevené tej istej teploty?

5. Vieme, že v kožuchu je teplo. Prečo? Dal by sa kožuch použiť aj k udržaniu nízkej teploty, napr. schladených potravín?
6. Prečo sa špinavý sneh roztopí skôr ako čistý?
7. Prečo máme v bytoch dvojité okná či v oknách dvojité sklá?
8. Prečo je noc bez mrakov chladnejšia ako noc so zamračenou oblohou?
9. Ako vzniká skleníkový efekt a aké sú jeho dôsledky?
10. Prečo sa pece natierajú na strieborno alebo bielo?
11. Prečo v studených miestnostiach pociťujeme chlad predovšetkým na nohách?
12. Je biela farba skafandra kozmonauta náhodná?
13. Vypočítajte teplo, ktoré prejde za 12 hodín štyrmi bočnými múrmi z miestnosti do okolia. Hrúbka múrov je 50 cm, rozmery miestnosti sú 5m x 500cm x 25dm. Teplota vzduchu vo vnútri miestnosti je 22°C, vonkajšia teplota je -1°C. Súčiniteľ tepelnej vodivosti materiálu muriva je 0,5 W.m⁻¹.K⁻¹. [49,68 MJ]
14. Za aký čas vyjadrený v hodinách unikne z miestnosti 30 MJ tepla? V miestnosti je teplota vzduchu 20°C, vonkajšia teplota vzduchu je 3°C, obsah plochy bočných stien je 46,8 m², hrúbka múrov je 50 cm a súčiniteľ tepelnej vodivosti materiálu muriva je 0,7 W.m⁻¹.K⁻¹. [7,48 hod]

6.5 Kalorimeter, kalorimetrická rovnica

Kalorimeter je tepelne izolovaná nádoba s miešadkou a teplomerom (obr. 6.5-1).



Obr. 6.5-1 Kalorimeter

Do kalorimetra nalejeme studenú vodu s hmotnosťou m_1 , mernou tepelnou kapacitou c_1 a teplotou t_1 . Potom do studenej vody vložíme horúce teleso s hmotnosťou m_2 , mernou tepelnou kapacitou c_2 a teplotou t_2 . Pretože voda je studenšia ako teleso, platí $t_1 < t_2$.

Tepelná výmena medzi vodou a telesom bude prebiehať dovtedy, kým sa teploty nevyrovnajú. Potom nastane rovnovážny stav, pri ktorom sa teploty telesa a kvapaliny vyrovnajú na výslednú teplotu t ($t_1 < t < t_2$).

Podľa zákona zachovania energie platí, že teplo, ktoré studená voda prijala $Q_1 = m_1 c_1 (t - t_1)$ sa rovná teplu $Q_2 = m_2 c_2 (t_2 - t)$, ktoré horúce teleso

vode odovzdalo. Platí tzv. **kalorimetrická rovnica** $Q_1 = Q_2$, čiže

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

Podľa tejto rovnice môžeme určiť napr. mernú tepelnú kapacitu neznámej látky, ak poznáme mernú tepelnú kapacitu druhej látky a ak odmeriame ostatné veličiny.

Ak uvažujeme aj o teple, ktoré prijme kalorimeter s príslušenstvom $Q = C (t - t_1)$, kde C je tepelná kapacita kalorimetra, kalorimetrická rovnica bude mať tvar

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

Ešte si pripomeňme **zákon zachovania energie** pri tepelnej výmene, ktorý znie:

Pri dejoch, ktoré prebiehajú v izolovanej sústave, zostáva súčet kinetickej, potenciálnej a vnútornej energie telies konštantný.

Izolovaná sústava je taká sústava, v ktorej nedochádza k výmene tepla s okolím, napr. čaj v termoske, vzduchová vrstva v dvojítych sklách okien.

V reálnom živote sa nedá dosiahnuť, aby sústava bola dokonale izolovaná od okolia, vždy existujú nejaké úniky tepla do okolia.

Úlohy 6.5

1. Prečo kalorimeter a termoska udržia stálu teplotu kvapaliny oveľa dlhšie ako obyčajná fľaša?
2. Aká bude výsledná teplota vody v kelvinoch, ak zmiešame vodu s hmotnosťou 1000 g a teplotou 20°C s 2 kg vody s teplotou 30°C? [300 K]
3. Určte hmotnosť vriacej vody, ktorú je treba priliat' do vody s hmotnosťou 5 kg a teplotou 9°C, aby výsledná teplota vody bola 30°C. Predpokladáme, že tepelná výmena nastala len medzi teplejšou a chladnejšou vodou. [1,5 kg]
4. Do vody s hmotnosťou 800 g a teplotou 12°C bola ponorená platinová guľa s hmotnosťou 150 g, ktorá bola predtým ponechaná v rozžeravenej peci. Po dosiahnutí rovnovážneho stavu bola výsledná teplota sústavy 19°C. Určte teplotu pece. Merná tepelná kapacita platiny je 133 J.kg⁻¹.K⁻¹. Predpokladáme, že tepelná výmena nastala len medzi platinovou guľou a vodou. [1200 °C]
5. Do sklenej nádoby s hmotnosťou 120 g a teplote 15 °C nalejeme vodu s hmotnosťou 200 g a teplotou 80°C. Aké teplo prijme sklenená nádoba? Merná tepelná kapacita skla je 0,84 kJ .kg⁻¹.K⁻¹. Predpokladáme, že tepelná výmena nastala len medzi sklenou nádobou a vodou. [5,9 kJ]
6. V medenom kalorimetri s hmotnosťou 200 g je voda s hmotnosťou 150 g a teplotou 18°C. Do vody ponoríme oceľový valček s hmotnosťou 100 g a teplotou 50°C. Určte výslednú teplotu po dosiahnutí rovnovážneho stavu. Merné tepelné kapacity medi a ocele (železa) vyhľadajte v článku 6.3. [19,9°C]
7. V kalorimetri s tepelnou kapacitou 90 J. K⁻¹ je voda s hmotnosťou 200 g. Teplota sústavy je 80°C. Do vody ponoríme teleso z medi s hmotnosťou 100 g a teplotou 20 °C. Určte výslednú teplotu sústavy po utvorení rovnovážneho stavu. Mernú tepelnú kapacitu medi vyhľadajte v článku 6.3. [77,6°C]
8. Do vody s hmotnosťou 0,05 kg ponoríme teplomer s tepelnou kapacitou 3 J. K⁻¹. Pred ponorením do vody ukazoval teplomer teplotu 20°C, po dosiahnutí rovnovážneho stavu 80°C. Aká bola teplota vody pred meraním? Predpokladáme, že tepelná výmena nastala len medzi vodou a teplomerom. [80,9°C]
9. V kalorimetri je voda s hmotnosťou 100 g a s teplotou 21°C. Po pridaní vody s hmotnosťou 20 g a teplotou 96°C sa teplota vody ustáli na 33°C. Akú tepelnú kapacitu má kalorimeter s príslušenstvom? [21 J.K⁻¹]
10. Do vane máme pripraviť 0,8 hl vody teploty 36°C. Studená voda v kúpeľni má teplotu 10°C a teplá 50 °C. Koľko ktorej vody potrebujeme? [28 l, 52 l]

7 ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PLYNOV

7.1 Atmosféra Zeme a jej vrstvy

Zemská atmosféra (z gréčtiny atmos - para, sfera - guľa) alebo ovzdušie je vrstva plynov obklopujúcich planétu Zem, udržiavaná na mieste zemskou gravitáciou.

Zem má pomerne hustú atmosféru zloženú z približne 78% dusíka, 21% kyslíka, zo stopového množstva ďalších plynov (argón, neón, hélium, metán, kryptón), z oxidu uhličitého CO₂ a vodných pár. **Atmosféra chráni pozemský život pred nebezpečnou slnečnou a kozmickou radiáciou a znižuje teplotné rozdiely medzi dňom a nocou.**

Atmosféra nemá jednoznačnú hornú hranicu, plynule redne a prechádza do kozmického priestoru. Tri štvrtiny atmosférickej hmoty leží v prvých 11 km nad povrchom Zeme.

Atmosféra s dnešným zložením vznikla ako výsledok dlhého procesu, kedy bola sústavne pretváraná živými organizmami. Pôvodné zloženie atmosféry po vzniku planéty bolo chemicky celkom rozdielne. Obsahovala zmes sopečných plynov a spolu s časticami, ktoré do atmosféry zanesli kolízie s inými telesami bombardujúcimi povrch, bola táto atmosféra pre život v dnešnej podobe toxická.

S rozvojom života a rozšírením zelených rias v oceánoch nastal proces zmeny zloženia atmosféry. Počas fotosyntézy sa začal do atmosféry dostávať kyslík a jeho percentuálne zastúpenie postupne narastalo, až dosiahlo dnešné hodnoty okolo 21%. Voľný kyslík v atmosfére je známkou života na Zemi.

Tabuľka 7.1-1

Zloženie atmosféry pri povrchu Zeme			
plyn	objemový podiel [%]	plyn	objemový podiel [%]
dusík	78,084	hélium	0,000524
kyslík	20,946	metán	0,00017
argón	0,934	kryptón	0,00014
CO ₂	0,0385	vodík	0,000055
neón	0,00182	vodná para	jej podiel sa mení

Vrstvy atmosféry

Zemská atmosféra sa skladá z piatich vrstiev: troposféra, stratosféra, mezoféra, termosféra a exosféra. Hranice medzi týmito vrstvami sú: tropopauza, stratopauza, mezopauza a termopauza.

1. Troposféra – názov pochádza z gréčtiny tropé (obrat), sfera (guľa).

Troposféra je najnižšia vrstva zemskej atmosféry. Siahla od povrchu Zeme do výšky 8 km v polárnych oblastiach a do výšky 17 km okolo rovníka. Teplota troposféry klesá s nadmorskou výškou priemerne o 6,5°C na 1000 m. Jej teplota sa pohybuje v rozpätí od 17°C do –52°C.

Troposféra je najhustejšia časť atmosféry a tvorí 80% jej hmotnosti. Obsahuje asi 78% dusíka, 21% kyslíka a malé množstvá ďalších plynov. Obsahuje všetku vodnú paru. Jej zloženie je pomerne stále. V troposfére existuje život.

Tvorí sa v nej oblaky a prebieha v nej väčšina javov súvisiacich s počasím.

Zohrievaná je od zemského povrchu, na ktorý dopadajú slnečné lúče.

2. Stratosféra – názov pochádza z latinčiny stratum (prikrývka) a z gréčtiny sfera (guľa).

Stratosféra je druhá hlavná vrstva zemskej atmosféry. Leží medzi tenkými vrstvami tropopauzy a stratopauzy. Siahá do výšky približne 50 km. Možno v nej ešte pozorovať aj mierne meteorologické javy. V stratosfére sú umiestnené meteorologické balóny, ktoré sledujú pohyb oblačných mäs.

Horná časť stratosféry je ozónosféra (ozónová vrstva). Maximum koncentrácie ozónu O_3 je v oblasti 25 – 30 km nad zemským povrchom. Ozónosféra tvorí ochrannú vrstvu proti prenikaniu škodlivého ultrafialového žiarenia na zemský povrch.

V stratosfére teplota rastie s nadmorskou výškou. V spodnej časti stratosféry, asi do výšky 20 km, teplota len veľmi mierne stúpa. Vyššie, v ozónovej vrstve, už teplota stúpa citeľne a to z asi $-60^{\circ}C$ na takmer $0^{\circ}C$. Zvýšenie teploty je spôsobené pohlcovaním ultrafialového žiarenia ozónom. Ozón intenzívne pohlcuje ultrafialové žiarenie, výsledkom čoho je zohrievanie zriedených a prakticky suchých mäs vzduchu.

Napriek tomu, že stratosféra zaberá niekoľkonásobne väčší priestor ako troposféra, obsahuje iba 5 – 10% všetkého vzduchu.

3. Mezoféra – názov pochádza z gréčtiny méssi (stred), sfera (guľa).

Mezoféra tvorí spodnú časť ionosféry. Nachádza sa vo výške 50 – 90 km. Ionosféra obsahuje elektricky nabité častice (ióny). Siahá približne od začiatku mezoféry až do výšky 550 km. Umožňuje odraz rádiových vĺn.

V mezofére teplota s nadmorskou výškou klesá, z asi $0^{\circ}C$ v stratopauze na priemerne $-90^{\circ}C$ v mezopauze, čo je oblasť s najnižšou teplotou v celej atmosfére. Dôvodom poklesu je extrémne riedky vzduch a takmer absencia ozónu.

V mezofére sa formujú oblaky ľadu. Väčšina meteoritov padajúcich na Zem, zhorí práve v tejto vrstve.

4. Termosféra – názov pochádza z gréčtiny thermós (teplý), sfera (guľa).

Termosféra tvorí vrchnú časť ionosféry. Nachádza sa vo výške medzi 90 - 500 km. Charakterizuje ju nárast teploty s nadmorskou výškou až na $1500^{\circ}C$ vo výške 200 – 300 km a vyššie sa teplota takmer nemení.

Termosféra je veľmi riedka vrstva atmosféry, obsahuje len 0,001 % hmoty celej atmosféry. Pretože je táto vrstva riedka, čiže častice sú od seba veľmi vzdialené, je tepelná výmena veľmi malá a ani extrémne teploty tu pre kozmonautov nespôsobujú problémy. Termosféra je známa aj polárnou žiarou, ktorá vzniká vo výške okolo 100 km.

5. Exosféra

Exosféra je posledná vrstva atmosféry. Za hornú hranicu exosféry sa považuje 20 000 – 70 000 km nad zemským povrchom. V tejto oblasti sa nachádzajú prevažne voľné atómy vodíka a hélia, na ktoré Zem pôsobí už len malou gravitačnou silou, čo má za následok, že častice môžu uniknúť do okolitého voľného priestoru. Hustota častíc sa už v tejto výške vyrovnáva s hustotou častíc medziplanetárnej hmoty.

Tabuľka 7.1-2

Vrstvy atmosféry Zeme					
názov	troposféra	stratosféra	mezosféra	termosféra	exosféra
siaha do výšky [km]	8 - 17	50	90	500	20 000- 70 000

Človek ovplyvňuje ovzdušie intenzívne, mnohostranne a väčšinou negatívne. V súčasnosti najohrozenejšou zložkou prírodného prostredia je práve ovzdušie a jeho znečistenie rýchlo vzrastá. Znečistenie ovzdušia nie je však nevyhnutným výsledkom každej priemyselnej a inej ľudskej činnosti. Ako dokazujú skúsenosti, kvalifikovaným a zodpovedným prístupom k ochrane ovzdušia môžeme zachovať čisté ovzdušie aj pre budúce generácie.

Úlohy 7.1

1. Ako vzniká dážď?
2. Ktoré prostredie obsahuje viac kyslíka, v ktorom dýchame my, alebo v ktorom dýchajú ryby?
3. Prečo ryby v akváriu niekedy plávajú pri hladine vody?
4. Prečo sa komíny elektrární a teplární stavajú vysoké?
5. Obloha Zeme je modrá, lebo slnečné svetlo atmosférou prechádza a súčasne sa v nej rozptyľuje. Čím je frekvencia svetla väčšia, tým viac sa svetlo pri prechode atmosférou rozptyľuje. Najväčšiu frekvenciu má modré a fialové svetlo, preto sa najviac rozptyľuje a v dôsledku toho obloha svieti na modro. Zem volajú aj Modrá planéta. Čo myslíte, aká je obloha vo vysokých horách a vo vesmíre?
6. Teplota vzduchu je vo výške 1000km niekoľko tisíc stupňov Celzia. Prečo sa družice neroztavia pri svojom pohybe v tomto priestore? Teplota topenia železa je 1520°C.
7. Vyhľadajte na internete ako vzniká polárna žiara a ktoré planéty Slnečnej sústavy okrem Zeme majú atmosféru a z akých plynov sa skladá.
8. Zamyslite sa nad tým, aký vplyv má človek na atmosféru Zeme.

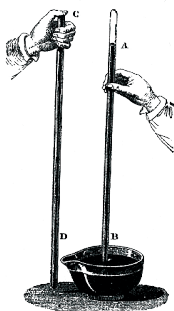
7.2 Atmosferická tlaková sila, atmosferický tlak

Celý povrch Zeme je obklopený vzdušným obalom – atmosférou. Molekuly vzduchu sú pritáňované zvisle nadol k zemskému povrchu v dôsledku pôsobenia tiažového poľa Zeme.

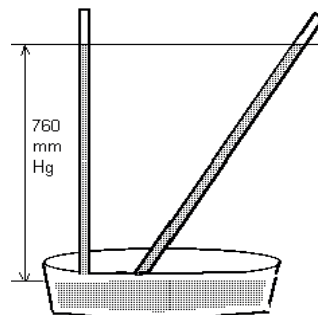
Podobne ako v kvapaline, aj v každom mieste atmosféry, pôsobí kolmo na zvolenú plochu **atmosferická tlaková sila** F_a spôsobená tiažou molekúl. Tlak vyvolaný pôsobením atmosferickej tlakovej sily nazývame **atmosferický tlak** p_a . Atmosferický tlak je obdobou hydrostatického tlaku v kvapaline.

Na výpočet atmosferického tlaku nemôžeme použiť vzťah na výpočet hydrostatického tlaku $p_h = h \rho g$, lebo hustota vzduchu s rastúcou nadmorskou výškou klesá a atmosféra plynulo prechádza do kozmického priestoru. Jej hrúbku môžeme vyjadriť iba približne.

Atmosferický tlak pri povrchu Zeme sa dá určiť po kusem, ktorý v 17. storočí uskutočnil taliansky fyzik Evangelista Torricelli (1608 – 1647).



Obr. 7.2-1
Torricelliho pokus



Sklenú trubicu asi 1 m dlhú na jednom konci zatavenú naplnil ortuťou. Zatvoril trubicu palcom, obrátil dnom nahor a vložil otvorený koniec do nádoby s ortuťou (obr. 7.2-1). Ortuť vytekala z trubice a potom sa hladina ortuti v trubici ustálila vo výške asi 760 mm. Ak trubicu naklonil, výška ortuťového stĺpca sa nezmenila. Vysvetlenie pokusu je nasledovné: ortuť z trubice vytekala dovtedy, kým sa hydrostatický tlak ortuťového stĺpca v trubici nevyrovnal s atmosferickým tlakom pôsobiacim na voľný povrch ortuti v nádobe. Platí, že $p_h = p_a = h \rho g$. Ak dosadíme do vzťahu $\rho = 13600 \text{ kg.m}^{-3}$, $h = 0,75 \text{ m}$ a $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$, dostaneme tlak približne 100 kPa, ktorý súčasne udáva atmosferický tlak.

Jednotkou atmosferického tlaku je pascal Pa, ale často sa používajú aj staršie jednotky a to bar b, milibar mb.

Platí, že $1000 \text{ mb} = 1 \text{ b} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$.

Atmosferický tlak sa znižuje s nadmorskou výškou. Pri výstupe do výšky o 100 m klesne tlak o 1300 Pa. Tento poznatok sa využíva na meranie nadmorskej výšky hôr a výšky lietadiel nad zemským povrchom.

Atmosferický tlak však kolíše na tom istom mieste aj v priebehu dňa.

Atmosferický tlak má vplyv na vývoj počasia. Medzinárodná výmena informácií o stave atmosféry a o zmenách počasia vyžaduje neustále porovnávanie údajov meteorologických staníc. Preto sa dohodou zaviedol tzv. **normálny atmosferický tlak**, ktorého číselná hodnota je $p_n = 101\,325 \text{ Pa} = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mb}$.

Atmosferický tlak sa meria manometrom (tlakomerom), ktorý sa nazýva barometer.

Na Torricelliho pokuse je založený **ortuťový barometer** (obr. 7.2-2). Pri zväčšení tlaku vzduchu pôsobiaceho na hladinu v otvorenej širšej časti trubice sa zvyšuje hladina ortuti v úzkej trubici.

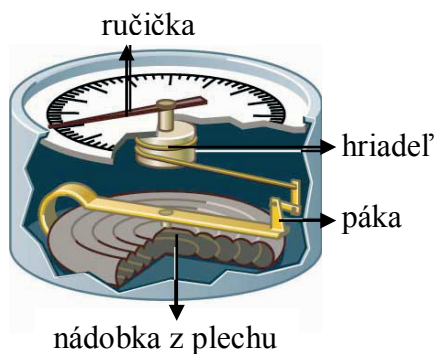
Na nepretržitú registráciu atmosferického tlaku sa používajú **barografy**, ktoré zaznamenávajú priebeh tlaku počas celého dňa.

Na meranie tlaku slúži aj **kovový barometer (aneroid)**. Jeho základnou časťou je nádobka z tenkého vlnitého plechu, z ktorej je čiastočne vyčerpaný vzduch (obr. 7.2-3). Pri zmenách tlaku sa nádobka deformuje a zmeny jej tvaru sa prevodmi prenášajú na ručičku prístroja.

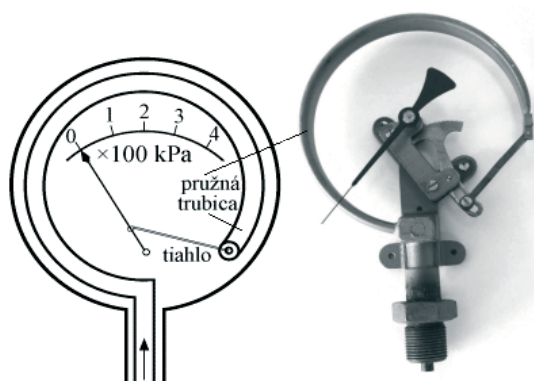


Obr. 7.2-2

Na meranie vyšších tlakov, napr. tlaku v pneumatikách automobilov sa používa **Bourdonov tlakomer** (obr. 7.2-4).



Obr. 7.2-3 Aneroid



Obr. 7.2-4 Bourdonov tlakomer

V bežnom živote si tlak vzduchu ani neuvedomujeme.

Na záver niekoľko zaujímavých údajov:

Ovzdušie nad našimi hlavami má takú hmotnosť ako 75 cm hrubá vrstva ortuti alebo 86,4 cm vrstva olova. Na 1 cm^2 povrchu ľudského tela pôsobí tlaková sila 10N.

V stave pokoja človek prečerpá cez pľúca okolo 450 l vzduchu za hodinu.

Evangelista Torricelli (1608 – 1647)



Bol taliansky fyzik a matematik, známy vďaka svojmu vynálezu ortuťového barometra.

Narodil sa v meste Faenza. Vyrastal bez otca, o chlapcovú výchovu sa staral jeho strýko. Torricelli vyštudoval matematiku, filozofiu a fyziku. Po Galileiho smrti pôsobil na dvore toskánskeho veľkvojvodu vo Florencii, kde robil svoje fyzikálne experimenty. Zaslúžil sa o poznanie zákonov pohybu kvapaliny (zakladateľ hydrodynamiky), rozvinul Galileiho práce o pohybe telies v tiažovom poli a stanovil základné zákony

balistiky. V roku 1643 uskutočnil prvý pokus merania atmosferického tlaku pomocou hydrostatického tlaku ortuti, ktorým sa preslávil.

Od čias starých Grékov prežívala predstava, že príroda sa bojí prázdnoty, že nemôže existovať priestor nezaplnený látkou – vákuum. Torricelli prekonal tento strach z vákua a vytvoril ho nad hladinou ortuti v prevrátenej trubici. Vzniknuté vákuum nazvali aj „Torricelliho prázdnota“.

Na Torricelliho počesť bola jednotka tlaku pomenovaná torr. Dnes sa už nepoužíva.

Torricelli zomrel na brušný týfus vo Florencii vo veku 39 rokov.

Úlohy 7.2

1. Prečo nás pred dažďom bolia otlaky?
2. Prečo nám pri prudkom stúpaní do výšok, napr. pri vzlietnutí lietadlom, pri ceste autom do prudkého kopca zalieha v ušiach?
3. Prečo sa na vrcholoch hôr ťažšie dýcha?
4. Aký význam má atmosferický tlak pre vzájomné spojenie niektorých kostí v ľudskom tele? Prečo vo veľkých výškach dochádza častejšie napr. k vytknutiu členka?
5. Prečo stúpa voda v slamke, ktorou pijeme vodu?
6. Prečo nie je možné jednoduchým piestom čerpať vodu do výšky väčšej ako 10m?

7. Vysvetlite princíp prísavného držiaka. Prečo lepšie drží na hladkých plochách? Prečo ja vhodné namočiť ho pred pritlačením k tejto ploche vodou?
8. Určite vám je známe, že muchy voľne chodia po strope. Pohybovali by sa muchy voľne po strope aj vo vákuu?
9. Prečo sa kráča ťažšie a) v tenkej vrstve hustého blata b) vo vode po pás?
10. Ako pracuje dýchací orgán človeka?
11. Prečo je pred dažďom viac cítiť zápach z kanalizačných kanálov?
12. Vyhľadajte na internete, aký vplyv má pretlak (potápači) a podtlak (horolezci, ľudia pracujúci vo vysokohorských podmienkach) na ľudský organizmus.
13. Presvedčte sa o účinkoch atmosferického tlaku: Do väčšej plastovej fľaše od minerálky nalejte vriacu vodu približne do štvrtiny objemu. Fľašu uzavrite a nechajte vodu chladnúť. Ochladzovaním sa vo fľaši zmenší tlak a vonkajší atmosferický tlak fľašu zdeformuje.
Naplňte pohár vodou a prikryte ho listom papiera. Otočte pohár dnom nahor do zvislej polohy a voda z neho nevytečie. Prečo?

7.3 Reálny a ideálny plyn a jeho vlastnosti

S vlastnosťami reálneho plynu ste sa oboznámili v článku 5. Zopakujte si ich.

Už niekoľkokrát ste spoznali, že pri skúmaní fyzikálnych javov a hľadani súvislostí medzi nimi vychádzame často zo zjednodušených predstáv, ktoré vedú k vytváraniu ideálnych modelov, napr. zavedenie pojmov hmotný bod, tuhé teleso, izolovaná sústava, ideálna kvapalina, a podobne.

Pri odvodzovaní zákonov pre plyny zavádzame **model ideálneho plynu**. Pre molekuly ideálneho plynu platí:

➤ **Rozmery molekúl plynu sú zanedbateľne malé vzhľadom na ich stredné vzdialenosti.** To znamená, že zanedbáme vlastný objem jednotlivých molekúl a budeme ich považovať za hmotné body s rovnakou hmotnosťou.

➤ **Molekuly ideálneho plynu nepôsobia na seba navzájom príťažlivými silami.** Ak zanedbáme príťažlivé sily medzi molekulami, tak potom celková potenciálna energia ideálneho plynu je nulová $E_p = 0J$. Celkovú vnútornú energiu plynu tvorí potom len celková kinetická energia neprestajne a neusporiadane sa pohybujúcich molekúl. Platí $U = E_k$.

➤ **Vzájomné zrážky molekúl a zrážky molekúl so stenami nádoby sú dokonale pružné, to znamená, že sa realizujú bez úbytku kinetickej energie.**

Je známe, že s narastajúcou teplotou rastie rýchlosť molekúl plynu a tiež i stredná kinetická energia molekúl.

Anglický fyzik J.C. Maxwell teoreticky dokázal, že stredná kvadratická rýchlosť molekúl plynu v_k závisí od termodynamickkej teploty T plynu a od hmotnosti molekuly

plynu m_0 podľa vzťahu
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

Strednú kinetickú energiu plynu E_0 vypočítame, keď celkovú kinetickú energiu E_k

vydelíme počtom molekúl N . Platí
$$E_0 = \frac{E_k}{N}.$$

Stredná kinetická energia molekúl ideálneho plynu je priamoúmerná termodynamickkej teplote.

Túto závislosť matematicky vyjadruje vzťah $E_0 = \frac{3}{2} k T$, kde $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ je Boltzmannova konštanta.

Úlohy 7.3

1. Vysvetlite, prečo sa pri odvodzovaní zákonov pre plyny zaviedol pojem ideálny plyn.
2. Vymenujte vlastnosti ideálneho plynu.
3. Určte zmenu vnútornej energie ideálneho plynu s jednoatómovými molekulami, ak sa teplota plynu zvýši z 300 K na 500 K. V plyne je 10^{25} molekúl. Hodnotu Boltzmannovej konštanty vyhľadajte v článku 7.3. (Návod: $\Delta U = n \cdot E_0$) [41,4 kJ]
4. Pri výbuchu jadrovej bomby sa vytvára plynová guľa, ktorá má teplotu asi 20 miliónov kelvínov. Aká je stredná kinetická energia častice v tejto guli? [$4,1 \cdot 10^{-16} \text{ J}$]

7.4 Stavové veličiny, stavová rovnica

Teleso alebo skupina telies, ktorých stav skúmame, sa nazýva **termodynamická sústava** stručne sústava, napr. plyn uzavretý vo valci, voda v pohári.

Ak v sústave nemôže dochádzať k výmene tepla s okolím, tak hovoríme o **izolovanej sústave**, napr. voda v kalorimetri, čaj v termoske.

Veličiny, ktoré určujú stav sústavy, nazývame stavové veličiny, napr. tlak, teplota, objem, energia, počet častíc.

Stavové veličiny sa menia, napr. pri stláčaní vzduchu vo valci Dieslového motora sa mení tlak, teplota, objem vzduchu.

Ak máme plyn stálej hmotnosti uzavretý vo valci, tak jeho stav najčastejšie opisujeme tromi stavovými veličinami tlakom p , objemom V a teplotou T . Vzťah medzi týmito stavovými veličinami pre ideálny plyn vyjadruje tzv. **stavová rovnica ideálneho plynu**, ktorá znie:

Pri stavovej zmene ideálneho plynu stálej hmotnosti je súčin tlaku a objemu delený

termodynamickou teplotou konštantný, t. j. $\frac{p V}{T} = \text{konšt.}$.

Stavová rovnica je jednou zo základných rovníc termodynamiky a popisuje ako navzájom súvisia jednotlivé stavové veličiny p, V, T .

Ak má plyn so stálou hmotnosťou na začiatku deja tlak p_1 , objem V_1 a termodynamickú teplotu T_1 a na konci deja, napr. po stlačení plynu v nádobe s pohyblivým piestom, tlak p_2 , objem V_2 a termodynamickú teplotu T_2 , môžeme stavovú

rovniciu napísať v tvare $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. Nazývame ju **stavová rovnica pre dva rôzne**

stavy plynu. Bola odvodená na základe pokusu.

Úlohy 7.4

1. Ideálny plyn s hmotnosťou 0,2 kg má pri teplote 27°C objem 0,4 m³ a tlak 2.10⁵ Pa. Aký je objem plynu pri tlaku 8.10⁵ Pa a teplote 177°C ? [0,2 m³]
2. Vodík má pri teplote -3°C a tlaku 0,15.10⁶ Pa objem 5 l. Aký bude tlak, ak sa objem plynu zmenší na 4 l a teplota sa zvýši na 27°C ? [208 kPa]
3. Vzduch má pri teplote 0°C a tlaku p₁ objem 3 l. Aký bude mať objem pri dvojnásobnom tlaku, keď sa stlačením zohrial na teplotu 91°C ? [2 dm³]
4. Vzduch má na začiatku objem V₁, tlak p₁ a teplotu 20°C. Ak ho stlačíme na štvrtinu pôvodného objemu, zvýši sa jeho tlak šesťnásobne. Aká je teplota plynu v °C po stlačení? [166,5°C]
5. V nádobe je ideálny plyn s teplotou 40°C. Na akú teplotu v °C je treba plyn zohriať, aby sa jeho tlak 2 - krát zvýšil a objem sa zvýšil o 1/8 pôvodného objemu? [431°C]
6. Ideálny plyn pri tlaku 0,5 MPa a teplote 25°C má objem 600 l. Aký objem má plyn pri teplote -20°C a tlaku 0,3 MPa ? [849 l]
7. Ideálny plyn má pri tlaku 30 kPa a teplote 300 K objem 90 l. Aký má objem za normálnych podmienok (1,01325.10⁵ Pa, 273,15 K) ? [24 l]
8. Ako sa zmení tlak ideálneho plynu, ak sa termodynamická teplota zvýši 3 - krát a jeho objem sa zvýši o 30% pôvodného objemu ? [2,3 p₁]
9. Valce motora automobilu nasávajú výbušnú zmes, ktorá má už teplotu 45°C. Kompresiou sa objem zmenší o 5/6 pôvodného objemu a tlak sa zvýši 10 - krát. Aká je teplota zmesi na konci kompresie ? Výbušnú zmes považujte za ideálny plyn. [530 K]

7.5 Deje s ideálnym plynom

V článku 7.4 sme uvažovali o takých zmenách stavu plynu, kde sa súčasne menil tlak, objem a termodynamická teplota plynu.

Ak pri zmene stavu ideálneho plynu stálej hmotnosti zostáva jedna z uvedených veličín konštantná, hovoríme o jednoduchých dejoch s ideálnym plynom – izotermický, izochorický a izobarický dej.

Skôr než budeme podrobnejšie študovať tieto deje, potrebujeme ešte poznať **prvý termodynamický zákon (prvá veta termodynamická)**, lebo ho budeme využívať.

Teplo dodané sústave sa môže prejaviť prírastkom jej vnútornej energie ΔU alebo konaním práce W .

Meraním sa zistilo, že prijaté teplo sa rovná súčtu prírastku vnútornej energie a práce, ktorú sústava vykonala, teda $Q = \Delta U + W$.

Tento vzťah je **prvý termodynamický zákon**.

Prvý termodynamický zákon možno formulovať aj takto: nemožno zostrojiť zariadenie tzv. **perpetuum mobile prvého druhu**, ktoré by konalo prácu bez zmeny svojej energie alebo energie okolia.

Ak prácu konajú okolité telesá a sústava teplo prijíma, prácu a teplo považujeme za kladné veličiny $W > 0$, $Q > 0$.

Ak prácu koná plyn, rozpína sa a pritom ochladzuje (teplo odovzdáva okolitým telesám), prácu a teplo považujeme za záporné veličiny $W < 0$, $Q < 0$.

1. Izotermický dej – je dej, pri ktorom je teplo a plyn stáť $T = \text{konšt.}$. Pri izotermickom deji s plynom so stálou hmotnosťou sa mení objem V a tlak plynu p , napr. rozpínavosť pár pri parných strojoch.

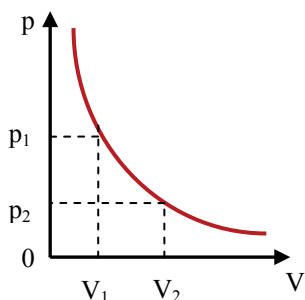
Vychádzame zo stavovej rovnice pre dva rôzne stavy plynu $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

Pretože pri izotermickom deji je $T_1 = T_2$, termodynamické teploty v stavovej rovnici vykrátíme a dostaneme $p_1 V_1 = p_2 V_2$ alebo $p V = \text{konšt.}$.

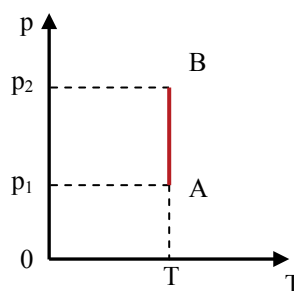
Pri izotermickom deji s ideálnym plynom stálej hmotnosti je súčin tlaku a objemu stály (Boylev – Mariottov zákon).

Z posledného vzťahu vyjadríme tlak p a získame zápis $p = \frac{\text{konšt.}}{V}$.

Grafom závislosti tlaku plynu od jeho objemu v tzv. **p-V diagrame** je **vetva hyperboly** (jedná sa o graf nepriamej úmernosti) a nazýva sa **izoterma** v p-V diagrame (obr. 7.5-1).



Obr. 7.5-1
Izoterma v p-V diagrame



Obr. 7.5-2
Izoterma v p-T diagrame

Grafom závislosti tlaku plynu od jeho termodynamickej teploty v tzv. **p-T diagrame** je **úsečka rovnobežná s tlakovou osou** a nazýva sa **izoterma** v p-T diagrame (obr. 7.5-2).

Keď sa nemení teplota plynu, nemení sa ani stredná kinetická energia jeho molekúl (článok 7.3). Preto **pri izotermickom deji je vnútorná energia ideálneho plynu konštantná**, teda $\Delta U = 0 \text{ J}$.

Z prvého termodynamického zákona $\Delta U = W + Q$ vyplýva, že **teplo, ktoré ideálny plyn prijme pri izotermickom deji, sa rovná práci, ktorú plyn pri tomto deji vykoná** $Q = W$.

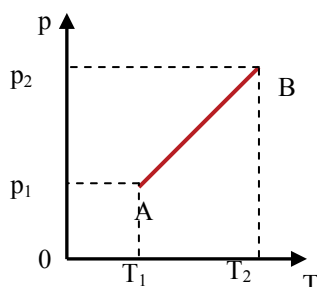
2. Izochorický dej – je dej, pri ktorom je objem plynu stály $V = \text{konšt.}$. Pri izochorickom deji s plynom so stálou hmotnosťou sa mení tlak plynu p a termodynamická teplota plynu T , napr. ohriatie plynu v uzavretej nádobe.

Vychádzame zo stavovej rovnice pre dva rôzne stavy plynu $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. Pretože pri izochorickom deji je $V_1 = V_2$, objemy v stavovej rovnici vykrátime a dostaneme $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ alebo $\frac{p}{T} = \text{konšt.}$ Z posledného vzťahu vyjadríme tlak plynu $p = \text{konšt.} \cdot T$.

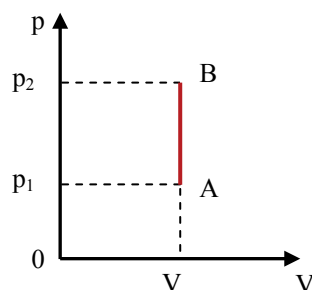
Pri izochorickom deji s ideálnym plynom stálej hmotnosti je tlak plynu priamo úmerný jeho termodynamickej teplote (Charlov zákon).

Grafom závislosti tlaku plynu od jeho teploty v tzv. **p-T diagrame** je úsečka **rôznobežná s osou T** (jedná sa o graf lineárnej funkcie konkrétne o graf priamej úmernosti) a nazýva sa **izochora** v p-T diagrame (obr. 7.5-3).

Grafom závislosti tlaku plynu od jeho objemu v tzv. **p-V diagrame** je úsečka **rovnobežná s tlakovou osou** a nazýva sa **izochora** v p-V diagrame (obr. 7.5-4).



Obr. 7.5-3
Izochora v p-T diagrame



Obr. 7.5-4
Izochora v p-V diagrame

Pretože pri izochorickom deji je objem plynu stály, plyn nekoná prácu, preto $W = 0 \text{ J}$. Z prvého termodynamického zákona $\Delta U = W + Q$ vyplýva, že **teplo, ktoré ideálny plyn prijme pri izochorickom deji, sa rovná prírastku jeho vnútornej energie** $Q = \Delta U$.

3. Izobarický dej – je dej, pri ktorom je tlak plynu stály $p = \text{konšt}$. Pri izobarickom deji s plynom so stálou hmotnosťou sa mení objem plynu V a termodynamická teplota plynu T , napr. spálenie pohonnej látky v tepelných strojoch.

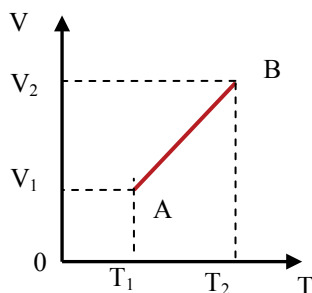
Vychádzame zo stavovej rovnice pre dva rôzne stavy plynu $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

Pretože pri izobarickom deji je $p_1 = p_2$, tlaky v stavovej rovnici vykrátime a dostaneme $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ alebo $\frac{V}{T} = \text{konšt.}$ Z posledného vzťahu vyjadríme objem plynu $V = \text{konšt.} \cdot T$.

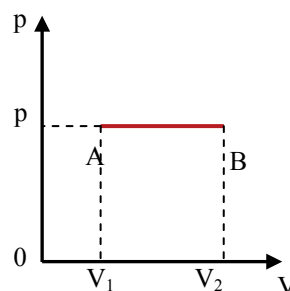
Pri izobarickom deji s ideálnym plynom stálej hmotnosti je objem plynu priamo úmerný jeho termodynamickej teplote (Gay – Lussacov zákon).

Grafom závislosti objemu plynu od jeho termodynamickej teploty v tzv. **V-T diagrame** je úsečka rôznobežná s osou T (jedná sa o graf lineárnej funkcie konkrétne o graf priamej úmernosti) a nazýva sa **izobara** vo V-T diagrame (obr. 7.5-5).

Grafom závislosti tlaku plynu od jeho objemu v tzv. **p-V diagrame** je úsečka **rovnobežná s objemovou osou** (jedná sa o graf konštantnej funkcie, lebo $p = \text{konšt.}$) a nazýva sa **izobara** v p-V diagrame (obr. 7.5-6).



Obr.7.5-5
Izobara vo V-T diagrame



Obr.7.5-6
Izobara v p-V diagrame

Pretože pri izobarickom deji plyn koná prácu, z prvého termodynamického zákona vyplýva, že **teplo, ktoré ideálny plyn prijal pri izobarickom deji, sa rovná súčtu prírastku jeho vnútornej energie a práce, ktorú plyn vykonal** $\Delta U = W + Q$.

Adiabatický dej s ideálnym plynom

Medzi jednoduché deje s ideálnym plynom patrí aj adiabatický dej. **Pri adiabatickom deji nenastáva tepelná výmena medzi plynom a okolím. Plyn teda neprijíma ani neodovzdáva teplo**, preto platí $Q = 0 \text{ J}$. Z prvého termodynamického zákona $\Delta U = W + Q$ vyplýva, že pri adiabatickom deji sa zmena vnútornej energie plynu rovná prijatej alebo vykonanej práci $\Delta U = W$.

Môžu nastať dva prípady: adiabatické stláčanie a adiabatické rozpínanie plynu.

1. Adiabatické stláčanie (adiabatická kompresia) plynu

Pri adiabatickej kompresii plynu sa pôsobením vonkajšej sily na piest koná práca. Objem plynu sa znižuje, vnútorná energia plynu sa zvyšuje, plyn sa zahrieva, napr. stláčanie vzduchu vo valci Dieslovho motora na zápalnú teplotu nafty.

2. Adiabatické rozpínanie (adiabatická expanzia) plynu

Pri adiabatickej expanzii plynu koná prácu plyn na úkor svojej vnútornej energie. Objem plynu sa zvyšuje, vnútorná energia plynu sa znižuje, plyn sa ochladzuje. Adiabatické rozpínanie sa využíva v snehových hasiacich prístrojoch (stlačený CO_2), na získanie nízkych teplôt. Skvapatnený kyslík získa vplyvom expanzie teplotu -183°C , dusík -196°C , hélium $-268,9^\circ\text{C}$. Pri vypustení CO_2 zo sifónovej bombičky do nádoby s vodou pozorujeme pri expanzii ochladenie plynu aj bombičky.

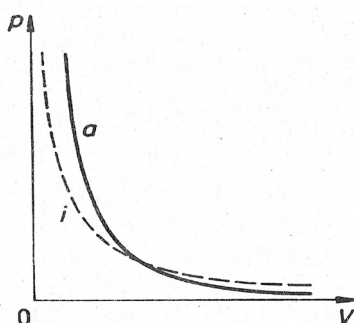
V technickej praxi sa adiabatická kompresia a expanzia dosiahne tým, že tieto deje prebehnú tak rýchlo, že plyn neprijme ani neodovzdá teplo.

Pre adiabatický dej s ideálnym plynom stálej hmotnosti platí **Poissonov zákon**

$$p_1 V_1^\chi = p_2 V_2^\chi \text{ alebo } p V^\chi = \text{konšt.}$$

Po vyjadrení tlaku z posledného vzťahu dostaneme $p = \frac{\text{konšt.}}{V^\chi}$. Zo vzťahu vyplýva,

že s rastúcim objemom sa tlak plynu znižuje. χ je Poissonova konštanta, jej hodnoty pre niektoré plyny sú uvedené v MFCHT. Napr. pre ideálny plyn s jednoatómovými molekulami je 5/3, pre plyn s dvojatómovými molekulami je 7/5.

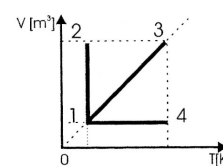


Grafom závislosti tlaku plynu od jeho objemu v tzv. **p-V diagrame** je **adiabata**. Pre ten istý plyn klesá adiabata *a* rýchlejšie ako izoterma *i*.

Obr. 7.5-7 Adiabata v p-V diagrame

Úlohy 7.5

1. Vysvetlite princíp činnosti snehového hasiaceho prístroja.
2. Na grafe vyjadrujúcom závislosť objemu plynu od termodynamickkej teploty (obr. 7.5-8) sú znázornené tri deje, pri ktorých prechádza plyn stálej hmotnosti zo stavu 1 do jedného zo stavov 2, 3, 4. Pomenujte deje s ideálnym plynom 1-2, 1-3, 1-4.
3. V pneumatikách osobného automobilu je pri teplote 20 °C tlak vzduchu 200 kPa. Na akú hodnotu sa zvýši tento tlak pri jazde, keď sa trením kolies o vozovku teplota vzduchu zvýši na 30 °C? [207 kPa]
4. Vo firme naplňajú kyslíkové 30 litrové oceľové bomby. Kyslík sa tlačí kompresorom na 15 MPa. Koľko m³ kyslíka tlaku 10⁵ Pa sa spotrebuje na naplnenie každej bomby pri stálej teplote? [4,5 m³]
5. Aký veľký bude objem plynu po zahriatí, ak zahriali 7 l plynu pri stálom tlaku z teploty 280 K na teplotu 340 K? [8,5 l]
6. Pri izotermickom deji s ideálnym plynom stálej hmotnosti sa objem zväčšil na trojnásobok začiatkovej hodnoty. Ako sa zmenil tlak? Svoje tvrdenie overte výpočtom. [poklesne na 1/3 pôvodnej hodnoty]
7. Na akú teplotu v °C je treba pri konštantnom tlaku ohriať plyn stálej hmotnosti, aby sa jeho objem v porovnaní s objemom pri teplote 0 °C zväčšil 2 - krát? [273 °C]
8. Žiarovky sa pri výrobe plnia dusíkom pod tlakom 50 kPa a teplote 20 °C. Akú teplotu má dusík v rozsvietennej žiarovke, ak sa jeho tlak zvýšil na hodnotu 120 kPa? [430 °C]
9. V nádobe s objemom 10 l je uzavretý vzduch pri tlaku 10⁵ Pa. Nádobu spojíme krátkou trubicou s inou nádobou s objemom 5 l, v ktorej je vákuum. Určte výsledný tlak vzduchu. Teplota je stála a objem trubice je zanedbateľný vzhľadom k objemu nádoby. [67 kPa]
10. Keď určitý objem vzduchu izotermickým stlačením zmenšíme o 5 l, vystúpi jeho tlak na trojnásobok. Aký je začiatkový objem plynu? [7,5 l]



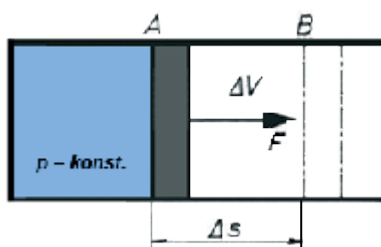
Obr. 7.5-8

11. Vzduch má začiatkový tlak p_1 . Ak tlak vzduchu zvýšime o $19,62 \cdot 10^4$ Pa, zmenší sa pri stálej teplote objem vzduchu zo 100 m^3 na 60 m^3 . Aký bol začiatkový tlak vzduchu? [$29,43 \cdot 10^4$ Pa]
12. Pri adiabetickej kompresii vzduchu sa jeho objem zmenšil na $1/10$ pôvodného objemu. Vypočítajte tlak vzduchu po skončení adiabetickej kompresie. Začiatkový tlak vzduchu je 10^5 Pa a Poissonova konštanta pre vzduch je 1,40. [$2,5 \text{ MPa}$]

7.6 Práca plynu, kruhový dej, druhý termodynamický zákon

V technickej praxi sa často stretávame so situáciou, kedy plyn uzavretý vo valci s pohyblivým piestom, tento piest posunie v dôsledku svojej expanzie alebo kompresie. Ak plyn posunul piest, hovoríme, že vykonal prácu, napr. plyn koná prácu v tepelných motoroch.

Ako vypočítame veľkosť práce, ktorú plyn vykonal pri konštantnom tlaku?



Obr. 7.6-1

Práca plynu pri konštantnom tlaku

Pre prácu vykonanú silou F pôsobiace na dráhe dĺžky Δs platí (ak smer sily je zhodný so smerom dráhy) vzťah $W = F \Delta s$. V prípade piestu môžeme silu F naň pôsobiace zapísať ako $F = p S$, kde p je tlak plynu a S je obsah prierezu piesta (obr. 7.6-1). Dosadením do výrazu pre prácu dostaneme $W = p S \Delta s = p \Delta V$.

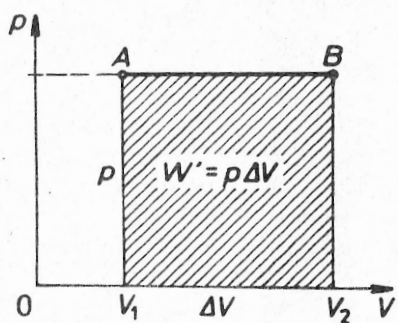
Práca plynu pri izobarickom deji sa rovná súčinu tlaku plynu a prírastku jeho objemu $W = p \Delta V$.

Plyn môže prácu konať iba vtedy, keď sa mení jeho objem.

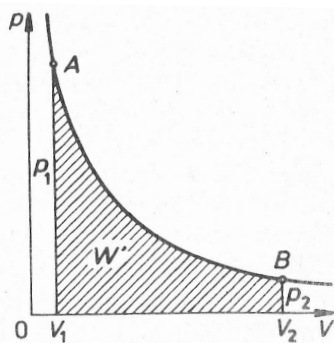
Pri zväčšovaní objemu $\Delta V = V_2 - V_1 > 0$ je práca, ktorú plyn vykoná, kladná.

Pri zmenšovaní objemu $\Delta V = V_2 - V_1 < 0$, na piest pôsobí vonkajšia tlaková sila a práca, ktorú plyn vykoná, je záporná.

Prácu plynu môžeme znázorniť aj graficky v p - V diagrame (pracovnom diagrame). Vo všeobecnosti môžeme prácu vykonanú plynom pri zväčšení jeho objemu znázorniť v p - V diagrame obsahom plochy, ktorá leží pod príslušným úsekom krivky $p = f(V)$ (obr. 7.6-2, obr. 7.6-3).



Obr. 7.6-2 Grafické znázornenie práce plynu pri konštantnom tlaku



Obr. 7.6-3 Grafické znázornenie práce plynu pri premenlivom tlaku

Práca plynu v technickej praxi sa využíva najmä v tepelných strojoch. Tepelné hnacie stroje sa nazývajú tepelné motory. **Premieňajú časť vnútornej energie pracovnej látky (pary, plynu) na mechanickú prácu.** Tepelné motory rozdeľujeme na **parné motory** (parný stoj, parná turbína) a **spaľovacie motory** (plynová turbína, zážihový dvojdobý a štvordobý motor, vznietový motor), reaktívne motory (prúdový a raketový motor).

Už viete, že pracovná látka je schopná konať prácu iba vtedy, keď sa mení jej objem $W = p \Delta V$.

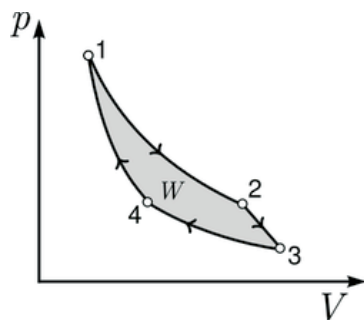
Objem pracovnej látky sa nemôže neustále zväčšovať, pretože rozmery pracovného valca sú konečné. Preto práca, ktorú môže vykonať pracovná látka uzavretá vo valci s piestom, má ohraničenú veľkosť. **Ak chceme, aby tepelný stroj neustále pracoval, musíme zabezpečiť, aby sa pracovná látka po ukončení expanzie vrátila do pôvodného stavu.**

Dej, pri ktorom je konečný stav sústavy totožný so začiatočným stavom sústavy, sa nazýva kruhový (cyklický) dej.

Kruhový dej sa môže mnohokrát opakovať, takže tepelný stroj, ktorý uskutočňuje kruhový dej, môže neprestajne vykonávať prácu. To je prirodzená požiadavka v technickej praxi, lebo „stroj na jedno použitie“ by si určite nikto nekúpil.

V p-V diagrame je kruhový dej znázornený uzavretou krivkou. Obsah plochy uzavretej krivkou znázorňuje výslednú prácu vykonanú pracovnou látkou počas jedného kruhového deja (obr. 7.6-4).

Kruhový dej prvýkrát teoreticky opísal francúzsky fyzik Sadi Carnot (1796 – 1832) – zakladateľ teórie tepelných strojov, po ktorom je aj tento kruhový dej pomenovaný Carnotov cyklus. Carnotov cyklus opisuje prácu ideálneho tepelného stroja a vyvodzuje jeho maximálnu teoretickú účinnosť.



Znázornenie Carnotovho cyklu v p-V diagrame je na obr. 7.6-4. Nanesením všetkých štyroch fáz cyklu do jedného diagramu získame oblasť ohraničenú dvomi izotermami a dvomi adiabatami. Obsah tejto oblasti zodpovedá práci vykonanej strojom za jeden cyklus.

Obr. 7.6-4 Carnotov cyklus

1. fáza – izotermická expanzia (krivka medzi bodmi 1 a 2)

Plyn je v priamom tepelnom kontakte s ohrievačom s danou teplotou T_1 (ohrievač = kotol plný uhlia). Ohrievač zabezpečuje, že počas izotermickej expanzie má plyn stálu teplotu T_1 . Teplo Q_1 , ktoré plyn od ohrievača prijal sa rovná práci, ktorú plyn vykonal $W = Q_1$. Zmena vnútornej energie je nulová $\Delta U = 0$. Pozri tabuľku 7.6-1.

2. fáza – adiabatická expanzia (krivka medzi bodmi 2 a 3)

Teplo sa nevymieňa s okolím, preto $Q = 0$. To sa dá ľahko zariadiť tak, že dej prebehne rýchlo a množstvo vymeneného tepla je preto zanedbateľné. Teplota plynu sa vtedy znižuje až na teplotu chladiča T_2 , ktorá bude dôležitá v ďalšom kroku. Nastáva zmena vnútornej energie plynu (označme ju $-Z$).

3. fáza – izotermická kompresia (krivka medzi bodmi 3 a 4)

Aby sme sa vrátili do štartovacieho stavu v bode 1, musíme teraz plyn začať stláčať. A to najprv izotermicky, plyn je vtedy v kontakte s chladičom s teplotou T_2 a prejde z bodu 3 do bodu 4. Chladič z neho pri stláčaní odoberá prebytočné teplo $-Q_2$, a tak môže ostať teplota plynu konštantná.

4. fáza – adiabatická kompresia (krivka medzi bodmi 4 a 1)

Poslednou časťou je adiabatická kompresia z teploty T_2 na teplotu T_1 , plyn tak prejde z bodu 4 do bodu 1. Teplo je nulové. Cyklus môže začať odznova.

Tabuľka 7.6-1

Dej	Q	ΔU	W
izotremická expanzia 1-2	Q_1	0	Q_1
adiabatická expanzia 2-3	0	-Z	-Z
izotremická kompresia 3-4	$-Q_2$	0	$-Q_2$
adiabatická kompresia 4-1	0	Z	Z

Z tabuľky 7.6-1 sa dá vyčítať celková práca W vykonaná počas jedného cyklu. Stačí spočítať údaje v príslušnom stĺpci (stĺpec s Q, W) a dostaneme, že $W = Q_1 - Q_2$.

Po ukončení jedného cyklu je výsledná zmena vnútornej energie pracovnej látky nulová.

Práca vykonaná pri Carnotovom cykle je rozdielom tepla prijatého od ohrievača a tepla odovzdaného chladiču $W = Q_1 - Q_2$.

Carnotov cyklus je veľmi zjednodušeným modelom skutočnosti. Súčasné tepelné stroje okolo nás vykresľujú v p-V diagrame zložitejšie krivky ako je krivka na obr. 7.6-4.

Pri tepelných strojoch je často spomínanou veličinou **účinnosť**. Aj pri predstavovaní nového typu auta sa môžete stretnúť s vyjadrením hrdého výrobcu: „Zvýšením účinnosti motora sa nám podarilo znížiť spotrebu paliva v aute.“

Účinnosť je v praxi naozaj dôležitá veličina. Už len kvôli názvu by to mala byť veličina vyjadrujúca skutočnosť, ako efektívne stroj premieňa dodanú energiu na užitočnú prácu. **Čím vyššia je účinnosť stroja, tým efektívnejšie stroj pracuje.** Účinnosť je číslo veľmi zaujímavé hlavne pre obchodníkov.

Ak pri kruhovom deji prijme pracovná látka od ohrievača teplo Q_1 a vykoná prácu $W = Q_1 - Q_2$, tak **účinnosť η ľubovoľného kruhového deja** vyjadruje vzťah

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \text{ Pretože } Q_2 < Q_1, \text{ je } \eta < 1.$$

Carnot dokázal, že pre účinnosť η ľubovoľného tepelného stroja, ktorý pracuje s ohrievačom teploty T_1 a s chladičom teploty T_2 , platí $\eta \leq \eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$.

Vzťah určuje hornú hranicu účinnosti tepelných strojov. Podľa tohto vzťahu je účinnosť tepelného stroja tým väčšia, čím vyššia je teplota ohrievača (napr. teplota pary v parnom motore, teplota plynu v spaľovacom motore) a čím nižšia je teplota chladiča (napr. teplota vychádzajúcej pary z parného motora, teplota výfukových plynov).

Skutočná účinnosť kruhového deja je vždy podstatne menšia ako horná hranica účinnosti, pretože vznikajú straty v dôsledku trenia, pri prenose mechanickej energie z pohybu valcov motora na otáčavý pohyb kolies a podobne.

S tepelnými strojmi sa stretávame každodenne v autách. Podobne dôležité sú pre nás tepelné stroje v chladničkách (kompresorová a absorpčná chladnička).

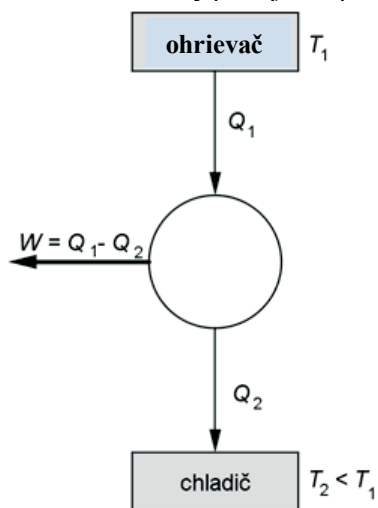
Druhý termodynamický zákon

Pracovná látka počas kruhového deja prijme od ohrievača teplo Q_1 , ale iba časť tohto tepla sa spotrebuje na vykonanie práce $W = Q_1 - Q_2$, zvyšok tepla Q_2 pracovná látka odovzdá chladiču (obr. 7.6-5). Tento poznatok platí pre ľubovoľný kruhový dej s ľubovoľnou pracovnou látkou. Túto fyzikálnu zákonitosť vyjadruje **druhý termodynamický zákon**:

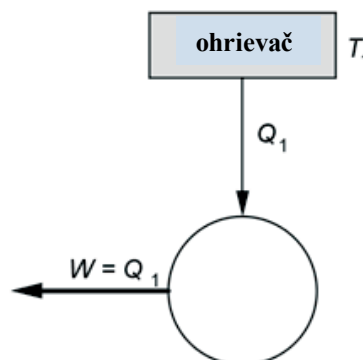
1. Nemožno zostrojiť periodicky pracujúci tepelný stroj, ktorý by iba prijímal teplo od ohrievača a vykonával rovnako veľkú prácu. (Nemožno zostrojiť perpetuum mobile druhého druhu.) (obr. 7.6-6)

2. Pri tepelnej výmene teleso s vyššou teplotou nemôže samovoľne prijímať teplo od telesa s nižšou teplotou.

Obr. 7.6-5 Periodicky pracujúci tepelný stroj



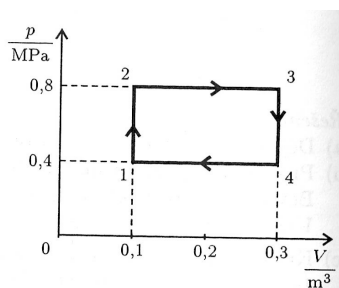
Obr. 7.6-6 Perpetuum mobile 2. druhu



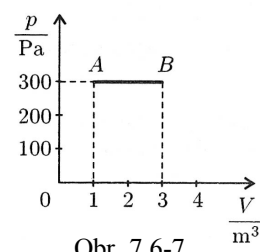
Úlohy 7.6

1. Prvé parné stroje mali v minulosti veľký význam pre ďalší rozvoj priemyslu a dopravy. V literatúre alebo na internete nájdite, o čo sa zaslúžil škótsky mechanik James Watt a slovenský fyzik Aurel Stodola.
2. Využitím internetu pripravte pre spolužiakov stručný prierez históriou tepelných motorov.
3. Využitím internetu pripravte prezentáciu, prostredníctvom ktorej spolužiakom vysvetlíte princíp činnosti zážihových a vznetrových motorov.
4. V tepelnej elektrárni sa para po prejení parnou turbínou v chladiacich vežiach schladí, až skvapalnie. Potom je táto voda vedená späť do kotla, aby sa opäť ohriala, vznikla z nej para, roztočila turbínu atď. Nie je kondenzácia vody zbytočná?
5. Rovnala by sa účinnosť tepelných strojov 100%, keby trenie súčiastok bolo nulové?
6. V školskom kabinete fyziky by sa mali dať nájsť mechanické modely niektorých spaľovacích motorov. Zistite, ako sa volajú a predveďte spolužiakom ako fungujú.

7. Prečo je automobilový naftový motor hlučnejší ako benzínový?
8. Prečo sa pred závodom formulí jazdí najprv tzv. zahrievacie kolo?
9. Využitím internetu pripravte prezentáciu, prostredníctvom ktorej spolužiakom vysvetlíte princíp činnosti kompresorovej a absorpčnej chladničky.
10. Prečo sa absorpčné chladničky nevyužívajú v domácnostiach, hoci sú úplne nehlučné?
11. Vyhľadajte na internete aké špeciálne zlúčeniny sa dnes používajú v chladničkách.
12. Vyhľadajte na internete energetické triedy uvádzané na energetickom štítku chladničiek a mrazničiek a poraďte spolužiakom, ktoré chladiace zariadenie by bolo z hľadiska spotreby elektrickej energie pre ich domácnosť najvýhodnejšie.
13. Na akom princípe fungujú klimatizácie v budovách a v autách?
14. Akú prácu vykoná ideálny plyn pri izobarickej expanzii pri tlaku 0,1 MPa, pri ktorej sa objem plynu zväčšil zo 7 l na 8 l? [100 J]
15. Akú prácu vykoná plyn, ak sa jeho pôvodný objem 1 cm³ pri stálom tlaku 10⁸ Pa stonásobí? [200 J]
16. Určte prácu, ktorú plyn vykoná pri prechode zo stavu A do stavu B podľa obr. 7.6-7. [600 J]



Obr. 7.6-8



Obr. 7.6-7

17. Akú prácu vykoná plyn pri jednom kruhovom deji podľa obr. 7.6-8? [80 kJ]
18. Ideálny plyn zväčšil pri stálom tlaku 8 MPa svoj objem o 0,5 m³ a prijal pri tom teplo 6 MJ. Určte zmenu jeho vnútornej energie. [2 MJ]
19. Tepelný motor pracujúci s ohrievačom teploty 200°C a s chladičom teploty 0°C zdvíha závažie s hmotnosťou 400 kg. Aká je jeho maximálna účinnosť? [42,27%]
20. Určte teplotu chladiča, ak účinnosť tepelného motora je 41% a teplota ohrievača je 157°C. [253,79 K]
21. Tepelný motor, ktorý pracuje s účinnosťou 28%, má teplotu ohrievača (horiace palivo) 927°C a teplotou chladiča (výfukové plyny) 447°C. Vypočítajte účinnosť ideálneho tepelného stroja, ktorý pracuje s rovnakými teplotami ohrievača a chladiča. O koľko % je účinnosť tohto stroja väčšia ako účinnosť daného tepelného motora? [40%, 12%]
22. Účinnosť ideálneho tepelného stroja, ktorý pracuje podľa kruhového deja, je 20%. Aká bude jeho účinnosť, ak teplo, ktoré prijme pracovná látka stroja počas jedného cyklu od ohrievača, sa zväčší o 40% a teplo, ktoré odovzdá počas jedného cyklu chladiču, sa zmenší o 20%? [54%]
23. Ideálny tepelný stroj, ktorý pracuje s hornou hranicou účinnosti $\eta_{\max}$, vykonal počas jedného cyklu kruhového deja prácu $7,4 \cdot 10^4$ J. Teplota ohrievača je 373 K, teplota chladiča je 273 K. Určte teplo, ktoré pracovná látka získala počas jedného cyklu od ohrievača a teplo, ktoré počas jedného cyklu odovzdala chladiču. [$2,76 \cdot 10^5$ J, $2,1 \cdot 10^5$ J]
24. V noci sa vyskytujú určité teplotné rozdiely medzi teplejšími a chladnejšími vrstvami vody. Možno tieto teplotné rozdiely aspoň z princípu využiť na konanie práce?
Aká by musela byť maximálna účinnosť tepelného stroja, ktorý by využíval ako ohrievač vrstvu vody s teplotou 15°C a ako chladič vrstvu vody s teplotou 5°C? [3,5%]

8 ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTOK

8.1 Rozdelenie pevných látok

Pevné látky rozdeľujeme do dvoch základných skupín – kryštalické a amorfne pevné látky.

1. Kryštalické pevné látky

Vyznačujú sa **d'alekosiahlym pravidelným usporiadaním častíc** (atómov, molekúl, iónov). Častice svojim pravidelným usporiadaním vytvárajú **kryštalovú mriežku**.

Kryštalické pevné látky delíme na:

a) monokryštály – pravidelné rozmiestnenie častíc sa periodicky opakuje v celom kryštáli, napríklad kamená soľ NaCl, kremeň SiO₂, diamant. V praxi sa využívajú monokryštály kremíka pri výrobe integrovaných obvodov.



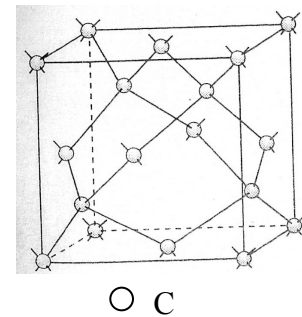
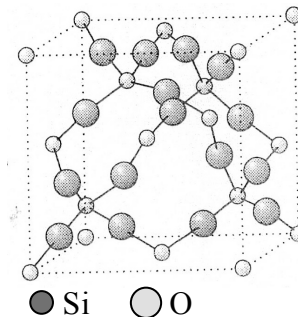
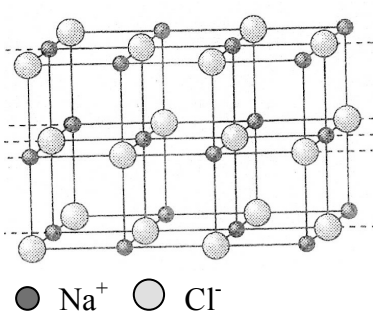
Obr. 8.1-1 Kamenná soľ



Obr. 8.1-2 Kremeň

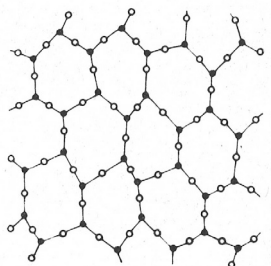


Obr. 8.1-3 Diamant



b) polykryštalické látky – sú zložené z veľkého počtu malých kryštálikov – zŕn s rozmermi od 10 μm do niekoľko mm. Vnútri zŕn sú častice usporiadané pravidelne, vzájomná poloha zŕn je však náhodná. Medzi polykryštály patria všetky kovy, ktoré sa vyskytujú v technickej praxi, napr. meď, zinok, olovo, železo.

2. Amorfne pevné látky



Obr. 8.1-4 Amorfne kremenné sklo má krátkosiahle usporiadanie častíc

Vyznačujú sa **krátkosiahlym pravidelným usporiadaním častíc**. Majú iba najbližšie častice k istej vybratej častici amorfnej látky rozmiestnené približne pravidelne, ale s rastúcou vzdialenosťou sa táto pravidelnosť usporiadania častíc porušuje.

Medzi amorfné látky patrí, napr. vosk, živica, sklo, asfalt, jantár. Zvláštnu skupinu organických amorfných látok tvoria **polyméry**, napr. kaučuk, drevo, koža, bavlna, plasty, bielkoviny.

Úlohy 8.1

1. Nájdite aspoň 2 odlišné vlastnosti medzi kryštalickými a amorfnými pevnými látkami.
2. Ako vysvetlíte, že tabuľové sklo sa rokmi stáva krehkým?
3. Prečo sneh vŕzga pod nohami, keď je mráz?

8.2 Deformácia pevných látok

Pevné chemické väzby medzi časticami pevnej látky spôsobujú, že základnou vlastnosťou pevných telies je ich stály tvar a objem.

Určite vám je ale známe, že pôsobením vonkajších síl môžu pevné telesá meniť svoj tvar a rozmery.

Zmenu tvaru alebo rozmerov pevného telesa spôsobenú účinkom vonkajších síl nazývame deformácia.

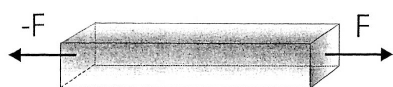
Ak pevné teleso nadobudne pôvodný tvar, keď prestanú pôsobiť vonkajšie sily, hovoríme o **pružnej (elastickej) deformácii**. Takéto telesá sú pružné (elastické) a ich **deformácia je dočasná**, napr. malé predĺženie pružiny, gumového vlákna.

Ak pevné teleso nenadobudne pôvodný tvar, keď prestanú pôsobiť vonkajšie sily, hovoríme o **tvárnej (plastickej) deformácii**. Takéto telesá sú nepružné a ich **deformácia je trvalá**, napr. kovanie, lámanie, rezanie, pílenie pevných telies.

V technickej praxi sa pružná a tvárna deformácia vyskytujú väčšinou súčasne, napr. deformácia pružiny pružinového silomera, deformácia lán žeriavov a výťahov, deformácia gauča, prádlovej gumeny na oblečení.

Podľa smeru pôsobiacich síl na pevné teleso **rozlišujeme deformáciu ťahom, tlakom, ohybom, šmykom a krútením**.

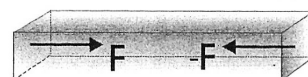
1. Deformácia ťahom



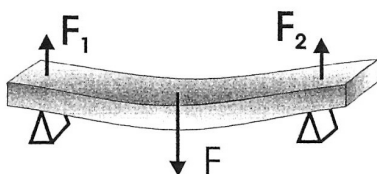
Na teleso pôsobia dve rovnako veľké sily opačného smeru smerujúce von z telesa. Ťahom sú deformované láná výťahov a žeriavov.

2. Deformácia tlakom

Na teleso pôsobia dve rovnako veľké sily opačného smeru smerujúce dovnútra telesa. Tlakom sú deformované piliere, nosníky, rozličné podpery.

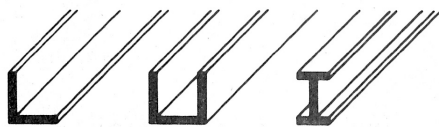


3. Deformácia ohybom



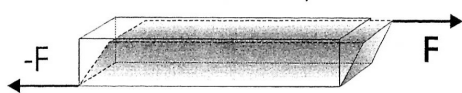
Nastáva pri nosníku, ktorý je podopretý na oboch koncoch, ak pôsobí naň sila kolmo na jeho pozdĺžnu os súmernosti. Pri ohýbaní nosníka sa horné vrstvy skracujú (sú deformované tlakom), dolné vrstvy sa predlžujú (sú deformované ťahom) a stredná vrstva si

zachováva svoju pôvodnú dĺžku a nie je namáhaná. Preto sa koľajnice alebo nosníky tvarujú tak, aby bolo najviac materiálu v namáhaných vrstvách (obr. 8.2-1).



Obr. 8.2-1 Profily nosníkov

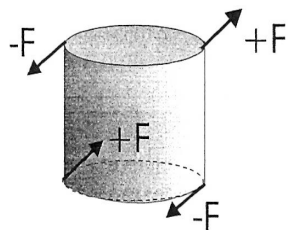
4. Deformácia šmykom



Na hornú a dolnú podstavu deformovaného telesa pôsobia sily v rovinách podstáv. Sily zapríčinia posunutie jednotlivých vrstiev telesa, pričom sa vzdialenosť vrstiev nemení a nastáva šmyk. Šmykom sa môžu deformovať nity a skrutky.

Na hornú a dolnú podstavu deformovaného telesa pôsobia sily v rovinách podstáv. Sily zapríčinia posunutie jednotlivých vrstiev telesa, pričom sa vzdialenosť vrstiev nemení a nastáva šmyk. Šmykom sa môžu deformovať nity a skrutky.

5. Deformácia krútením



Spôsobujú ju dve rovnaké silové dvojice, ktorých momenty síl sú opačné. Krútením sa namáhajú hriadele strojov, skrutky, vrtáky.

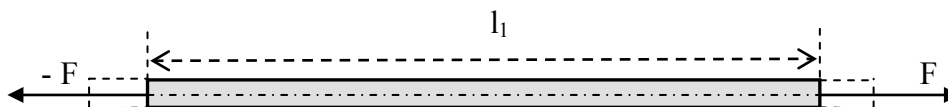
V technickej praxi sa často stretávame s deformáciami, ktoré sú zložené z niekoľkých jednoduchých deformácií, napr. tyč sa môže deformovať súčasne ťahom, krútením i ohybom.

Hookov zákon

Platí len pre pružnú deformáciu ťahom (tlakom).

Podrobnejšie preskúmame pružnú deformáciu ťahom.

Na tyč pôsobí ťahová sila podľa obr. 8.2-2, vplyvom ktorej sa tyč s pôvodnou dĺžkou l_1 predĺži o dĺžku Δl , teda $l = l_1 + \Delta l$. Veličina Δl sa nazýva **predĺženie**.



Obr. 8.2-2 Deformácia tyče ťahom

Predĺženie tyče závisí od pružných vlastností materiálu, z ktorého je tyč vyrobená (konštanta úmernosti k), ďalej závisí priamoúmerne od pôsobiacej sily F a od pôvodnej dĺžky l_1 a nepriamoúmerne od veľkosti obsahu prierezu tyče S .

Platí vzťah $\Delta l = k \frac{F l_1}{S}$. Predchádzajúci vzťah napíšeme v tvare $\frac{\Delta l}{l_1} = \frac{1}{E} \frac{F}{S}$.

Veličina $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1}$ sa nazýva **relatívne predĺženie**. Udáva sa v %. Veličina $\sigma = \frac{F}{S}$ je

normálové napätie. Jednotkou je **pascal Pa**. Konštanta úmernosti $k = \frac{1}{E}$, kde E je **modul pružnosti v ťahu (tlaku)**. Jednotkou je **pascal Pa**. Modul pružnosti je látková

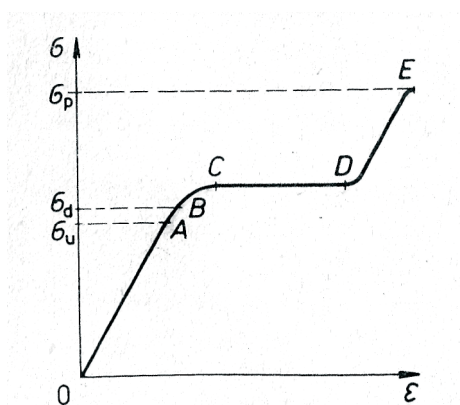
konštanta, ktorá má pre rôzne látky rôzne hodnoty, napr. pre oceľ je $E = 220 \text{ GPa}$, pre meď $E = 120 \text{ GPa}$.

Po dosadení $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1}$, $\sigma = \frac{F}{S}$, $k = \frac{1}{E}$ do vzťahu $\frac{\Delta l}{l_1} = \frac{1}{E} \frac{F}{S}$ dostaneme **matematický zápis Hookovho zákona** (anglický fyzik Robert Hooke 1635 – 1703)

$$\sigma = E \varepsilon.$$

Normálové napätie je priamoúmerné relatívnemu predĺženiu (skráteniu).

Grafické znázornenie závislosti normálového napätia od relatívneho predĺženia sa nazýva **krivka deformácie**.



Obr. 8.2-3 Krivka deformácie ťahom mäkkého železa

úsek OA – deformácia je pružná, platí Hookov zákon

úsek AB – deformácia je ešte pružná, ale Hookov zákon už neplatí

úsek BC – deformácia je trvalá

úsek CD – drôt sa rýchlo predlžuje, „tečie“ a to pri konštantnom napätí

úsek DE – dochádza k tzv. spevneniu materiálu

stav znázornený bodom E – dochádza k porušeniu súdržnosti látky, drôt sa pretrhne

Na presné určenie tejto závislosti sa používa ťhací stroj a skúšobná tyč zo skúmaného materiálu.

Z krivky deformácie možno určiť medzu úmernosti σ_u (najvyššie normálové napätie, pre ktoré ešte platí Hookov zákon) a **medzu pevnosti σ_p** (po prekročení medze pevnosti dochádza k porušeniu súdržnosti látky, materiál sa pretrhne). Pre oceľ rôznej kvality je medza pevnosti v ťahu 350 MPa až 800 MPa.

Poznanie medze úmernosti a medze pevnosti má veľký význam pri výbere materiálu na rôzne konštrukcie a stavby. Z hodnôt medze úmernosti a medze pevnosti možno rozhodnúť, či je látka pružná alebo krehká, či je alebo nie je vhodná na danú stavbu. Hlavným cieľom je, aby stavby boli bezpečné, odolávali poveternostným podmienkam, slúžili svojmu účelu a neohrozovali životy ľudí.

Úlohy 8.2

1. Pri tyči z materiálu s modulom pružnosti v ťahu E bolo pri normálovom napätí σ_n , zistené relatívne predĺženie 0,2%. Aké je relatívne predĺženie tyče pri normálovom napätí $2\sigma_n$? [0,4%]
2. Drôt s dĺžkou l a s obsahom prierezu S sa pôsobením sily F predlži o 4 mm. O akú dĺžku sa predlži ten istý drôt,

- a) ak je napínaný silou $2F$,
- b) ak má dĺžku $2l$,
- c) ak má obsah prierezu $2S$? [8 mm, 8 mm, 2 mm]
3. Drôt s dĺžkou 4 m a s obsahom prierezu 2 mm^2 je napínaný silou 0,8 kN, pričom sa predĺži o 8 mm. Deformácia je pružná. Určte normálové napätie, relatívne predĺženie a modul pružnosti v ťahu. [400 MPa, 0,2%, $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$]
4. Oceľový drôt s dĺžkou 2 m a s obsahom prierehu $0,5 \text{ mm}^2$ je napínaný silou 55 N. Určte predĺženie drôtu, ak deformácia drôtu je pružná a pre oceľ je $E = 220 \text{ GPa}$. [1 mm]
5. Oceľová skúšobná tyč s priemerom 15 mm sa pretrhla silou $1,63 \cdot 10^5 \text{ N}$. Určte medzu pevnosti v ťahu (normálové napätie) použitej ocele. [923 MPa]
6. Oceľový drôt s dĺžkou 2 m a s priemerom 2 mm je napínaný silou F tak, že sa predĺži o 3 mm. Modul pružnosti v ťahu je $220 \cdot 10^9 \text{ Pa}$. Vypočítajte silu F . [1,036 kN]
7. Hliníkový drôt s obsahom prierehu 5 mm^2 má dĺžku 10 m.
 - a) Určte maximálnu hmotnosť bremena, ktoré môžeme na drôt zavesiť, aby sme neprekročili medzu pružnosti hliníka 98,5 MPa. [50 kg]
 - b) Určte predĺženie a relatívne predĺženie hliníkového drôtu spôsobené týmto bremenom, ak pre hliník je $E = 66 \text{ GPa}$. [1,5 cm, 0,15 %]
8. Železná tyč s pôvodnou dĺžkou 2 m a s obsahom prierezu 1 cm^2 je na jednom konci upevnená a na druhom konci napínaná ťahovou silou 10 kN. Aká bude dĺžka tyče po predĺžení? [2,001 m]
9. Aký musí byť polomer medeného drôtu, aby sa účinkom sily 0,05 kN, ktorá pôsobí v smere dĺžky nepretrhol, keď medza pevnosti je 200 MPa? [8,92 mm]
10. Železnú tyč s dĺžkou 1 m, ktorej obsah prierezu je 2 cm^2 , naťahujeme silou 20 kN. Modul pružnosti železa je $2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$. Vypočítajte normálové napätie materiálu, predĺženie a relatívne predĺženie. [10^8 Pa , 0,5 mm, 0,05%]

8.3 Teplotná roztťažnosť pevných látok

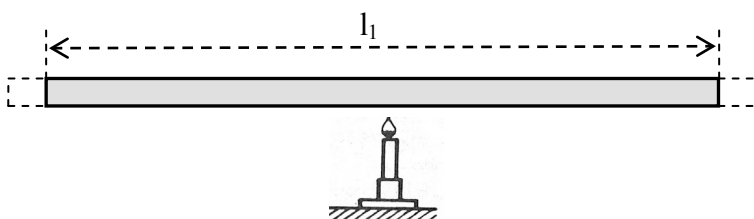
V predchádzajúcom článku 8.2 ste spoznali, že pôsobením vonkajších síl môžu pevné telesá meniť svoj tvar a rozmery. Zo skúsenosti viete, že **rozmery pevného telesa sa môžu meniť a j v závislosti od teploty**. Tento jav nazývame **teplotná roztťažnosť**.

Teplotná roztťažnosť pevných látok môže byť dĺžková a objemová.

1. Teplotná dĺžková roztťažnosť pevných látok

Vyskytuje sa najmä u pevných telies, u ktorých prevláda jeden rozmer – dĺžka, napr. elektrické vedenie, laná, potrubia, mosty, koľajnice, bimetalický pásik.

Ak zahrievame kovovú tyč (obr. 8.3-1) s pôvodnou dĺžkou l_1 , vplyvom prijatého tepla sa teplota kovovej tyče zvyšuje, čo má za následok jej predĺženie o hodnotu Δl , teda dĺžka tyče po zahriatí je $l = l_1 + \Delta l$.



Obr. 8.3-1 Teplotná dĺžková roztťažnosť kovovej tyče

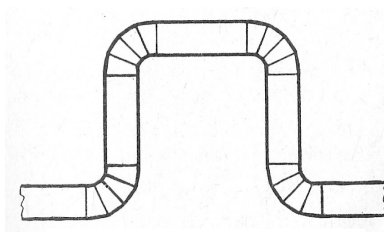
Predĺženie Δl tyče pri zvýšení teploty závisí priamoúmerne od pôvodnej dĺžky tyče l_1 , ďalej závisí od látky, z ktorej je tyč vyrobená a od prírastku teploty Δt .

Platí vzťah $\Delta l = l_1 \alpha \Delta t$.

Konštanta úmernosti α sa nazýva súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozťažnosti. Jednotkou je K^{-1} . Súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozťažnosti závisí od druhu látky, z ktorej je pevné teleso. Pre niektoré látky sú hodnoty α uvedené v MFChT, napr. pre hliník $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, pre meď $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, pre zinok $\alpha = 2,6 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, pre železo (ocel) $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, pre betón $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$. Preto sa do betónu dáva železná armatúra.

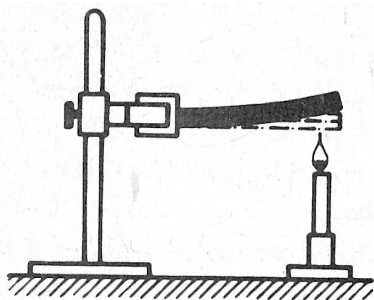
Ak do vzťahu $l = l_1 + \Delta l$ dosadíme za $\Delta l = l_1 \alpha \Delta t$ a z matematiky využijeme vynímanie pred zátvorku, dostaneme po úprave **vzťah na výpočet dĺžky tyče po rozťažnosti** $l = l_1(1 + \alpha \Delta t)$. Dĺžka tyče sa mení s teplotou lineárne.

V praxi sa stretávame s teplotnou dĺžkovou rozťažnosťou pevných látok veľmi často. Musí sa s ňou počítať pri mostných konštrukciách (jeden koniec mosta je uložený na sústave valčekov), pri kladení koľajníc, pri stavbe dlhých budov (dilatačné medzery), pri napínaní kovových lán a elektrických vodičov (nechať previs), pri parovodoch a iných dlhých potrubíach (dilatačné slučky tvorené pružnými kolenami), pri kovových meradlách (zhotovujú sa z kovov s malým súčiniteľom teplotnej dĺžkovej rozťažnosti, napr. zliatina železa a niklu).



Obr. 8.3-2 Pružné koleno v teplovodnom potrubí

Ak nemôže nastať predĺženie, po zahriatí vznikne v telese mechanické napätie. Jeho dôsledkom môže byť popraskanie alebo deformácia telesa.



Kovy s rôznymi súčiniteľmi teplotnej dĺžkovej rozťažnosti sa používajú v bimetalickom pásiku. **Bimetalický pásik** sa používa na automatickú reguláciu teploty napr. v termostatoch žehličky, chladničky.

Obr. 8.3-3 Bimetalický pásik

2. Teplotná objemová rozťažnosť pevných látok

V závislosti od teploty sa menia všetky tri rozmery pevného telesa, čo sa prejaví zmenou objemu telesa.

Obdobne ako pri teplotnej dĺžkovej rozťažnosti bolo zistené, že **pri teplotnej objemovej rozťažnosti zmena objemu ΔV telesa pri zvýšení teploty závisí priamoúmerne od pôvodného objemu telesa V_1 , ďalej závisí od druhu látky, z ktorej je pevné teleso zhotovené a od prírastku teploty Δt .**

Platí vzťah $\Delta V = V_1 \beta \Delta t$.

Konštanta úmernosti β sa nazýva **súčiniteľ teplotnej objemovej rozťažnosti**. Jednotkou je K^{-1} . Platí, že $\beta = 3\alpha$.

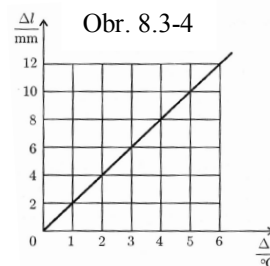
Vzťah na výpočet objemu pevného telesa po rozťažnosti je $V = V_1(1 + \beta \Delta t)$. Objem pevného telesa sa mení s teplotou lineárne.

V praxi musíme s teplotnou objemovou rozťažnosťou pevných látok počítať pri zamurúvaní kovových kotlov (nezamurúvajú sa tesne), na stavbách, kde sa používajú veľké panely, pri montáži ložísk, pri odmerných valcoch (odmerné valce majú nad svojou stupnicou udanú hodnotu maximálnej teploty tekutiny), pri otvoroch a dutinách v bankách, rúrkach (menia svoj priemer), pri výfuku v aute (je uložený v gumových podperách, aby bola umožnená dĺžková rozťažnosť vplyvom zahriatia výfukovými plynmi a aj kvôli odhlučneniu).

Úlohy 8.3

1. Prečo vlnitý plech má väčšiu nosnosť ako plech rovný? Prečo minca položená na tenkom papieri na pohári spadne do pohára, ale papier poskladaný do profilu „harmoniky“ ju udrží? Vyskúšajte.
2. Ak máte v byte kyvadlové hodiny, je potrebné ich v priebehu roka nastavovať. Vysvetlite prečo a ako?
3. Sústružník ihneď po skončení obrábania meraním zistil, že obrobok má správnu dĺžku. Po niekoľkých hodinách bol obrobok kratší? Ako je to možné?
4. Prečo sa odlievacie formy na kov robia väčšie ako má byť odliatok?
5. Prečo, keď nalejete horúcu vodu do skleného pohára, môže pohár prasknúť?
6. Čím sa hlavne líši varné sklo od skla obyčajného?
7. Sklená tabuľa pri zahrievaní plameňom praská. Prečo nepraská kovová platňa?
8. Prečo sa pred nasadením na hriadeľ ložisko nahreje?
9. Pri nitovaní hrubých železných plechov sa používajú do červena rozpálené nity. Prečo?
10. Prečo sa dá zhrdzavená skrutka rýchlo uvoľniť, keď ju zahrejete plameňom?
11. Aká spoločná vlastnosť spája dvojice materiálov železo a betón, zub a amalgám?
12. Prečo zubní lekári neodporúčajú jesť veľmi horúce jedlá?
13. Dĺžka hliníkovej tyče pri teplote 0°C je 1 m. O koľko sa táto tyč predĺži pri zahriatí na $573,15\text{ K}$, $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} K^{-1}$? [7,2 mm]
14. Oceľové pásmo má pri teplote 18°C dĺžku 25 m. Aká bude jeho dĺžka pri teplote 28°C , $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$? [25,003 m]
15. Teplota hliníkového valca sa zväčšila zo 6°C na 40°C . Pri teplote 6°C má valec výšku 50 mm. Možno zistiť zväčšenie výšky valca, ak na meranie použijeme mikrometer, ktorého najmenší dielik má hodnotu 0,01 mm, $\alpha = 24 \cdot 10^{-6} K^{-1}$? [4,1 $\cdot 10^{-2}$ mm, áno]
16. Dĺžka medeného drôtu sa zväčší pri zahriatí z 0°C na 100°C o 170 mm. Určte súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozťažnosti medi, keď pôvodná dĺžka drôtu je 100 m. [$17 \cdot 10^{-6} K^{-1}$]
17. Teplota oceľovej koľajnice, ktorá má pri teplote 0°C dĺžku 10 m, stúpne v lete na 35°C a v zime klesne na -20°C . Ako sa bude meniť dĺžka koľajnice, $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$? [od 9,9976 m do 10,0042 m]

18. Na obr. 8.3-4 je graf znázorňujúci závislosť prírastku dĺžky Δl ocelového drôtu s dĺžkou 200 m od prírastku jeho teploty Δt . Určte pomocou grafu súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozťažnosti daného druhu ocele. [10^{-5} K^{-1}]
19. Aké je relatívne predĺženie drôtu z olova pri zvýšení teploty z -5°C na 35°C , $\alpha = 29 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$? [0,116%]
20. Aké závažie je treba upevniť na zvisle zavesený medený drôt s obsahom prierečného rezu 1 mm^2 , aby predĺženie tohto drôtu pri jeho pružnej deformácii spôsobené závažím bolo rovnaké ako pri zahriatí o 24°C , $\alpha_{\text{Cu}} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $E_{\text{Cu}} = 120 \text{ GPa}$? [5 kg]
21. Mramorový kváder má pri teplote 0°C objem 1 m^3 . Aká je zmena objemu kvádra pri teplote 50°C , $\alpha_{\text{mramoru}} = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$? [1275 cm^3]
22. Odmerný sklený valec má pri teplote 20°C vnútorný objem 500 cm^3 . Aký bude jeho objem pri teplote 70°C , $\alpha_{\text{skla}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$? [500,6 cm^3]



8.4 Topenie, tuhnutie, sublimácia a desublimácia

Topenie – je zmena pevného telesa na kvapalné teleso.

Teplota topenia je teplota, pri ktorej látka mení skupenstvo z tuhého na kvapalné. Rozličné látky majú rôzne teploty topenia, ktoré sú uvedené v MFChT. Pretože teplota topenia závisí mierne aj od tlaku, udáva sa v tabuľkách tzv. **normálna teplota topenia** (teplota topenia za normálneho tlaku 101,325 hPa), napr. pre ortuť $t_i = -38,8^\circ\text{C}$, pre vodu $t_i = 0^\circ\text{C}$, pre čisté železo $t_i = 1539^\circ\text{C}$, pre wolfrám $t_i = 3410^\circ\text{C}$.

Keď zohrievame teleso z kryštalickej látky, zvyšuje sa jeho teplota a po dosiahnutí teploty topenia sa premieňa na kvapalinu s tou istou teplotou. Jav sa nazýva topenie. **Pri topení musíme telesu teplo dodávať.**

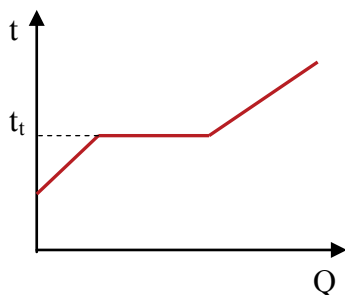
Teplo, ktoré je potrebné na to, aby sa pevné teleso s hmotnosťou m zohriate na teplotu topenia premenilo na kvapalinu tej istej hmotnosti a teploty, sa nazýva **skupenské teplo topenia** L_i . Skupenské teplo topenia tej istej látky závisí od hmotnosti látky, preto sa zavádza **merné skupenské teplo topenia** l_i . **Udáva, koľko tepla musíme dodať 1 kg pevnej kryštalickej látky zohriatej na teplotu topenia, aby sa premenila na kvapalinu tej istej teploty.**

Merné skupenské teplo topenia vypočítame zo vzťahu $l_i = \frac{L_i}{m}$. **Jednotkou tejto veličiny je $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.** Merné skupenské teplo topenia má pre rôzne látky odlišné hodnoty, ktoré sú uvádzané v MFChT, napr. pre ľad $l_i = 330 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, pre olovo $l_i = 22,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, pre ortuť $l_i = 11,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

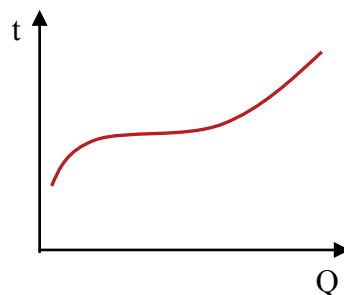
Vysvetlenie topenia látky z hľadiska molekulovej fyziky je nasledovné.

Ak kryštalická látka prijíma teplo, vzrastá jej vnútorná energia, čo sa prejaví zvýšením teploty látky (obr. 8.4-1). Častice zväčšujú rozmery a pri teplote topenia nadobúdajú rozmery častíc také hodnoty, že sa narúša väzba medzi časticami mriežky. Mriežka sa začne rozpadávať, látka sa topí. Teplota látky sa počas topenia nemení, lebo prijaté

teplo sa spotrebuje na rozrušenie mriežky. Po roztopení všetkej látky, sa teplota zahrievanej kvapaliny začína opäť zvyšovať.



Obr. 8.4-1 Závislosť teploty kryštalickej látky od prijatého tepla pri jej topení



Obr. 8.4-1 Závislosť teploty amorfnej látky od prijatého tepla pri jej topení

Zliatiny a amorfné látky nemajú určitú teplotu topenia, mäknú (obr. 8.4-2) a menia sa na kvapalinu v rozmedzí určitých teplôt, napr. interval teplôt tavenia zliatiny s 0,4 % uhlíka je od 1460°C do 1502°C, interval teplôt tavenia zliatiny s 6,67 % uhlíka je od 1147°C až do 1800°C.

Topenie pevných látok má význam pri odlievaní, zvaraní, pri výrobe skla, pri topení snehu a ľadu.

Pri topení sa obvykle objem telesa zväčšuje a teplota topenia sa s rastúcim tlakom zväčšuje. U niektorých látok je to naopak, pri topení sa ich objem zväčšuje a teplota topenia s rastúcim tlakom klesá. Tento jav je najznámejší pri vode, kde ľad (pevná látka) má väčší objem ako voda (kvapalina).

Tuhnutie – je zmena kvapalného telesa na pevné teleso.

Ak kvapalinu, ktorá vznikla roztopením kryštalickej látky ochladzujeme, mení sa pri teplote tuhnutia (rovnajúcej sa teplote topenia) na pevné teleso. Pri tuhnutí odovzdá teleso okoliu skupenské teplo tuhnutia rovnajúce sa skupenskému teplu topenia.

Ako vysvetlíme tuhnutie látky z hľadiska molekulovej fyziky?

Ak kvapalinu, ktorá vznikla roztopením kryštalickej látky ochladzujeme, začnú sa v nej vplyvom väzbových síl utvárať kryštalizačné jadrá. K nim sa pridávajú a pravidelne usporadúvajú ďalšie častice látky.

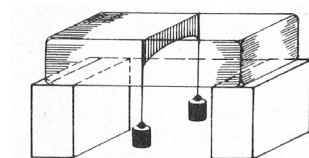
Sublimácia – je premena pevného telesa na plynné teleso bez predchádzajúceho topenia.

Za normálneho tlaku sublimuje sneh, ľad (sušenie zamrznutého prádla), jód, naftalén, pevný oxid uhličitý, všetky voňajúce alebo zápachajúce pevné látky.

Desublimácia – je opačný dej k sublimácii. Desublimácia je premena plynného telesa na pevné, napr. vznik drobných kryštálikov jódu z jódových pár, vznik snehových vločiek a námrazy z vodnej pary.

Úlohy 8.4

1. Ako vysvetlíte, že oceľový drôt zaťažený závažím prejde kusom ľadu a neprereže ho na dve časti (obr. 8.4-3)?



Obr. 8.4-3

2. Prečo sa sneh topí najrýchlejšie vplyvom dažďa?
3. Prečo sa musí vodovodné potrubie pred mrazom chrániť tepelne izolačnou vrstvou?
4. Ak napadá na vozovku sneh, tak pod kolesami áut čoskoro zľadovatie. Prečo?
5. Vysvetlite princíp erózie mrazom.
6. Nádobu s ľadom teploty 0°C vložíme do vody 0°C . Roztopí sa ľad?
7. Prečo pôsobí voda v prírode ako stabilizátor teploty?
8. Ako vzniká v zime srieň (námraza)?
9. Ako vznikajú snehové vločky?
10. Prečo v období topenia ľadovcov býva chladnejšie?
11. Prečo sa pri zamŕzaní vody v nádržiach pokrýva ľadom najskôr povrch vody?
12. Ako sa zmení vnútorná energia roztavenej medi s hmotnosťou 5 kg zohriatej na teplotu topenia, ak sa premení z kvapalného skupenstva na pevné skupenstvo tej istej teploty, $l_t = 204 \text{ kJ.kg}^{-1}$? [1,02 MJ]
13. Koľko tepla sa spotrebuje na roztopenie 5 kg ľadu teploty 0°C na vodu rovnakej teploty, $l_t = 330 \text{ kJ.kg}^{-1}$? [3,3 MJ]
14. V kalorimetri je ľad s hmotnosťou 10 g a s teplotou 0°C . Keď do kalorimetra vložíme zinok hmotnosti 80 g a teploty 100°C , ľad sa roztopí. Výsledná teplota vody je 0°C . Aká je merná tepelná kapacita zinku, $l_t = 330 \text{ kJ.kg}^{-1}$? (Návod: $L_t = Q$) [412,5 $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
15. Vypočítajte teplo potrebné k roztopeniu hliníkového predmetu s hmotnosťou 10 kg a s teplotou 20°C . Teplota topenia hliníka je 660°C , $c_{Al} = 896 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $l_{t,Al} = 400 \text{ kJ.kg}^{-1}$. (Návod: $Q = Q_1 + L_t$) [9,7 MJ]
16. Kocka ľadu má hmotnosť 10 g a teplotu 0°C . V kalorimetri je voda s hmotnosťou 1 kg a s teplotou 50°C . Koľko kociek ľadu musíme vložiť do kalorimetra, aby sa všetok ľad roztopil a teplota vody v kalorimetri bola 0°C , $l_{t,\text{ľadu}} = 330 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $c_{\text{vody}} = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$? Tepelné straty zanedbajte. (Návod: $Q = L_t$) [64 kociek]
17. Koľko tepla sa spotrebuje pri premene 10 kg ľadu teploty -10°C na vodu teploty 10°C , $c_{\text{vody}} = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $c_{\text{ľadu}} = 2,1 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $l_{t,\text{ľadu}} = 330 \text{ kJ.kg}^{-1}$? (Návod: $Q = Q_1 + L_t + Q_2$) [3,93 MJ]
18. Ako sa zmení vnútorná energia telesa z olova s hmotnosťou 2 kg zohriateho na teplotu topenia, ak sa premení z pevného skupenstva na kvapalné tej istej teploty? Pre olovo $l_t = 22,6 \text{ kJ.kg}^{-1}$? [$\Delta U = L_t = 45,2 \text{ kJ}$]
19. Vypočítajte teplo, ktoré je potrebné na premenu ľadu hmotnosti 2 kg a teploty -5°C na vodu tej istej hmotnosti a teploty 70°C . Merná tepelná kapacita ľadu je $2,14 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, merná tepelná kapacita vody je $4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a merné skupenské teplo topenia ľadu je 334 kJ.kg^{-1} . [1,275 MJ]

9 ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI KVAPALÍN

9.1 Teplotná objemová roztlačnosť kvapalín

Zo skúsenosti viete, že so zmenou teploty kvapaliny sa mení jej objem. **U väčšiny kvapalín sa s rastúcou teplotou objem kvapaliny zväčšuje.** Tento jav nazývame teplotná objemová roztlačnosť kvapalín.

Zmena objemu kvapaliny ΔV pri zvýšení teploty závisí od druhu kvapaliny, ďalej závisí priamoúmerne od pôvodného objemu V_1 a od zmeny teploty Δt .

Platí vzťah $\Delta V = \beta V_1 \Delta t$.

Konštanta úmernosti β sa nazýva súčiniteľ teplotnej objemovej roztlačnosti kvapaliny. Jednotkou je K^{-1} .

Súčiniteľ teplotnej objemovej roztlačnosti závisí od druhu kvapaliny. Pre niektoré kvapaliny sú hodnoty β pri teplote $20^\circ C$ uvedené v MFChT, napr. pre vodu a ortuť $\beta = 1,8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$, pre petrolej $\beta = 9,6 \cdot 10^{-4} K^{-1}$.

Ak do vzťahu $V = V_1 + \Delta V$ dosadíme za $\Delta V = \beta V_1 \Delta t$, dostaneme po úprave **vzťah na výpočet objemu kvapaliny po roztlačnosti** $V = V_1(1 + \beta \Delta t)$.

V praxi sa teplotná objemová roztlačnosť kvapalín využíva v kvapalinových teplomeroch (liehové a ortuťové teploměry). S teplotnou objemovou roztlačnosťou kvapalín sa musí počítať pri plnení sudov, cisterien a nádrží napr. olejom, naftou, benzínom.

So zmenou teploty kvapaliny sa mení aj jej hustota. U väčšiny kvapalín sa s rastúcou teplotou hustota kvapaliny znižuje.

Platí vzťah $\rho = \rho_1(1 - \beta \Delta t)$, kde ρ_1 je pôvodná hustota kvapaliny.

Pri konštantnom tlaku hustota kvapalín s rastúcou teplotou klesá približne lineárne.

Vieme, že u väčšiny kvapalín sa pri zvyšovaní teploty ich objem zväčšuje, pri ochladzovaní znižuje.

Voda má však výnimočnú vlastnosť. Pri zahrievaní od $0^\circ C$ do $3,98^\circ C$ sa jej objem naopak znižuje a hustota sa zväčšuje. Až pri zahrievaní nad $3,98^\circ C$ sa začína objem vody zväčšovať a hustota klesať. Táto vlastnosť vody sa nazýva **anomália vody.**

Anomália vody má veľký význam pre život vo vode. Je príčinou toho, že voda v rybníkoch a riekach nezamrzá až po dno. Prečo? Voda má najväčšiu hustotu pri $3,98^\circ C$. Preto je voda v teplotnom intervale od $0^\circ C$ do $3,98^\circ C$ najstudenšia pri hladine, odkiaľ zamrzá.



Obr. 9.1-1 Vydra riečna

Úlohy 9.1

11. Prečo sa voda nepoužíva ako teplotomerná látka?
12. Prečo tečúca voda zamrzá neskôr?

13. Kovová nádoba s objemom 10 l bola naplnená petrolejom pri teplote 5°C. Koľko litrov petroleja vytečie z nádoby, ak nádobu s petrolejom premiestnime do miestnosti s teplotou 20°C, $\beta_{\text{petroleja}} = 10 \cdot 10^{-4} K^{-1}$? Zväčšenie objemu nádoby zanedbajte. [0,15 l]
14. Ortuť má pri teplote 20°C objem 100 cm³. Aký je jej objem pri teplote 50°C, ak $\beta_{Hg} = 0,18 \cdot 10^{-3} K^{-1}$? [100,54 cm³]
15. V cisterne je pri teplote 0°C 50 ton nafty s hustotou 0,76 · 10³ kg.m⁻³. O koľko sa zväčší objem nafty, keď sa jej teplota zvýši o 20°C, $\beta_{\text{nafty}} = 10^{-3} K^{-1}$? [1,32 m³]
16. Vypočítajte zmenu hustoty ortuti pri teplote 70°C, ak pri teplote 20°C je hustota ortuti 13 546 kg.m⁻³, $\beta_{Hg} = 0,18 \cdot 10^{-3} K^{-1}$. [121,914 kg.m⁻³]
17. Petrolej s hmotnosťou 0,8 kg má pri teplote 0°C objem 1 l. Určte hustotu petroleja pri teplote 20°C, ak $\beta_{\text{petroleja}} = 0,001 K^{-1}$. [780 kg.m⁻³]

9.2 Vyparovanie, skvapalňovanie, var

Vyparovanie – je premena kvapaliny na paru. Kvapalina sa vyparuje pri každej teplote.

Rýchlosť vyparovania kvapaliny s určitou hmotnosťou závisí

- od druhu kvapaliny,
- od teploty (pri vyššej teplote dej prebieha rýchlejšie),
- od veľkosti obsahu voľného povrchu kvapaliny (čím väčší je obsah voľného povrchu kvapaliny, tým rýchlejšie vyparovanie prebieha),
- od spôsobu odstraňovania pár nad kvapalinou.

Ak chceme kvapalinu danej hmotnosti m premeniť na paru tej istej teploty, musí kvapalina prijať skupenské teplo vyparovania L_v . Skupenské teplo vyparovania kvapaliny závisí nielen od druhu kvapaliny, ale aj od jej hmotnosti, preto sa zavádza **merné skupenské teplo vyparovania** l_v . **Udáva, koľko tepla musíme dodať 1 kg kvapaliny, aby sa zmenila na paru tej istej teploty.**

Merné skupenské teplo vyparovania vypočítame zo vzťahu $l_v = \frac{L_v}{m}$.

Jednotkou tejto veličiny je $J \cdot kg^{-1}$. So zvyšujúcou sa teplotou kvapaliny merné skupenské teplo vyparovania klesá napr. pre vodu pri 0°C je $l_v = 2,51 MJ \cdot kg^{-1}$, pri 100°C je už len $l_v = 2,25 MJ \cdot kg^{-1}$.

Skvapalňovanie (kondenzácia) – je obrátený dej k vyparovaniu. Je premena pary na kvapalinu.

Para odovzdá do okolia **kondenzačné skupenské teplo**. Merné kondenzačné skupenské teplo sa rovná mernému skupenskému teplu vyparovania pri tej istej teplote.

Var kvapaliny – nastáva vtedy, ak sa kvapalina vyparuje nielen na voľnom povrchu, ale aj vo vnútri kvapaliny (vyparuje sa v celom svojom objeme).

Teplota, pri ktorej nastáva var kvapaliny, sa nazýva teplota varu. Teplota varu závisí od tlaku, preto v MFChT je uvádzaná **normálna teplota varu** (teplota varu pri

normálnom tlaku 101,325 hPa), napr. pre ortuť $t_v = 356,6^\circ\text{C}$, pre acetón $t_v = 56,2^\circ\text{C}$, pre vodu $t_v = 100^\circ\text{C}$.

S rastúcim tlakom sa teplota varu zvyšuje, napr. mäso v Papinovom hrnci (kuchte) sa uvarí skôr, lebo sa varí pri vyššom tlaku a teda aj pri vyššej teplote.

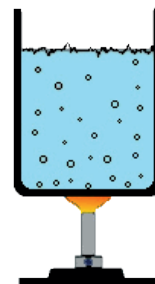
Inak je tomu vo vysokohorských podmienkach. Na vrchole 8000 m vysokej hory je tlak asi o 1/3 nižší ako je normálny atmosférický tlak. Ak by si tu horolezci chceli uvariť čaj, voda bude vriieť asi pri 70°C .

Využitie varu v praxi

Obr. 9.2-1 Var kvapaliny

Pri príprave potravín var predstavuje vkladanie potraviny do vriacej vody alebo inej kvapaliny za účelom jej tepelnej úpravy. Prevarenie a následné ochladenie vody sa používa ako účinný prostriedok dezinfekcie vody. Vriaca voda v priebehu niekoľkých minút usmrť väčšinu baktérií. Tiež sa sterilizujú predmety vo vriacej vode alebo v horúcej pare.

Var sa využíva aj pri termosterilizácii mlieka. Termosterilizácia je proces tepelného ošetrenia mlieka alebo výrobku z mlieka pri teplote nad 100°C a pri určenom trvaní ohrevu, pri ktorom sa ničia všetky mikroorganizmy alebo sa tak poškodzujú, že nie sú schopné sa rozmnožovať v sterilizovanom mlieku alebo v sterilizovanom výrobku z mlieka.



Úlohy 9.2

1. Prečo masťna polievka pomaly chladne?
2. Prečo je výhrevnosť surového dreva menšia ako suchého?
3. Listy teplomilných rastlín sú veľmi často pokryté chlpkami. Prečo?
4. Znáša ľudský organizmus lepšie 30°C na púšti alebo 30°C v dažďovom pralese? Predpokladáme, že v oboch prípadoch má človek dostatočné množstvo tekutín.
5. Ako vzniká dážď?
6. Ako vzniká ranná rosa?
7. Prečo za veterného počasia uschne bielizeň rýchlejšie?
8. Vrcholky hôr bývajú aj pri jasnom počasi často zahalené ľahkým oblakom. Ako vysvetlite jeho vznik?
9. Prečo sú mraky v zime nižšie ako mraky v lete?
10. Prečo je nebezpečnejšie oparenie parou ako rovnako teplou vodou?
11. Prečo sa pri varení mlieka používajú nádoby s dvojitémi stenami, medzi ktoré sa nalieva voda?
12. Ako je možné v lete v prírode chladit potraviny? Navrhnete postup, pri ktorom využijete vyparovanie.
13. Koľko tepla musíme dodať 0,5 l vody 100°C teplej, aby sa zmenila na paru tej istej teploty? Merné skupenské teplo vyparovania vody pri 100°C je $2,25\text{ MJ.kg}^{-1}$.
[1,125 MJ]
14. Koľko tepla sa spotrebuje na pasterizáciu 100 kg mlieka, pričom sa zohreje z 283 K na 353 K, ak sa 1 % mlieka vyparí? ($l_v = 2\,303\text{ kJ.kg}^{-1}$, $c_{\text{mlieka}} = 3,9\text{ kJ.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$,
návod: $Q' = Q + L_v$) [29,6 MJ]
15. Určte teplo potrebné na premenu ľadu s hmotnosťou 1 kg a s teplotou -20°C na paru s teplotou 100°C , ak $c_{\text{ľadu}} = 2,1\text{ kJ.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$, $c_{\text{vody}} = 4,18\text{ kJ.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$ a merné skupenské teplo vyparovania vody pri 100°C je $2,25\text{ MJ.kg}^{-1}$. (Návod: $Q' = Q_1 + L_t + Q_2 + L_v$) [3,1 MJ]

LITERATÚRA

BARTUŠKA, K. *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy I.* Praha: Prometheus, 1997. 176 s. ISBN 80-7196-033-0

BARTUŠKA, K. *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy II.* Praha: Prometheus, 1997. 157 s. ISBN 80-7196-034-9

GÖBEL, R. a kol. *Fyzika pre maturantov.* Bratislava: SPN, 1981. 376 s.

HANZELÍK, F. a kol. *Zbierka riešených úloh z fyziky.* Bratislava: Alfa, 1989. 480 s. ISBN 80-05-00050-2

NAHODIL, J. *Fyzika v běžném živote.* Praha: Prometheus, 1996. 149 s. ISBN 80-7196-005-5

BEDNAŘÍK, M. a kol. *Fyzika 1.* Bratislava: SPN, 1984. 200 s.

BEDNAŘÍK, M. a kol. *Fyzika 2.* Bratislava: SPN, 1985. 200 s.

www.wikipedia.sk