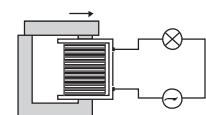




Fyzika
pre 2. ročník gymnázia
a 6. ročník gymnázia
s osemročným štúdiom







Peter Demkanin – Peter Horváth – Soňa Chalupková
Zuzana Markovičová

Fyzika

pre 2. ročník gymnázia

a 6. ročník gymnázia

s osemročným štúdiom





Autori © doc. RNDr. Peter Demkanin, PhD.
PaedDr. Peter Horváth, PhD.
PaedDr. Soňa Chalupková, PhD.
PaedDr. Zuzana Markovičová, PhD.

Lektori: Mgr. Július Vincenc, RNDr. Pavol Kubinec, CSc.

Illustration © autori

Dizajn © štúdio Patria I., spol. s r.o.

„Schválilo Ministerstvo školstva Slovenskej republiky pod č. MŠSR-2829/2010-919 zo dňa 2. marca 2010
ako učebnicu Fyzika pre 2. ročník gymnázia a 6. ročník gymnázia s osemročným štúdiom.
Schvaľovacia dovoľka má platnosť 5 rokov.“
1. vydanie, 2010

Všetky práva vyhradené.
Toto dielo ani žiadnu jeho časť nemožno reprodukovať bez súhlasu majiteľa práv.

ISBN 978-80-89431-10-6





Obsah

	Úvod	7
	1. Vlastnosti kvapalín a plynov, termika	9
1.1	Tlak, tlaková sila.....	10
1.2	Hydraulický lis	13
1.3	Tlak plynu, izotermický dej	16
1.4	Izobarický dej	18
1.5	Izochorický dej	19
1.6	Ako sa správa vzduch	21
1.7	Ideálny plyn	22
1.8	Vnútorná energia telesa	25
1.9	Zmena vnútornej energie telesa, teplo	27
1.10	Časticová stavba látok	30
1.11	Zmeny skupenstiev	31
1.12	Plazma	34
1.13	Zhrnutie, úlohy	35
	2. Periodické deje	39
2.1	Periodický pohyb	39
2.2	Pružinový oscilátor, frekvencia periodického dejia.....	43
2.3	Energia pružinového oscilátora	46
2.4	Matematické kyvadlo	50
2.5	Tlmené a nútene kmitanie	51
2.6	Zvuk	54
2.7	Prenos energie vlnením	57
2.8	Priečne a pozdlžne vlnenie	60
2.9	Vlnenie v rovine a v priestore	61
2.10	Dopplerov jav	62
2.11	Príklady využitia Dopplerovho javu.....	64
2.12	Superpozícia vlnení, rázy	67
2.13	Stojaté vlnenie	69
2.14	Meranie rýchlosťi zvuku	70
2.15	Vlastnosti zvuku, hlasitosf	71
2.16	Zemetrasenie	73
2.17	Zhrnutie, úlohy	75
	3. Elektrina a magnetizmus – magnetické pole	77
3.1	Magnetické pole Zeme	78
3.2	Magnetické pole cievky	79
3.3	Silové pôsobenie v magnetickom poli	81
3.4	Nabitá častica v magnetickom poli	85
3.5	Elektromotor	86





3.6	Elektromagnetická indukcia	89
3.7	Generátor elektrickej energie	92
3.8	Striedavý prúd	92
3.9	Prenosová sústava	96
3.10	Zhrnutie, úlohy	99

4. Aktivity 101

4.1	Vztlaková sila, Archimedov zákon	101
4.2	Tlak, Torricelliho experiment	103
4.3	Tepelná výmena medzi kovovým telesom a kvapalinou	104
4.4	Overenie vzťahu pre períodu kmitania závažia na pružine	105
4.5	Meranie rýchlosi zvuku rezonátorom	108
4.6	Overenie vzťahu pre rýchlosť priečnej vlny na napnutom vlákne	108
4.7	Meranie magnetického poľa Zeme	109
4.8	Zostrojme si elektromotor	111
4.9	Elektromagnetická indukcia a pád magnetu	114
4.10	Skúmanie obvodu striedavého napäťa s cievkou	116
4.11	Veľmi malé vo fyzike	117
4.12	Zopakujme si	119

5. Niektoré pojmy a vztahy 125





Úvod

Pred vami je ďalšia zo série učebníc fyziky pre gymnázia. V predchádzajúcej učebnici ste sa venovali najmä mechanike a jednosmernému elektrickému prúdu. V tejto učebnici sa budeme venovať najmä **magnetizmu, periodickým dejom (kmitaniu a vlneniu), štruktúre materiálov a termike**. Ďalšie kapitoly budú spracované v učebnici fyziky pre tretí ročník gymnázia pre študentov, ktorí si nerozširujú svoje fyzikálne vzdelávanie voľbou voliteľných predmetov s fyzikálnym obsahom v posledných dvoch ročníkoch gymnázia.

Viacerí z vás sa rozhodnú venovať fyzike **v rozšírenej forme v posledných dvoch rokoch stredoškolského štúdia**. Vytvoria si tak predpoklady na úspešné zvládnutie **maturitnej skúšky z fyziky** a otvoria si možnosť uchádzať sa o štúdium niektorého **z technických, prírodrovedných alebo medicínskych odborov na vysokej škole**. V predmaturitných ročníkoch budete musieť používať svoje schopnosti rozvinuté štúdiom fyziky aj v tomto ročníku. Znalosť fyzikálnych informácií z tejto učebnice bude pre vás tiež veľkou výhodou.

Séria učebníc fyziky je v súlade so štátnym vzdelávacím programom (ŠVP), ktorý rámovo upravuje ciele a obsah vzdelávania. Každý študent gymnázia sa vzdeláva podľa svojho školského vzdelávacieho programu (ŠkVP), ktorý tvorí tím učiteľov školy. Konkrétny spôsob použitia tejto série učebníc ostáva na vašich učiteľoch a na vás samotných. Autori sa snažili pripraviť dostatok námetov na vašu prácu a dostatok materiálu, ktorý má slúžiť na dosiahnutie cieľov stanovených štátnym vzdelávacím programom. Niektoré časti kapitol a niektoré úlohy tejto učebnice sú lepšie realizovateľné pri vyššom počte hodín, ako je minimum určené v ŠVP. Identifikovanie takýchto častí ponechávame na tvorcov ŠkVP v každej škole. Na druhej strane, učebnica ani zdaleka nie je (a ani nesmie byť) jediným **zdrojom vašich informácií a podnetov**. Samotná učebnica sa na niektorých miestach odvoláva na vás zdroj informácií. Týmto zdrojom môžu byť napríklad **zbierky úloh, vzdelávacie prostredia** (napríklad prostredie počítačom podporovaného prírodrovedného laboratória), iné **odporúčané učebné texty alebo zdroje dostupné na internete**. Budeme radi, ak aspoň niektoré témy z tejto učebnice budete študovať s použitím viacerých zdrojov informácií a s použitím pomôcok vášho laboratória. Učíť sa len informácie uvedené v učebnici nestaci.

Ciele vášho fyzikálneho vzdelávania poznajú vaši učitelia. Iste aj každý z vás má v súvislosti s fyzikálnym vzdelávaním svoje vlastné ciele. Na tomto mieste iba pripomíname, že okrem zvládnutia podstatnej časti fyzikálnych informácií uvedených v tejto učebnici sa máte naučiť niektoré z nich aj **využívať pri riešení problémov, pri diskusiách na rôzne (aj nie čisto fyzikálne) témy, pri plánovaní experimentov, pri vyslovovaní hypotéz (predpovedí) k niektorým experimentom**. Aj na hodinách fyziky by ste sa mali učiť spolupracovať v malých skupinách, ale aj dodržiavať **základy etiky pri práci s informáciami**. Napríklad pri meraniach prezentujte vždy výsledky svojich meraní (alebo výsledky meraní svojej skupiny) a svojho spracovania údajov a nie údaje, o ktorých si myslíte, že ste ich mali získať. Pri viacerých experimentoch učiteľ vie vopred, ako bude vaš výsledok posunutý v porovnaní s vašim predpokladaným výsledkom.

Snahou je naučiť vás na konkrétnych príkladoch prírodrovedne uvažovať tak, aby to bolo vašou výhodou aj v iných oblastiach vášho života. Uvedomme si, že všetky prírodné zákony, tie o ktorých sa učíme a aj tie, o ktorých sa neučíme, platia rovnako v pralese, ako aj v modernom dome. Na obrázku je dúha zaznamenaná nad Bratislavou. **Od romantického pozorovania k pochopeniu podstaty javu a k využitiu javu je dlhá a zložitá cesta**. Veľakrát už ju naši predchodecovia pre-



konali, avšak stále je čo skúmať a objavovať. Stále sa dá hľadať využitie získaných poznatkov na zlepšenie kvality nášho života.



V učebnici sú zaradené rôznorodé úlohy. Odporúčane vám usilovať sa ich vyriešiť. Prvú z nich sme zaradili hned do tohto úvodu.

Úloha

1. Čo by ste chceli mať v živote? Ako vám k tomu môže prispieť vaše fyzikálne vzdelanie?

Fyzika sa radí medzi exaktné vedy. Napriek tomu viaceré z riešení úloh sú v tejto učebnici iba naznačené a nie sú úplné. Tak je to aj pri tejto úlohe.

Riešenie: Väčšina z odpovedí určite bude obsahovať slovo zdravie. Chceli by ste rozumieť princípm prístrojov používaných v medicíne? Chceli by ste, v prípade potreby, byť schopní spolupracovať so svojím lekárom pri výbere najvhodnejšej diagnostiky a terapie? Asi áno. Aj keď nie je cieľom fyzikálneho vzdelávania oboznamíť vás s princípmi všetkých medicínskych prístrojov, patrí medzi ciele rozvinúť vaše schopnosti a odovzdať vám základné najväčšie informácie potrebné na to, aby ste v budúcnosti boli schopní s porozumením si prečítať článok v časopise venujúci sa prístroju, ktorý sa lekár chystá použiť.

Niektoré z odpovedí budú obsahovať aj veci materiálneho charakteru. Napríklad väčšina z vás chce mať v budúcnosti bezpečné, spoloahlivé a úsporné auto, šetrné k prírodě. Čo je potrebné spraviť pre to, aby ste ho v budúcnosti mali? Asi si odpovieť, že si musíte našetriť dostatok peňazí. Ale to nestačí, niekoľko musí také auto vyrobít. Pri vývoji napríklad aj automobilu sa uplatňujú nielen fyzikálne zákony, ale tiež koordinácia práce v kolektíve.

„...viacerí z vás sa rozhodnú pokračovať v štúdiu fyziky na niektornej z vysokých škôl... štúdium fyziky, ako aj výskum vo viacerých fyzikálnych odboroch na našej fakulte, dosahuje špičkovú európsku úroveň. Všetci súčasní absolventi FMFI UK si nachádzajú uplatnenie, viacerí špičkovovo ohodnotené uplatnenie v odbore, ktorý vyštudovali“... z rozhovoru s doc. RNDr. Jánom Bodom, CSc., dekanom Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, 15. 2. 2010.

V niektorých kapitolách vás vyzývame dopĺňať údaje do tabuľiek, do grafov alebo do obrázkov. Pokiaľ používate zapožičanú učebnicu, nič do nej priamo nevpisujte, ani nedokresľujte. Obrázok, tabuľku alebo graf si prekreslite (skopírujte) do zošitov a požadované údaje dopisujte iba do takto vytvorených kópií.





1. Vlastnosti kvapalín a plynov, termika

V prvom ročníku ste sa venovali mechanike tak, ako ju vybudoval I. Newton. Skúmali ste pohyby a vzájomné interakcie jednotlivých telies. V tejto kapitole sa budeme venovať správaniu sústav pozostávajúcich z veľkého počtu navzájom interagujúcich častic tvoriacich kvapaliny a plyny.

V predchádzajúcom odseku sme použili slovo **interakcia**. Tento termín možno nahradíť slovným spojením vzájomné pôsobenie. V predchádzajúcom ročníku sme vzájomné interakcie telies opisovali predovšetkým prostredníctvom fyzikálnej veličiny sila.

Vo vyučovacích predmetoch sa nové pojmy zavádzajú aj preto, aby sa pri vzájomnej komunikácii predišlo nedorozumeniam vyplývajúcim z možného iného významu v hovorovej reči. Tak je to aj v tomto prípade.

Interakcia

Začneme opisom silového pôsobenia kvapaliny, ktorá je v pokoji v nádobe. Pri opise budeme používať pojem tlak. Tento budeme neskôr používať aj pri skúmaní správania sa plynov. Plyny sa skladajú z jednoduchých častic – molekúl, ktoré môžeme považovať za hmotné body alebo za malé guľôčky. Interakciu medzi dvoma molekulami môžeme považovať za veľmi ľahko opisateľnú. Napriek tomu opísanie správania sa plynov nie je vôbec jednoduché. Molekúl je v plne veľmi veľa. Poznať vlastnosti plynov je dôležité nielen pri mnohých technologických procesoch, ale napríklad aj pri skúmaní počasia. Niektoré modely vyvinuté pri skúmaní vlastností a správania sa plynov sa v súčasnosti využívajú aj v oblastiach, ktoré nepatria priamo do fyziky, napríklad v sociológii.

Ukážeme si, ako je možné štúdiom správania sa jednotlivých molekúl dospieť k zákonitostiam ovplyvňujúcim správanie sa plynu ako celku. Mnohé zákonitosti budú podané ako fakt, bez vysvetlenia bližších súvislostí, či bez odvodenia zo zákonov Newtonovej mechaniky. Čoraz častejšie budeme používať myšlienkové experimenty. V maturitnom kurze budú na túto kapitolu nadväzovať najmä časti molekulovej fyziky (kinetickej teórie plynov), termodynamiky, hydrostatiky a hydrodynamiky, aerostatiky a aerodynamiky.

Učíť sa fyziku v tejto kapitole znamená nielen zapamätať si informácie poskytnuté učiteľom a učebnicou, ale pochopiť aj s tým súvisiace základné deje. Budeme sa snažiť ukázať výhodnosť používania správnej terminológie a presného vyjadrovania. Na základe jednoduchých úvah dospejeme k zaujímavým, niekedy až prekvapivým výsledkom. Väčšina úvah v tejto časti bude kvalitatívna. Odporúčame vám venovať takýmto kvalitatívnym úlohám rovnakú pozornosť, ako úlohám kvantitatívnym.



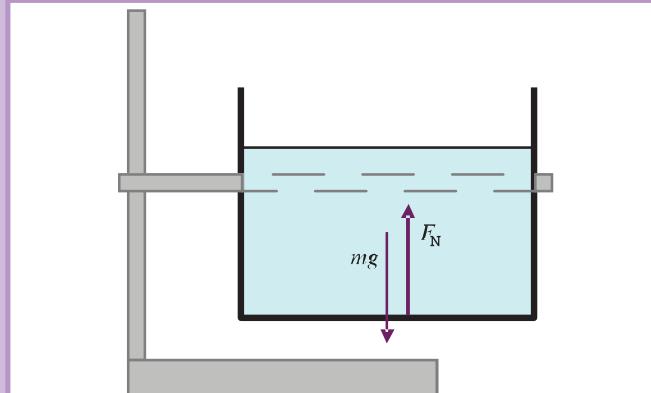
1.1 Tlak, tlaková sila

S fyzikálnou veličinou **tlak** ste sa určite už stretli, a preto nasledujúce príklady berte ako príležitosť pripomienuť si ju. Túto časť učebnice vám odporúčame prečítať niekoľkokrát, aby ste pochopili rozdiel medzi celkovým tlakom a jednotlivými parciálnymi tlakmi.

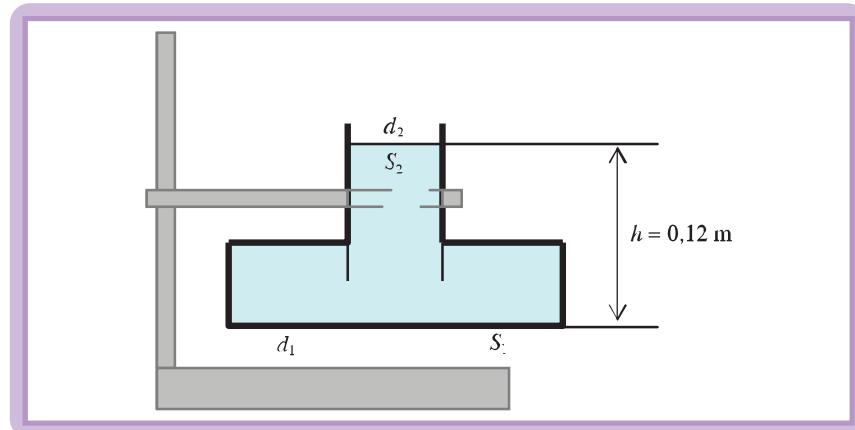
Pripomeňme si tri Newtonove zákony (z predchádzajúceho štúdia)

Odmerný valec upevnime do svoriek tak ako na obrázku a nalejme doň vodu. Voda pôsobí na steny valca – na bočné steny aj na jeho dno. **Akou silou pôsobí voda na dno odmerného valca?**

Uvažujme o vode vo valci ako o teleso. Na toto teleso pôsobí Zem gravitačnou silou mg a dno valca tlakovou silou F_N . **Žiadne iné sily v zvislom smere na teleso nepôsobia a teleso je v pokoji.** Z prvého Newtonovho zákona vyplýva, že tieto dve sily musia byť rovnako veľké, ale opačne orientované. Dno teda v tomto prípade pôsobí na vodu tiež silou mg , kde m je hmotnosť vody. Z tretieho Newtonovho zákona vyplýva, že aj voda pôsobí na dno rovnako veľkou silou.



Zložitejší prípad je na nasledujúcom obrázku. Nádoba v spodnej časti má priemer d_1 a podstavu s plochou $S_1 = 80 \text{ cm}^2$. Nádoba v hornej časti má priemer d_2 a plochu priečneho rezu S_2 . Akou silou pôsobí voda na dno nádoby v tomto prípade?





Pri opise silového pôsobenia v kvapalinách a plynoch je vhodné používať fyzikálnu veličinu tlak.

$$\text{Tlak } p \text{ definujeme ako podiel: } p = \frac{F}{S}$$

kde F je sila pôsobiaca kolmo na plochu S . Jednotkou tlaku je pascal (Pa).

Tlak

Z tejto definícii vypočítame tlak pri dne valcovej nádoby:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{V\rho g}{S} = \frac{Sh\rho g}{S} = h\rho g, \text{ kde } \rho \text{ je hustota vody.}$$

Hydrostatický tlak

Dosadením do tohto vzťahu vypočítajte číselnú hodnotu tlaku.

Ak je kvapalina v pokoji, potom tlak vypočítaný podľa predchádzajúceho vzťahu je všade v hĺbke h pod hladinou rovnaký. Nádoba tak, ako je nakreslená, má dno umiestnené vodorovne a všade pri tomto dne je tlak rovnaký.

V našom prípade je tlak vody pri dne nádoby 1 200 Pa. Mali by sme pokračovať v našom výpočte a podľa pôvodného zadania vypočítať silu, ktorou pôsobí voda na dno nádoby. Najskôr sa však venujme vypočítanej hodnote tlaku. Pokúste sa porovnať túto hodnotu s inými hodnotami tlaku, s ktorými sa stretávate.

Určite občas sledujete predpoveď počasia a možno ste si všimli, že tlak vzduchu blízko povrchu Zeme je približne 1 000 hPa alebo 100 kPa. V porovnaní s touto hodnotou je hodnota 1 200 Pa z predchádzajúceho výpočtu malá.

Atmosférický tlak

Tlak zapríčinený stĺpcom vzduchu nad povrhom Zeme nazývame atmosférický tlak. Jeho hodnota sa mení v závislosti od počasia v okolí hodnoty 1 010 hPa. Hodnota atmosférického tlaku výrazne klesá s nadmorskou výškou. Na najvyšších končiaroch Tatier dosahuje hodnotu okolo 740 hPa.

V našej úlohe sme vypočítali tlak, ktorým pôsobí stĺpec vody na dno nádoby. Tento tlak budeme nazývať hydrostatický tlak. V skutočnosti je tlak pri dne nádoby súčtom hydrostatického tlaku p_h a atmosférického tlaku p_a .

Ak predpokladáme, že v miestnosti je atmosférický tlak 1 000 hPa, potom tlak pri dne našej nádoby je $1\ 200 \text{ Pa} + 1\ 000 \text{ hPa} = 1\ 012 \text{ hPa}$. Teraz môžeme vypočítať tlakovú silu na dno nádoby:

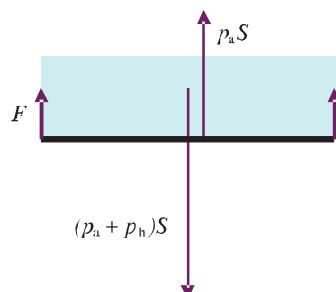
$$F = pS = 1\ 012 \cdot 10^2 \cdot 80 \cdot 10^4 \text{ N} = 809,6 \text{ N}$$

Výsledok by sme mali zaokrúhiť na dve platné cifry, ale výnimcočne tak nesprávime.

Opäť sa zamyslime nad výsledkom. Dostali sme hodnotu zodpovedajúcu tiaži telesa s hmotnosťou 80 kg. Uniesie dno nádoby také ľahké telo? Uvažujme o dne nádoby ako o samostatnom telesu. Aké sily naň pôsobia?



Na dno nádoby pôsobí zhora tlaková sila $(p_a + p_h)S$, zdola tlaková sila $p_a S$ a bočné steny celkovou silou, ktorú označíme F . Súčet všetkých síl pôsobiacich na teleso sa musí podľa prvého Newtonovho zákona rovnať nule, teda $F = p_h S$. Po zadaní našich hodnôt dostaneme $F = 1\ 200 \cdot 80 \cdot 10^4 \text{ N} = 9,6 \text{ N}$. Toto je zároveň odpoveď na našu pôvodnú otázku.



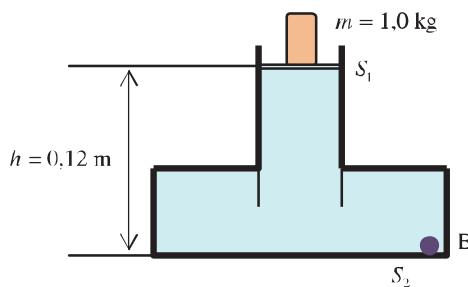
Parciálny tlak

Pri používaní fyzikálnej veličiny tlak je niekedy vhodné používať aj pojem **parciálny tlak**. V našej úlohe bol tlak pri dne nádoby súčtom dvoch parciálnych tlakov – hydrostatického tlaku p_h a atmosférického tlaku p_a .

Niektoré zariadenia na meranie tlaku plynu merajú celkový, tzv. **absolútny tlak**, iné merajú rozdiel skutočného tlaku a atmosférického tlaku. Pred použitím tlakomeru si túto skutočnosť musíme uvedomiť.

Pri našom zavádzaní veličiny tlak pôjdeme ešte o jeden krok ďalej. Často jednu zo stien nádoby uzavírame pohyblivou stenou – piestom. Býva to tak najmä v spalovacích motoroch a v kompresoroch – zariadeniach na stláčanie plynov.

Na nasledujúcim obrázku sme hladinu vody vo valci uzavreli piestom. Trenie medzi stenami valca a piestom zanedbáme. Na piest necháme pôsobiť silu 10 N, napríklad položením závažia s hmotnosťou 1,0 kg.



Piest pôsobí na hladinu vody plochou s veľkosťou S_1 . Vytvára teda tlak $p = \frac{F}{S_1}$.





Tento tlak je v celom objeme vody rovnaký. Uvedený výrok je obsahom **Pascalovho zákona**:

Ak na kvapalinu pôsobí vonkajšia sila, tlak v každom mieste kvapaliny stúpne o rovnakú hodnotu.

Pascalov zákon

Celkový tlak pri dne nádoby je v tomto prípade súčtom troch parciálnych tlakov – tlaku spôsobeného piestom, hydrostatického tlaku a atmosférického tlaku:

$$p = p_F + p_h + p_a = \frac{F}{S_1} + h\rho g + p_a$$

Úloha

Na predchádzajúcim obrázku je tesne pri dne nádoby vyznačený bod B. Predpokladajte, že v miestnosti je atmosférický tlak 987 hPa. Určte, aký tlak odmeria v tomto bode tlakomer:

- a) ktorý meria celkový tlak,
- b) ktorý meria rozdiel tlaku v meranom mieste a atmosférického tlaku.
- c) Na obrázku sme nenačnili upevnenie nádoby. Budú sa odpovede na otázky
a) a b) líšiť, ak bude nádoba položená na stole a nebude upevnená vo svorkách?

1.2 (Hydraulický lis

Hydraulické rameno bagra, hydraulická ruka malých či veľkých rozmerov, hydraulický zdviháč, systém zdvíhania zubárskeho kresla pracujú na spoločnom princípe. Pôsobením malej tlakovej sily na piest s malým plošným obsahom sa prečerpá olej do valca s väčším piestom a tu vyvoláva niekoľkokrát väčšiu silu. Na obrázku je hydraulická ruka, ktorá sa používa pri práci v lesoch na Slovensku.





So zdvihákom na obrázku možno zdvihnúť náklad s hmotnosťou až 20 ton.



Zostojme model takého zariadenia. Použime dve injekčné striekačky rôzneho objemu (rôzneho priemeru), napríklad s objemami 20 ml a 60 ml. Striekačky spojme krátkou hadičkou, namiesto oleja použíme vodu. Na piest menšej striekačky pôsobme palcom jednej ruky (vpravo na obrázku) a na piest väčšej palcom druhej ruky (vľavo na obrázku). Snažme sa na oba piesty pôsobiť rovnako veľkou silou. Napriek skutočnosti, že súčet síl vo vodorovnom smere je nulový. Sústava ľavý piest, voda, pravý piest, sa pohne doľava.



Pokus zopakujeme so závažiami, ako je to znázornené na nasledujúcom obrázku. Na každý z piestov položíme závažie s hmotnosťou 1 kg. Závažie položené na menší piest klesne, závažie položené na väčší piest stúpne. Môže to vyzerat ako paradox, ako porušenie prvého Newtonovho zákona.



Paradox

Paradox - jav zdanivo odporujúci všeobecnej skúsenosti, ale pochopiteľný hlbším štúdiom prírodných zákonov.





Pozrime sa na situáciu bližšie, vyriešme nasledujúcu úlohu.

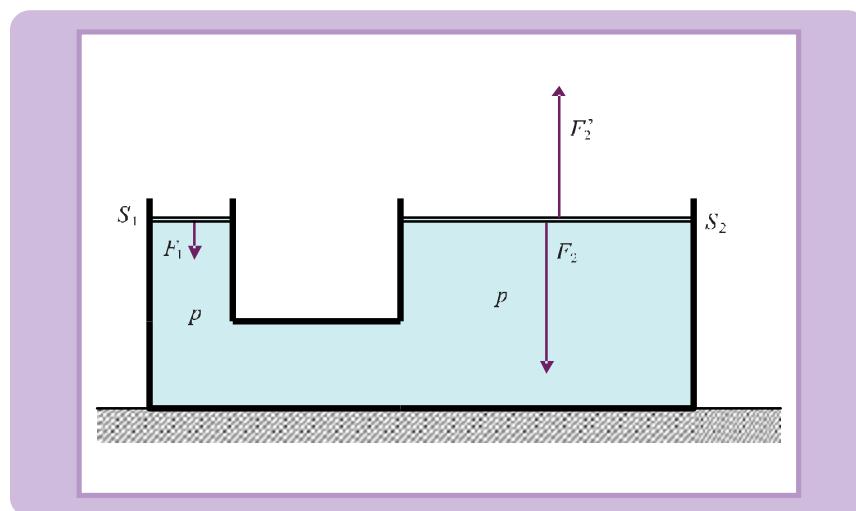
Úloha

Menší piest s plochou podstavy S_1 pôsobí na kvapalinu silou F_1 . V kvapaline tým vyvolá tlak p_1 . Akou silou musí pôsobiť na kvapalinu väčší piest s plochou podstavy S_2 tak, aby piesty zostali v pokoji?

Riešenie: Celkový tlak v istom bode kvapaliny je $\frac{F_1}{S_1} + h\rho g + p_a$. Predpokladajme, že výškový rozdiel hladín kvapaliny v piestoch je zanedbateľný. Atmosférický tlak pôsobí na obidve podstavy oboch valcov, teda sily vyvolané atmosférickým tlakom môžeme tiež zanedbať. Potom sa stačí zaoberať parciálnym tlakom od piestu, ktorý je podľa Pascalovho zákona všade v kvapaline rovnaký, rovnajúci sa $\frac{F_1}{S_1}$. Označíme ho p .

Platí:

$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F'_2}{S_2}$, kde F'_2 je sila, ktorou pôsobí kvapalina na piest s plošným obsahom S_2 . Ak vezmemme do úvahy tretí Newtonov zákon, potom aj piest pôsobí na kvapalinu rovnako veľkou silou.



Rovnicu $p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F'_2}{S_2}$ môžeme nazývať rovnicou hydraulického lisu. Môžeme ju použiť v mnohých analogických situáciách.

Rovnica hydraulického lisu

Úlohy

- Menší piest hydraulického lisu znázoreného na predchádzajúcom obrázku má plošný obsah podstavy 1 cm^2 a väčší piest 50 cm^2 . Potrebujeme, aby tento lis stlačil lisovaný výrobok silou 10^4 N po dráhe 5 mm . Vypočítajte, akou silou musíme pôsobiť na menší piest lisu, o akú dráhu musíme tento piest posunúť a akú prácu pritom vykonáme.



Riešenie: Podľa rovnice odvodenej v tejto časti platí $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Z toho $F_1 = \frac{F_2}{S_2} S_1 = \frac{1\ 000}{50} \cdot 1 \text{ N} = 20 \text{ N}$.

Označme posunutie väčšieho piesta y_2 a posunutie menšieho piesta y_1 . Ak sa má väčší piest posunúť o 5 mm smerom nahor, musí sa pod neho dostať kvapalina s objemom $V = S_2 y_2$. O rovnaký objem musí klesnúť menší piest. Teda platí:

$$S_2 y_2 = S_1 y_1, \text{ z toho } y_1 = 250 \text{ mm.}$$

Na posunutie menšieho piestu musíme vykonáť prácu $W_1 = F_1 y_1 = 5 \text{ J}$. Väčší piest vykoná prácu $W_2 = F_2 y_2 = 5 \text{ J}$. Vidíme, že v oboch prípadoch bola vykonaná rovnako veľká práca.

V závere by sme mali spomenúť, že pri riešení úlohy sme zanedbávali tretiu silu pri pohybe piestov a odporové sily pri prúdení kvapaliny z jedného do druhého valca.

Pripravte si zdroj informácií

- Na obrázku sme mali schému hydraulického zariadenia a túto sme použili pri riešení predchádzajúcej úlohy. Pri zdviháku zobrazenom v úvode tejto kapitoly využívame na prečerpávanie oleja z oblasti s menším piestom do oblasti s väčším piestom dômyselnnejšie zariadenia. Pripravte si na túto tému krátky referát. Spomeňte tiež páku, ktorá sa použila pri stláčaní menšieho piestu.

1.3 Tlak plynu, izotermický dej

V predchádzajúcej časti sme si ukázali, ako môžeme vypočítať tlak v kvapaline. Zo skúsenosti vieme, že kvapalinu ani pri veľkom úsili nemôžeme stlačiť tak, aby sa zmenšil jej objem. Hovoríme, že kvapalina je nestlačiteľná. Inak je to v prípade plynu.

Uzavrime vzduch v injekčnej striekačke, napríklad prstom. Pokúsme sa striekačku druhou rukou stlačiť. Dá sa to? Samozrejme, že dá. Zo skúsenosti vieme, že vzduch môžeme stlačiť. Pri stláčaní vzduchu sa zvyšuje jeho tlak, čo pri našom pokuse cítime zvyšovaním tlakovej sily pôsobiacej na prst, ktorým sme striekačku uzavreli.

Pripravte si zdroj informácií; ale tu bude text Oboznámte sa s realizáciou a s výsledkami experimentov. Niektorý z experimentov zrealizujte.

Vykonajme aj kvantitatívne experimenty so vzduchom. Pre zjednodušenie naše skúmanie rozdelíme na tri experimenty. V prvom budeme udržiavať konštantnú teplotu, v druhom konštantný tlak a v treťom konštantný objem.

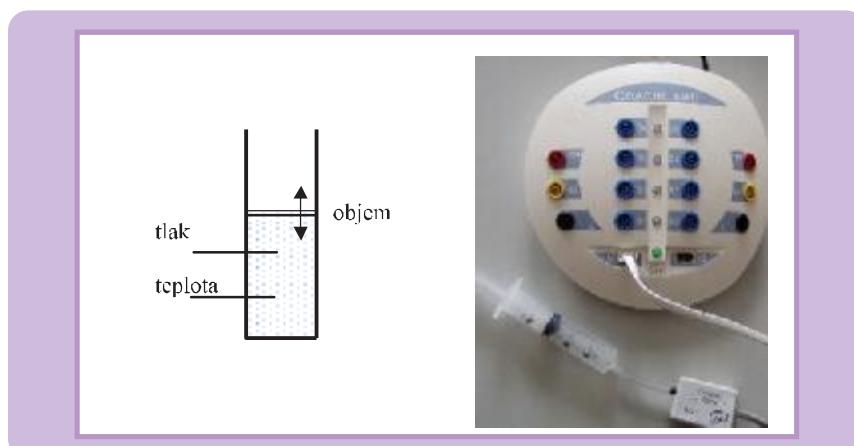
Izotermický dej

Dej, pri ktorom teplota plynu zostáva konštantná, sa nazýva izotermický dej.

Na schematickom obrázku máme plyn (vzduch) uzavretý vo valci s pohyblivým piestom. Posúvaním piesta nahor alebo nadol meníme objem plynu. Snažíme sa zabezpečiť, aby teplota plynu bola počas merania stála. Môžeme to dosiahnuť napríklad tak, že objem meníme pomaly a po každej zmene počkáme kým sa teplota plynu vyrovná s teplotou okolia. Počas takejto zmeny objemu sa mení tlak plynu, ktorý meríme.

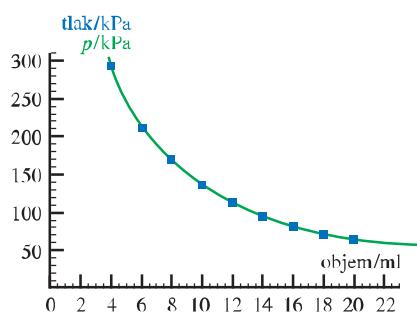


Meranie sme urobili pomocou injekčnej striekačky s objemom 20 ml, pričom tlak sme merali senzorom tlaku.

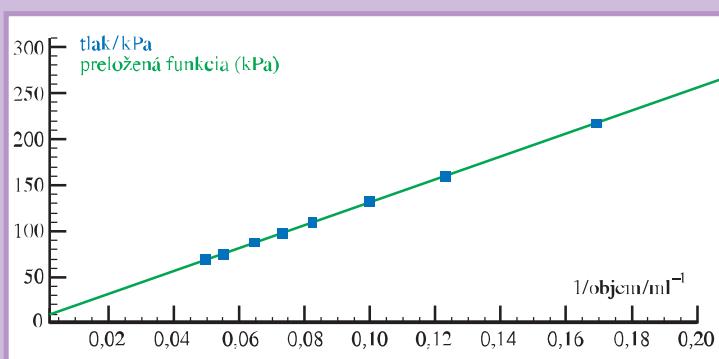


Namerané hodnoty sú zobrazené v nasledujúcej tabuľke a v grafe.

Objem/ml	Tlak/kPa
20	69,0
18	77,2
16	86,8
14	98,8
12	115,0
10	135,6
8	166,5
6	212,1
4	294,9



Graf závislosti tlaku vzduchu v striekačke od jeho objemu pripomína závislosť $y = 1/x$. Túto hypotézu môžeme overiť nakreslením grafu závislosti tlaku od prevrátenej hodnoty objemu.



Táto závislosť sa javí ako lineárna a prechádza nulou, teda môžeme tvrdiť, že $p = \text{konšt.} (1/V)$, alebo že $pV = \text{konšt.}$

Pri izotermickom dejí platí: $pV = \text{konšt.}$



1.4 Izobarický dej

Pri izobarickom dejí ostáva konštantný tlak plynu. Pri zohrievaní sa plyn rozpína, pri ochladzovaní zmenšuje svoj objem.

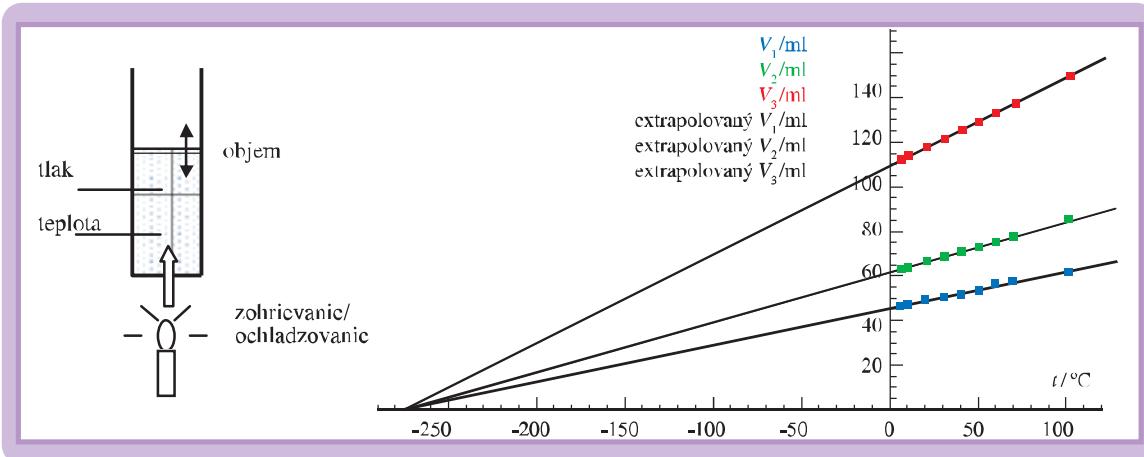
Schematický obrázok na skúmanie tohto dejia pripomína aparátu na skúmanie izotermického dejia, teraz však je potrebné zabezpečiť konštantný tlak a meniť teplotu plynu.

Navrhnutie aparátu na skúmanie izobarického dejia ponechávame na študentov.

Meraním môžeme dospiť k podobným závislostiam ako na grafe nižšie. Na grafe sú znázornené tri závislosti objemu od teploty pre tri rôzne počiatocné objemy vzduchu. Meranie sme realizovali v intervale od 5°C do 100°C . Prezeraním grafov závislosti objemu od teploty v meranom intervale teplôt (tieto grafy sme nezobrazili) sme dospeli k záveru, že sú lineárne. Pokúsili sme sa ich extrapolovať (predĺžiť) až k objemu 0 ml. Zaujímavým výsledkom bolo, že všetky tri grafy sa pretli v jednom bode pri objeme 0 ml a pri teplote $-273,15^{\circ}\text{C}$ (skutočná experimentálna hodnota závisí od presnosti merania).

Extrapolácia grafu

Vo fyzike často zobrazujeme namerané údaje v podobe grafu závislosti závisle premennej veličiny od nezávisle premennej veličiny. Tento graf zvyčajne vyjadruje istú tendenciu, napríklad lineárnu, kvadratickú a podobne. Na základe tejto tendencie môžeme predpokladať, aký tvar bude mať závislosť aj mimo oblasti nameraných hodnôt. Tento postup sa nazýva **extrapolácia grafu**.



Ukážeme si jednu z možných aparátur.

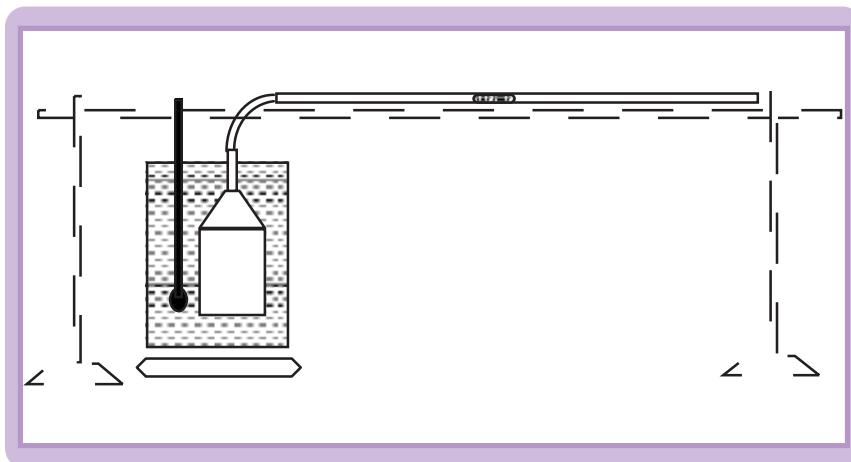
Meranie použitím jednoduchých pomôcok

Pri navrhovaní aparátu na meranie izobarického dejia stojíme pred úlohou, ako udržiať v určitom uzavretom priestore aparátu pri zmenách teploty vzduchu konštantný tlak a merat objem, prípadne zmeny objemu tejto oblasti.





Jedným z možných riešení je použiť kvapku kvapaliny v dlhšej trubici s malým prierezom. Kvapka kvapaliny sa v trubici môže pohybovať takmer bez trenia (bez odporových síl). Malý prierez trubice zabezpečí pomerne presné meranie malých zmien objemu.



Naša aparátura pozostáva zo sklenenej banky s objemom 60 ml s úzkym hrdlom, hadičky s dĺžkou 1,2 m, teplomera, nádoby s vodou a elektrického ohrievača. Aparáturu sme poskladali pomocou statívovej súpravy tak, aby prevažná časť hadičky bola vo vodorovnej polohe. Polohu kvapky vody pri teplote 20 °C sme zaznačili fixkou. Pomaly sme zohrievali vodný kúpeľ a zapisovali sme si dvojice hodnôt teplota – poloha kvapky (vzhľadom na polohu pri teplote 20 °C).

Namerali sme nasledujúce údaje:

Objem banky: $V_{\text{banky}} = 60 \text{ ml}$.

Dĺžka hadičky od banky po polohu kvapky pri teplote 20 °C: $l_0 = 15 \text{ cm}$.

Vnútorný objem 1 m hadičky: $= 7 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-1}$. Ďalšie údaje sme zapísali do tabuľky.

č. m.	$t/^\circ\text{C}$	l/mm
1	20	0
2	22	55
3	24	111
4	26	165
5	28	219
6	30	275
7	32	331
8	34	386
9	36	449
10	38	500
11	40	570
12	42	615
13	44	670
14	46	743
15	48	792
16	50	844
17	52	899
18	54	964
19	56	1 005
20	58	1 092
21	60	1 204

Úloha

Spracujte namerané hodnoty. Overte, či je závislosť lineárna a po extrapolovaní zistite teplotu zodpovedajúcu nulovému objemu. Ručné spracovanie údajov z tabuľky môže byť zdľhavé, odporúčame spracovanie pomocou počítača.

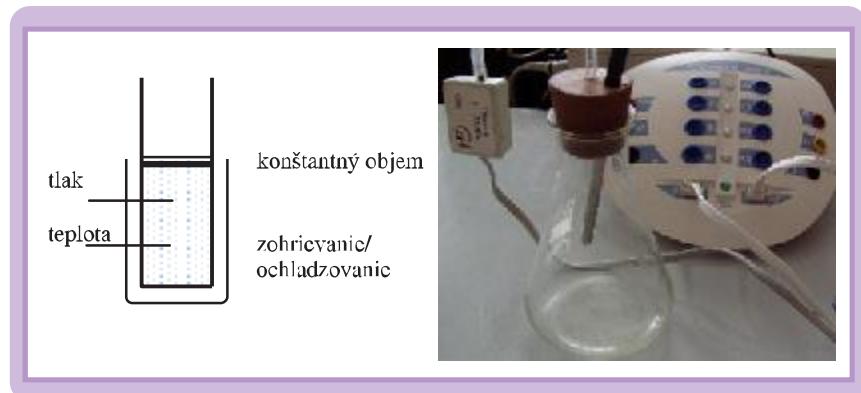
1.5 (Izochorický dej

Týmto názvom označujeme dej, pri ktorom zostáva konštantný objem plynu.

Na schematickom obrázku máme nádobu s uzavretým vzduchom, objem nádoby nemeníme. Teplotu plynu meníme, napríklad zahrievaním. Pri zahrievaní plynu pri konštantnom objeme sa zvyšuje tlak plynu. Na obrázku máme nádobu, ktorú môžeme ohrievať a ochladzovať vo vodnom kúpeli.

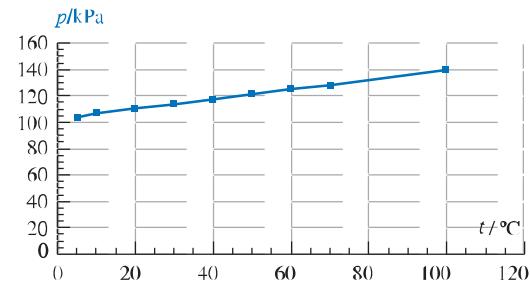


Meranie sme realizovali v nádobe s objemom 450 ml ponorenej do vodného kúpeľa. Teplo sme dodávali dolievaním horúcej vody do vodného kúpeľa. Teplotu a tlak sme merali senzormi.



Namerané hodnoty sú zobrazené v tabuľke a na grafe.

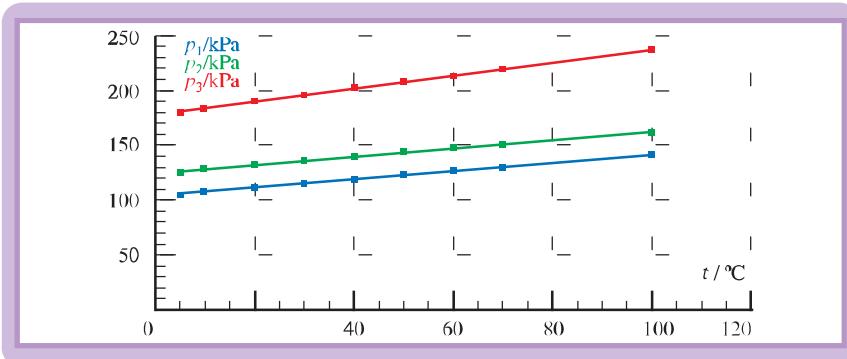
Teplota / °C	Tlak / kPa
5	104
10	106
20	110
30	114
40	117
50	121
60	125
70	129
100	140



Závislosť tlaku v nádobe od teploty pripomína lineárnu závislosť. Môžeme teda písat $p = p_0 + kt$.

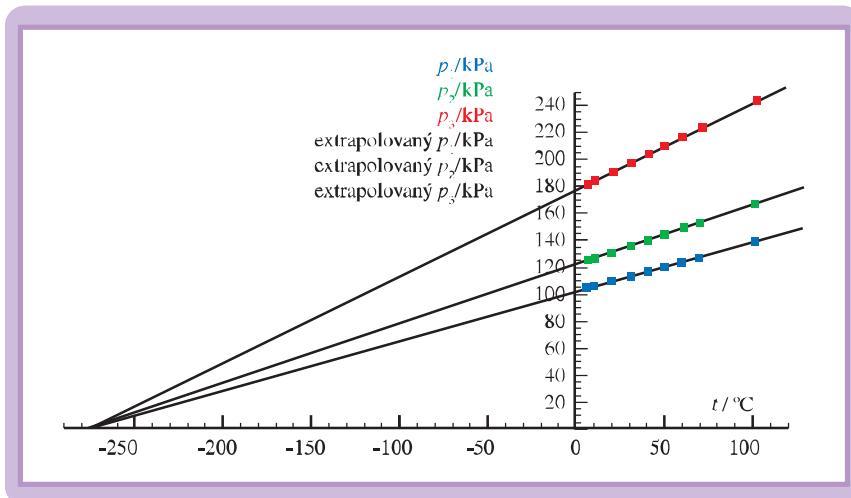
Nie je praktické, keď v tejto závislosti vystupuje tlak pri teplote 0 °C. Môže byť teplota 0 °C výnimcočná vo vzťahu k plynom? Asi nie.

Experiment sme urobili ešte dvakrát s rôznymi počiatočnými tlakmi vzduchu v nádobe.





Z grafu na obrázku sa zdá, že namerané lineárne závislosti sú rozbiehavé. Pokúsili sme sa teda extrapolovať závislosti smerom k malým hodnotám tlaku. Na extrapolovanom grafe vidíme zaujímavú skutočnosť. Všetky tri závislosti sa stretávajú v jednom bode. Hodnota tlaku v tomto bode sa rovná nule.



Teplota zodpovedajúca nulovému tlaku plynu v uvedenom experimente sa nazýva teplota absolútnej nuly. Jej hodnota je $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.6 (Ako sa správa vzduch

Zhrňme výsledky z predchádzajúcich experimentov.

Izotermický dej: Ak nemeníme množstvo vzduchu a jeho teplotu, potom súčin tlaku vzduchu a objemu vzduchu je vždy konštantný.

Izobarický dej: Ak nemeníme množstvo vzduchu a jeho tlak, potom závislosť objemu vzduchu od jeho teploty je lineárna. Táto závislosť vždy prechádza bodom $(0\text{ cm}^3, -273,15\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Izochorický dej: Ak nemeníme množstvo vzduchu a jeho objem, potom závislosť tlaku vzduchu od jeho teploty je lineárna. Táto závislosť vždy prechádza bodom $(0\text{ Pa}, -273,15\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Pri skúmaní správania sa vzduchu sme prišli k záveru, že teplota $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ má význačné postavenie. Skutočne je to tak. Teplota $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ je nedosiahnuteľná teplota. Ide o teplotu, ku ktorej je možné sa iba priblížiť. Opis správania sa plynov nám zjednoduší posunutie teplotnej stupnice tak, aby teplota bola nulová práve v stave, v ktorom sa pretínajú všetky izochorické a izobarické krivky. Takúto stupnicu zaviedol lord Kelvin. Interval teploty s veľkosťou 1 Celziov stupeň ponechal aj vo svojej, Kelvinovej stupnici. Avšak na definovanie nulovej teploty nepoužil vodu (topenie ľadu), ale práve teplotu, ku ktorej sme dospleli v našich experimentoch. V ďalšom teste budeme používať pre teplotu v jednotkách kelvin (K) znak T a pre teplotu v jednotkách $^{\circ}\text{C}$ znak t . Pre číselné hodnoty teplôt platí:

$$\{t\} = \{T\} - 273,15; \quad \{T\} = \{t\} + 273,15$$

Najnižšia možná teplota

Kelvinova teplotná stupnica



Zakreslite izochorický a izobarický dej v grafoch s teplotou v Kelvinovej stupnici.

Z grafov vidíme, že platí: $V = k_1 T$ a $p = k_2 T$.

Rovnica ideálneho plynu

Možno dospieť k záveru, že pre vzájomné premeny všetkých troch veličín platí:

$$\frac{pV}{T} = \text{konšt.}$$

pričom v konštante je zahrnuté množstvo plynu.

Úloha

V injekčnej striekačke je 50 ml vzduchu s teplotou 20 °C a tlakom 102,04 kPa. Striakačku stlačíme tak, aby objem vzduchu bol 21 ml a teplota 28 °C. Určte tlak vzduchu v striekačke v tomto stave.

Poznámka

Vo fyzike najčastejšie vyjadrujeme teplotu v kelvinoch. V bežnom živote vyjadrujeme teplotu v stupňoch Celzia. Okrem týchto dvoch stupníc sa v niektorých krajinách, najmä v USA, používa v bežnom živote aj ďalšia stupnica – v jednotkách stupňov Fahrenheita (°F). Ak označíme F teplotu v stupňoch Fahrenheita, potom platí:

$$\{t\} = \frac{5(F - 32)}{9}; \{F\} = \frac{9\{t\}}{5} + 32$$

1.7 Ideálny plyn

V predchádzajúcich kapitolách sme sa venovali experimentom so vzduchom pri bežných podmienkach. Výsledky, ku ktorým sme dospeli platia pri týchto podmienkach pomerne presne. Pri meraniach so vzduchom pri veľkých tlakoch alebo pri nízkych teplotách by sme však dospeli k istým odchýlkom od týchto výsledkov. Z tohto dôvodu zavedieme pojednaciu pojmu **ideálny plyn**.

Pre ideálny plyn platí: $\frac{pV}{T} = \text{konšt.}$

V nižších ročníkoch a na chémii ste sa stretli s pojďmi ako atóm a molekula. Vieme, že nás svet je zostavený z niekoľkých typov rôznych atómov. Vieme tiež, že v plyne a v kvapaline niektoré atómy vytvárajú molekuly – skupiny atómov veľmi pevne navzájom spojené, avšak iba slabo spojené s okolitými molekulami. V nasledujúcich častiach sa budeme venovať vlastnostiam ideálneho plynu tak, že budeme skúmať správanie sa molekúl, z ktorých je plyn zostavený. Ak bude plyn obsahovať samostatné atómy, budeme ich považovať za jednoatómové molekuly.





Uvedieme definíciu ideálneho plynu:

Ideálny plyn je model, v ktorom platí:

1. Rozmery molekúl sú zanedbateľné v porovnaní so strednou vzájomnou vzdialenosťou molekúl.
2. Prítažlivé sily medzi molekulami sú zanedbateľné.
3. Vzájomné zrážky molekúl a zrážky molekúl so stenami nádoby sú dokonale pružné (mechanická energia molekúl sa pri zrážkach nemení na iné formy energie).
4. Čas trvania zrážky je zanedbateľný v porovnaní so stredným časom medzi zrážkami.

Ideálny plyn

Molekuly ideálneho plynu sa pohybujú chaotickým pohybom.

Pri zvyšovaní teploty sa zväčšuje priemerná veľkosť rýchlosťi molekúl. Predstavme si jednu vybranú molekulu ideálneho plynu, ktorá sa pohybuje (rovnačo ako všetky ostatné) chaoticky. Medzi jednotlivými zrážkami s inými molekulami sa pohybuje rovnomenrným pohybom určitou rýchlosťou. Za určitý časový okamih prejde určitú dráhu. Čím má plyn väčšiu teplotu, tým väčšia je táto dráha, a tým väčšia je priemerná veľkosť rýchlosťi tejto molekuly. Uvedomte si však, že poloha molekuly sa z dôvodu častej náhodnej zmeny smeru rýchlosťi veľmi nezmenila.

Na sústavu molekúl sa môžeme pozrieť aj iným spôsobom. V určitom časovom okamihu majú molekuly rôzne okamžité rýchlosťi. Každá molekula má určitú hodnotu **kinetickej energie**.

Pri zvyšovaní teploty ideálneho plynu sa zvyšuje stredná **kinetická energia molekúl**. Platí:

$$\frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \text{konšt.} \cdot T$$

Kinetická energia molekúl

Z rovnice vidíme, že pri danej teplote sa ľahšie molekuly pohybujú rýchlejšie a ťažšie molekuly pomalšie.

Vzťah $\frac{pV}{T} = \text{konšt.}$ sme získali tak, že sme namerané údaje extrapolovali smerom k nulovej teplote. Pri interpretácii informácií získaných extrapoláciou grafu musíme byť opatrní. Vzťah platí iba pre ideálny plyn. Vzduch možno považovať za ideálny plyn iba v určitom rozsahu teplôt a tlakov. Pri veľmi malých teplôtach sa vzduch správa inak.

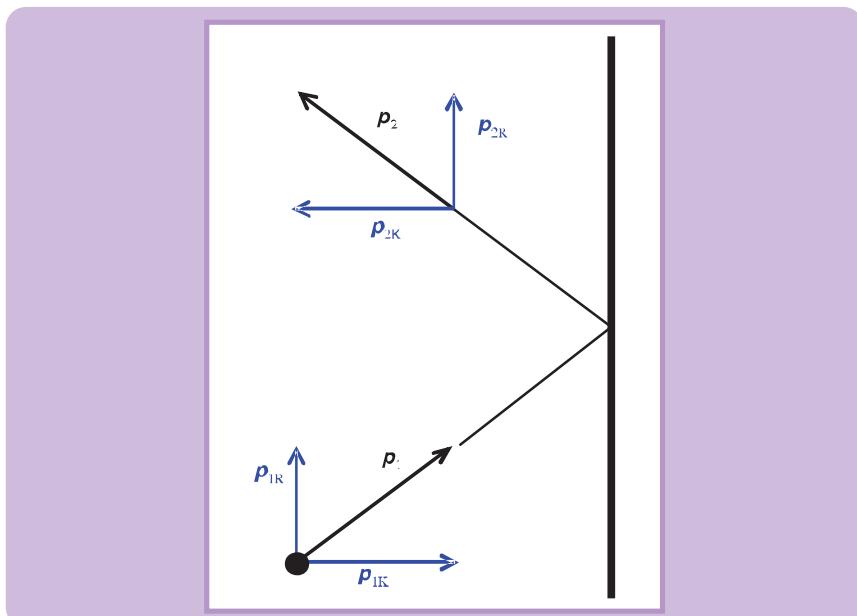
Extrapolácia grafu



Zopakujme si poznatky
o veličine hybnost

Ako vzniká tlak na stenu nádoby

Molekuly narážajú na steny nádoby, a tým vyvolávajú tlak na tieto steny. Pri náraze na stenu nádoby sa molekula odraží. Pri odraze sa zmení jej hybnosť. Ak hybnosť molekuly pred nárazom rozložíme na zložku kolmú na stenu nádoby a zložku rovnobežnú so stenou nádoby, potom pri zrážke sa zmení iba kolmá zložka. Situácia je znázornená na obrázku.



Platí: $p_{2K} = -p_{ik}$; veľkosť vektora p_{ik} označme p_k .

Pri odraze sa zmení hybnosť molekuly o $\Delta p = 2p_k$.

Predpokladajme, že za čas τ na stenu s plochou S narazilo N_s molekúl a ich hybnosť za zmenila o Δp_N . Potom molekuly pôsobia na stenu priemernou silou $F = \frac{\Delta p_N}{\tau}$ a vytvárajú tlak $p = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p_N}{\tau S}$.

Ukázali sme, ako molekuly pri náraze na stenu nádoby pôsobia na ňu silou a v nádobe vzniká tlak. Podrobnejšími úvahami sa dá dospieť k záveru, že pre ideálny plyn platí: $pV = NkT$, kde k je konštantá, ktorá sa nazýva Boltzmannova konštantá, p je tlak plynu, V je objem nádoby, N je počet molekúl v nádobe a T je teplota plynu v kelvinoch. Zaujímavostou tohto výsledku je fakt, že v ňom nevystupuje hmotnosť jednotlivých molekúl plynu.

Na základe predchádzajúcich úvah sme schopní kvalitatívne vysvetliť správanie sa plynov na molekulovej úrovni. Premyslite si, ako z predchádzajúcich úvah vyplývajú nasledujúce tvrdenia.

Molekuly ideálneho
plynu

Izotermický dej: Teplota je konštantná, teda kinetická energia ani priemerná veľkosť hybnosti molekúl sa nemenia. Ak zmenšíme objem, potom molekuly narážajú na stenu nádoby častejšie, a preto je tlak na stenu nádoby väčší.





Izobarický dej: Tlak na stenu nádoby je konštantný. Ak zväčšíme teplotu plynu, zväčší sa rýchlosť molekúl, a tým aj priemerná veľkosť hybnosti molekúl. Mal by sa teda zvýšiť tlak. Ak má byť tlak nezmenený, musí klesnúť frekvencia nárazov na stenu nádoby, čo sa dosiahne zmenšením hustoty počtu molekúl – zväčšením objemu.

Izochorický dej: Objem nádoby, a teda aj počet molekúl v jednotke objemu je konštantný. Zvýšením teploty sa zväčší priemerná hodnota veľkosti hybnosti molekúl a aj frekvencia nárazov na stenu nádoby. Tým sa zvýší tlak plynu.

Model správania sa molekúl ideálneho plynu možno vytvoriť pohybom magnetov na vzduchovej lavici. Takýto model je znázornený na obrázku.



1.8 (Vnútorná energia telesa

V predchádzajúcich častiach sme sa zaoberali časticovou stavbou plynu – najmä modelom ideálneho plynu. Vieme, že aj kvapaliny a tuhé látky pozostávajú z molekúl a z atómov. V tejto časti sa budeme venovať atómom a molekulám všetkých troch skupenstiev najmä z energetického hľadiska.

Molekuly všetkých skupenstiev

Každý atóm, alebo molekula (v ďalšom texte častica) má kinetickú energiu. Molekula plynu sa medzi dvoma zrážkami pohybuje určitou konštantnou rýchlosťou a jej kinetická energia je $E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$. Kinetická energia molekuly sa po zrážke zmení. Častica kvapaliny alebo tuhej látky kmitá okolo rovnovážnej polohy a aj jej kinetická energia $E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$ sa s časom mení. Možno však uvažovať o istej priemernej kinetickej energii častice. Ak vezmeme do úvahy celkový počet častic, z ktorých sa skladá telo, potom môžeme hovoriť o **priemernej kinetickej energii častic tohto telesa, ako aj o celkovej kinetickej energii častic**. S týmito veličinami budeme pracovať aj v ďalšom teste pracovať.



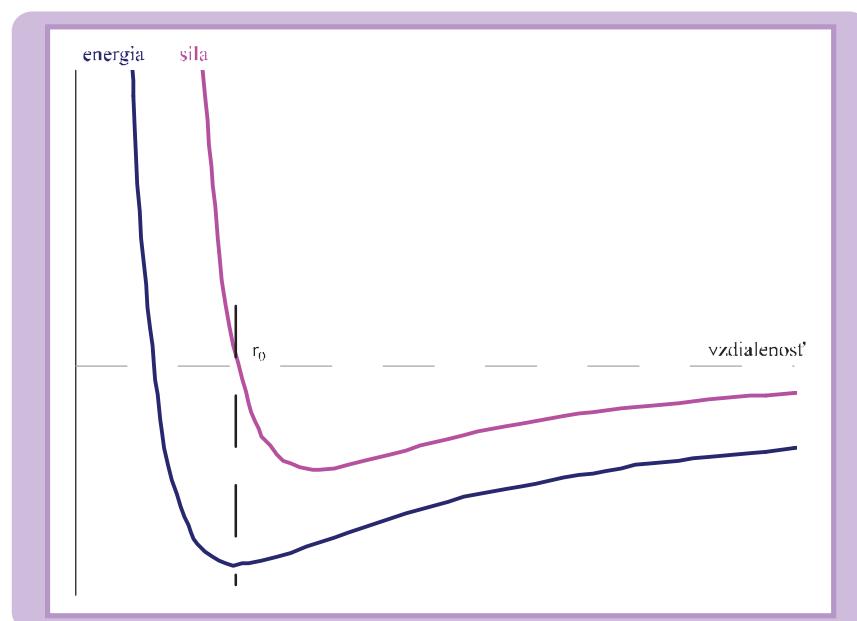


Molekuly na seba vzájomne pôsobia. Vzájomné pôsobenie dvoch molekúl možno znázorniť graficky. Na vodorovnú osu grafu dajme vzájomnú vzdialenosť dvoch častic. Na zvislú osu dve veličiny. Jednou je sila, ktorou na seba častice vzájomne pôsobia, druhou je potenciálna energia častic. V kladnej časti zvislej osi je odpudivá sila, v zápornej časti zvislej osi je prítažlivá sila. Symbolom r_0 je označená vzdialenosť, pri ktorej častice na seba nepôsobia – nazýva sa tiež rovnovážna poloha. Táto hodnota býva pri kvapalinách a tuhých látkach približne od $2 \cdot 10^{-10}$ m do $5 \cdot 10^{-10}$ m. Ak sú častice príliš blízko, odpudzujú sa, ak sú príliš daleko, navzájom na seba nepôsobia.

Sila a potenciálna energia vzájomného pôsobenia častic

So silovým pôsobením je spojená aj **potenciálna energia vzájomného pôsobenia častic**. Túto veličinu si ozrejmíme nasledujúcim myšlienkovým experimentom.

Dajme dve častice do vzdialenosť dosť veľkej na to, aby sme mohli zanedbať ich vzájomné silové pôsobenie. Dohodnime sa, že energia ich vzájomného pôsobenia je nulová. Nechajme častice postupne sa k sebe približovať. Začnú medzi nimi narastať prítažlivé sily, potenciálna energia ich vzájomného pôsobenia klesá ako keby častice na seba padali, potenciálna energia sa premieňa na kinetickú. Po prechode rovnovážnu polohou sa častice začnú odpudzovať. Potenciálna energia začne rásť, až dosiahne nulovú hodnotu. Na grafe je znázorená aj kladná hodnota potenciálnej energie. Tú môže sústava dosiahnuť napríklad v prípade, ak častice do seba strelíme s istou počiatočnou hodnotou kinetickej energie.



V tuhých a kvapalných látkach pôsobí na jednu časticu veľa iných častic z jej okolia. V nasledujúcom texte budeme uvažovať o celkovej potenciálnej energii jednej častice v silovom pôsobení okolitých častic. Takéto potenciálne energie všetkých častic spočítame a dostaneme **celkovú potenciálnu energiu vzájomného pôsobenia častic telesa**.

Vnútorná energia

Súčet celkovej potenciálnej energie vzájomného pôsobenia častic telesa a celkovej kinetickej energie častic telesa nazveme **vnútorná energia telesa**. Túto hodnotu nebudeme v tejto učebnici číselne vyjadrovať, budeme sa zaoberať iba jej zmenami.





1.9 (Zmena vnútornej energie telesa, teplo

Vnútornú energiu telesa je možné meniť tak, že telesu energiu dodáme alebo telesu energiu odoberieme. Takto zmena môže prebehnúť niekoľkými spôsobmi, ktoré rozdelenujeme na dve skupiny: konaním práce alebo tepelnou výmenou. Energia prenesená z jedného telesa na iné tepelnou výmenou sa niekedy nazýva **teplota**. Tepelná výmena môže nastať vedením tepla, prúdením alebo žiareniom.

Teplo

Ako príklad vedenia tepla spomenieme lyžičku čiastočne ponorenú v pohári horúceho čaju. Ak do pohára vložíme studenú lyžičku o chvíľu bude horúci aj ten koniec, ktorý nie je v čaji ponorený. Energia sa dostane vedením tepla z čaju do ponorenej časti lyžičky a z ponorenej časti lyžičky do tej časti lyžičky, ktorá ponorená nie je.

Príkladom prúdenia tepla je prúdenie teplej vody v systéme vykurovania. Voda sa ohreje vedením tepla v kotli. Odtiaľ prúdi rúrkami do našich radiátorov, a tak prenáša energiu z kotla do radiátorov. Poznáme dva typy prúdenia – prirodzené a nútene. Prirodzené prúdenie využíva fakt, že teplá voda (vzduch alebo iný tekutý materiál) má menšiu hustotu ako studený. Nútene prúdenie využíva na vytvorenie prúdenia čerpadlo alebo ventilátor.

Žiarenie je proces prenosu energie, súvisiaci so skutočnosťou, že každé teleso vyžaruje elektromagnetické vlnenie (nazývané aj žiarenie). Čím je teplota vyššia, tým je vyššia aj hustota vyžarovania. Pri nízkych teplotách žiarenie nevidíme – je v oblasti infračerveného žiarenia. Pri vyšších teplotách sa dostáva do oblasti svetla, vtedy ho môžeme vidieť, napr. rozzeravené teleso ohrievača. Kým vedenie tepla a prúdenie tepla potrebujú na prenos energie materiál, žiarenie je samostatné, prenáša energiu bez potreby materiálu, aj vakuu.

Niekedy nás nebude zaujímať proces zmeny vnútornej energie, ale iba výsledok tohto procesu. Môžeme povedať, že kinetická energia telesa sa pri jeho dopade do piesku premenila na vnútornú energiu telesa a piesku. Energia sa v telesu môže uvoľniť aj chemickými dejmi (napríklad spalovaním) alebo dejmi na úrovni jadra atómu (napríklad pri rádioaktívnej premene).

V predchádzajúcich riadkoch sme spomenuli pojem teplo. Definovali sme ho ako energiu prenesenú z jedného telesa na iné tepelnou výmenou. Tento pojem súvisí aj s pojmom pocit tepla. Teplo nám je vtedy, ak miera prenosu tepla z nášho tela do okolia je optimálna, teda taká na akú sme zvyknutí. Teplo nám je napríklad vtedy, ak sme v miestnosti s teplotou 22 °C. Ale teplo nám môže byť aj na lyžovačke, a pritom sme na svahu s teplotou -5 °C. Vtedy však musíme byť primerane oblečení tak, aby tepelná výmena nášho tela s okolitým vzduchom nebola príliš veľká. Pocit chladu zvýrazňuje aj viac – najmä na nezakrytých miestach nášho tela – na tvári a na rukách. Naopak, ak vykonávame fyzickú prácu v miestnosti s teplotou 38 °C, je nám príliš teplo. Teplo sa z povrchu nášho tela žiareniom neodvádza, odvádza sa iba vyparováním potu. Avšak ak sme v pokoji, istý obmedzený čas aj v miestnosti s oveľa vyššou teplotou nám môže byť prijemne – napríklad v saune.



Príklady na zmenu vnútornej energie

Úlohy

- 1.** Guľka z plastelíny dopadla na zem z výšky 2 m. Opište zmeny energie gulek od jej uvoľnenia po jej zastavenie na zemi.

Riešenie: Guľka mala voči zemi potenciálnu energiu $E_p = mgh$. Táto energia sa počas pádu postupne premieňala na kinetickú energiu telesa. Tesne pred dopadom mala guľka kinetickú energiu $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = mgh$. Počas dopadu na guľku pôsobila podlaha silou, označme ju F_n . Dráhu, na ktorej guľka zabrzdila označme s . Ak by počas brzdenia bola sila F_n konštantná, podlaha by vykonala prácu $W = F_n s$. Táto práca sa prejaví na zvýšení vnútornej energie gulek a časti podlahy, na ktorú guľka dopadla. Môžeme teda hovoríť, že pôvodná potenciálna energia sa premenila na vnútornú energiu gulek a podlahy. Ak by sme brali do úvahy aj odporové sily pôsobiacie na teleso počas pádu, potom by sme mohli povedať, že pôvodná potenciálna energia sa počas pádu premenila na vnútornú energiu telesa, vzduchu a podlahy.

- 2.** Vzduch v striekačke sme izotermicky stlačili z objemu 50 ml na objem 20 ml. Určte zmenu vnútornej energie vzduchu.

Riešenie: Vzduch pri bežných podmienkach možno považovať za ideálny plyn, teda jeho vnútorná energia sa rovná celkovej kinetickej energii častic. Tá sa pri izotermickom deji nemení, a preto aj vnútorná energia ostáva nezmenená. Na piest striekačky pôsobíme silou, ktorá ho posunie po určitej dráhe – vykonáme tým prácu. Energia dodaná konaním práce musí zo vzduchu odísť – odchádza tepelnou výmenou – najmä vedením tepla cez stenu striekačky a prúdením vzduchu v okolí striekačky.

- 3.** Položme ruku tesne pod rozsvietenú žiarovku stolnej lampy. Cítime, že ruka sa zohrieva. Určte príčinu zvyšovania vnútornej energie ruky.



Riešenie: Od žiarovky s vysokou teplotou sa tepelnou výmenou šíri energia do okolia. Ruka získava energiu od žiarovky tepelnou výmenou – najmä žiareniom.





Výpočet zmeny teploty

V predchádzajúcej časti sme sa venovali zmenám vnútornnej energie telesa. Vo všeobecnosti asi nebudeme protirotiť tvrdenu, že ak telesu zvýšime vnútornú energiu, zvýší sa jeho teplota. Toto tvrdenie platí pre telesá tuhé, kvapalné aj plynné. Pri plynných telesách sa obmedzíme na zmenu teploty pri konštantnom objeme.

Ak máme teleso, ktorého skupenstvo sa nemení, potom platí, že zmena teploty telesa je priamo úmerná dodanej energii. Platí tiež, že čím je väčšia hmotnosť telesa tej istej látky, tým väčšiu energiu potrebujeme telesu dodať na rovnaké zvýšenie teploty. Pozorne si prečítajte predchádzajúce dve vety a dajte ich do súvisu s nasledujúcim vzťahom:

$$\Delta t = \frac{Q}{mc}$$

kde Δt je zmena teploty telesa, Q je energia dodaná telesu, m je hmotnosť telesa. Konštantu c vyjadruje vlastnosť materiálu, z ktorého je teleso vytvorené. Nazýva sa **hmotnostná tepelná kapacita**.

Hmotnostná tepelná kapacita

Úlohy

1. Omylom ste nechali prázdnú hliníkovú panvicu na šporáku a tá sa zahriala na viac ako $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čo sa stane, ak do nej v umývadle nalejete pohár vody? Bude sa výsledná teplota vody približne rovnať priemeru teplôt panvice a vody? Bude voda vrieta?

Riešenie: Zo skúsenosti môžeme povedať, že voda sa zohreje iba o niekoľko desiatok stupňov, približne o $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zmena teploty hliníka je niekoľkokrát menšia ako zmena teploty vody. Vyplýva to z toho, že panvica má hmotnosť približne rovnakú ako pohár vody a **hmotnostná tepelná kapacita hliníka je takmer 5-krát menšia ako hmotnostná tepelná kapacita vody**.

Materiál (pri $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	$\text{c}/\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Hliník	900
Med'	390
Sklo	840
Železo, ocel'	450
Olovo	130
Mramor	860
Striebro	230
Drevo	1 700
Etylalkohol	2 400
Oruť	140
Ľudské telo (v priemere)	3 470

2. Máme tri telesá, každé s hmotnosťou 1 kg. Jedno je z vody, druhé z hliníka a treťie z medi.

Materiál	$\text{c}/\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Lead (-5 $^{\circ}\text{C}$)	2 100
Voda (15 $^{\circ}\text{C}$)	4 190
Vodná para (110 $^{\circ}\text{C}$)	2 010

- a) Porovnajte energie, ktoré musíme dodať týmto telesám na zvýšenie teploty o $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) Porovnajte zmeny teploty týchto telies, ak každému z nich dodáme energiu 2,2 kJ.

3. Máme dve hliníkové gule, jedna má priemer 2 cm a druhá 20 cm. Obidve zohrejeme na teplotu $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ a voľne položíme do miestnosti s teplotou $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Určte, ktorá z nich sa ochladí na teplotu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ skôr. Svoje rozhodnutie vysvetlite. Vysvetlenie aplikujte na teplokrvných živočíchoch – piskora a zajaca. Diskutujte, prečo teplokrvný živočich ako piskor nemôže žiť v oblastiach, kde je teplota veľmi nízka, zatiaľ čo zajac v takýchto oblastiach žije. Diskutujte, prečo pomer energie dodanej potravou a telesnej hmotnosti je väčší pri malých teplokrvných živočíchoch ako pri väčších.



1.10 Časticová stavba látok

V tejto časti si uvedieme niektoré vlastnosti látok jednotlivých skupenstiev.

Plynne látky

Plynne látky: Časticami plynu sú molekuly (viacatómové alebo jednoatómové). Pri normálnych podmienkach sú vzdialenosť medzi molekulami výrazne väčšie, ako veľkosť molekúl (zvyčajne 10 – 100-krát). Pri týchto vzdialenosťach môžeme pŕitažlivé sily medzi molekulami, a tým aj celkovú potenciálnu energiu vzájomného pôsobenia častic telesa, považovať za nulové.

Molekuly sa pohybujú neustálom neusporiadanom pohybom. Medzi jednotlivými zrážkami sa molekuly pohybujú rovnomenrným priamočiarym pohybom. Pri zrážke sa molekuly dostanú do takej vzájomnej vzdialenosťi, že začnú pôsobiť odpudivé sily a tie spôsobia zmenu smeru a rýchlosťi častic. Vnútorná energia plynu sa rovná celkovej kinetickej energii častic.

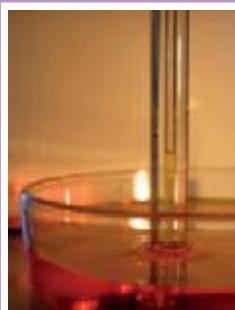
Kvapalné látky

Kvapalné látky: Molekuly kvapaliny sú k sebe navzájom pritahované okolitými molekulami. Nepohybujú sa tak volne, ako časticie plynu, ale kmitajú okolo svojich rovnovážnych poloh. Tieto rovnovážne polohy sa menia, preskoky medzi jednotlivými rovnovážnymi polohami sú tým častejšie, čím je teplota kvapaliny vyššia. Ak na časticie pôsobia vonkajšie sily, preskoky medzi jednotlivými rovnovážnymi polohami sa dejú v smere výslednej pôsobiacej sily. Preto je kvapalina tekutá – nezachováva svoj tvar. Stredná vzdialenosť medzi časticami kvapaliny sa približne rovná veľkosti častic (rádovo 10^{-10} m), kvapalina zachováva svoj objem, je takmer nestlačiteľná. Veľkosť celkovej potenciálnej energie vzájomného pôsobenia častic je porovnatelná s celkovou kinetickou energiou častic.

Vzájomné pritahovanie molekúl sa prejavuje napríklad aj tak, že malé množstvo kvapaliny vytvára objekt tvaru kvapky. Molekuly nachádzajúce sa na povrchu kvapaliny sú smerom do vnútra pritahované medzimolekulovými silami.

Molekuly kvapaliny sú pritahované aj k molekulám tuhých látok. Toto pritahovanie sa prejavuje aj kapilárnymi javmi – na obrázku je kapilárne vzlinanie (elevácia)

vody v sklenej tenkej rúrke.



Pri zvyšovaní teploty kvapaliny sa stredná vzdialenosť medzi molekulami zväčšuje (s výnimkou uvedenou ďalej), čo zapričinuje zväčšovanie objemu (zmenšovanie hustoty) kvapaliny. Tento jav využívame pri konštrukcii liehových teplomerov.

Tuhé látky

Tuhé látky: Stredná vzdialenosť medzi časticami tuhej látky je rádovo rovnaká, ako v kvapalných látkach (toto vysvetluje fakt, že pri topení a tuhnutí sa výrazne nemení objem telesa ani hustota látky). Pritažlivé sily medzi časticami sú tak veľké,





že častice iba kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh. Tuhá látka si preto zachováva svoj tvar aj objem. Tuhé látky rozdeľujeme na dve hlavné skupiny – látky kryštalické a amorfne.

Kryštalické látky: Tieto látky majú pravidelnú štruktúru – pravidelné usporiadanie častic. Niekoľko sa vyskytujú ako monokryštály – pravidelné usporiadanie je v celom objeme telesa. V prírode sa vyskytujú napríklad monokryštály kamennej soli, kremeňa, diamantu. Pre elektroniku majú veľký význam kryštály kremíka a germánia. Väčšina kryštalických látok sa skladá z veľkého počtu drobných kryštálikov s veľkosťami 10^{-6} m až 10^{-3} m.

Amorfne látky: V amorfnych látkach pozorujeme pravidelné usporiadanie iba v malých rozmeroch – porovnateľných s veľkosťou častic. Amorfnymi látkami sú napríklad sklo, vosk, asfalt.

Predchádzajúce rozdelenie látok na plynné, kvapalné a tuhé a rozdelenie tuhých na kryštalické a amorfne považujeme za základné delenie. Okrem týchto však existujú aj ďalšie skupiny látok. Napríklad polymery, tekuté kryštály a ďalšie. Aj takú bežnú látku ako drevo nie je možné zaradiť do predchádzajúcich skupín.

1.11 (Zmeny skupenstiev

Zmenu skupenstiev si priblížime na príklade vody. Voda môže byť v prírode v podobe tuhej látky (ľad, sneh), kvapaliny a aj ako plynná látka (vodná para). Hovoríme, že voda sa môže nachádzať v prírode v troch skupenstvách – tuhom, kvapalnom a plynnom.

Zohrievanie tuhej látky

Pripravme si ľad s teplotou napríklad -20°C . Položme ho do misky, pozorujme ho a uvažujme. Ľad má teplotu nižšiu, ako je teplota okolia. Prijíma z okolia energiu vo forme **tepla – najmä žiareniom a prúdením okolitého vzduchu**. Zvyšuje sa kinetická energia častic ľadu a tým aj teplota ľadu. Potenciálna energia vzájomného pôsobenia častic ľadu sa nemení, častice stále kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh. Vedením sa teplo dostáva z povrchu ľadu do jeho vnútra. Tento dej trvá až do okamihu, keď povrchová vrstva ľadu dosiahne teplotu topenia.

Počas zohrievania ľadu môžu nastáť aj iné deje – sublimácia, desublimácia alebo skvapalňovanie. Uvedené deje spomíname v závere tejto časti.

Počas zohrievania sa hustota látok mierne zmenšuje – telesá z týchto látok sa zväčšujú. Napríklad dĺžku telesa po zmeni teploty môžeme vypočítať pomocou vzťahu: $l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$, kde α je koeficient teplotnej dĺžkovej rozľahlosťi.

Materiál	Koeficient teplotnej dĺžkovej rozľahlosťi $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Hliník	23,8
Beton	12
Železo, ocel	12
Sklo (bežné)	9
Zlato	14
Porcelán	3

Teplotná dĺžková rozľahlosť

Topenie

Ak v istej oblasti ľadu teplota dosiahne **teplotu topenia** ľadu, kinetická energia častic dosiahne hodnotu, ktorá sa približne rovná veľkosti potenciálnej energie vzájomného pôsobenia častic. Niektoré častice, ktoré v istom okamihu náhodne získali

Topenie



dostatočne veľkú kinetickú energiu kmitavého pohybu prekonajú silu, ktorá ich viazala k okolitým časticiam (spotrebujú prácu) a stanú sa z nich častice kvapaliny. Častice kvapaliny sú voľnejšie pohyblivé, a tak gravitačná sila spôsobí ich pohyb z povrchu ľadu tak, aby voda zaujala tvar nádoby.

Počas tohto procesu stále musíme dodávať energiu z okolia, vnútorná energia sústavy ľad-voda stále narastá. Celková kinetická energia častic sústavy voda-ľad sa **nemení** (protože teplota sústavy sa **nemení**). Rastie však potenciálna energia vzájomného pôsobenia častic.

Rovnako ako počas zohrievania aj počas topenia ľadu môžu nastat sublimácia, vyparovanie, desublimácia alebo skvapalňovanie (pozri v závere tejto časti).

Materiál	Teplota topenia °C	Teplota varu/°C
Hliník	659	2 470
Olovo	327	1 750
Železo, oceľ	1 800	2 880
Zlato	1 063	2 856
Med'	1 083	2 562
Striebro	961	2 193
Voda	0	100
Ortut'	-39	357
Volfrám	3 410	5 900
Kyslik	-219	-183

Zohrievanie kvapaliny

Ked sa celý ľad v miske roztopí a stále dodávame z okolia teplo, voda sa zohrieva. Celková potenciálna energia vzájomného pôsobenia častic sa výraznejšie nemene, rastie však celková kinetická energia častic, a tým aj teplota kvapaliny. Vodu z misky začnime ohrievať varičom. Dosiahneme až teplotu varu.

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej časti, hustota vody sa počas zohrievania **zmenšuje**. Výnimkou je **teplotný interval od 0 °C do 4 °C**, kedy sa hustota vody zväčšuje.

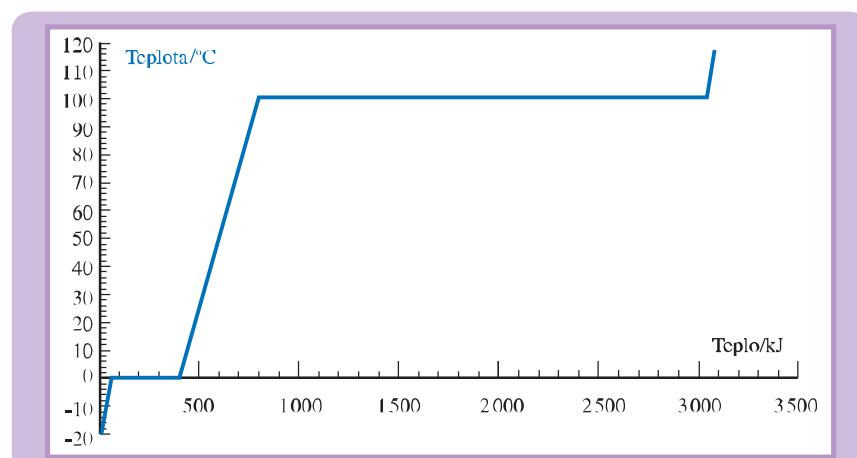
Počas zohrievania kvapaliny nastáva aj vyparovanie vody z povrchu.

Var kvapaliny

Var

Voda s teplotou varu má rovnakú veľkosť celkovej potenciálnej energie vzájomného pôsobenia častic a celkovej kinetickej energie častic. Ak stále dodávame energiu, niektoré časticie dosiahnu náhodne energiu dostatočne veľkú na prekonanie súčinného pôsobenia častic a skupiny takýchto častic vytvorí bublinky vodnej par. Vodná para má výrazne nižšiu hustotu ako voda, a tak sa táto vodná para dostane na povrch a unikne z kvapaliny. Počas tohto deňa stále musíme dodávať energiu, pretože z kvapaliny odchádzajú časticie s najväčšou kinetickou energiou.

Predchádzajúce pozorovanie s myšlienkovým experimentom znázormime v grafe závislosti teploty od dodaného tepla. Hodnoty dodaného tepla sú pre 1 kg ľadu.





Z grafu vidíme, že najviac tepla potrebujeme na premenu vody na vodnú paru. Teplo potrebné na zohriatie vody z teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na teplotu varu je približne rovnaké, ako teplo potrebné na roztopenie ľadu.

Doteraz sme v našich úvahách nevysvetlili tieto premeny skupenstiev:

- **sublimácia** – premena tuhej látky na plynnú (aj pri teplote pod bodom mrazu sa ľad premieňa na plynné skupenstvo),
- **vyparovanie** – aj pri teplote nižšej ako je teplota varu sa voda premieňa na plynné skupenstvo.

Všetky premeny skupenstiev môžu prebiehať aj opačným smerom:

- **skvapalňovanie** – premena vodnej pary na vodu,
- **desublimácia** – premena vodnej pary na ľad,
- **tuhnutie** – premena vody na ľad.

Pri zohrievaní a topení ľadu sme poznamenali, že zároveň môže prebiehať aj niektorý z ďalších dejov. Ktorý z dejov bude prebiehať závisí od vlastností okolitého vzduchu – presnejšie povedané od toho, kolko vodných párov je v okolitej vzduchu. Množstvo vodných párov vo vzduchu vyjadrujeme veličinou **relatívna vlhkosť**. Relatívna vlhkosť je 0 % vtedy, ak vo vzduchu nie sú žiadne vodné páry. Takáto situácia sa bežne v prírode nevyskytuje. Relatívnu vlhkosť 100 % dosiahneme pomocou nasledujúceho experimentu:

Relatívna vlhkosť



V uzavretej nádobe na obrázku máme vodu a vzduch. Vo vzduchu je umiestnený senzor vlhkosti. Voda sa zo svojho povrchu vyparuje, množstvo vodných párov vo vzduchu sa zvyšuje a relatívna vlhkosť meraná senzorom vlhkosti rastie. Niektoré molekuly vody na jej povrchu vodu opustia a stanú sa molekulami vodnej pary. Zároveň však prebieha aj opačný dej, niektoré molekuly vodnej pary narazia na hladinu vody a stanú sa z nich molekuly vody. Zvyčajne počet molekúl, ktoré opúšťajú hladinu je väčší než počet molekúl, ktoré sa na hladinu dostávajú. Keď sa tento počet (za istý časový interval) vyrovná, nastane rovnovážny stav. Vtedy hovoríme, že vzduch má vlhkosť 100 %. Niektoré molekuly stále opúšťajú vodnú hladinu, avšak rovnaký počet molekúl vodnej pary sa dostáva na vodnú hladinu.

Relatívna vlhkosť závisí od teploty vzduchu. Ak v našej nádobe zvýšime teplotu, na istý čas relatívna vlhkosť vzduchu klesne. Na to, aby sa opäť dostala na úroveň 100 % sa musí ďalšia voda vypariť.



Úlohy

1. V tejto kapitole sme sa venovali okrem iného aj topeniu ľadu. Ľad sa topí pri teplote 0°C , čo znamená, že pri nižšej teplote je v tuhom a pri vyššej teplote je v kvapalnom skupenstve. Včeli vosk (alebo parafín) zo sviečky sa správa inak. Pokúste sa nájsť teplotu topenia vosku. Dá sa to? Dá sa určiť teplota, kedy je vosk kvapalný a kedy v tuhom skupenstve? Pripravte si referát na túto tému. Včeli vosk použite ako príklad amorfnej látky.
2. Niekedy v chladnom počasí sa stáva, že sa kuchynské okná zarosia. Vysvetlite tento jav. Vysvetlite aj analogický jav kedy sa fľaša vybratá z chladničky zarosi. Vysvetlite, prečo je nebezpečné, ak sa nám v kuchyni alebo v kúpeľni často zarosí namiesto okna časť steny. Pri vysvetlovaní zvážte, aké podmienky potrebujú plesne k svojmu životu.
3. Na poličkách mrazničky sa tvorí ľad, ktorý je potrebné občas odstrániť odmrazovaním. Vysvetlite spôsob vzniku ľadu a navrhnite spôsoby ako vznik ľadu obmedziť.

1.12 (Plazma

V predchádzajúcich častiach sme sa venovali látкам jednotlivých skupenstiev. Ako samostatné skupenstvo sa niekedy uvádza plazma. **Plazma** je látka zložená zo samostatných elektrónov a iónov. Niektorí sa považuje za ionizovaný plyn. Toto skupenstvo je v súčasnosti predmetom rozsiahleho aplikovaného výskumu, napríklad v súvislosti s obrazovkami televízorov, úspornými žiarivkami, so zváraním elektrickým oblúkom a pod. Na obrázku máme prototyp zariadenia vyvinutého na FMFI UK, v ktorom sa pomocou plazmy upravujú vlastnosti syntetických tkanín. Tkaniny upravené touto technológiou majú výrazne väčšiu zmäčavosť a dajú sa využiť napríklad v jednorazových detských plienkach. Na rozdiel od iných technológií, ktorými sa dajú tkaniny takto upraviť, táto technológia nepracuje s chemikáliami a je tiež časovo úsporná. Tkanina prejde oblasťou, v ktorej je plazma a v priebehu niekoľkých sekúnd je upravená. Napriek tomu, že elektróny v tejto oblasti dosahujú energie zodpovedajúce teplote $2\,000\text{ K}$, ióny vzduchu a molekuly tkaniny dosahujú energie zodpovedajúce bežnej teplote v laboratóriu. Táto technológia je v súčasnosti v testovacej prevádzke a predpokladá sa jej zavedenie do sériovej výroby.





Úloha

Jednou zo základných úloh aplikovaného výskumu je priniesť objav okamžite aplikovateľný v praxi. Bez základného výskumu to samozrejme nejde. Bez toho, aby sme javom rozumeli, nemôžeme ich aplikovať. Diskutujte o potrebe financovania základného a aplikovaného výskumu a o potrebe medzinárodnej spolupráce v tejto oblasti. Diskutujte o potrebe právnej ochrany výsledkov výskumu a o úlohe patentovania.

Patentovanie

1.13 (Zhrnutie, úlohy

V tejto kapitole sme zaviedli viacero nových pojmov. Používali sme tiež pojmy zavedené v predchádzajúcom štúdiu, avšak niektoré z nich nadobudli nový význam. Vysvetlite svojimi slovami – opisne – nasledovné pojmy:

Prípravte si zdroj informácií

- tlak
- tlaková a fahová sila
- parciálny tlak
- hydrostatický tlak
- atmosférický tlak
- rovnica hydraulického lisu
- jeden Celziov stupeň
- jeden stupeň Celzia
- jeden kelvin
- ideálny plyn
- izotermický dej
- izochorický dej
- izobarický dej
- extrapolácia grafu
- lineárna závislosť
- priama úmernosť
- hybnosť molekuly
- vnútorná energia telesa
- tepelná výmena vedením
- tepelná výmena prúdením
- tepelná výmena žiarením
- kapilárne vzhlínanie
- amorfjná látka
- monokryštál
- vyparovanie a var
- relativná vlhkosť vzduchu

Niekteré z pojmov sú v učebnici použité iba intuitívne. Ak neviete význam niektoľho zo spomenutých slovných spojení, vyhľadajte ho vo svojom zdroji informácií.

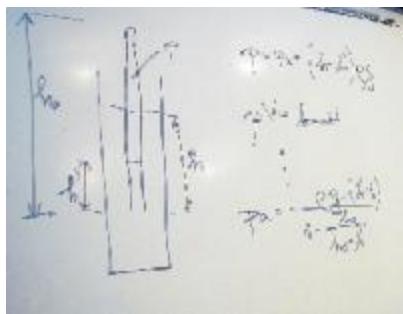


Vyjadrite sa k nasledovným problémom:

1. V tejto kapitole sme uviedli dva údaje o tlaku vzduchu v blízkosti povrchu Zeme, 1 000 hPa a 100 kPa. Ktorý z týchto údajov je presnejší? Diskutujte, prečo sa meteorológovia v informovaní o tlaku vzduchu vyhýbajú používaniu desatinných čísel.
2. Prezrite si údaj o aktuálnom tlaku vzduchu na domácej meteorologickej stanici. Nachádza sa na displeji informácia o tom, či zobrazovaný údaj je lokálny tlak alebo či je to tlak prepočítaný na hladinu mora?
3. V učebnici biológie boli spomenuté ryby žijúce v hlbinách mora. Niektoré z nich žijú v hĺbke až 4 km. Určte hydrostatický a celkový tlak v tejto hĺbke.
4. V lete používame klimatizáciu. Vysvetlite, prečo sa musí z klimatizácie hadičkou odvádzať voda.
5. Vysvetlite, prečo majú bicykle určené na jazdu po nespevnených cestách (horské bicykle) hrubšie pneumatiky. Pri vysvetľovaní použite pojem tlak.
6. Vzduch sa skladá z viacerých plynov. Nájdite informáciu o tom, koľko percent vodnej parí je vo vzduchu.
7. V učebnici biológie bolo spomenuté, že korčuliarky (*Gerris*) sa pohybujú po tenkej blanke, ktorá vzniká na vodnej hladine na rozhraní medzi vzduchom a vodou. Diskutujte o tom, ako táto blanka súvisí s medzimolekulovými silami vo vode. Pozorujte, že žiletku môže plávať na hladine vody napriek skutočnosti, že hustota ocele je väčšia než hustota vody.

Úlohy

1. Pozorujte nasledovný jav: Do vyššieho odmerného valca naplneného vodou vložte prázdnu dlhú sklenú trubicu na hornom konci uzavretú. Voda vystúpi do trubice. Pokial má trubica vnútorný priemer okolo 4 mm, vystúpenie vody do trubice nie je zapríčinené kapilaritou. Vysvetlite tento jav, môžete použiť ilustračné obrázky. Na základe tohto javu navrhnite experiment na meranie atmosférického tlaku vo vašom laboratóriu.





2. V niektorých oblastiach nášho života, najmä v medicíne, sa občas používa jednotka tlaku odvodená od hydrostatického tlaku pod hladinou ortuti. V tejto jednotke sú uvádzané tlaky na tlakomere na obrázku, ktorý sa dá použiť pri mera- niach z predchádzajúcich kapitol.

- Vyhľadajte v tejto učebnici hustotu ortuti a premenťte hodnotu tlaku 120 mm Hg na pascaly.
- V súvislosti s tlakom krvi sa často spomínajú hodnoty „120 na 80“.

Vysvetlite význam týchto údajov.

Využite váš zdroj informácií



3. Voda pri zohrievaní z teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na teplotu $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ mierne zväčšuje svoju hustotu.

Pri zohrievaní z teploty $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ až na teplotu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ zmenšuje svoju hustotu. Vysvetlite, ako tento jav súvisí so skutočnosťou, že v lete je v hlbšom jazere na dne voda studená. Vysvetlite tiež, prečo v zime, keď je hladina jazera pokrytá vrstvou ľadu, môže byť na jeho dne voda s teplotou $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Ak sledujeme bublinku vzduchu stúpajúcu z dna jazera na jeho povrch môžeme si všimnúť, že jej polomer sa postupne zväčšuje. Použite pre vzduch v bubline model ideálneho plynu a zanedbajte vyparovanie vody smerom dovnútra bublinky.

- Vysvetlite tento jav.
- Bublina pri dne jazera s hĺbkou 3 m mala priemer 3,0 mm. Vzduch v bubline mal v celej hĺbke jazera rovnakú teplotu. Ukážte, že priemer bublinky tesne pod hladinou bol 3,3 mm.
- Ukážte, že ak teplota vzduchu v bubline pri dne jazera bola $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na hladine $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, potom priemer bublinky tesne pod hladinou bol iba o trošku väčší ako v úlohe b).

5. Chceme si zohriať 1,0 l vody z izbovej teploty na teplotu varu. Máme k dispozícii kanicu s príkonom 800 W a kanicu s príkonom 2 000 W.

- Vypočítajte, kolkokrát rýchlejšie zovrie voda v kanvici s väčším príkonom.
- Oba časy vypočítajte, ak predpokladáte účinnosť kanív 75 %.
- Diskutujte, prečo je účinnosť kanvice s vyšším príkonom vyššia.





2. Periodické deje

S periodickými dejmi sme sa už stretli vo fyzike, a aj v ďalších vyučovacích predmetoch. Periodickým dejom je napríklad striedanie ročných období, striedanie dňa a noci. **Periodické deje koná naše srdce.** **Periodické deje súvisia aj s vlnením.** Práve vlnenie je časť fyziky s veľkými technickými aplikáciami, ktoré v ostatných dešetročiach významne ovplyvnilo spôsob života väčšiny ľudí. Elektromagnetické vlnenie dnes používame na prenos informácií, bud kovovými vláknami (medenými vodičmi), alebo optickými vláknami, vzduchom alebo aj prostredím bez vzduchu – vakuom. Aj keď základné poznatky o vlnení, ktoré budeme študovať v tejto učebnici sú ľudstvu známe už viac ako jeden a pol storočia (Christian Doppler uverejnil vysvetlenie javu dnes nazývaného Dopplerov jav v roku 1842), mnohé aplikácie súvisiace s ultrazvukom a elektromagnetickým vlnením sú súčasťou aj dnešného aplikovaného výskumu.

Úlohy

1. Vymenujte čo najviac kanálov, ktorými prúdia do vašej triedy informácie. Vymenujte aj tie, ktoré nie ste schopní zachytiť, ale iste viete, že by sa špeciálnymi zariadeniami zachytiť dali. Tejto aktivite sa venujte maximálne 3 minúty.
2. Odhadnite čas, za ktorý je možné odoslať túto učebnicu (v elektronickej forme) do Austrálie. Všetky parametre súvisiace s týmto odhadom tiež odhadnite.

V tejto kapitole sa budeme venovať najmä kmitaniu a vlneniu. Tieto dva deje navzájom úzko súvisia a nadväzujú na seba. Pri kmitaní sa zvyčajne venujeme jednému bodu, pri vlnení sa zvyčajne venujeme kmitaniu viacerých (všetkých) bodov istého prostredia.

Najvýznamnejšou skupinou kmitaní a vlnení sú harmonické kmitania a vlnenia. Harmonické kmitania a vlnenia popisujeme funkciou sínus, a preto sa tejto funkciu budeme trocha venovať.

Väčšinu úvah budeme demonštrovať na niekoľkých príkladoch. Budeme radi, ak sa pokúsíte postupy použité pri týchto príkladoch použiť aj na skúmanie iných dejov a javov. Do tejto učebnice sme vybrali zvuk ako základný príklad vlnenia a závažie na pružine ako základný príklad kmitania.

2.1 (Periodický pohyb

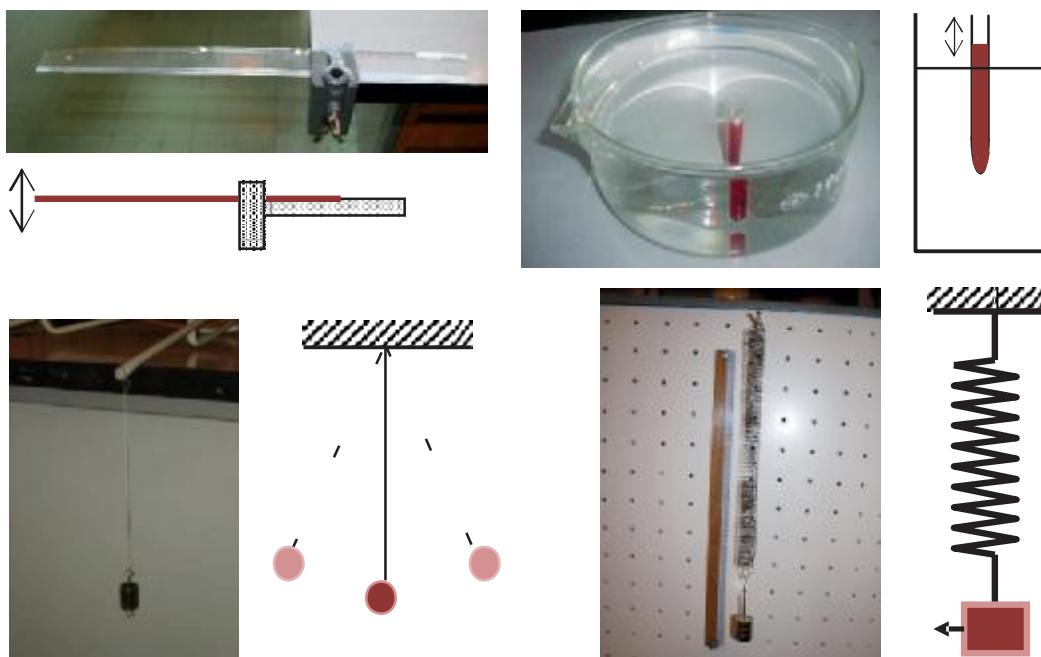
V predchádzajúcim ročníku ste sa stretli s opisom pohybu. Auto na diaľnici sa pohybovalo posuvným pohybom, jeho koleso sa pohybovalo zároveň posuvným aj otáčavým pohybom. V tejto kapitole zavedieme ďalšie druhy pohybu – kmitavý pohyb a mechanické vlnenie. Tieto pohyby, a s nimi súvisiace pojmy budeme používať aj v ďalších častiach.





Pozorujme a popíšme

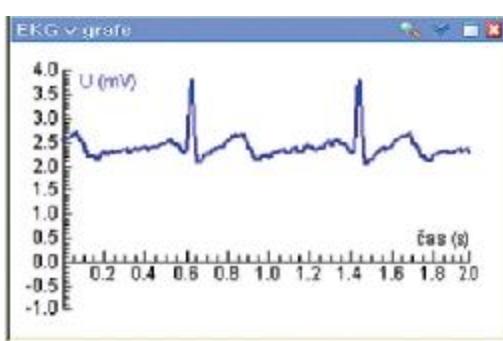
Pozorujte správanie sa systémov naznačených na obrázku. Pokúste sa ich nastaviť tak, aby sa pohybovali raz viac a raz menej, potom rýchlejšie a pomalšie. Vymenujte sily pôsobiace na telesá.



Používajme terminológiu

Kmitavý pohyb

Mnoho systémov sa pohybuje tak, že časť pohybu niektorých bodov týchto systémov sa pravidelne opakuje. Takéto pohyby nazývame **periodické pohyby**. Pohyb nôh pri pokojnej rovnomernej chôdzi, pohyb zbújačky pri rozbijaní steny, pohyb závažia visiaceho na niti – to sú príklady pravidelne sa opakujúcich pohybov. Všetky tieto pohyby sú charakteristické tým, že bod telesa sa pohybuje v okolí určitej polohy, nazývanej **rovnovážna poloha**. Podobne kmitajú molekuly vzduchu, ak sa ním šíri zvuk. Atómy tuhých telies kmitajú okolo rovnovážnych polôh vždy, aj keď tento pohyb nemôžeme vidieť okom, ani bežným mikroskopom. Dôležitými sú aj **elektromagnetické kmity**. Niektoré preto, že je možné nimi prenášať informácie. Iné preto, že nesú informácie o činnosti dôležitých systémov a je možné veľmi presne ich zaznamenávať. Príkladom takého systému je ľudské srdce občas monitorované pomocou EKG.





V tejto časti sa budeme venovať najmä mechanickému kmitaniu. Teleso v systéme, ktoré má kmitať, musí splňať dve požiadavky – musí mať zotvračnosť (teda hmotnosť) a systém musí naň pôsobiť silou pôsobiacou smerom do rovnovážnej polohy.

Mechanické kmitanie

Ak sa bod pohybuje okolo rovnovážnej polohy sem a tam po jednej trajektórii, hovoríme o **kmitavom pohybe**.

Kmitať aj krídlo vtáka pri lete alebo bod struny chvějúcej sa gitary. Periodickým pohybom je aj pohyb bodu po kružnici, napríklad pohyb Zeme okolo Slnka. Pohyb budovy, v ktorej sa práve nachádzate, je tiež periodickým pohybom okolo zemskej osi. Rovnomerný pohyb po kružnici je periodickým pohybom – vždy po určitom čase sa sústava dostane do toho istého stavu. Ale na rozdiel od kmitavých pohybov, pri pohybe po kružnici nehovoríme o rovnovážnej polohe. Ak by sme si zvolili istú polohu ako počiatok, teleso sa do tejto polohy dostane tak, že prejde určitú trajektóriu (v tvare kružnice). Kmitavé pohyby sú charakteristické práve tým, že bod sa pohybuje jedným smerom a potom opačným smerom po tej istej trajektórii.

Zariadenie, ktorého časť vykonáva kmitavý pohyb sa nazýva **oscilátor**.

Oscilátor

Úlohy



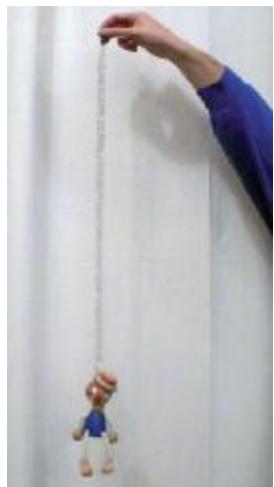
1. Pokúste sa sformulovať definíciu periodického deja.
2. Na príkladoch vysvetlite rozdiel medzi pohybom po kružnici a kmitavým pohybom.
3. Na obrázku je školský model piestopového spaľovacieho motoru. Vysvetlite, ako sa v motore premieňa kmitavý pohyb piesta na otáčavý pohyb hriadeľa.
4. Niektoré zariadenia premieňajú otáčavý pohyb hriadeľa motora na kmitavý pohyb piesta. Navrhnite príklady využitia takýchto zariadení.

Vyjadrujme sa čo najpresnejšie

Základné charakteristiky kmitavého pohybu si uvedieme na príklade jednoduchého oscilátora pozostávajúceho z pružiny a vhodne zvoleného závažia. Takýto oscilátor nazývame **pružinový oscilátor**.

Pružinový oscilátor

Napriek tomu, že pružinové oscilátory sú veľmi jednoduché, výsledky ich štúdia priviedli ľudstvo k poznaniu mnohých zložitejších aplikácií. Pojmy zavedené pri tomto štúdiu sú krokom smerom, na konci ktorého môže byť štúdium konštrukcie pohodlného, tichého, rýchleho a bezpečného automobilu alebo budovanie sietí pre telefonovanie pomocou mobilných telefónov. Fyzikálne zákonitosti z tejto kapitoly sa využívajú aj k modelovaniu nefyzikálnych systémov. Jedným z takýchto príkladov je modelovanie pravidelného striedania období ekonomického rastu a úpadku vyspelého sveta.



Skúmajme pohyb závažia zaveseného na pružine

Vezmíme si pružinu a pokúsme sa ju natiahnuť tak, aby sa nezdeformovala trvale. Niekoľkokrát ju natiahnime a uvoľnime a zakaždým skontrolujme, či sa po uvoľnení vrátila do pôvodnej dĺžky. V experimentoch s pružinou dávajme pozor na to, aby sa nezdeformovala trvale. Pružinu zavesme a postupne na ňu pridávajme závažia, až kým dĺžka pružiny dosiahne približne dvojnásobok pôvodnej dĺžky.

Potiahnime závažie zvislo nadol a uvoľnime. Sledujme jeho pohyb. Závažie sa pohybuje hore-dolu. Nahor ide po úsečke, tam sa zastaví a začne sa pohybovať nadol po tej istej úsečke. Dosiahne najnižšiu polohu a opäť sa začne pohybovať nahor. Ak označíme najnižšiu polohu s nulovou rýchlosťou ako počiatočný stav oscilátora, tak po jednom kmite nahor a späť sa oscilátor znova dostal do pôvodného stavu. Tento pohyb sa bude pravidelne opakovať.

Periódā

Casový úsek, ktorý zodpovedá jednému kmitu oscilátora nazývame **periódā oscilátora alebo periódā kmitania**.

Úloha

Periodické pohyby umožňujú merat čas. Vymenujte spôsoby merania času. Podľa svojich možností opište oscilátor, určte, ktorá z fyzikálnych veličín sa periodicky mení a ako periódou prakticky využívame pri meraní času.





2.2 (Pružinový oscilátor, frekvencia periodického dejá)

V predchádzajúcej časti sme zaviedli fyzikálnu veličinu **periódou**. Periódou označujeme písmenom T . Základnou jednotkou periódy je sekunda.

Úlohy

- Odmerajte periódou pružinového oscilátora čo najjednoduchším spôsobom. Odhadnite presnosť vášho výsledku. Navrhnite presnejší spôsob merania periódy pružinového oscilátora, ktorý by sme mohli realizovať, ak by sme mohli tomuto meraniu venovať 15 minút.

Pri periodických dejoch je praktické používať fyzikálnu veličinu frekvencia, označujeme ju f . Frekvencia vyjadruje počet kmitov oscilátora za jednotku času. Jednotkou frekvencie je hertz, označuje sa Hz. Platí, že $1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$.

- Ukážte, že platí vzťah: $f = \frac{1}{T}$.

- Doplňte nasledujúcu tabuľku. Pri dejoch, pri ktorých nie je žiaden údaj, hodnoty odhadnite. Pri odhade použite dostupné zdroje informácií.

Oscilátor/dej/udalosť	T/s	f/Hz	Zdroj informácie
Pružinový oscilátor			vlastné meranie
Kmitanie nohy pri pomalej chôdzi	1		
Kmitanie nohy pri šprinte			
Piatkové poludnie	$7*24*60*60 = 6 \cdot 10^6$		výpočet
Pohyb Zemč okolo vlastnej osi			
Pohyb kolcsa automobilu			
Kmitanie krídla labute pri odlietaní z hladiny jazera			
Kmitanie krídla kolibríka pri lete			
Kmitanie (tikot) ľudského srdca			



Pripravte si zdroj informácií

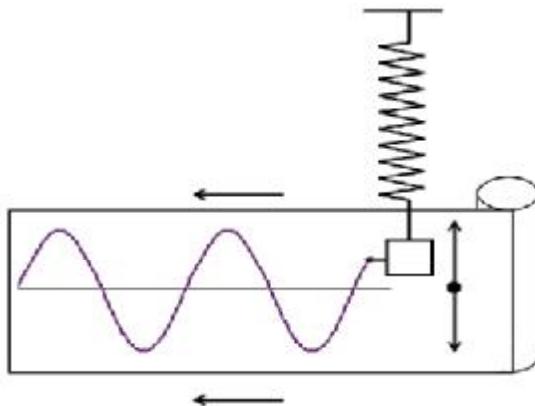
Časový rozvoj kmitavého pohybu

Pri skúmaní kmitavého pohybu je často potrebné poznať nie len periódou pohybu, ale aj výchylku z rovnovážnej polohy. Vakej polohe sa nachádza kmitajúci bod v istom okamihu?

Predstavme si nasledujúci experiment:


Myšlienkový experiment

Na závaží zavesenom na pružine je bod, ktorý na pásse papiera zanecháva stopu. Papier posúvajme rovnomerným pohybom smerom doľava.



Na papieri uvidíme stopu pripomínajúcu graf funkcie

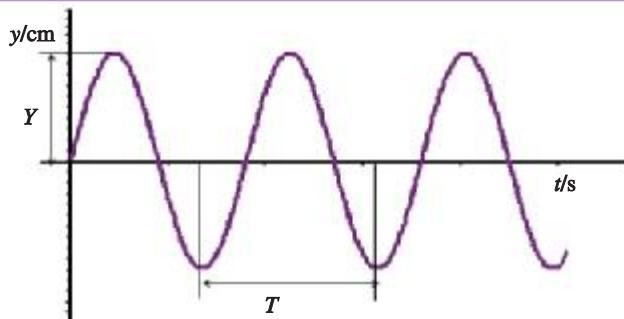
$$y = Y \sin(2\pi ft)$$

kde y je výchylka v čase t , Y je amplitúda výchylky a f je frekvencia kmitania.

S funkciou sínus ste sa už stretli pri rozklade síl. Vtedy ste sa naučili, že v pravouhlom trojuholníku platí: $\sin \alpha = \frac{a}{c}$, kde a je protiľahlá odvesna, c je prepona a α je uhol v stupňoch. Pri zápisе funkcie sínus vhodnom pre zobrazovanie periodických dejov používame inú jednotku uhla – radián. Platí:

$0^\circ = 0 \text{ rad}$; $180^\circ = \pi \text{ rad}$, $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$, $\{\alpha_{\text{rad}}\} = \{\alpha_{\text{st}}\} \frac{2\pi}{360}$. Pri práci s kalkulačkou je potrebné vopred nastaviť jednotky, v ktorých chceme uhol vyjadriť.

Graf je na nasledujúcim obrázku. Na vodorovnej osi grafu je čas a na zvislej osi je poloha závažia v zodpovedajúcom časovom okamihu – **teda okamžitá poloha závažia**. Ak je závažie v pokoji, je v **rovnovážnej polohe**. Rozdiel medzi okamžitou polohou a rovnovážnou polohou nazývame **výchylka z rovnovážnej polohy**.



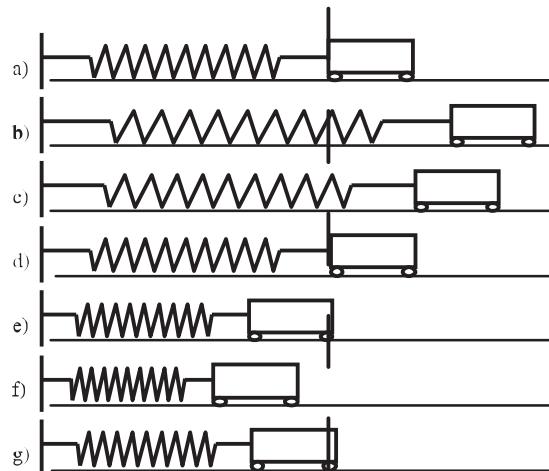


Na grafe je zobrazená aj maximálna výchylka závažia z rovnovážnej polohy. Túto hodnotu nazývame **amplitúda výchylky**, označujeme ju písmenom Y .

Amplitúda výchylky

Casový priebeh rýchlosťi a zrýchlenia závažia zaveseného na pružine si vysvetlíme na ďalšom, veľmi podobnom oscilátore. Vozík položime na podložku a pripojíme ho k vodorovnej pružine. Použijeme pružinu, ktorá sa dá natahovať i stlačať.

Myšlienkový experiment



Najskôr si situácie na obrázku opíšme. Situácia **a)** znázorňuje ustálenú polohu vozíka pripojeného k pružine. Vozík sme potiahli smerom doprava o niekoľko centimetrov do polohy znázornenej na obr. **b)**. V tejto polohe sme vozík uvoľnili. Vozík sa začal pohybovať smerom dolava. Prešiel polohami znázornenými na obr. **c)** až **g)** a ďalej sa pohyboval.

V nasledujúcej tabuľke popíšeme tieto situácie pomocou fyzikálnych veličín rýchlosť a zrýchlenie. Budeme sa zaoberať aj silou, ktorou na vozík pôsobila pružina. **V polohe a) na vozík pružina nepôsobila ($F = 0 \text{ N}$)**. Sme o tom presvedčení preto, lebo vozík sa nepohyboval, teda jeho zrýchlenie bolo nulové. Ked je zrýchlenie vozíka nulové, potom aj výslednica sôl pôsobiacich na vozík musí byť nulová (1. a 2. Newtonov zákon).

Pokúste sa doplniť tabuľku. Svoje hodnoty navzájom porovnajte a nechajte si ich skontrolovať učiteľom. Pre velkosti v , a , F použite symboly ako napríklad: 0; $0 < v < \text{max.}$; max. Na vyznačenie smerov použite šípky alebo nulu.

Poloha	Veľkosť rýchlosťi	Smer rýchlosťi	Veľkosť zrýchlenia	Smer zrýchlenia	Veľkosť sily	Smer sily
b)	0	0			max.	←
c)			$0 < a < \text{max.}$			
d)						
e)						
f)			max.	→		
g)						

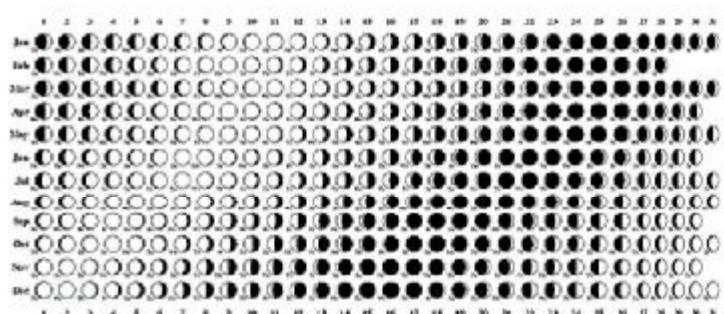


Fáza kmitavého pohybu

Po kontrole tabuľky zakreslite závislosti:

- rýchlosť vozíka od času,
- zrýchlenia vozíka od času,
- výslednej sily pôsobiacej na vozík od času.

Ak periodický pohyb znázorníme sériou obrázkov tak, ako v predchádzajúcim príklade s vozíkom, jednotlivé polohy často nazývame **fázy pohybu**. Aj pri iných dejoch používame pojem fáza. Napríklad v súvislosti s pohybom Mesiaca, kde hovoríme o fázach Mesiaca.



2.3 Energia pružinového oscilátora

V situácii z predchádzajúcej kapitoly vozík kmítal medzi dvoma krajnými polohami. Vždy sa v krajnej polohe zastavil, zmenil orientáciu pohybu a znova sa rozbehol. Odkiaľ získal vozík energiu potrebnú na svoj pohyb? Asi nikto nepochybuje o tom, že vozík pri rozbiehaní získal energiu od pružiny a naopak, pri brzdení energiu pružine odovzdal.

Kinetickú energiu vozíka vypočítane rovnako, ako kinetickú energiu akéhokoľvek pohybujúceho sa telesa:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

Dá sa podobným jednoduchým spôsobom vyjadriť energiu napnutej pružiny?

Odpoveď hľadajme skúmaním naťahovania pružiny. K pružine pripevnime silomer. Pri natahovaní pružiny sledujeme zvyšovanie sily, ktorou pôsobíme na pružinu. Pre väčšinu pružín platí, že sila F , ktorou musíme pôsobiť na pružinu je priamo úmerná predĺženiu pružiny x .

Tuhosť pružiny

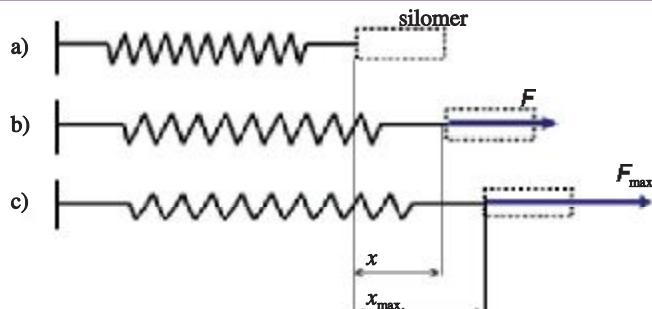
Túto skutočnosť možno vyjadriť vzťahom: $F = kx$

Konštantu úmernosti v tomto vzťahu sa nazýva **tuhosť pružiny**.

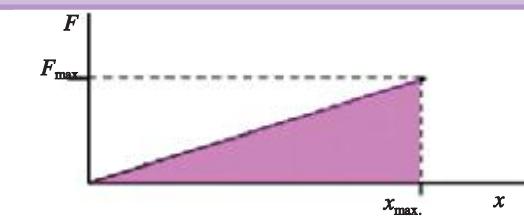




Skúsmo vypočítať, akú prácu musíme vykonať, aby sme pružinu natiahli z rovnovážnej polohy až po predĺženie x_{\max} .



Vieme, že prácu môžeme vypočítať ako dráhový účinok sily, $W = Fs$ (platí pre silu, ktorá je konštantná). Tiež vieme, že práca sa číselne rovná ploche pod grafom závislosti sily od dráhy. Keďže sila nie je konštantná, ale závisí od dráhy (predĺženia), použijeme druhý spôsob.



Z grafu vidno, že plocha pod grafom závislosti sily od predĺženia má tvar trojuholníka so základňou x_{\max} a s výškou F_{\max} . Plocha tohto trojuholníka, a teda aj práca vykonaná pri predĺžovaní pružiny z rovnovážnej polohy až po x_{\max} sa číselne rovná

$$W = \frac{1}{2} F_{\max} \cdot x_{\max}.$$

Môžeme skontrolovať aj rozmerovú korektnosť rovnice. Na ľavej strane máme J a na pravej strane N·m. Keďže 1 J = 1 N·m, rovnica je korektná. Táto práca sa premení na energiu napnutej pružiny. Pre energiu napnutej pružiny môžeme písť

$$W = \frac{1}{2} F_{\max} \cdot x_{\max} = \frac{1}{2} k x_{\max}^2.$$

Pri kmitaní vozíka pripevneného k pružine alebo závažia zaveseného na pružine dodáme oscilátoru energiu tým, že natiahneme pružinu (potiahneme závažie z rovnovážnej polohy). Po uvoľnení sa závažie vplyvom pružiny začne pohybovať. Energia pružiny sa premieňa na kinetickú energiu závažia. V rovnovážnej polohe je pružina uvoľnená, energia pružiny je nulová. Závažie má však i určitú rýchlosť, a teda aj kinetickú energiu, a preto predejde rovnovážnej polohou. Pružina začne pôsobiť proti pohybu, závažie začne spomaľovať a pružina sa začne stláčať. Kineticá energia závažia sa premieňa na energiu pružiny.



Úloha

Úvahy o zmenách energie v pružinovom oscilátore dokončite pre jednu celú períodu pohybu. Ukážte, že kinetická energia závažia sa mení s frekvenciou, ktorá sa rovná dvojnásobku frekvencie oscilátora.

Energia napnutej pružiny sa často používa ako zdroj energie. Napríklad vo vzduchovej puške (vzduchovke) ziskava brok energiu od vzduchu stlačeného uvoľnenou pružinou.

V časti 2.2 sme naznačili, že závislosť okamžitej výchyly závažia od času môžeme vyjadriť rovnicou $y = Y \sin(2\pi ft)$. Táto rovnica platí iba vtedy, ak výsledná sila pôsobiaca na teleso (na závažie) lineárne závisí od výchyly z rovnovážnej polohy $F = ky$ a je orientovaná smerom do rovnovážnej polohy. Kmitanie, ktoré splňa túto podmienku nazývame **harmonické kmitanie**. Períodu takého kmitania vypočítame podľa vzťahu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

kde m je hmotnosť závažia a k je tuhost pružiny.

Harmonické kmitanie

Spätná väzba

Pružina v pružinovom oscilátore je príkladom negatívnej spätej väzby. Pri opise technických systémov, ale aj pri opise sociálnych alebo ekonomických vzťahov často badá, že príčina vyvolá istý proces, ktorý ďalej ovplyvňuje svoju príčinu. Ak proces zosilní svoju príčinu, hovoríme o pozitívnej (kladnej) spätej väzbe. Ak proces zmierňuje vlastnú príčinu, vtedy hovoríme o negatívnej (zápornej) spätej väzbe.

Výslednica sín, ktorá pôsobí na teleso pri každom kmitavom pohybe má tú vlastnosť, že smeruje do rovnovážnej polohy. Ak zároveň jej veľkosť je priamo úmerná výchylke z rovnovážnej polohy, potom je toto kmitanie harmonické.

Úlohy

1. Vozík s hmotnosťou 450 g sme pripevnili na pružinu s tuhostou $40 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ tak, ako na obrázku v časti 2.2. Vozík vychýlime o 12 cm a uvoľníme. Vypočítajte amplitúdu rýchlosťi vozíka. Predpokladajte, že predĺženie i skrátenie pružiny je v celom rozsahu deformačie priamo úmerné výslednej sile pôsobiacej na pružinu. Zanedbajte trenie vozíka a energiu rotačného pohybu kolies vozíka.
2. Na pružinu sme zavesili závažie s hmotnosťou 150 g. Pružina sa tým predĺžila o 75 mm a ostala v pokoji. Závažie sme rukou posunuli o 25 mm nižšie a uvoľnili. Závažie začalo kmitať. Určte períodu, frekvenciu a amplitúdu kmitania. Vyslovte predpoklady, pri ktorých sú vaše výsledky správne.

Riešenie: Predpokladáme, že predĺženie pružiny je priamo úmerné výslednej sile pôsobiacej na pružinu. Potom:

$$k = \frac{F}{y} = \frac{mg}{y} = \frac{1,47}{0,075} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} = 19,6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

je tuhost pružiny.





$$\text{Periódka kmitania } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,15}{19,6}} \text{ s} = 0,54 \text{ s.}$$

$$\text{Frekvencia kmitania } f = \frac{1}{T} = 1,8 \text{ Hz.}$$

Ak ďalej predpokladáme, že kmitanie nie je tlmené, potom amplitúda kmitania sa rovná počiatočnej výchylke z rovnovážnej polohy, teda 25 mm.

- 3.** Vypočítajte rýchlosť, ktorou prejde závažie z predchádzajúcej úlohy svoju rovnovážnu polohu.

Riešenie: Pri riešení budeme vychádzať zo zákona zachowania energie. Polohovú energiu zvolíme nulovú vo výške zodpovedajúcej koncu voľne visiacej pružiny (situáciu si načrtnite).

V najnižšej polohe závažia má pružina energiu:

$$E_{\text{pmax.}} = \frac{1}{2} kx_{\text{max.}}^2 = \frac{1}{2} 19,6 \cdot 0,1^2 \text{ J} = 0,098 \text{ J}$$

Závažie má v tejto polohe polohovú energiu $mgh = -0,147 \text{ J}$. Celková mechanická energia systému v tejto polohe je $-0,047 \text{ J}$.

V rovnovážnej polohe má pružina energiu:

$$E_{\text{p0}} = \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{1}{2} 20 \cdot 0,075^2 \text{ J} = 0,0563 \text{ J}$$

Závažie má v tejto polohe polohovú energiu $-0,1104 \text{ J}$.

Celková mechanická energia systému je v tejto polohe $-0,0541 \text{ J}$.

Pri prechode závažia z najnižšej polohy do rovnovážnej polohy sa uvoľnila energia $0,007 \text{ J}$. Ak predpokladáme, že táto energia sa celá premenila na kinetickú energiu závažia $E_k = \frac{1}{2} mv^2$, dostaneme hľadanú rýchlosť:

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,007}{0,15}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

V reálnom experimente kmitá aj samotná pružina. Dobrým odhadom je pripočítanie jednej tretej hmotnosti pružiny k hmotnosti závažia.



2.4 Matematické kyvadlo

Pojem matematické kyvadlo označuje systém pozostávajúci z malého hmotného telesa voľne zaveseného na niti, ktorej hmotnosť je zanedbateľná.

Úlohy

Navrhnite a vykonajte experiment

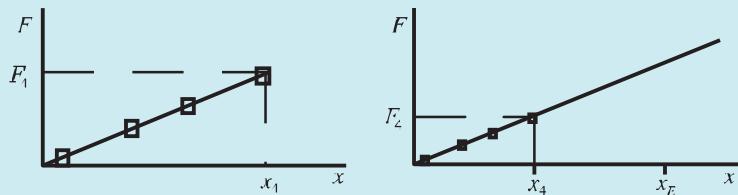


Pripravte si zdroj informácií

Extrapolácia grafu

S metódou extrapolácie sme sa už stretli pri dejoch so vzduchom. Na tomto mieste prinášame ešte jeden príklad.

Zmerali sme závislosť predĺženia pružiny od sily pôsobiacej na jeden z jej koncov. Predĺženie sme merali v intervale od 0 do x_4 . Výsledky sme zobrazili v grafe na obrázku vľavo.



Radi by sme vedeli, akou silou je potrebné pôsobiť, aby predĺženie pružiny bolo x_E , pričom hodnota x_E je mimo meraného intervalu. Graf predĺžime a pomocou neho potrebnú silu najdeme (graf na obrázku vpravo). Samozrejme, s takto získaným výsledkom musíme ďalej pracovať opatrné pretože nevieme, či sa vlastnosti pružiny pri takomto predĺžení nezmenia.

3. Gulku s hmotnosťou 149 g chceme zavesiť na nif s dĺžkou 482 cm (na schodisku školy). Vypočítajte periódus, s ktorou bude gulká kmitať okolo rovnovážnej polohy, ak ju vychýlime z rovnovážnej polohy:
 - a) o 2 dm,
 - b) o 1 dm.

Zvážte, koľko platných cifier má vaš výsledok.





- 4.** Kovová tyč s dĺžkou 1,2 m, upevnená na jednom konci, kmitá s malou amplitúdou. Hmotnosť tyče je 2,2 kg. Žiak sa na základe výsledkov z úlohy 2 pokúsil vypočítať periódus kmitania nasledovne:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{1,2}{9,81}} \text{ s} = 2,2 \text{ s}$$

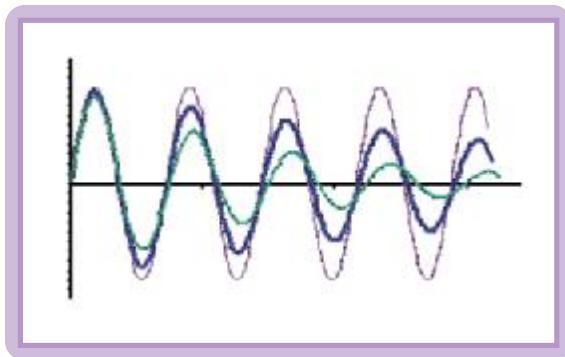
Vysvetlite, prečo nemožno týmto spôsobom počítať periódus kmitania a diskutujte či bude periódus väčšia alebo menšia ako vypočítaná hodnota.

2.5 (Tlmené a nútene kmitanie

Na grafe v časti 2.2 vidíme, že amplitúda i periódus pružinového oscilátora sú konštantné. Pri dlhom pozorovaní tohto oscilátora by sme však zbadali, že amplitúda postupne klesá. Takýto oscilátor nazývame **tlmený** a jeho kmitanie označujeme ako **tlmené kmitanie**. Mechanická energia oscilátora sa postupne mení na vnútornú energiu pružiny a okolitého vzduchu (pružina a vzduch sa mierne zahrevajú). Na obrázku máme popri grafe výchylky z rovnovážnej polohy od času pre netlmený oscilátor aj dva grafy tlmeného oscilátora. Pri jednom je tlmenie väčšie (amplitúda klesá rýchlejšie), pri druhom je tlmenie menšie (amplitúda klesá pomalšie). Ak chceme realizovať tlmené kmitanie závažia zaveseného na pružine (a namerat podobné závislosti), môžeme zvýšiť odpor vzduchu pri pohybe závažia alebo závažie ponoriť do kvapaliny (olej, voda a podobne). Podobne môžeme tlmiť aj kmitanie závažia kmitajúceho ako matematický oscilátor.

Úlohy

- 1.** Na obrázku sú tri závislosti okamžitej výchylky od času pre tri kmitania. Určte, ktorá z veličín je zobrazená na zvislej a ktorá na vodorovnej osi. Určte, ktorý z grafov zodpovedá netlmenému kmitaniu a ktorý kmitaniu s najväčším tlmením.



- 2.** Nájdite si vlastný obrázok motocykla alebo terénneho bicykla a vysvetlite úlohu strún pérovania a tlmičov pérovania.

Ak chceme aby sa amplitúda nezmenšovala, musíme oscilátoru energiu dodávať. Dodávať ju môžeme napríklad tak, že vždy pri dosiahnutí amplitúdy závažie potiah-





neme až do polohy, ktoréj zodpovedala predchádzajúca amplitúda. Skúmajme takéto nútene kmitanie na príklade závažia zaveseného na pružine, pričom závažie bude nútí kmitať magnetickou silou. Príklad takejto zostavy máme na obrázku.

Na pružinu sme zavesili závažie, ktoré obsahuje aj magnet. Pod závažie sme umiestnili cievku. K cievke pripojíme zdroj jednosmerného prúdu so spínačom. Spínač budeme spínať v pravidelných časových intervaloch rukou alebo elektronicky.



Nechajme závažie pokojne visieť v rovnovážnej polohe. Keď zopneme spínač spozorujeme, že na závažie pôsobí magnetická sila. Magnetická sila iba veľmi mierne vychýli závažie z rovnovážnej polohy. Po vypnutí sa závažie vráti späť do rovnovážnej polohy, takmer nekmitá.

Zvolme si istú frekvenciu a spínajme spínač s touto frekvenciou. Vidíme, že oscilátor sa rozkmitá s touto istou frekvenciou, pričom amplitúda kmitania sa ustáli na istej hodnote. Ak budeme tento experiment opakovať s rôznymi hodnotami frekvencie, amplitúda ustáleného kmitania sa bude meniť.

Dôležitou charakteristikou núteneho kmitania je frekvencia, s akou energiu do oscilátora dodávame (inak povedané frekvencia vynucujúcej sily). Táto môže byť rovnaká ako frekvencia tlmeného oscilátora (vlastná frekvencia oscilátora), ale môže byť aj iná.

Nútene kmitanie

Kmitanie, pri ktorom do oscilátora dodávame energiu nazývame nútene kmitanie.

Experiment s rezonanciou

Naplánujte experiment

Generátor kmitania nútí oscilátor kmitať. Oscilátor vždy kmitá s frekvenciou rovnakou ako generátor. Ak sme generátor nechali kmitať s rovnakou frekvenciou ako je vlastná frekvencia oscilátora, amplitúda kmitania bola najväčšia. Hovoríme, že oscilátor sa dostal do **rezonancie**, niekedy spresníme, že do rezonancie s generátorom.

Úlohy

1. Naplánujte a vykonajte experiment s aparátúrou z predchádzajúceho obrázka.
2. Na napnutú nit zaveste niekoľko predmetov podobne, ako je to na obrázkoch. S určitou frekvenciou klepte po niti pri jednom z bodov zavesu a pozorujte kmitanie.

Pozorujte





tanie predmetov. Meňte frekvenciu klepkania a pozorujte, ktoré predmety sa dostávajú do rezonancie.



Na obrázku je učebná pomôcka na pozorovanie rezonancie. Skladá sa z pevne spojených pružných kovových pásikov. Keď ju uchopíme do ruky a rukou kmitáme dostane sa do rezonancie vždy iný kovový pásik. Pozorujte tento jav.

Rezonancia je často nebezpečným javom. Efektne možno vyzerá rozbitie skleného pohára vhodným zdrojom zvuku. Avšak stroj vydávajúci zvuk – chvenie s frekvenciou rovnakou ako frekvencia nášho srdca nám môže spôsobiť neprijemnosti. Všetky časti nášho tela sú do istej miery pružné a môžu sa za istých okolností dostať do rezonancie s vonkajším prostredím. Ochrana človeka pred takýmito zdrojmi chvenia je dôležitou súčasťou návrhu konštrukcie strojov. Akú frekvenciu má mal hrot zbijáčky aby rozbil betónový chodník, ale aby neublížil robotníkovi pri práci? To je iba jeden príklad z úloh, ktoré riešia tímy inžinierov špičkových výrobcov strojov.

Nebbezpečná rezonancia



Jeden z najrozšírenejších strojov na svete 'automobil' je tiež sústavou súčiastok. Tieto sa na jednej strane musia periodicky pohybovať, ale na druhej strane musia byť čo najtichšie.

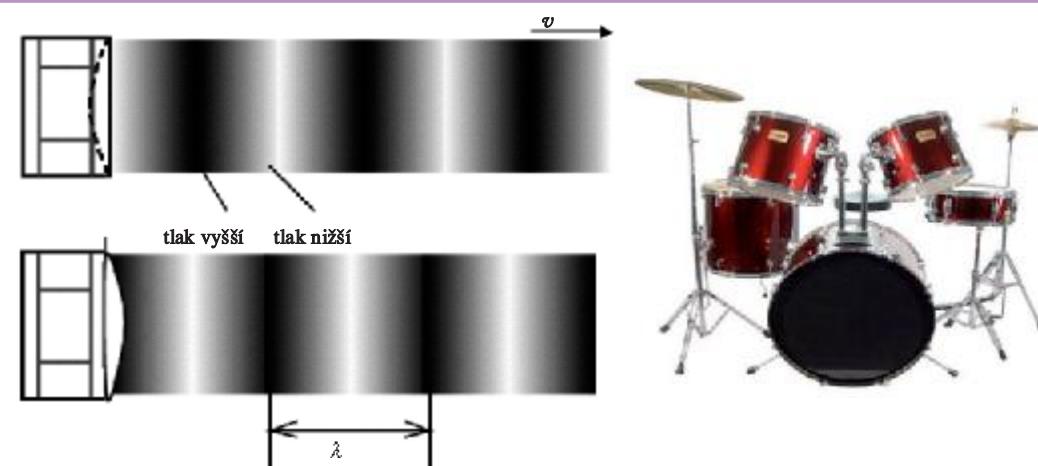
Prepravte si zdroj informácií

Na obrázku je neslavné známy most v Takome v USA, ktorý sa vplyvom rezonancie tak rozkýval, až sa zrútil. V súčasnosti je rezonancia javom, ktorý musí brať do úvahy každý tím architektov navrhujúcich výškové budovy, mosty alebo stožiare. Vyhladajte rok, v ktorom sa táto katastrofa stala.



2.6 (Zvuk

Kmitanie niektorých oscilátorov je možné počuť. Napríklad kmitanie membrány bubna alebo reproduktora. Na to, aby sme kmitanie membrány bubna počuli, musí



mať frekvenciu z istého intervalu a tiež istú minimálnu amplitúdu. Ak kmitajúce teleso vyvoláva zvuk, hovoríme, že je zdrojom zvuku. Samotný zvuk však už nie je kmitaním. Zvuk sa v priestore šíri, kmitanie jednej oblasti priestoru vyvoláva kmitanie okolitých oblastí. Pri pohybe membrány bubna dozadu vzniká pred membránou oblasť s nižším tlakom vzduchu, táto oblasť vyvoláva zniženie tlaku vzduchu v oblasti dalej od bubna a takto sa oblasť s nižším tlakom šíri. Hovoríme, že vzduch





je pružné prostredie a umožňuje šírenie zvuku. Pri pohybe membrány dopredu vzniká pred membránou oblasť s vyšším tlakom, ktorá sa tiež šíri. Pri kmitaní bubna sa teda šíria striedavo oblasť s nižším a vyšším tlakom vzduchu. Hovoríme, že od membrány sa šíri vlnenie.

Na opis vlnenia potrebujeme definovať ďalšie fyzikálne veličiny: vlnovú dĺžku a rýchlosť vlnenia.

Vlnová dĺžka zvuku λ je vzdialenosť medzi dvoma susednými oblastami s maximálnou kladnou zmenou tlaku vzduchu.

Používajme terminológiu

Rýchlosť zvuku v je rýchlosť, ktorou sa pohybuje oblasť s maximálnou kladnou zmenou tlaku vzduchu.

Pri šírení zvuku vzduchom môžeme hovoriť, že veličinou, ktorá kmitá je tlak vzduchu. Ak do istého miesta v priestore umiestníme mikrofón, bude zaznamenávať zmeny tlaku vzduchu. Pri opise vlnenia používame fyzikálne veličiny, ktoré sa vyskytujú aj pri opise kmitania – **periódā, frekvenciu a amplitúdou**.

Amplitúda Y je maximálna kladná zmena tlaku vzduchu.

Periódā zvuku T je časový interval, ktorý uplynie od prechodu jednej amplitúdy (oblasti s maximálnou kladnou zmenou tlaku vzduchu) istým miestom po prechode najbližšej ďalšej amplitúdy.

Frekvencia zvuku f je počet amplitúd (oblasti s maximálnou kladnou zmenou tlaku vzduchu), ktoré prejdú istým miestom za jednotku času.

Vlna prejde vzdialenosť jednej vlnovej dĺžky za jednu periódę, teda

$$\lambda = vT$$

Rýchlosť zvuku vo vzduchu závisí od vlastností vzduchu. Rýchlosť zvuku najviac ovplyvňuje teplota vzduchu. Platí:

$$\{v\} = 331 + 0,6 \{t\}$$

Rýchlosť zvuku

kde v je hodnota rýchlosťi zvuku v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a t je teplota vzduchu v $^{\circ}\text{C}$.

Rovnicu čítame: „číselná hodnota rýchlosťi v metroch za sekundu sa rovná 331 plus 0,6 krát číselná hodnota teplotty v stupňoch Celzia“.

Mohli by sme sa pokúsiť o definíciu zvuku:

Zvuk je vlnenie vzduchu s frekvenciou z intervalu od 20 Hz do 20 kHz s dostačne veľkou amplitúdou.

Náš pokus o definíciu zvuku nie je celkom korektný. Použili sme nepresný pojem „dostatočne veľká amplitúda“ a zvuk sme obmedzili iba na vzduch. Zo skúsenosti však vieme, že zvuk sa šíri aj v iných prostrediach, napríklad vo vode. O presnejšiu definícii zvuku sa v tejto učebnici už nebudeme pokúšať. Zapamäťáme si iba to, že zvuk má frekvenciu z intervalu od 20 Hz po 20 kHz. Zvuku podobné vlnenie s nižšou frekvenciou budeme nazývať infravzvuk, s vyššou frekvenciou ultravzvuk.



Frekvencie, ktoré sme tu uviedli súvisia s fyziologiou človeka. Ľudia počujú najlepšie zvuk s frekvenciou od 100 Hz po 16 kHz, starší ľudia majú tento interval ešte menší. Naopak, niektoré zvieratá používajú pri svojej komunikácii aj výrazne vyššie frekvencie, teda ultrazvuk.

Prostredie	Rýchlosť zvuku/m·s ⁻¹
Vzduch 20°C	340
Vákuum	nešíri sa
Helium	1 000
Voda	1 440
Tvrde drevo	4 000
Oceľ	5 000
Sklo	4 500

Rýchlosťi zvuku v niektorých prostrediah sú uvedené v tabuľke.

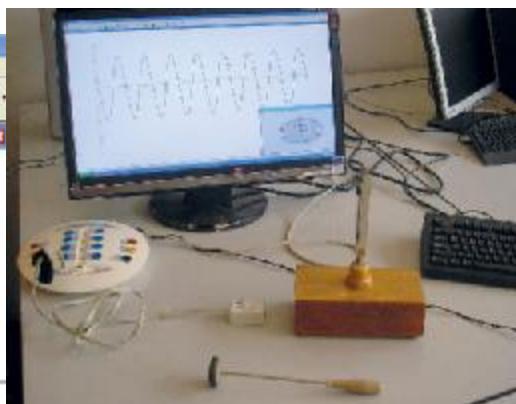
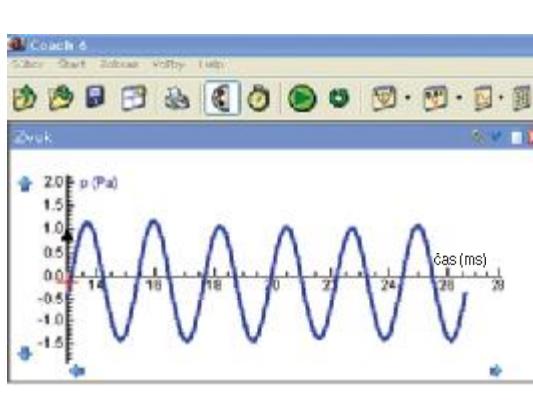


Zobrazme zvuk

Osciloskop

Na zobrazenie vlastností zvuku sa nám ponúkajú veličiny: **tlak vzduchu, poloha bodu v priestore a čas**. Zariadenie, ktorým zobrazujeme časové priebehy fyzikálnych veličín (v tomto prípade tlaku vzduchu), nazývame **osciloskop**. Meranú fyzikálnu veličinu zmeníme senzorom na elektrické napätie, ktoré vychýluje bod v smere zvislej osi. Na vodorovnej osi je zvyčajne zobrazený čas. V školskej fyzike používame ako osciloskop počítač s vhodným softvérom a externým zariadením (interfejsom niekedy postačuje mikrofón priamo pripojený k počítaču).

Závislosť tlaku vzduchu od času v istom bode prostredia sme zobrazili pomocou mikrofónu, ktorý sme pripojili k osciloskopu.





Zvuk podobným spôsobom zobrazujeme aj pri práci so zvukovými súbormi. Na obrázku je softvér na spracovanie zvukovej aj obrazovej stopy v editore videozánamu.



Úlohy

- Určte frekvenciu zvuku meraného osciloskopom z predchádzajúceho textu.

Riešenie: Z grafu odčítame časový interval zodpovedajúci 5 periódam, získame hodnotu $(24 - 13) \text{ ms} = 11 \text{ ms}$. Z toho $T = \frac{5T}{5} = \frac{11 \cdot 10^{-3}}{5} \text{ s} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$. Z toho frekvencia $f = \frac{1}{T} = 454 \text{ Hz} (= 4,5 \cdot 10^2 \text{ Hz})$.

- Zobrazte svoj vlastný zvuk. Zobrazte tú istú samohlásku vyslovenú rôznymi spoľužiacmi alebo ten istý tón vydaný rôznymi hudobnými nástrojmi.
- Pravidlo hovorí, že ak vydelíme počet sekúnd medzi bleskom a príslušným hrmením troma, dostaneme vzdialosť, v ktorej udrel blesk. Táto vzdialosť je v jednotkách kilometer. Vysvetlite toto pravidlo.

Riešenie: Rýchlosť zvuku je $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, teda zvuk prejde približne 1 000 m za 3 s. Čas, za ktorý príslušnú vzdialenosť prejde svetlo je zanedbateľný.

2.7 (Prenos energie vlnením

Po vhodení kameňa do jazera sa z miesta dopadu šíri kruhová vlna tak, ako na obrázku. Vlna sa tiež šíri pozdĺž hadice v záhrade, ak jej koncom kmitáme zhora nadol. Vlna na vodnej hladine, vlna na hadici a zvuk sú príkladmi **mechanického vlnenia**. Neskôr sa môžeme zaoberať aj inými druhmi vlnenia – napríklad svetlom, elektromagnetickým vlnením zabezpečujúcim prenos signálu pri telefonovaní mobilným telefónom alebo vlnením opisujúcim niektoré vlastnosti letiaceho elektrónu.





Ak sedíme na brehu jazera môže sa nám zdáť, že vlny, ktoré sa šíria smerom k brehu, prinášajú naň vodu. Nie je to však celkom tak. Vlny sa šíria istou rýchlosťou od svojho zdroja a časti vodnej hladiny iba kmitajú okolo rovnovážnej polohy. **Vlna na vodnej hladine nespôsobuje pohyb listu padnutého na hladinu v smere jej šírenia.** List iba kmitá okolo rovnovážnej polohy. Toto je všeobecná vlastnosť postupného vlnenia.



Postupné vlnenie

Postupné vlnenie sa môže šíriť na veľké vzdialenosť, ale prostredie (voda, hadica, molekula vzduchu) koná iba obmedzený pohyb – bod prostredia kmitá okolo rovnovážnej polohy. Vlnenie sa šíri bez toho, aby so sebou nieslo aj časti prostredia.

Úloha

Pomenujte čo najviac druhov vlnení. Uvedte, akým spôsobom využívame prenos energie prostredníctvom jednotlivých druhov vlnení.

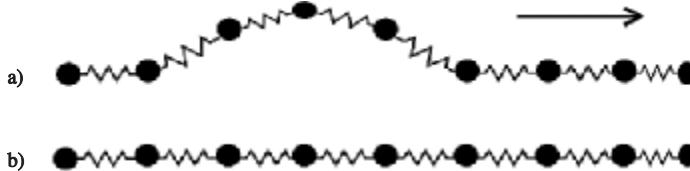
Kmitnime jedným koncom lana nahor a nadol. Na lane vznikne jedna samostatná „vlnka“, jeden kopček šíriaci sa lanom. Budeme ho nazývať **vrch ak je jeho výchylka v jednom smere a **dol** pri opačnej výchylke. Ak koncom lana kmitáme spojite, dostaneme spojité vlnenie.**

Zdrojom postupného vlnenia je kmitajúca časť prostredia a **pružné prostredie** spôsobuje, že sa vlnenie šíri. Mechanické vlnenia sa môžu šíriť iba v pružných prostrediacich, teda v takých, v ktorých existujú väzbové sily medzi časticami prostredia. Kmitanie jednej častice sa väzbovými silami prenáša na vedľajšie častice.





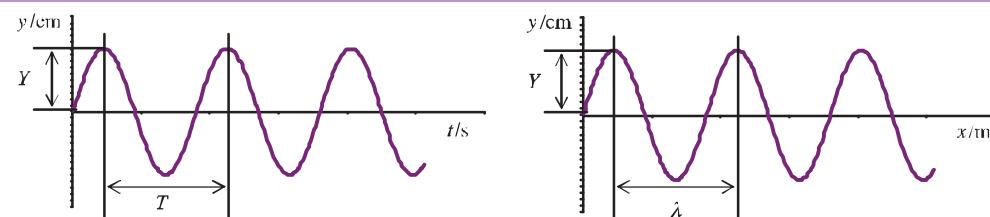
Na obrázku je model lana. Na modeli je znázorených niekoľko bodov. Väzby medzi bodmi sú znázorené pružinami. Na obr. b) sú všetky body v rovnovážnych polohách, lano je v pokoji. Na obr. a) sa lanom šíri vrch. Smer šírenia vlny je zná-



zornený šípkou, zlava doprava. Uvedomte si, ktoré z bodov sú v pokoji a ktoré sa pohybujú. Aký je smer pohybu týchto bodov? Šírila by sa naším modelom energia aj keby sme niektorú z pružín odstránili?

Ak zdroj kmitá harmonicky a prostredie je dokonale pružné, aj vzniknuté vlnenie je **harmonické**. Ak sa na takéto vlnenie pozrieme v ľubovoľnom okamihu (napríklad ak takéto vlnenie odfotíme), vlnenie má tvar sínusoidy. Na druhej strane, ak sa pozrieme na pohyb jedného bodu, grafom závislosti jeho výchylky z rovnovážnej polohy od času je tiež sínusoida.

Harmonické vlnenie



Rýchlosť vlny závisí od vlastností prostredia, v ktorom sa šíri. Napríklad rýchlosť vlny na napnutom špagáte (drôte) závisí od jeho napnutia a od dĺžkovej hustoty (hmotnosti prípadajúcej na jeden meter) špagátu. Rýchlosť vlny závisí aj od typu vlny, teda od toho či je vlnenie priečne alebo pozdĺžne. Posledné dva spomenuté pojmy si vysvetlíme v nasledujúcej časti.

Spôsob výpočtu rýchlosťi vlnenia v niektorých prostrediach uvádzame v tabuľke.

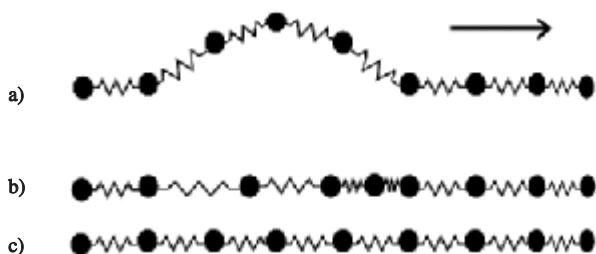
Prostredie	Rýchlosť vlnenia
Plyn, pozdĺžne vlnenie	$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$, kde γ je vlastnosť plynu, ktorou sa v tejto učebnici nebudeme zaoberať, p je tlak plynu a ρ je hustota plynu.
Tyč, pozdĺžne vlnenie	$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, kde ρ je hustota materiálu. Veličina E sa dá zmerať tak, že sa pokúsime tyč natiahnuť. E je podiel normálkového napäťia a relatívneho predĺženia, pričom normálkové napätie je podiel sily, ktorou tyč napíname a prierezu tyče. Relatívne predĺženie je podiel predĺženia tyče a jej pôvodnej dĺžky.
Napnutý drôt, priečne vlnenie	$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, kde F je napínacia sila a μ je hmotnosť jedného metra drôtu.



2.8 Priečne a pozdlžne vlnenie

Pozdlžne vlnenie,
priečne vlnenie

Ako sme doteraz videli, aj keď sa vlny môžu šíriť na veľké vzdialenosť, časti prostredia sa pohybujú iba obmedzene. Ked sa vlna šíri pozdlž lana tak, že časti lana kmitajú nahor a nadol kolmo na lano ako na obr. a), potom takéto vlnenie nazývame **priečne vlnenie**. Ked časti prostredia kmitajú v smere šírenia vlnenia, ako na obr. b), potom ho nazývame **pozdlžne vlnenie**. Pri pozdlžnom vlnení sa šíria za sebou oblasti zhusteného a zriedeneho prostredia.



V tekutých prostrediah sa môže šíriť iba pozdlžne vlnenie. Na rozhraní dvoch prostredí (napríklad na vodnej hladine) sa môže šíriť priečne i pozdlžne vlnenie. Vtedy sa zvyčajne časti vody pohybujú po kružnici, prípadne po elipse. V tuhých telesách sa tiež môžu šíriť obidva typy vlnenia.

Všetky doteraz spomenuté typy vlnenia nazývame postupné vlnenie. Okrem nich existuje aj stojaté vlnenie – priečne i pozdlžne. Týmto vlnením sa budeme zaoberať neskôr.

Úloha

Na obrázku je graf závislosti výchylky od polohy pre pozdlžne vlnenie v istom okamihu. Označte osi grafu. Načrtnite si obrázok do zošita (pričom amplitúdu zachovajte menšiu, ako štvrtina vlnovej dĺžky) a do obrázka naznačte skutočné polohy častic prostredia. Naznačte minimálne 9 bodov. Ktoré z bodov majú v tomto okamihu nulovú výchylku z rovnovážnej polohy?



Myšlienkový experiment

Vykonajme myšlienkový experiment: Predstavme si rad bodov pospájaných pružnými väzbami. Ak chceme vytvoriť pozdlžne vlnenie, kmitáme zdrojom v smere radu bodov. Môžeme kmitať s určitou amplitúdou a s určitou frekvenciou.

Ak chceme vytvoriť priečne vlnenie, máme možnosť viac. Môžeme kmitať nahor a nadol, alebo dopredu a dozadu, alebo rôznymi kombináciami týchto kmitaní.





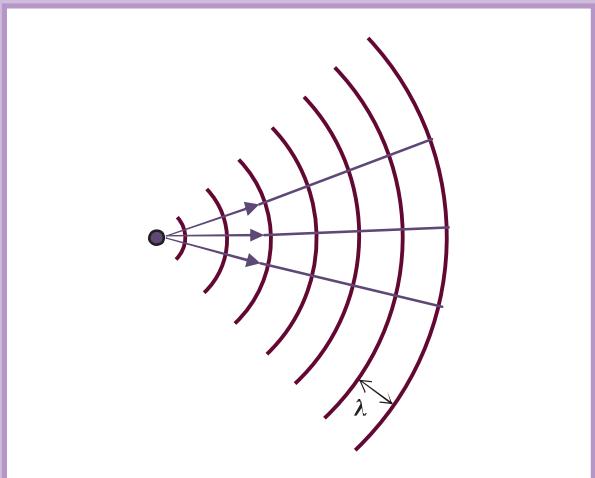
Priečne vlnenie vznikne, ak kmitáme zdrojom akokoľvek kolmo na smer radu bodov. Ak kmitáme zdrojom iba po jednej úsečke, celé vytvorené vlnenie bude iba v jednej rovine danej touto úsečkou a smerom radu bodov. Takéto vlnenie nazývame **polarizované**, presnejšie **rovinné polarizované**. Polarizácia má uplatnenie najmä v súvislosti so svetlom a spomenieme ju v optike.

2.9 (Vlnenie v rovine a v priestore)

Na nasledujúcim obrázku máme zvuk zobrazený iným spôsobom. V istom okamihu sme zobrazili body v priestore, v ktorých má tlak vzduchu amplitúdu. Takéto množiny bodov nazývame **vlnoplochy**. Ak sú vzduch aj zdroj zvuku v pokoji, potom tieto body tvoria sústredné kružnice. Orientované čiary vychádzajúce zo zdroja na obrázku sú lúčmi. Lúč vlnenia je vždy kolmý na vlnoplochy a určuje smer šírenia vlnenia.

Vlnoplocha

Lúč



V jednej z predchádzajúcich častí sme spomenuli fázu kmitavého pohybu (vyhľadajte túto informáciu). Vlnoplochu môžeme definovať pomocou tohto pojmu ako množinu bodov, ktoré kmitajú s rovnakou fázou. Pri grafickom znázorňovaní najčastejšie zakresľujeme tie vlnoplochy, pri ktorých je okamžitá výchylka maximálna kladná. Tak sme to spravili aj na predchádzajúcim obrázku. Vzájomná vzdialenosť susedných vlnoplôch sa potom rovná vlnovej dĺžke vlnenia.

Úloha

V prostredí, ktoré je homogénne (má rovnaké vlastnosti vo všetkých svojich časťach) a zároveň izotropné (vlnenie sa v ňom šíri rovnako všetkými smermi), sú vlnoplochy vlnenia od bodového zdroja sústredne guľové plochy. Vysvetlite túto skutočnosť.

Homogénne prostredie,
izotropné prostredie



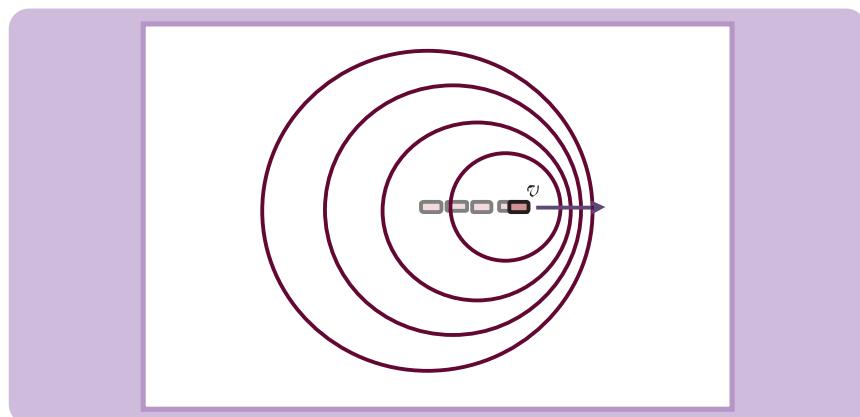
2.10 (Dopplerov jav

Skúsmo sa započúvať do zvuku okolo idúceho automobilu. Približujúce sa auto počujeme inak, ako auto, ktoré sa vzdaluje. Tento jav prvýkrát vysvetlil J. C. Doppler a svoje vysvetlenie publikoval v roku 1842.

Pohybujúci sa zdroj

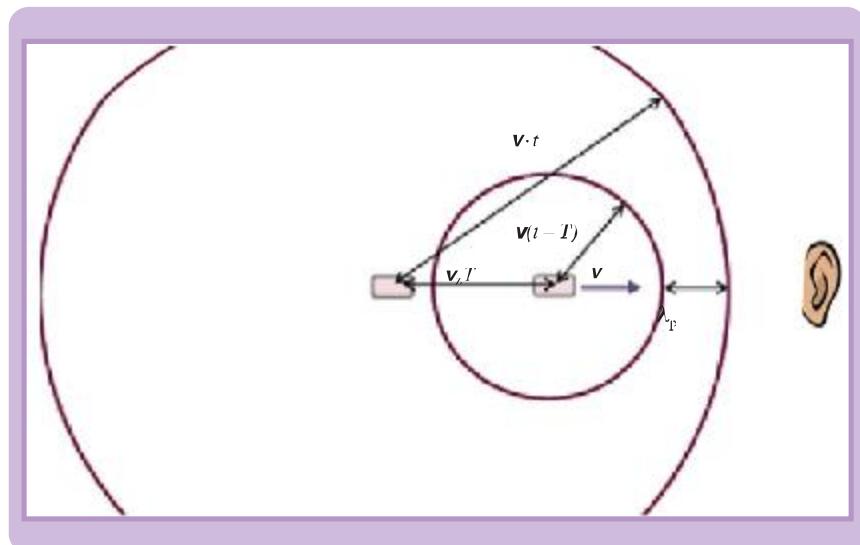
Predstavme si sanitku pohybujúcu sa priamo smerom k pozorovateľovi. Siréna sanitky vysiela zvuk s určitou frekvenciou na všetky strany rovnako. Tento zvuk sa šíri vzduchom istou rýchlosťou, ktorá nezávisí od pohybu sirény.

Vlnoplochy, ktoré sa šíria pred sanitkou sú hustejšie, ako vlnoplochy za sanitkou. Okolo pozorovateľa stojaceho pred sanitkou prejde za jednotku času viac vlnoplôch, než okolo pozorovateľa za sanitkou, a teda frekvencia, ktorú počuje pozorovateľ pred sanitkou je vyššia.



Zdroj pohybujúci sa k pozorovateľovi

Pokúsmo sa odvodiť vzťah na výpočet frekvencie, ktorú počuje pozorovateľ stojaci pred sanitkou. Pomôžeme si obrázkom, v ktorom zobrazíme dve susedné vlnoplochy (zodpovedajúce maximálnej kladnej výchylke).





Predstavme si pozorovateľa. Jedna z polôh zdroja je v strede väčšej vlnoplochy, druhá v strede menšej vlnoplochy. Okolo pozorovateľa sa šíri zvuk s vlnovou dĺžkou λ_p . Frekvencia, ktorú počuje pozorovateľ je teda $f = \frac{v}{\lambda_p}$, kde v je rýchlosť šírenia zvuku vo vzduchu. Musíme ešte nájsť λ_p .

Pretože vlnoplochy sú susedné, prvá z nich vznikla o jednu periódu skôr ako druhá. Teda vzdialenosť medzi dvoma polohami zdroja na obrázku je $v_z T$. Vzdialenosť vt sa rovná súčtu vzdialostí $v_z T + v(t - T) + \lambda_p$ (toto je najpodstatnejšia časť odvodenia, dobre si tento krok premyslite). Môžeme písat:

$$\lambda_p = vT - v_z T = \lambda - v_z = \frac{\lambda}{v} = \lambda \left[1 - \frac{v_z}{v} \right]$$

$$f_p = \frac{v}{\lambda_p} = \frac{v}{\lambda \left[1 - \frac{v_z}{v} \right]} = \frac{v}{\frac{v}{f} \left[1 - \frac{v_z}{v} \right]} = f \frac{v}{v - v_z}$$

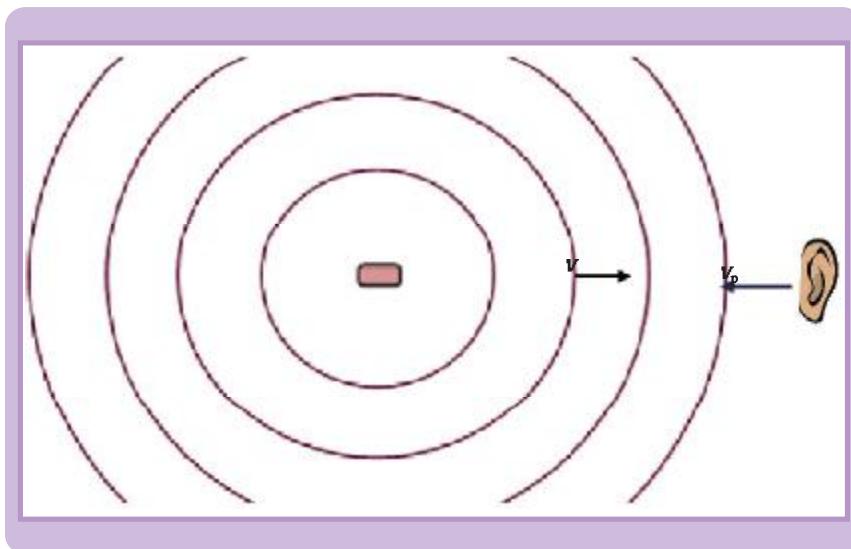
Úloha

Diskutujte o výslednom vzťahu, ktorý sme práve odvodili. Do zošita si napíšte význam symbolov f_p, f, v, v_z . Pokúste sa upraviť odvodenie v prípade, že pozorovateľ stojí za sanitkou.

Zdroj pohybujúci sa od pozorovateľa

Doteraz sme sa zaoberali situáciou, keď sa zdroj vzhľadom na prostredie pohyboval a pozorovateľ bol vzhľadom na prostredie v pokoji. Dopplerov jav nastáva aj v prípade, keď je zdroj v pokoji a pohybuje sa pozorovateľ. V tomto prípade sa vlnoplochy šíria ako sústredné kružnice. Vzájomná vzdialenosť vlnoplôch sa rovná vlnovej dĺžke. Avšak rýchlosť šírenia vlnenia vzhľadom na pozorovateľa závisí od jeho pohybu (vzhľadom na prostredie).

Pohybujúci sa pozorovateľ



Napríklad ak sa pozorovateľ pohybuje priamo k zdroju, vzájomná rýchlosť pozorovateľa a vlnoplôch je $v + v_p$. Pozorovateľ teda počuje zvuk s frekvenciou

$$f_p = \frac{v + v_p}{\lambda} = f \frac{v + v_p}{v}$$

Pozorovateľ pohybujúci sa k zdroju



Pozorovateľ pohybujúci sa od zdroja

Ak sa pozorovateľ pohybuje smerom od zdroja, počuje zvuk s frekvenciou

$$f_p = \frac{v - v_p}{\lambda} = f \frac{v - v_p}{v}$$

Dopplerov jav nastáva aj pri iných druhoch vlnenia. Známy je tzv. červený posun v astrofyzike. Dopplerov jav sa využíva v radaroch na meranie rýchlosť automobilu, a tiež v medicíne pri zobrazovaní pomocou ultrazvuku.

2.11 Príklady využitia Dopplerovho javu

Radar

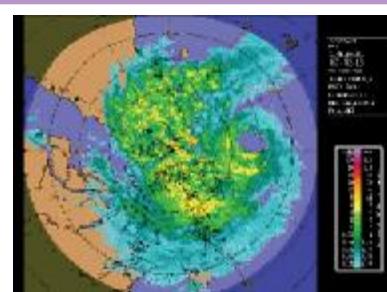
Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej časti, Dopplerov jav nastáva aj pri iných vlneniach, ako je zvukové. Príkladom je meranie rýchlosť auta pomocou radaru. Radar vysiela elektromagnetické vlnenie v oblasti rádiovln (s frekvenciou okolo 34 GHz). Po nasmerovaní radaru sa vyslané vlnenie odráža od skúmaného objektu, v našom prípade od auta. Frekvencia prijatého vlnenia sa zaznamenáva. Ak sa auto pohybuje smerom k radaru, prijímač (radar) nameria vyššiu frekvenciu ako bola pôvodná frekvencia vyslaného vlnenia. Čím rýchlejšie sa auto pohybuje, tým vyššia je nová frekvencia. Na základe rozdielu frekvencií, v dôsledku Dopplerovho javu, počítač vo vnútri radaru vypočíta rýchlosť auta. Nevýhodou je krátka meracia schopnosť, iba do 60 m, avšak meranie je možné realizovať aj z pohybujúceho sa policajného auta.



Novinku v oblasti policajných meračov rýchlosť áut predstavuje lidar (Light Detection And Ranging). Ide o zariadenie, ktoré vysiela infračervené žiarenie z laseru. Lidar nevyužíva Dopplerov posun frekvencie samotného žiarenia. V priebehu pol sekundy vyše 100 impulzov žiarenia a meria časové intervaly medzi prijatými impulzmi. Lidar dokáže určiť rýchlosť auta s pomerne veľkou presnosťou. Jeho veľkou prednosťou je schopnosť merať rýchlosť auta nachádzajúceho sa až do vzdialenosťi 1 800 m.

Dopplerov jav v meteorológii

Meteorológovia vo svojej praxi tiež používajú radar, ktorý využíva





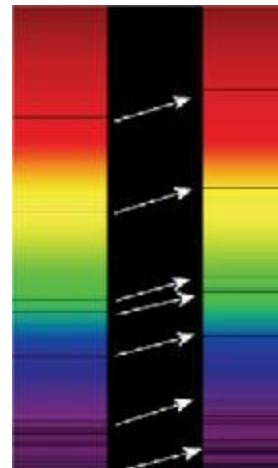
Dopplerov jav. Funguje na veľmi podobnom princípe ako policajný radar. Rádiové vlnenie sa odráža od daždových kvapiek, čo spôsobí zmenu prijímanej frekvencie signálu. Časový rozdiel medzi vyslaním a prijatím signálu určuje polohu zrážok. Posun frekvencie určuje ako rýchlo sa napríklad približuje búrka a v akom smere.

Echolokácia – netopier, delfín

Netopier vysiela ultrazvukové vlnenie, ktoré sa odráža od predmetov a objektov nachádzajúcich sa vo vzduchu. Podobne ako napr. spomínaný lidar, vie netopier určiť, v akej vzdialosti od neho sa nachádza nejaká potrava. Ale nielen to. Po odraze sa vyslané vlnenie vracia späť k netopierovi, ktorý vníma aj zmenenú frekvenciu ultrazvukového vlnenia, čím získava predstavu o okolitom svete bez toho, aby využíval zrak. Vie určiť, kde sa nachádza napríklad hľadaný hmyz, akým smerom letí a vie takisto určiť, či sa pohybuje smerom k nemu alebo od neho – na základe Dopplerovho javu. V učebnici biológie ste sa mohli dočítať, že echolokáciu používa aj delfín na lovenie koristi.

Červený posun v astronómii

Rýchlosť vzdialých galaxií je tiež možné určiť pomocou Dopplerovho javu. Spektrálne čiary v svetle zo vzdialých galaxií sú posunuté smerom k nižším frekvenciám, čo nám naznačuje, že galaxie sa musia pohybovať smerom od nás. Toto sa nazýva červený posun, keďže červená farba má najnižšiu frekvenciu z viditeľného spektra svetla. Zistilo sa, že čím sú galaxie dalej od nás, tým sa pohybujú rýchlejšie, čo sa vysvetluje rozpínaním vesmíru.



Ultrazvuk v medicíne

Ultrazvuk v spojení s Dopplerovým javom sa používa napríklad pri skúmaní prúdenia krvi v cievach alebo pri meraní pulzu srdca plodu v tele matky. Avšak najznámejšie využitie ultrazvuku v medicíne je založené na jednoduchšom princípe. Ultrazvuk sa odráža od rozhraní jednotlivých prostredí, ktorými prechádza. Ultrazvuk, ktorý sa využíva pri zobrazovaní plodu v tele matky prechádza z vysieláča jednotlivými vrstvami a z rozhraní medzi nimi sa odráža. Prijímač zachytáva odrazené ultrazvukové signály a pripojený počítač meria časový interval medzi vyslaním a prijatím signálov. Rýchlosť ultrazvuku v jednotlivých častiach ľudského tela sú známe, a teda je možné vypočítať vzdialenosť jednotlivých rozhraní od senzora. Výkonný počítač dokáže spracovať veľké množstvo takýchto signálov a v reálnom čase vytvoriť z obrazov rozhrania, ktoré nás zaujíma, videozáZNAM. Systém bol patentovaný v rokoch 1984-1987. Na obrázku je jedno z najmodernejších zariadení pracujúcich na tomto princípe vyvinuté firmou SIEMENS.





Úlohy

1. Netopier v pokoji vysiela ultrazvukové vlnenie s frekvenciou $43,2\text{ kHz}$. Vlnenie sa odráža od automobilu, pohybujúceho sa rýchlosťou $21\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ smerom k nemu. Akú frekvenciu ultrazvuku zachyti netopier?

Riešenie: V tomto príklade sa uplatňujú až dva Dopplerove posuny frekvencie. V prvom prípade sa pohybujúci objekt správa ako pohybujúci sa pozorovateľ vzhľadom na zdroj vlnenia v pokoji. Pozorovateľ zaznamená zmenenú frekvenciu f_1 , ale následne sa pohybujúci objekt stáva zdrojom vlnenia – odrazeného smerom k stacionárному pozorovateľovi – netopierovi. Ten zachytí výslednú frekvenciu f_2 .

$$f_1 = f \frac{v + v_p}{v} \quad f_2 = f_1 \frac{v}{v - v_r}$$

$$f_1 = f \frac{v + v_p}{v - v_s} = 43,2 \cdot 10^3 \frac{340 + 21,0}{340 - 21,0} \text{ Hz} = 48,9 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 48,9 \text{ kHz}$$

- 2. Podobne ako lidar pracuje aj školský senzor vzdialenosťi. Vyšle ultrazvukový signál a meria čas, za ktorý sa signál odrazený od prekážky vráti späť k senzoru. Takéto meranie vie senzor uskutočniť niekoľkokrát za sekundu. Predstavme si, že by sme chceli merať vzdialenosť týmto senzorom vzdialenosť 50-krát za sekundu. Odhadnite maximálnu meranú vzdialenosť.**

Riešenie: Signál, ktorý bol vyslaný zo senzora sa musí dostat k prekážke, odrazíť sa a dostať sa späť k senzoru. Na celý tento proces má k dispozícii maximálne 0,02 s (ak chceme merať 50-krát za sekundu). Po tomto čase je vyslaný ďalší signál a senzor nevie rozlišiť, ktorý zo signálov práve prijal. Za 0,02 s zvuk prejde vzdialenosť 6,8 m, teda prekážka môže byť vo vzdialosti maximálne 3,4 m.

3. Ked sa približuje parná lokomotíva, frekvencia zvuku, ktorý vydáva sa rovná 538 Hz. Ked sa vzdaluje, frekvencia sa zmení na hodnotu 486 Hz. Akou rýchlosťou sa pohybuje lokomotíva? Uvažujte, že rýchlosť je konštantná.

4. Stacionárny radar zaznamenal rýchlosť oproti idúceho auta 60 km/h. Akú frekvenciu odrazeného rádiového vlnenia zachytil radar, ak pôvodný signál bol vyslaný s frekvenciou 34 GHz (rýchlosť rádiového vlnenia vo vzduchu $v = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)?



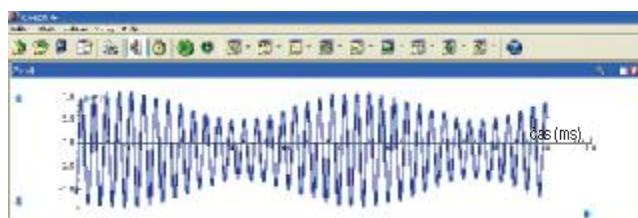
2.12 (Superpozícia vlnení, rázy

Už sme zobrazovali vlnenie zo zdroja harmonického zvuku. Vezmíme si dva zdroje zvuku, ktoré majú takmer rovnakú frekvenciu. Najprv rozozvučme jeden zdroj, potom druhý zdroj. Rozdiel frekvencií nepočujeme. Ak však rozozvučíme obidva zdroje súčasne, počujeme zaujímavý jav. Frekvencia počutého zvuku je rovnaká ako frekvencia jednotlivých zdrojov, ale amplitúda sa v čase mení. Hovoríme, že sme vytvorili zvukové rázy.

Rázy

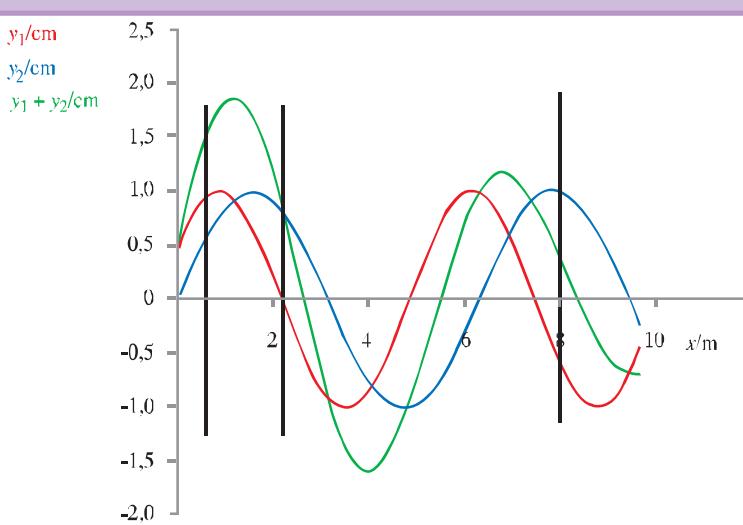


Výsledné vlnenie bude mať tvar ako je to znázomené na nasledujúcom obrázku:



Tvorba rázov je príkladom superpozície dvoch vlnení. Pojem superpozícia vlnení označuje skladanie vlnení. Dve vlnenia rovnakého typu v tom istom prostredí možno sklaďať tak, že výchylku v istom bode prostredia zapríčinenú jedným z vln-

Superpozícia vlnení





ní spočítame (vektorovo) s výchylkou toho istého bodu v tom istom okamihu zapríčinenú druhým zvlnením.

Na predchádzajúcom obrázku sú závislosti okamžitej výchylky od polohy dvoch zvlnení v určitom okamihu. Zelenou farbou je zakreslený graf výsledného zvlnenia. Pre každý bod prostredia platí, že okamžitá výchylka výsledného zvlnenia sa rovná súčtu okamžitých výchyliek jednotlivých zvlnení. Zvislými čiarami sú naznačené tri polohy. Pre tieto polohy odčítajte hodnoty y_1 , y_2 , $y_1 + y_2$.

Skladanie zvlnení tak, ako sme ukázali na predchádzajúcom obrázku, sa nazýva superpozícia zvlnení.

Poznáte z matematiky alebo z iného zdroja súčtový vzorec

$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$? Ak áno, potom môžete odvodit rovnicu rázov.

Prvé z zvlnení vytvára v bode, v ktorom ho pozorujeme kmitanie opísané rovnicou $y_1 = Y \sin(2\pi f_1 t)$, druhé zvonenie vytvára v tom istom bode kmitanie opísané rovnicou $y_2 = Y \sin(2\pi f_2 t)$. Amplitúdy kmitania sme ponechali rovnaké. Pre výsledné kmitanie bodu platí:

$$y_1 + y_2 = 2Y \sin \frac{2\pi(f_1 + f_2)}{2} \cos \frac{2\pi(f_1 - f_2)}{2} = 2Y \cos \left[2\pi \frac{\Delta f}{2} t \right] \sin(2\pi f t)$$

Napriek skutočnosti, že výsledná rovnica sa môže zdať komplikovaná, pokúsmo sa o jej interpretáciu. Všimnime si najskôr činiteľ $\sin(2\pi f t)$. Tento činiteľ vyjadruje kmitanie s frekvenciou f presne tak, ako je to v rovnici harmonického kmitania $y = Y \sin(2\pi f t)$. Frekvencia výsledného kmitania je priemerom frekvencií skladaných zvlnení. Zvyšné činitele môžeme považovať za amplitúdu rázov

$$Y_{rázov} = 2Y \cos \left[2\pi \frac{\Delta f}{2} t \right]$$

Vidíme, že amplitúda rázov sa v čase mení tak, ako je to znázornené na jednom z predchádzajúcich obrázkov. Frekvencia, s ktorou sa mení amplitúda rázov sa nazýva **frekvencia rázov**.

Poznámka

Tvar rázov pre konkrétné frekvencie zvlnení si môžete namodelovať aj bez znalosti súčtových vzorcov, napríklad v softvéri k počítačom podporovanému prírodovednému laboratóriu alebo v programe EXCEL.

Úloha

Prístroj na meranie rýchlosťi krvného toku vysiela ultrazvukové zvonenie s frekvenciou 3,5 MHz. Rýchlosť zvuku v ľudskom tkanive je 1 540 m/s. Superpozíciou vysielaného ultrazvuku a ultrazvuku odrazeného od krvi vzniknú rázy. Vypočítajte frekvenciu rázov, ak vieme, že krv v hlavných tepnách nôh prúdi rýchlosťou 2 cm/s smerom od zdroja zvuku.



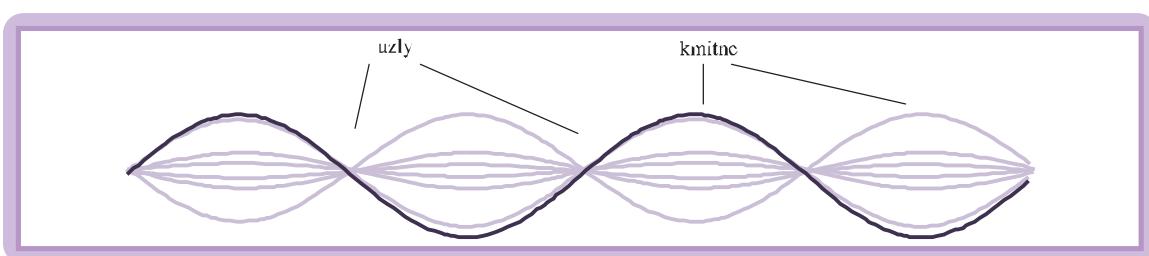


2.13 (Stojaté vlnenie

Vykonajme jednoduchý experiment. Zoberme si dlhú strunu alebo kus hadice. Jeden koniec (bod *A*) udržujme v pokoji a druhým koncom (bod *B*) kmitajme. Z bodu *B* sa strunou šíri postupné vlnenie smerom k bodu *A*. V bode *A* sa toto vlnenie odráža a odrazené vlnenie sa šíri smerom k bodu *B*. Pri vhodnej vlnovej dĺžke vlnenia (pri vhodnej frekvencii kmitania) nastane zaujímavý jav. Niektoré body prostredia sú stále v pokoji, pričom iné body prostredia kmitajú s rôznymi amplitúdami. Body prostredia, ktoré kmitajú s maximálnymi amplitúdami, nazývame **kmitne**. Body prostredia kmitajúce s nulovými amplitúdami nazývame **uzly**.

Pozorujte experiment

Kmitne, uzly



Stojaté vlnenie energiu neprenáša, ale ju sám akumuluje. Napríklad struna gitary, na ktorej sme vytvorili stojatú vlnu má energiu, ktorá mení svoju formu z kinetickej energie časti struny na energiu pružnosti a opäčne. V predchádzajúcich časťach sme prenos energie určili ako jednu z hlavných charakteristík vlnenia. Z tohto pohľadu stojaté vlnenie nie je vlnením, niekedy tento jav v bežnej reči nazývame **chvenie**. Stále má však zmysel hovoriť o rýchlosťi šírenia vlny – tej, z ktorej stojaté vlnenie vzniklo.

Na predchádzajúcim obrázku máme zakreslené polohy struny v siedmich časových okamihoch. Zvyčajne postačuje zakresliť polohy struny v okamihu, keď jej body dosahujú maximálne výchylky (tvar stojatej vlny).

Stojaté vlnenie na napnutej strune

Skúmajme správanie sa napnutej gitarovej struny. Gitarová struna je upevnená na oboch koncoch, teda na oboch koncoch musia byť uzly výsledného stojatého vlnenia (tak, ako na predchádzajúcim obrázku). Ak vezmeme do úvahy túto skutočnosť, veľmi ľahko nájdeme vlnové dĺžky možných stojatých vlnení. Označme dĺžku struny písmenom *l*.

Ak majú byť na koncoch struny uzly stojatého vlnenia, potom vlnová dĺžka môže nadobúdať iba hodnoty: $\lambda_1 = 2l$, $\lambda_2 = l$, $\lambda_3 = \frac{2}{3}l$, ..., $\lambda_n = \frac{2}{n}l$, kde *n* je prirodzené číslo.

Túto informáciu si premyslite. Zakreslite tvar stojatej vlny pre prvé tri vlnové dĺžky.



Zvyčajne sa zaujímame viac o frekvencie, s ktorými struny kmitajú, teda o frekvencie príslušných stojatých vlnení. Ak využijeme vzťah $f = \frac{v}{\lambda}$ zistíme, že:

Stojaté vlnenie na napnutej strune

Na napnutej strune s dĺžkou l môžu vzniknúť stojaté vlnenia s frekvenciami

$$f_n = \frac{n\nu}{2l}$$

kde n je prirodzené číslo a ν je rýchlosť vlnenia na strune.

Stojaté vlnenie v trubici

Stojaté vlnenie môže vzniknúť aj v stĺpci vzduchu v trubici. Na tomto princípe pracujú niektoré hudobné nástroje. Ak je trubica na konci uzavretá, vzniká na tomto konci uzol stojatého vlnenia (časti vzduchu nekmitajú). Ak je trubica na konci otvorená, od tohto konca sa vlnenie tiež odráža a vzniká na ľom kmitia stojatého vlnenia. Pomocou vhodného obrázka zistite možné frekvencie stojatých vlnení v trubici s dĺžkou l , ktorá je na jednom konci uzavretá a na druhom konci otvorená.

2.14 Meranie rýchlosťi zvuku

Naplánujme meranie rýchlosťi zvuku.

Ciel merania: Zmerať rýchlosť zvuku v miestnosti.

Hypotéza: Predpokladáme, že zvuk v miestnosti sa šíri rýchlosťou

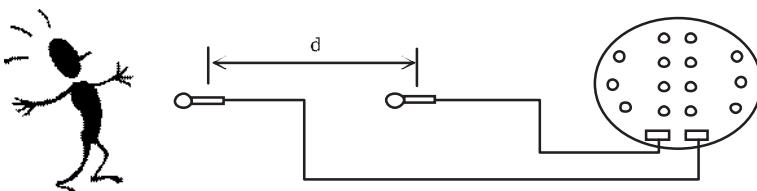
$\{\nu\} = 331 + 0,6 \{t\}$ tak, ako sme to spomenuli v časti 2.6. V tomto vzťahu ν je rýchlosť v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, t je teplota v $^{\circ}\text{C}$.

Postup merania: Naplánujte si svoj vlastný postup merania.

Navrhnite aparáturu na realizáciu vami navrhnutého experimentu. Uvedte, ktoré veličiny budete meniť (nezávisle premenné veličiny), ktoré veličiny sa budú meniť a bude ich merať (závisle premenné veličiny) a ktoré veličiny sa budete snažiť udržiavať konštantné. Uvedte tiež spôsob merania týchto veličín, spôsob ich zaznamenávania a spracovania.

Príklad postupu merania:

Ako zdroj zvuku použijeme tlesknutie dlaňami. Zvuk z tlesknutia zachytíme dvoma mikrofónmi. Jeden mikrofón bude umiestnený bližšie k zdroju zvuku, druhý



dalej. Zdroj zvuku a obidva mikrofóny budú na jednej priamke. Prvý mikrofón zachytí zvuk a v tom okamihu začneme merať čas. Zvuk dorazi k druhému mikrofónu o časový interval Δt neskôr.





Na základe hypotézy odhadnite časový interval Δt . S akou vzorkovacou frekvenciou musíte merať signál na mikrofónoch, aby ste na tomto časovom intervale uskutočnili aspoň 100 meraní?

Vzorkovacia frekvencia – frekvencia, s akou zaznamenávame údaje z aparátúry pri meraní.

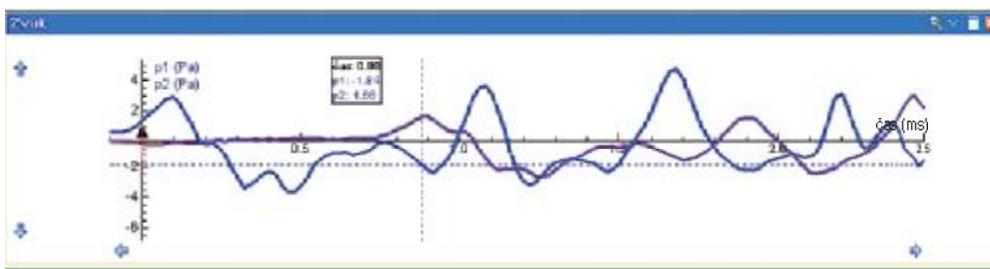
Vzorkovacia frekvencia

Nezávisle premenná veličina: vzájomná vzdialenosť mikrofónov.

Závisle premenná veličina: časový interval medzi okamihom, kedy zvuk dorazi k prvému mikrofónu a k druhému mikrofónu.

Konštantá: teplota vzduchu v miestnosti.

Zaznamenávanie údajov: Namerané údaje zaznamenáme do tabuľky.



Spracovanie údajov: Cieľom experimentu je odmerať rýchlosť zvuku vo vzduchu. Predpokladáme, že časový interval Δt a vzájomná vzdialenosť mikrofónov d sú vo vzťahu $d = v\Delta t$, kde v je hľadaná rýchlosť zvuku. Ak zobrazíme graf závislosti d od Δt , tento graf by mal byť grafom priamej úmernosti (grafom lineárnej závislosti so spoločnou nulou). Rýchlosť zvuku bude určená sklonom tohto grafu.

$t = \dots ^\circ C$		
č. m.	d/m	$\Delta t/s$
1.		
2.		
...		

2.15 (Vlastnosti zvuku, hlasitost'

Ak počúvame istý zvuk, okamžite si uvedomujeme dve vlastnosti zvuku – výšku a hlasitosť. Niekedy si uvedomujeme aj takzvanú farbu zvuku.

Výška zvuku určuje, či je zvuk vysoký, ako napríklad zvuk violy, alebo nízky, ako napríklad zvuk basovej gitary alebo basového bubna. Výška zvuku je daná jeho frekvenciou. V jednej z predchádzajúcich častí sme povedali, že zvuk môže mať frekvenciu z intervalu od 20 Hz do 20 kHz. Zvuk s nízkou frekvenciou zodpovedá nízkemu tónu, zvuk s vysokou frekvenciou vysokému tónu.

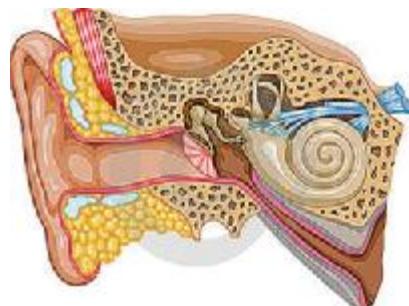
Dva zvuky s rovnakou frekvenciou vydané dvoma rozličnými hudobnými nástrojmi dokážeme odlišiť, lebo zvuk hudobného nástroja nie je harmonický – jeho

Výška zvuku



Farba zvuku

zobrazenie nie je sínusoida, ale zložitejšia funkcia. Tejto vlastnosti zvuku hovoríme **farba zvuku**. Toto zaužívané pomenovanie nemá nič spoločné s farbami svetla.



Hlasitosť

Hlasitosť zvuku súvisí s fyzikálnou veličinou intenzita zvuku. Intenzita zvuku je definovaná ako energia, ktorú zvuk prenesie za jednotku času jednotkou plochy. Jednotkou intenzity zvuku teda je watt na štvorcový meter. Ľudské ucho dokáže zachytiť zvuk s intenzitou od $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ do $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, vyššie intenzity sú bolestivé a poškodzujú sluch. Hlasitosť však nie je priamo úmerná intenzite zvuku. Na to, aby sme počuli zvuk dvakrát hlasnejšie, potrebujeme zvýšiť intenzitu desaťnásobne. Toto približne platí pre akýkoľvek zvuk s frekvenciou okolo stredu počuteľnosti. Napríklad zvuk s intenzitou $10^{-2} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ znies pre priemerného človeka dvakrát hlasnejšie ako zvuk s intenzitou $10^{-3} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a štyrikrát hlasnejšie než zvuk s intenzitou $10^{-4} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Hlasitosť sa vyjadruje v jednotkách bel, častejšie však v desatinách belu, teda v decibeloch. Vzťah medzi intenzitou zvuku a hlasitosťou je v tabuľke. Údaje v tabuľke platia pre frekvencie v strede intervalu počuteľnosti, v okolí frekvencie 1 000 Hz. Pre frekvencie z okraja intervalu počuteľnosti je vzťah medzi intenzitou zvuku a hlasitosťou iný, zvyčajne sa určuje grafom.



Zdroj zvuku	Intenzita zvuku/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	Hlasitosť/dB
Prúdové lietadlo vo vzdialosti 30 m	100	140
Prah bolesti	1	120
Rockový koncert v interiéri	1	120
Siréna vo vzdialosti 30 m	1×10^{-2}	100
Interiér automobilu pri rýchlosťi 90 km h^{-1}	3×10^{-3}	75
Križovatka plná áut	1×10^{-5}	70
Bežný rozhovor vo vzdialosti 50 cm	3×10^{-6}	65
Tiché rádio	1×10^{-8}	40
Šepot	1×10^{-10}	20
Listy stromu vo vánku	1×10^{-11}	10
Prah počutel'nosti	1×10^{-12}	0

Vo všeobecnosti intenzita zvuku klesá s druhou mocninou vzdialenosťi, avšak odraz zvuku, najmä v interiéri, situáciu komplikuje. Akustické vlastnosti interiéru sú často predmetom detailného skúmania, najmä v priestoroch určených ako hudobné štúdio alebo na hudobné vystúpenia.





2.16 (Zemetrasenie)

V predchádzajúcich častiach sme sa venovali kmitaniam a vlneniam v čo najjednoduchších situáciách. Spomenuli sme, že od štúdia kmitania závažia zaveseného na pružine po tvorbu vlnení prenášajúcich zvuk od jedného mobilného telefónu k inému na druhom konci sveta, je cesta dlhá.

Poznatky o kmitaní a vlnení sú veľmi dôležité pri skúmaní štruktúry fyzikálnych procesov v Zemi, najmä zemetrasení. Povrch našej planéty pokrýva asi 100 km hrubá litosféra, ktorá je rozbitá na platne. Tieto platne sa navzájom pohybujú. Napríklad v Kalifornii sa pacifická platňa pohybuje smerom na severozápad a severoamerická smerom na juhovýchod. Dotýkajú sa na zlome San Andreas. Trenie im však bráni, aby na ploche dotyku voľne preklzavali. Pretože sa tieto obrovské platne (kontinentálnych rozmerov) vzhľadom na seba pohybujú, avšak plocha dotyku nie, hromadí sa na nej napätie. Keď toto napätie dosiahne v nejakom mieste dotyku (hypocentre) hodnotu maximálnej sily statického trenia, hmotná častica pacifickej platňe odskočí dolava, hmotná častica severoamerickej platňe doprava. V danom mieste vznikne trhlina. Trhlina sa potom šíri z hypocentra po zlomovej ploche a vychýluje hmotné časticie obidvoch platní z ich rovnovážnej polohy, v ktorej boli pred vznikom trhliny. Keďže je medzi hmotnými časticami platná pružná (elastická) väzba, každá častica sa po vychýlení z rovnovážnej polohy rozkmitá. Toto kmitanie sa šíri od zlomovej plochy vnútrom Zeme – hovoríme, že sa v Zemi šíria seismické vlny.

Ak seismické vlny dosiahnu povrch Zeme, spôsobia jej kmitavý pohyb, ktorý vnímame ako zemetrasenie. Ak sa trhlina rozšíri na veľkú plochu, môže byť energia seismických vln obrovská. Napr. pri zemetrasení v r. 1960 v Chile sa len vo forme seismických vln uvoľnilo najmenej 145 000-krát viac energie ako pri výbuchu atómovej bomby v Hirošime. Ak zasiahnu seismické vlny husto obývané územie, môžu spôsobiť katastrofu. Často k nej prispieva aj jav vzájomnej rezonancie zemského povrchu a budovy.

Ak zemetrasenie nezabíja a neničí, je veľmi užitočné. Vďaka unikátnym vlastnostiam seismických vln poznáme rozloženie rýchlosťí šírenia seismických vln vnútri Zeme. Hovoríme o seismickom modeli Zeme. Ten je zo všetkých fyzikálnych modelov vnútra našej planéty najpresnejším a všetky fyzikálne a chemické modely stavby Zeme a procesov v Zemi z neho musia vychádzať. V dôsledku seismických vln dnes pomerne dobre poznáme aj vnútornú stavbu Mesiaca. Keď si bude človek osvojovať kozmický priestor, bude využívať seismické vlny na výskum vnútornej stavby planét a veľkých asteroidov.

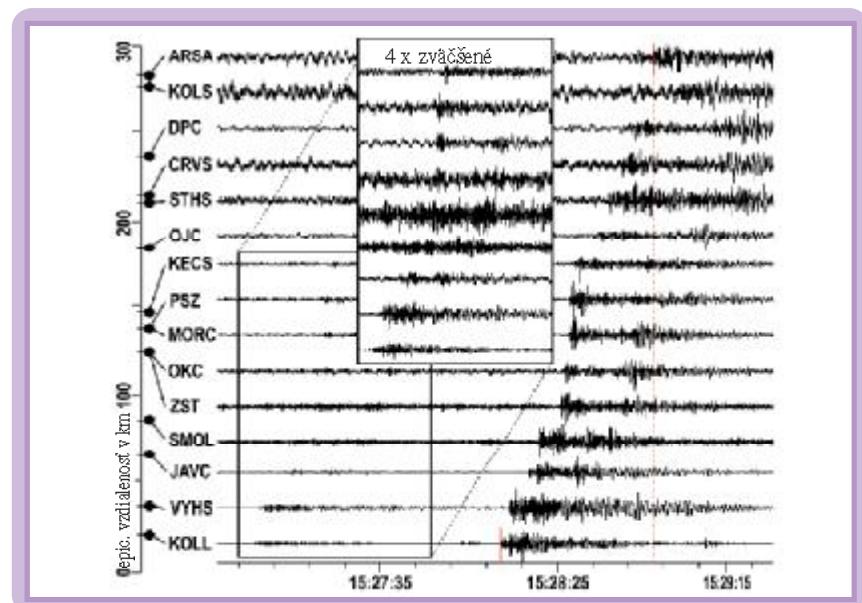
Seismické vlny vznikajú aj pri jadrových a priemyselných explóziach. Aj počas explózie sú hmotné časticie v okolí hypocentra explózie vychýlené zo svojej rovnovážnej polohy a začnú kmitať. Toto kmitanie sa potom šíri vnútrom Zeme vo forme seismických vln. Ak je explózia povrchová, vzniknú aj zvukové vlny, ktoré sa šíria vzduchom. Tak to bolo aj v prípade explózií v Novákoch v r. 2007. Seismometrické záznamy vln vyvolaných dvomi najväčšími explóziami sú na obrázku.

Seismické vlny

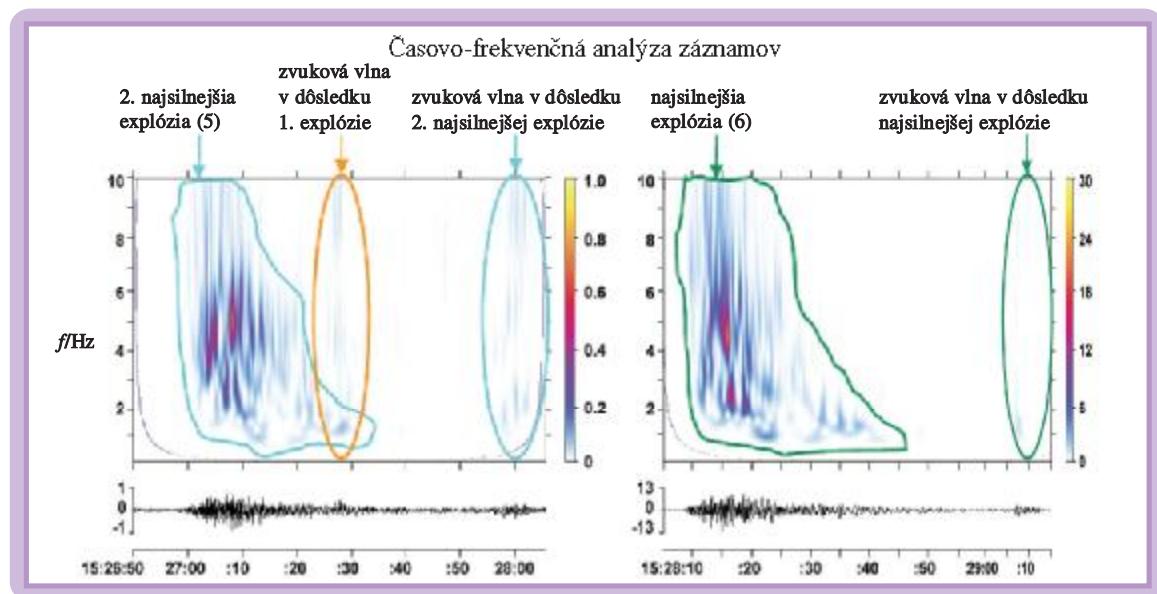
Skúmanie vnútra Zeme

Úlohy

- Pozrite si obrázok a posúdte, ktorá seismická stanica bola najbližšie. Vypočítajte rýchlosť šírenia najrýchlejších (pozdĺžnych) vln, ak viete, že rozdiel vzdialostí staníc ARSA a KOLL od miesta explózie je 260 km.



Na ďalšom obrázku sú výsledky tzv. časovo-frekvenčnej analýzy záznamov. V spodnej časti sú časové záznamy rýchlosť posunutia na seismickej stanici KOLL. Horizontálna os obdĺžnika je časová, vertikálna os je frekvenčná. Farebný obrázok ukazuje, ako sa s časom menil frekvenčný obsah seismického pohybu na stanici. Takto analýzou sa seismológom (fyzikom skúmajúcim zemetrasenia) FMFI UK a Geofyzikálneho ústavu SAV podarilo rozpoznať počet a časy vzniku jednotlivých explózií. Tieto údaje sa nedali inak zistieť.



2. Diskutujte o dôležitosti predpovedania zemetrasení a systéme na včasné varovanie obyvateľstva v prípade, ak sú zemetrasenia predpovedané. Výbuch v Novákoch sa fyzikálnymi metódami predpovedať nedal. Diskutujte, či sa tento výbuch dal predpovedať metódami spoločenských vied.





2.17 (Zhrnutie, úlohy

V tomto tematickom celku sme používali viacero nových pojmov. Používali sme tiež pojmy zavedené v predchádzajúcich tematických celkoch, avšak niektoré z nich nadobudli nový význam. Vysvetlite svojimi slovami – opisne – nasledovné pojmy:

- kmitanie
- vlnenie
- oscilátor
- EKG
- potenciálna energia pružiny
- matematický oscilátor
- tlmené kmitanie
- nútene kmitanie
- rezonancia
- osciloskop
- postupné priečne vlnenie
- postupné pozdĺžne vlnenie
- stojaté vlnenie
- výška tónu
- hlasitosť
- echolokácia

Prípravte si zdroj informácií

Niekteré z pojmov sú v učebnici použité iba intuitívne. Ak neviete význam niektorého zo spomenutých slovných spojení, vyhľadajte ho vo svojom zdroji informácií.

Vyjadrite sa k nasledovným problémom:

1. Jedno z najpresnejších meraní tiažového zrýchlenia na povrchu Zeme je meranie pomocou matematického oscilátora. Navrhnite takéto meranie. Ktoré veličiny by ste menili a ktoré by ste zachovali konštantné? Hodnoty ktorých veličín by ste merali?
2. Predstavte si, že máte matematický oscilátor a pružinový oscilátor – oba s rovnakými periódami kmitania. Ak by sme tieto oscilátory použili na povrchu Mesiaca, ako by sa zmenili ich periody? Diskutujte iba kvalitatívne.
3. V učebnici biológie ste sa dozvedeli, že korčuliarky (*Gerris*) sú pokryté drobnými chlúpkami, ktorými registrujú vibrácie po páde koristi na vodnú hladinu. Vysvetlite súvis spomenutých vibrácií s vlnením na vodnej hladine.
4. V hudbe sa ako štandard výšky tónu často používa frekvencia 440 Hz. Ako sa nazýva tento tón? Necháme tento tón znieť z rôznych hudobných nástrojov. Napriek tomu, že vydávajú zvuk s rovnakou frekvenciou, rozoznáme ich. Diskutujte o tom, ako je to možné.





Úlohy

- 1.** Alpský roh sa v minulosti používal na posielanie signálov do susednej dediny. Kedže tóny s nižšou frekvenciou sú menej citlivé na stratu intenzity, používali sa dlhé rohy na tvorbu hlbokých tónov. Najpopulárnejší je alpský roh s dĺžkou 3,4 m. Aká je základná frekvencia tohto rohu?
- 2.** Ladička začne vibrovať nad otvorenou trubicou, ktorá je naplnená vodou. Vodná hladina môže voľne klesať, čím sa mení výška vzduchového stĺpca pod ladičkou. Vtedy počujeme, že vzduch začne rezonovať v dvoch polohách. Prvýkrát, keď je ladička vo vzdialosti 0,125 m od vodnej hladiny a druhýkrát vo vzdialosti 0,395 m. Aká je frekvencia ladičky?
- 3.** Ako sa zmení frekvencia zvuku, ktorý vydáva flauta s dĺžkou L , ak sa teplota vzduchu zníži z $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $10\text{ }^{\circ}\text{C}$? Flauta vydáva pri zakrytí všetkých dierok stredné C s frekvenciou 262 Hz.
- 4.** Organ vydáva aj hlboké tóny. Pre zvuk s frekvenciou 32 Hz vypočítaj dĺžku organovej trubice, ak by bola a) otvorená na oboch koncoch, b) na jednom konci uzavretá. Prečo sú organové trubice dlhé a uzavreté na jednom konci?
- 5.** Ucho je najcitlivejšie na frekvenciu okolo 3 000 Hz. Prečo? Dĺžka zvukovodu je približne 2,5 cm a rýchlosť zvuku vo vzduchu je $340\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- 6.** Na obrázku je pružina s tuhostou $208\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$. Ak by ste sa na túto pružinu mohli bezpečne zavesiť, s akou periódou by ste kmitali? Ak máte podobnú pružinu, zrealizujte experiment v telocvični.





3. Elektrina a magnetizmus – magnetické pole

V tejto kapitole sa budeme venovať najzákladnejším experimentom a zákonom spájajúcim oblasť elektriny a magnetizmu. Uvidíme, že elektrina a magnetizmus sú navzájom úzko späté. Pozornosť budeme venovať silovému pôsobeniu v magnetickom poli. Na experimentoch si ukážeme princíp činnosti elektrického motora, generátora elektrického prúdu a mnohých ďalších zariadení, z ktorých niektoré používame denne a bez nich si iba ľahko vieme predstaviť našu existenciu.

Magnetizmus sprevádza ľudstvo už veľmi dlho. Už v roku 1296 Petrus Peregrinus de Maricourt jasne opísal kompas a jeho využitie, používal pritom pojmy ako severný a južný pól magnetu. Prvým, kto považoval Zem za veľký magnet bol v roku 1600 William Gilbert, ktorý spísal všetky dovtedy známe poznatky o magnetizme a doplnil ich vlastnými experimentmi. Mnohé zásadné experimenty, ktoré sa vykonali začiatkom 19. storočia, postupne viedli k zlúčeniu elektriny a magnetizmu pod spoločnú časť fyziky – elektromagnetizmus. V tejto učebnici budeme používať pojmy **elektrická sila** a **magnetická sila**, avšak v niektorých javoch tieto sily pôsobia spoločne, sú prejavom jednej spoločnej elektromagnetickej sily (elektromagnetickej interakcie).

Elektromagnetická interakcia

V miere stanovej školským vzdelávacím programom vašej školy sa v tejto kapitole budete venovať magnetickému poľu na troch základných úrovniach:

- stacionárному magnetickému poľu magnetu a vodiča s prúdom, najmä spôsobu opisu tohto poľa;
- silovému pôsobeniu v magnetickom poli, pričom silu pôsobiacu na vodič s prúdom v magnetickom poli budeme vedieť v niektorých prípadoch aj vypočítať;
- elektromagnetickej indukcii – teda jednému zo spôsobov premeny mechanickej energie na elektrickú.

Hlavným cieľom bude pochopiť niektoré základné fyzikálne javy súvisiace s magnetickým poľom. Popri tom naznačíme aj spôsoby využitia poznatkov získaných základným výskumom v druhej polovici 19. storočia. Poznatky získané týmto výskumom sa v súčasnosti nadalej rozvíjajú a aplikujú v mnohých odvetviach ľudskej činnosti a schopnosť priamo ich využívať súvisí s ekonomickou silou spoločnosti. Dnes si len ľahko vieme predstaviť jeden deň bez elektriny. Takmer **všetka elektrická energia, ktorá sa dnes využíva je vyrobená a prepravovaná v súlade so základnými zákonmi elektromagnetickej indukcie**. V závere tejto časti sa budeme zaoberať elektrickou prenosovou sústavou.

Aj v tejto kapitole bude potrebné nielen zapamätať si informácie poskytnuté učiteľom a učebnicou, ale aj pochopiť základné dejiny spojené s týmto učivom. Cieľom je nadalej rozvíjať vaše schopnosti bádať, plánovať experimenty a spracovať získané údaje. Odporúčame vám pozorne sledovať pôsobenie magnetického poľa na vodič s prúdom a vykonať demonštračný experiment na sledovanie prejavov elektromagnetickej indukcie. Odporúčame tiež zrealizovať niektorý z ďalších spomenutých experimentov, napr. modelovanie prenosu elektrickej energie na veľké vzdialenosť alebo meranie horizontálnej zložky magnetickej indukcie magnetického poľa Zeme. Pri realizácii experimentu je často dôležitejší proces plánovania a realizácie experimentu, než samotný výsledok.



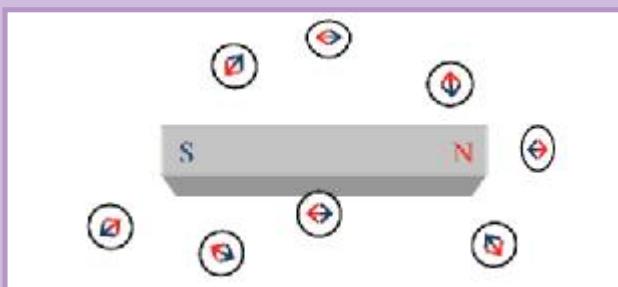
3.1 Magnetické pole Zeme

Priestor okolo našej Zeme má takúto vlastnosť: ak do tohto priestoru vložíme magnetku (strelku kompasu), pôsobí na ňu magnetická sila. Táto magnetická sila nútí magnetku zaujať severojužný smer.

Tyčový magnet má podobnú vlastnosť. Vezmíme si tyčový magnet. Dajme do jeho blízkosti magnetku. Aký smer zaujme? Ako sa tento smer mení, ak magnetku v blízkosti magnetu dám do inej polohy? Pokúsmo sa na tieto otázky odpovedať experimentom.

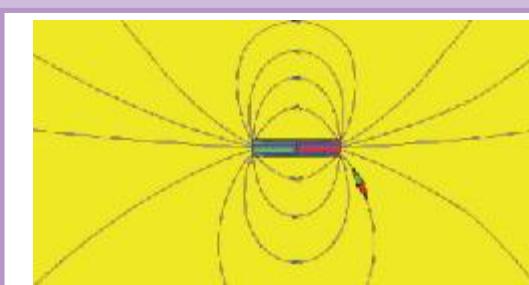
Pozorujme a popíšme

Ciastkové výsledky experimentu sme znázornili na nasledujúcom obrázku.



Vidíme, že v každom bode v okolí magnetu existuje poloha, v ktorej sa magnetka ustáli. Vzájomné pôsobenie medzi magnetom a magnetkou nazývame magnetická interakcia a silu, ktorá zabezpečuje túto interakciu nazývame magnetická sila. Hovoríme, že magnet vytvoril vo svojom okolí magnetické pole. Toto magnetické pole môžeme znázorniť tak, ako na predchádzajúcom obrázku – teda zakreslením polohy magnetky v mnohých bodoch tohto poľa. Prehľadnejšie je však znázornenie poľa pomocou čiar tak, ako na nasledujúcom obrázku. Tieto orientované čiary nazývame magnetické indukčné čiary a majú tieto vlastnosti:

- Ak do magnetického poľa vložíme magnetku, ustáli sa v smere dotyčnice k magnetickej indukčnej čiare tak, že šipka na magnetickej indukčnej čiare znázorňuje smer severného pólu magnetky.
- Magnetické indukčné čiary sú uzavreté čiary (nemajú začiatok, ani koniec).
- Magnetické indukčné čiary sa nepretínajú.
- Hustota magnetických indukčných čiar znázorňuje vlastnosť magnetického poľa súvisiacu s jeho silovými účinkami (neskôr ju nazveme magnetická indukcia).



Zem samotná sa správa ako magnet, jej magnetické pole je znázorené na obrázku. Všimnime si, že geografický severný pól Zeme (oblasť Severného ľadového





oceánu) je južným magnetickým póлом – smerujú k nemu severné póly magnetiek. Tiež si všimnime, že os rotácie Zeme nie je totožná so stredom súmernosti magnetického pola a že magnetické indukčné čiary sú rovnobežné s povrhom Zeme iba v oblasti blízko rovníka.



V tejto časti sa budeme venovať magnetom. Z predchádzajúceho štúdia aj zo skúsenosti vieme, že magnet má dva póly. Jeden z nich nazývame južný a zvyčajne ho označujeme písmenom S (z anglického south). Druhý nazývame severný a označujeme ho písmenom N (z anglického north). Severný pól označujeme aj na obrázkoch a na niektorých magnetoch. Toto označenie sa zvyčajne robí červenou farbou alebo začiernením.

Ak sa budete venovať fyzike v maturitnom kurze, dozviete sa, že nie je možné vytvoriť magnet, ktorý by mal iba jeden pól. Možné však je vytvoriť a aj sa bežne vytvárajú magnety s mnohými severnými a mnohými južnými pólmami. Takýmito magnetmi sú napr. magnetické pásky vo dverach chladničiek.

Póly magnetu

Úloha

Zdá sa vám, že niektorá z vašich magnetiek je slabo zmagnetizovaná? Alebo dokonca niektorá je zmagnetizovaná opačne? Pri nevhodnom skladovaní magnetiek a magnetov sa to stáva veľmi často. Pokúste sa vaše magnetky zmagnetizovať lepšie. Najjednoduchším spôsobom je pohybovať magnetkou v blízkosti pólu dobrého magnetu. Pokúste sa o to. Potiahnite niekoľkokrát magnetkou v blízkosti severného pólu magnetu. Jeden z koncov magnetky sa stane severným, druhý južným. Skúmajte vlastnosti takto „upravenej“ magnetky.

Pozorujme a opíšme

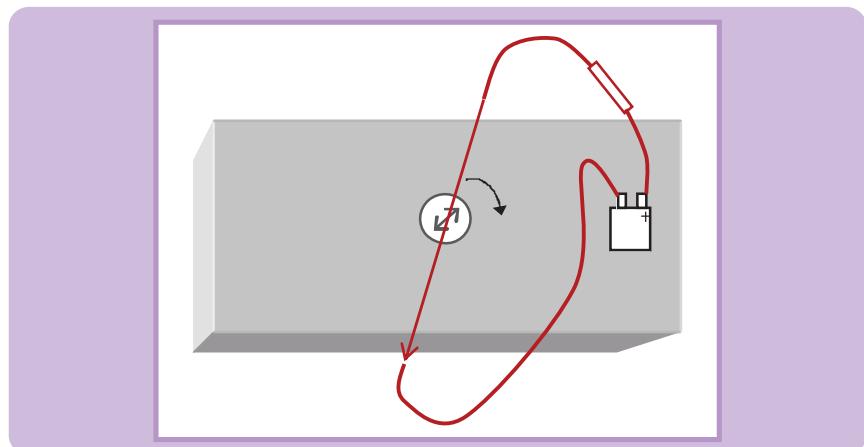
3.2 (Magnetické pole cievky)

V predchádzajúcej časti sme si uvedomili, že magnet a Zem vytvárajú vo svojom okolí magnetické pole. Toto pole sa prejavuje tak, že doň vložená magnetka, sa ustáli v presne definovanej polohe. Hans Christian Oersted (1777 -1851) experimentálne ukázal, že magnetické pole vzniká aj v okolí vodiča, ktorým prechádza elektrický prúd. Napriek tomu, že tento objav publikoval v roku 1820 iba na štyroch



Socha Hansa Christiana Oersteda v Kodani

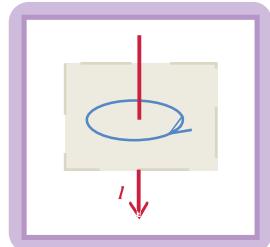
stranach je tak významný, že aj dnes sa o ňom učíme. Zrealizujte tento experiment podľa schému na obrázku.



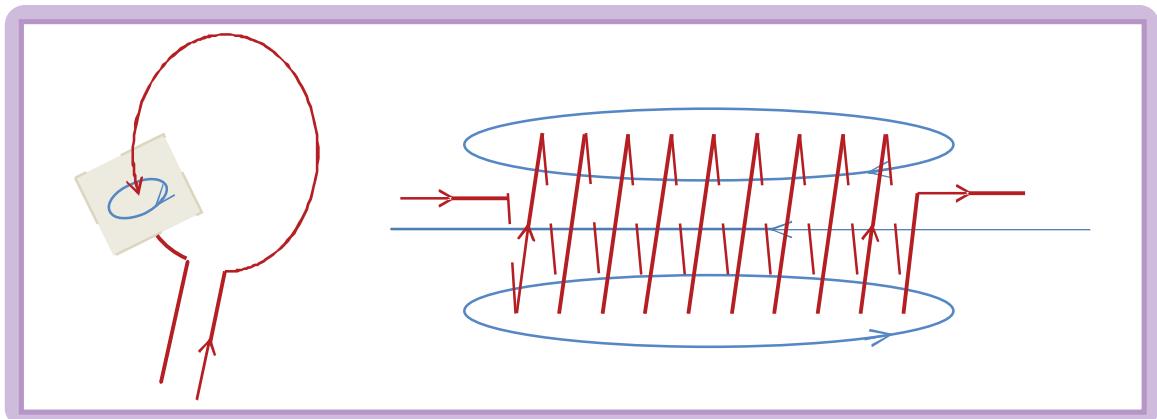
V experimente vidíme, že vodič, ktorým prechádza prúd pôsobí na magnetku v jeho blízkosti tak, že sa magnetka pootočí do istej polohy. Ak je vodič tesne nad alebo pod magnetkou, potom sa magnetka ustáli v polohe takmer kolmo na smer vodiča. V týchto bodech je teda smer magnetických indukčných čiar kolmý na vodič. Vodič je symetrický, a teda nepredpokladáme, že v iných bodech v okoli vodiča by mal byť smer indukčných čiar iný. Magnetická indukčná čiara má teda tvar kružnice so stredom vo vodiči. Smer indukčnej čiary sa dá určiť **Ampérovym pravidlom pravej ruky**:

Ampérovo pravidlo pravej ruky

Naznačme uchopenie vodiča pravou rukou tak, aby palec mal smer elektrického prúdu. Prsty potom ukazujú smer indukčných čiar magnetického poľa tohto vodiča.



Vytvorme z vodiča kruhový závit. Ak si tento závit predstavíme ako skupinu krátkych priamych vodičov, pravidlom pravej ruky určíme smer indukčných čiar od každého z nich, potom vidíme, že vnútri závitu majú všetky indukčné čiary rovnaký smer. Môžeme povedať, že závit ako celok vytvára magnetické pole, ak ním prechádza elektrický prúd.





Na obrázku máme aj cievku zloženú z niekoľkých závitov. Jednotlivé závity, ktorími prechádza prúd, vytvárajú magnetické pole. Toto pole sa skladá a vytvára výsledné magnetické pole cievky. Môžeme konštatovať, že toto magnetické pole je podobné magnetickému poľu tyčového magnetu.

Určte, aký pól má cievka na obrázku na ľavom konci a aký na pravom.

Magnetické pole vnútri cievky, ktorej dĺžka je niekoľkokrát väčšia ako jej priemer možno považovať za **homogénne**, to znamená, že je rovnaké v každom bode.

Niekedy chceme zakresliť magnetické pole kolmé na rovinu nákresne. Používame pritom nasledujúce symboly:

Symbol označuje vektor smerujúci von z nákresne (šíp letiaci smerom k nám).

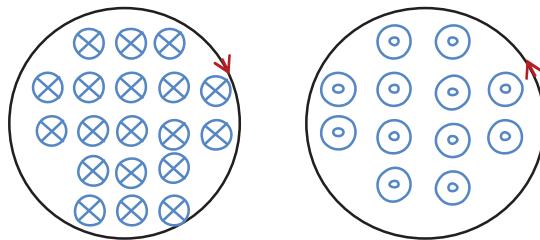
Symbol označuje vektor smerujúci do nákresne (šíp letiaci smerom od nás).

Rovnaké symboly budeme používať aj na znázornenie iných orientovaných čiar a vektorov kolmých na nákresňu. Napríklad na nasledujúcich obrázkoch je znázorené pole vnútri cievky.

Skontrolujte súhlas medzi smermi indukčných čiar a smermi prúdov vo vodičoch cievok.

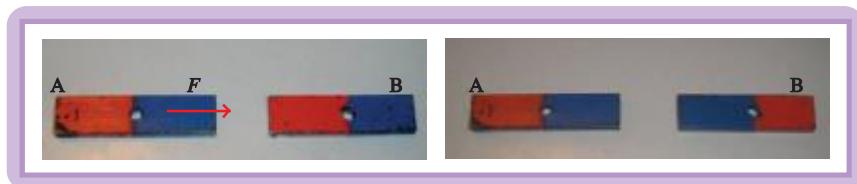
Homogénne pole

Vektory kolmé na nákresňu



3.3 Silové pôsobenie v magnetickom poli

V predchádzajúcich častiach sme sa venovali iba pôsobeniu magnetického poľa na magnetku. Magnetka sa vplyvom magnetického poľa natáčala do smeru magnetických indukčných čiar. Všetkým nám je však určite dôverne známy aj iný prejav magnetických polí. Vieme, že magnety sa môžu navzájom pritahovať alebo odpuzovať. Vezmite si dva tyčové magnety a pokúste sa ich navzájom priblížovať rôznymi spôsobmi. Ak priblížujeme magnety rovnakými pólmami k sebe, magnety sa odpudzujú. Ak ich priblížujeme navzájom opačnými pólmami, potom sa pritáhujú.

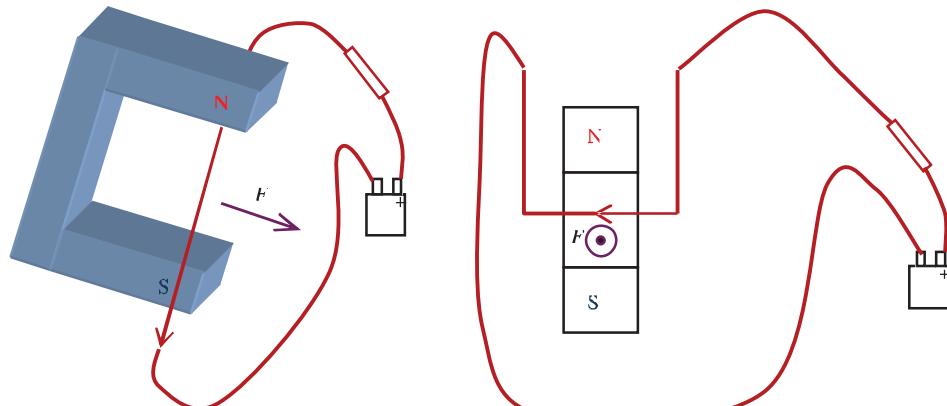


Na obrázkoch sú umiestnené magnety raz opačnými pólmami k sebe, druhýkrát rovnakými pólmami k sebe. Na obrázku vľavo je naznačená aj magnetická sila, ktorá pôsobí na magnet A.

Do obrázka vpravo zakreslite magnetickú silu, ktorá pôsobí na magnet A.

Pozorujme a popíšme

Pripravme si magnet tvaru U, pevný drôt, zdroj elektrického napäťia a spojovacie vodiče. Vykonajme experiment naznačený na obrázku. Detaily experimentu naplánujte sami.



Nechajme vodičom, umiestneným v magnetickom poli, prechádzať prúd. Pri reálizácii tohto experimentu vidíme, že pri zapnutí prúdu sa vodič vychýli – pôsobí naň sila. Táto sila sa prejaví iba vtedy, ak:

- Magnetické pole je dostatočne „veľké“ – teda ak použijeme vhodný magnet a vzdialenosť medzi pólmami čo najviac zmenšíme, napr. inými magnetmi alebo železnými hranolčekmi.
- Elektrický prúd je dostatočne veľký – zvyčajne postačuje niekoľko ampérov.
- Vodič s prúdom je v magnetickom poli vhodne umiestnený – najlepšie kolmo na smer indukčných čiar vytvorených magnetom.
- Vodič má vhodný tvar, spôsob mechanického upevnenia a malú hmotnosť tak, aby sa aj malé silové pôsobenie navonok prejavilo – môžeme použiť napríklad drôt tvaru U visiaci na statívovej súprave.

Z experimentu máme možnosť vidieť, že sila pôsobiaca na vodič umiestnený kolmo v magnetickom poli je tým väčšia, čím je väčší prúd prechádzajúci vodičom a čím dlhšia časť vodiča je v magnetickom poli. Asi sa nám v školských podmienkach nepodarí zmerať, že obidve tieto závislosti sú lineárne. V skutočnosti to tak je,





a teda platí $F = kIl$. Konšanta úmernosti vyjadruje vlastnosť magnetického poľa. Veľkosť sily pôsobiacej na vodič v magnetickom poli môžeme teda vypočítať podľa vzťahu:

$$F = Bil$$

kde I je veľkosť elektrického prúdu vo vodiči, l je dĺžka tej časti vodiča, ktorá je v magnetickom poli a B je už niekoľkokrát spomínaná vlastnosť magnetického poľa.

Fyzikálnu veličinu označenú v predchádzajúcim vzťahu symbolom B nazývame magnetická indukcia. Jednotkou magnetickej indukcie je tesla, označujeme ju písomnom T. Magnetická indukcia je vektorová veličina a má smer dotyčnice k magnetickej indukčnej čiare. Vektorovou veličinou je aj sila. Aj umiestnenie vodiča má svoj smer – môžeme ho vyjadriť smerom prúdu. Predchádzajúci vzťah platí iba pre veľkosťi veličín a iba za predpokladu, že vodič je umiestnený kolmo na smer magnetických indukčných čiar.

Magnetická indukcia

Smer sily určíme pravidlom nazvaným *Flemingovo pravidlo ľavej ruky*:

Flemingovo pravidlo ľavej ruky

Položme otvorenú dlaň ľavej ruky na vodič v magnetickom poli tak, aby indukčné čiary vstupovali do dlane a prsty ukazovali smer prúdu. Vystretý palec potom ukazuje smer sily pôsobiacej na vodič.

Fyzikálna veličina magnetická indukcia sa nám môže javiť ako veľmi abstraktívna. Vystupuje vo vzťahu pre silu pôsobiacu na vodič v magnetickom poli. V úlohe na konci tejto kapitoly je naznačený jeden zo spôsobov jej nepriameho merania. V školských podmienkach môžeme magnetickú indukciu merať aj priamo – pomocou Teslametra alebo senzora magnetickej indukcie.



Na obrázku vľavo je Teslameter, ktorý sa používal v školách v minulosti, prípravený na mapovanie magnetického poľa v okolí magnetu. Na obrázku vpravo je moderný senzor magnetickej indukcie pripravený na meranie magnetického poľa v dutine cievky.



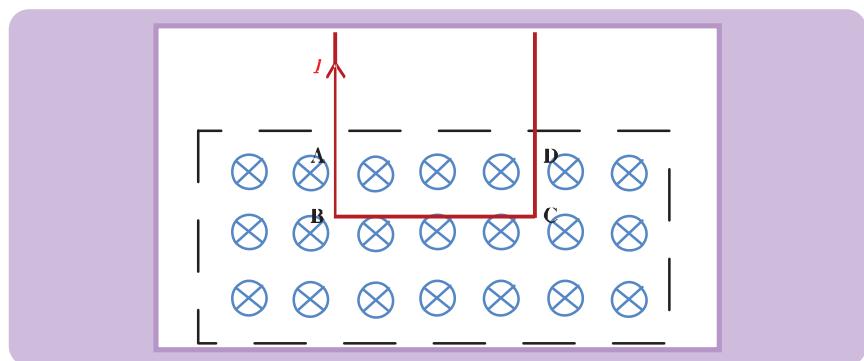
Ampérovým pravidlom pravej ruky a Flemingovým pravidlom ľavej ruky si pomáhamo pri zisťovaní smerov vektorov v priestore. Pri silovom pôsobení magnetického poľa na vodič s prúdom sme sa venovali troma vektorom, ktoré boli navzájom kolmé. Všimnime si použitie symbolu \bullet pre vektor sily na predchádzajúcom obrázku.

Poznámka

V tejto časti sa zaoberáme iba silovým pôsobením magnetického poľa na vodič s prúdom umiestený kolmo na smer indukčných čiar. Sila bude pôsobiť aj na vodič umiestený inak. Na výpočet tejto sily postačuje do vzťahu $F = BIl$ ako dĺžku vodiča l v magnetickom poli dosadiť dĺžku priemetu vodiča do roviny kolmej na smer indukčných čiar. Sila bude nulová iba v prípade ak bude vodič rovnobežný s magnetickými indukčnými čiarami.

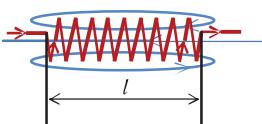
Úlohy

1. Veľkosť magnetickej indukcie v istej oblasti sa niekedy meria silovými účinkami magnetického poľa na vodič s prúdom. Námet na takéto meranie je na obrázku.



Vyliešte nasledujúce úlohy:

- Zakreslite do obrázka smer vektora magnetickej indukcie v oblasti, v ktorej je magnetické pole znázornené magnetickými indukčnými čiarami.
- Zakreslite smery sín pôsobiacich na časti vodiča AB, BC, CD.
- Určte smer výslednej magnetickej sily, ktorá pôsobí na vodič.
- Vzdialenosť BC je 12 cm. Ak vodičom prechádza prúd 1,8 A, tak na vodič pôsobí magnetická sila s veľkosťou 0,033 N. Určte veľkosť magnetickej indukcie v zobrazenej oblasti.



2. Magnetickú indukciu magnetického poľa vnútri jednovrstvovej cievky (cievky, v ktorej sú závitky iba v jednej vrstve) vytvorennej tak, že vo vnútri a okolo cievky je vzduch, možno vypočítať podľa vzťahu:

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I, \text{ kde } \mu_0 \text{ je konštanta nazývaná permeabilita vákua, } N \text{ je počet závitov, } l \text{ je dĺžka cievky a } I \text{ je veľkosť prúdu prechádzajúceho cievkou (tento vzťah platí za predpokladu, že priemer závitov je výrazne menší, ako dĺžka cievky).}$$

- Vyhľadajte veľkosť permeability vákua.
- Určte veľkosť magnetickej indukcie vo vnútri cievky nakreslenej na obrázku, ak jej dĺžka je 14 cm a prechádza ňou prúd 1,85 A.

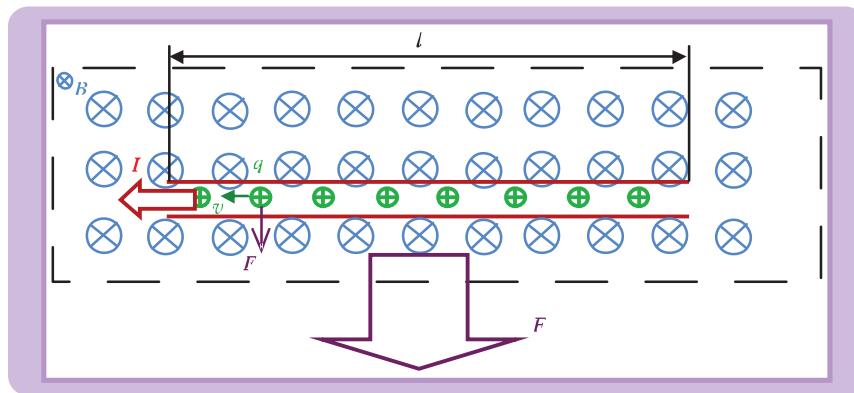




3. Už sme sa dozvedeli, že vodič s prúdom vytvára vo svojom okolí magnetické pole. Vieme tiež, že ak vložime vodič s prúdom do magnetického poľa tak, aby bol kolmý na smer indukčných čiar, potom naň pôsobi magnetická sila. Umiestnime dva vodiče rovnobežne vedľa seba tak, aby nimi prechádzali prúdy opačnými smermi. Rozhodnite, či sa tieto vodiče budú navzájom pritáhať alebo odpudzovať.
4. Iste ste si všimli, že na obrázkoch nakreslených v tejto kapitole chýba označenie niektorých fyzikálnych veličín. K šípkam naznačujúcim smery prúdu by sme mali vždy zapísat znak I alebo i , alebo iný dohodnutý znak. Aj k indukčným čiaram by sme mali naznačiť, že tieto čiary sú indukčnými čiarami. Robíme to zvyčajne tak, že do obrázka naznačíme aspoň v jednom bode vektor magnetickej indukcie aj s jeho označením \mathbf{B} (v obrázku kreslenom rukou \vec{B}). Dokreslite tieto značky do obrázkov vo vašom zošite.
5. Zmerajte magnetické pole Zeme vo vašej triede alebo na školskom dvore. Jeden z možných postupov je v aktivite 4.7.

3.4 Nabitá časťica v magnetickom poli

V predchádzajúcom ročníku ste sa dozvedeli, že elektrický prúd v kove je prejavom usmerneného pohybu voľných elektrónov. V tejto časti sa pokúsime urobiť si predstavu o tom, že silové pôsobenie magnetického poľa na vodič s prúdom je prejavom výsledného silového pôsobenia magnetického poľa na jednotlivé pohybujúce sa elektróny.



Pre ďalšie úvahy predpokladajme, že vo vodiči sa pohybujú iba kladne nabité časťice, všetky s rovnakým elektrickým nábojom q a že všetky časťice sa pohybujú rovnakou rýchlosťou v .

Zvoľme si časový interval Δt . Za tento časový interval prejde časťica dĺžku vodiča l rýchlosťou v , teda platí $l = v\Delta t$.

Pre elektrický prúd prechádzajúci vodičom môžeme podľa jeho definície z predchádzajúceho ročníka písat $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, kde ΔQ je náboj, ktorý prejde prierezom vodiča sa časový interval Δt . Náboj ΔQ môžeme považovať za výsledný náboj veľkého množstva častíc, z ktorých každá má náboj q . Môžeme písat $\Delta Q = Nq$.



Dôkladne zvážte, či nasledujúce úpravy vzťahu sú korektné:

$$F = BIl = B \frac{\Delta Q}{\Delta t} v \Delta t = B \Delta Q v = BNqv$$

Silu pôsobiacu na vodič s prúdom sme vyjadrili ako silu pôsobiacu na N nabitych častic. Na základe našich úvah môžeme predpokladať, že:

Na jednu časticu s nábojom q pohybujúcu sa rýchlosťou v v magnetickom poli s magnetickou indukciami B kolmo na smer magnetickej indukcie pôsobí sila

$$F_q = Bqv$$

Silové pôsobenie magnetického pola na nabitú časticu

Smer pôsobiacej sily je kolmý na smer magnetickej indukcie aj na smer rýchlosťi častice. Určíme ho Felmingovym pravidlom flavej ruky.

Pohyb nabitej častice v magnetickom poli po kružnici

Z predchádzajúceho vzťahu môžeme vypočítať silu pôsobiacu na nabitú časticu iba za predpokladu, že sa pohybuje kolmo na smer magnetických indukčných čiar. V prípade, ak sa častica nepohybuje kolmo na smer indukčných čiar musíme za rýchlosť dosadiť priemet rýchlosťi do smeru kolmého na smer indukčných čiar.

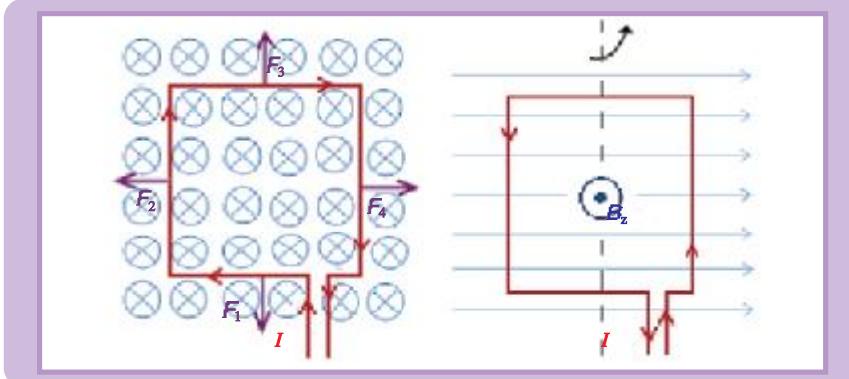
Nabité častice v našich predchádzajúcich úvahach sa môžu pohybovať iba vo vodiči, a tak vytvárajú celkovú silu, ktorou pôsobí magnetické pole na vodič. V prípade, ak sa pohybuje v magnetickom poli (kolmo na smer magnetickej indukcie) samotná nabitá častica, sila pôsobiaca vždy kolmo na smer jej rýchlosťi spôsobuje pohyb po kružnici. Situácia je analogická s pohybom drúžice okolo Zeme. Aj tam na drúžicu pôsobí sila kolmo na smer jej pohybu, v tom prípade je to gravitačná sila. Nabité častica (pohybujúca sa kolmo na smer magnetickej indukcie) sa pohybuje po kružnici s polomerom $R = \frac{mv}{Bq}$, kde m je hmotnosť častice.

3.5 Elektromotor

V predchádzajúcich častiach sme skúmali silové pôsobenie magnetického pola na vodič, ktorým prechádza prúd. Dozvedeli sme sa, že na vodič s prúdom umiesnený v magnetickom poli kolmo na smer indukčných čiar pôsobí magnetická sila.

Myšlienkový experiment

Predstavme si teraz závit v tvare obdĺžnika. Každý úsek závitu môžeme považovať za samostatný vodič s prúdom a môžeme skúmať, či na jednotlivé úseky





pôsobí magnetická sila. Jej smer určíme pomocou Flemingovho pravidla ľavej ruky.

Na predchádzajúcim obrázku máme dve polohy závitu. Ak je závit v polohe ako na ľavej strane obrázka, pôsobia magnetické sily tak, že sa snažia závit deformovať.

Úplne iný výsledok silového pôsobenia dostaneme, ak bude rovina závitu orientovaná rovnobežne s indukčnými čiarami tak, ako na obrázku vpravo.

Úlohy

1. a) Vyznačte do obrázka vpravo sily pôsobiace na jednotlivé úseky vodiča. Pôsobí magnetická sila na každý z úsekov vodiča? Na znázornenie vektorov sôl kolmých na nákresnu použite rovnaké symboly, ako na znázornenie magnetických indukčných čiar kolmých na nákresnu.
b) Vysvetlite, aký je účinok sôl pôsobiacich na závit.
c) Vysvetlite, ako by sa pootočil závit, ak by sme zabezpečili jeho volný pohyb v magnetickom poli.

Riešením tejto úlohy dospejeme k záveru, že sily pôsobiace na časti závitu majú na závit otáčavý účinok.

Na obrázku máme vyznačené aj magnetické pole závitu (zapričinené prechádzajúcim prúdom). Záver predchádzajúcich úvah môžeme vyjadriť nasledovne:

Závit s elektrickým prúdom umiestnený do magnetického poľa sa natočí vždy tak, aby vlastné magnetické pole v dutine závitu malo rovnaký smer ako vonkajšie magnetické pole.

Závit v magnetickom poli

Otáčavý účinok magnetickej sily na závit s elektrickým prúdom využíva zariadenie, ktoré sa nazýva **elektromotor**.

2. Zostrojte si vlastný elektromotor alebo preskúmajte činnosť niektorého školského modelu.





Parametre elektrického motoru

V praxi sa používa viacero typov elektromotorov. Ich konštrukcia závisí najmä od požadovaných parametrov, ako napr.:

- Potrebujeme stále rovnakú rýchlosť otáčania alebo môže rýchlosť otáčania pri väčšej záťaži klesnúť?
- Budeme motor pripájať k zdroju s jednosmerným alebo striedavým napäťom?
- Potrebujeme meniť rýchlosť otáčania motora, alebo nám postačuje jedna rýchlosť otáčania?
- Budeme motor používať iba občas (nevadí nám menšia účinnosť motora), alebo budeme motor používať často (potrebujeme väčšiu účinnosť motora, aby sme neplytvali elektrickou energiou)?
- Aké dôsledky môže mať prípadná porucha motora?
- Bude sa motor používať v prostredí, kde hrozí výbuch (napríklad v prostredí s vyššou koncentráciou výbušných plynov)?
- Bude sa motor vyrábať v obrovských množstvach alebo iba v niekoľkých kusoch?

Možno povedať, že:

Elektromotor je zariadenie, v ktorom sa elektrická energia mení na energiu mechanického otáčavého pohybu prostredníctvom silových účinkov magnetického pola na závit s prúdom.

Elektromotory nájdeme v mnohých zariadeniach, kde potrebujeme získať mechanický pohyb. Elektromotor poháňa napríklad fén, bubon práčky, ventilátor, autičko na diaľkové ovládanie, ale aj autá na elektrický pohon (elektromobily) a rôzne mechanické stroje používané v dielňach a v priemysle (miešačka, vŕtačka, cirkulárka).

3. Vymenujte čo najviac zariadení vo vašej domácnosti, ktoré majú elektromotor.



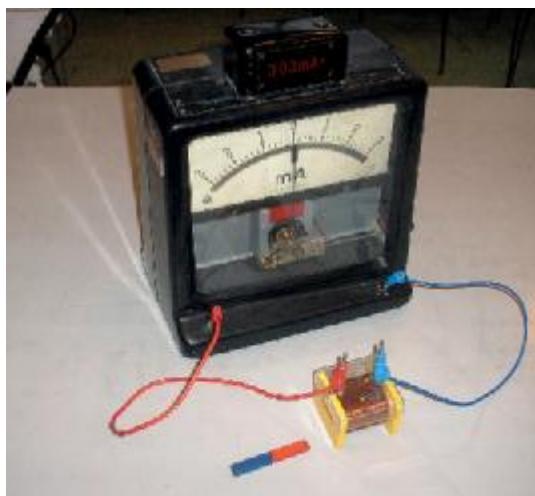


3.6 (Elektromagnetická indukcia

Hans Christian Oersted, o ktorom sme sa zmienili už v časti 3.2 zistil, že vodič s prúdom vytvára magnetické pole. Mohli by sme sa teda pýtať, či elektrina a magnetizmus súvisia aj opačne, teda či magnetické pole môže vo vodiči vytvoriť elektrický prúd. To, že to tak naozaj je, zistili asi 10 rokov po Oerstedovych objavoch nezávisle Američan Joseph Henry a Angličan Michael Faraday.

Pozorujme a opišme

Experiment si zrealizujme. Budeme potrebovať tyčový magnet, cievku a ampérmetr, ktorý ukazuje veľkosť prúdu prechádzajúceho jedným aj druhým smerom (ampérmetr s nulou uprostred stupnice).



Pozorujme výchylku ampérmetu v týchto situáciách:

- magnet je položený volne vedla cievky,
- magnet vkladáme do cievky severným póлом,
- magnet je vložený v cievke,
- magnet vytahujeme z cievky,
- magnet vkladáme do cievky južným pólam.

Výsledky pozorovaní si zapíšte a pokúste sa ich zovšeobecniť.

Počas experimentu sme pozorovali vznik elektrického prúdu vyvolaného napätiom indukovaným v cievke. V niektorých situáciách vieme toto napätie aj vypočítať.

Veľkosť napäťia, ktoré sa v jednom závite cievky indukuje elektromagnetickou indukciami sa dá vypočítať zo vzťahu

$$U_i = \frac{\Delta(B_1 S)}{\Delta t}$$

kde B_1 je zložka vektora magneticej indukcie kolmá na rovinu závitu a S je plocha závitu.

Faradayov zákon
elektromagnetickej
indukcie

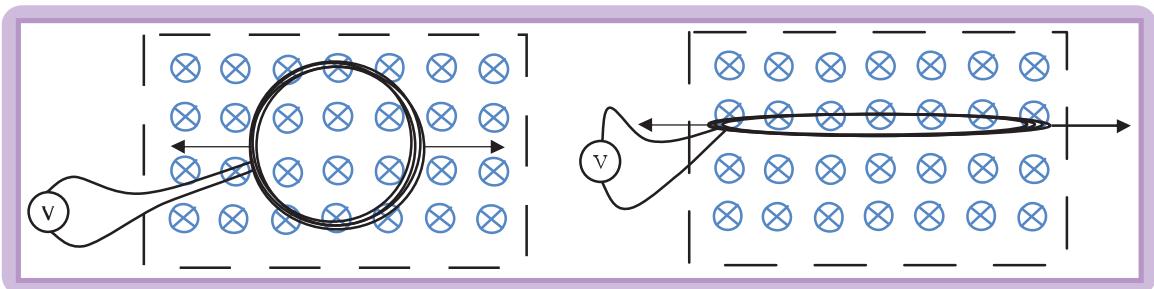


Tento vzťah sa nazýva **Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie**.

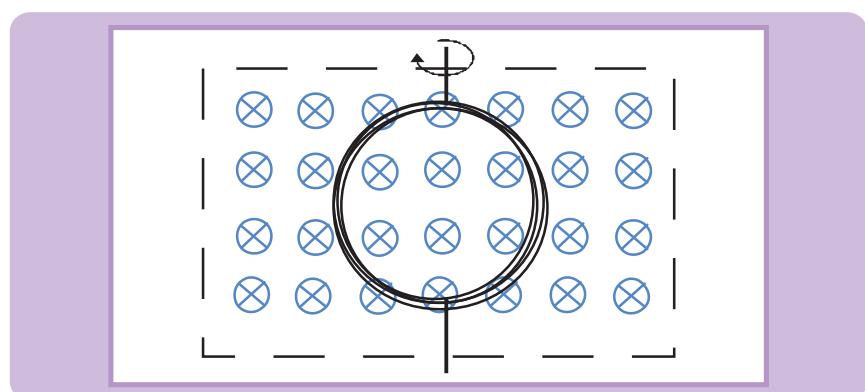
Venujme sa tomuto vzťahu podrobnejšie. Najskôr sa ho snažme prečítať. Vo vzťahu máme veličiny: U_i – indukované napätie, S – plocha vnútorného prierezu cievky, t – čas. Veličina B_\perp je kolmá zložka priemernej magnetickej indukcie v dutine závitu. Ďalej vidíme, že pravá strana rovnice má tvar $\frac{\Delta(\cdot)}{\Delta t}$. Takýto výraz poznáme zo skúmania pohybov – vyjadruje rýchlosť zmeny. V našom vzťahu máme rýchlosť zmeny veličiny, ktorá je daná súčinom $B_\perp S$.

V našom experimente sme pozorovali napätie indukované na cievke tak, že sme magnetom v cievke menili veľkosť magnetickej indukcie. Ako inak ešte môžeme indukovať v cievke elektrické napätie? Napríklad zmenou plochy závitov cievky (ak máme cievku z mäkkého drôtu navinutú bez kostry) alebo zmenou smeru magnetického poľa v cievke.

Indukovanie elektrického napäcia zmenou plochy závitov cievky:



Indukovanie elektrického napäcia rotovaním cievky v magnetickom poli:



Úlohy

- Cievka, ktorá má 100 závitov má elektrický odpor 5Ω . Konec cievky sú navzájom spojené. Závity cievky majú plochu $5,2 \text{ cm}^2$. Cievku sme vložili do priestoru, v ktorom je premenlivé magnetické pole kolmé na rovinu závitov cievky. Magnetické pole zmení svoju magnetickú indukciu z hodnoty $0,30 \text{ T}$ na hodnotu $0,00 \text{ T}$ za čas $3,00 \text{ ms}$. Vypočítajte napätie indukované v cievke a elektrický prúd indukovaný v cievke.





Riešenie: Napätie indukované na jednom závite cievky vypočítame z Faradayho zákona elektromagnetickej indukcie:

$$U_i = \frac{\Delta(\mathbf{B}_1 S)}{\Delta t} = \frac{S \Delta \mathbf{B}_1}{\Delta t} = \frac{5,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,30}{3,00 \cdot 10^{-3}} \text{ V} = 52 \text{ mV}$$

Cievkou bude počas zmeny magnetického pola prechádzat indukovaný prúd
 $I = \frac{U_i}{R} = \frac{5,2 \cdot 10^{-3}}{5} \text{ A} = 0,01 \text{ A}$. Pripomíname, že výsledok môžeme vyjadriť iba s platnosťou na jednu platnú cifru, pretože elektrický odpor bol zadaný s takouto presnosťou.

S elektromagnetickou indukciami súvisí aj jav nazývaný vírivé prúdy.

Vírivé prúdy

Jeden z prejavov vírivých prúdov môžeme pozorovať aj v nasledujúcej situácii. Nechajme padat magnet plastovou trubicou. Magnet padne veľmi rýchlo a pri dopade má veľkú rýchlosť. Potom ten istý magnet nechajme padat približne rovnakou trubicou z hliníka alebo z mosadze. Môžeme pozorovať, že magnet padá oveľa dlhšie, a tiež, že rýchlosť pri dopade je oveľa menšia. Vysvetlenie tohto javu môže byť pomerne nenáročné. Stačí si predstaviť, že trubica je zložená z množstva uzavorených závitov. Pri prelete magnetu sú tieto závity v premenlivom magnetickom poli. V závitoch sa počas preletu magnetu indukuje elektrické napätie a tým sa vytvára v závitoch indukovaný prúd. Prúd premieňa elektrickú energiu na teplo (na vnútornú energiu vodiča). Ak vodičom prechádza elektrický prúd, vždy sa v ňom premieňa elektrická energia na vnútornú energiu vodiča a vodič sa tým zohrieva. Zo zákona zachovania energie vyplýva, že v porovnaní s pádom magnetu v plastovej trubici ostane na kinetickú energiu padajúceho magnetu menej pôvodnej polohovej energie.



Ako funguje indukčná platňa v indukčnom variči? Prečo platňa indukčného variča nie je horúca, ale pritom dokáže zohriat dno hrnca? A prečo sa musia používať špeciálne hrnce? Pri svojej odpovedi využite informácie uvedené nižšie.

Klasický elektrický šporák obsahuje špirálu ukrytú v platničke. Prechodom elektrického prúdu sa špirála zohrieva a priamym dotykom, prostredníctvom tepelnej výmeny, zohreje najskôr platničku, ktorá potom tepelnou výmenou odovzdá teplo priamo dnu hrnca. Povrch šporáka je preto horúci.

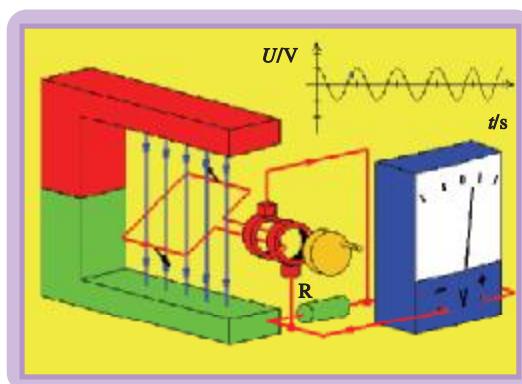
Indukčný varič funguje na princípe elektromagnetickej indukcie. Vo variči sú zabudované cievky, ktoré sú napojené na premenlivý elektrický prúd zo zásuvky a vytvárajú nestacionárne (premenlivé) magnetické pole. Vo vodivých predmetoch v jeho blízkosti začnú preto prechádzat indukované prúdy (tzv. vírivé prúdy). Prechodom týchto prúdov sa vodivé predmety zahrevajú.

2. Ako je možné, že na sviečke auta s benzínovým motorom sa vytvorí iskra (výboj zapričinený vysokým napäťom) hoci je zdrojom elektrickej energie tu je iba 12 V batéria? Odpoveď na túto otázku mierne presahuje rámec tejto učebnice, napriek tomu sa pokúste na túto otázku odpovedať. Pokúste sa použiť iba informácie uvedené v predchádzajúcich častiach.



3.7 Generátor elektrickej energie

Ked M. Faraday v roku 1826 objavil jav elektromagnetickej indukcie a prezentoval svoje výsledky pred odbornou vedeckou komunitou, opýtali sa ho, či má jeho objav nejaké praktické využitie. Iba mälokto si vtedy uvedomil, aký prevrat v technike Faraday spôsobil. Jeho objav totiž umožnil vyrábať elektrické napätie úplne novým a oveľa praktickejším spôsobom. Dovtedy sa totiž na napájanie všetkých zariadení používali Voltove články (batérie). Batérie dodávali do spotrebičov jednosmerný elektrický prúd a ich chemické články nemali dlhú životnosť. Faradayov objav umožnil nepretržité dodávky elektrického prúdu v podobe dodnes používaného striedavého prúdu.



Na obrázku je znázornený princíp najjednoduchšieho generátora na výrobu striedavého napäcia. V homogénnom magnetickom poli magnetu sa otáča cievka v tvare obdĺžnikového závitu. Konce cievky sú pevne pripojené na dva vodivé krúžky, ktorých sa dotykajú pružné kovové kontakty. Otáčanie cievky zabezpečuje mechanicky. Pri otáčaní sa v cievke indukuje elektrické napätie.

Toto napätie závisí od rýchlosťi zmeny sklonu plochy závitov vzhľadom na indukčné čiary.

Indukované napätie je najväčšie vtedy, keď je rovina závitu orientovaná rovnobežne s indukčnými čiarami. Naopak, keď závit prechádza polohou kolmou na indukčné čiary, indukované napätie je nulové. Závislosť indukovaného napäcia od času opisuje matematická funkcia sínus (pozri graf na obrázku).

Úloha

Myšlienkový experiment

Hľadajte súvislosť medzi bodmi na grafe, ktoré si sami zvolíte a polohou cievky v magnetickom poli. Pri hľadaní tejto súvislosti použite informácie z textu.

3.8 Striedavý prúd

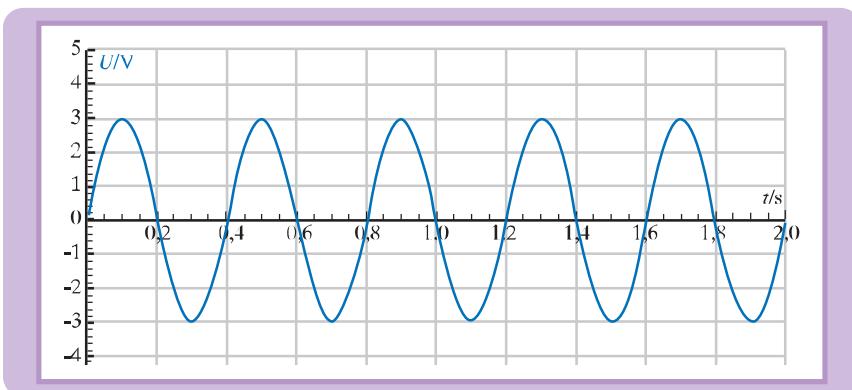
Elektrická sieť, ktorá napája spotrebiče v domácnosti, používa striedavé napätie. S výrobou striedavého napäcia generátorom ste sa už oboznámili. Na akom jave je založený princíp výroby elektrického napäcia?

Na obrázku je vykreslený priebeh napäcia generovaného počas niekoľkých otáčok závitu v magnetickom poli.





Z grafu určte:

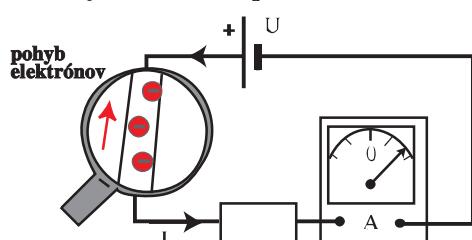


- Aký počet otáčok vykonal generátor za vykreslený časový úsek?
- Ako dlho trvalo jedno otočenie závitu generátora?
- Koľko otáčok by vykonal generátor za 1 sekundu?
- Hodnotu najväčšieho a najmenšieho napäťia vznikajúceho na generátori.
- Ako sa pohybovala ručička voltmetu, ktorým by sme merali toto napätie?
- Periódu, frekvenciu a amplitúdu napäťia.

Striedavý prúd je príkladom periodického deja. Maximálnu hodnotu striedavého prúdu budeme nazývať **amplitúda prúdu**.

Myšlienkový experiment

Obvod jednosmerného prúdu

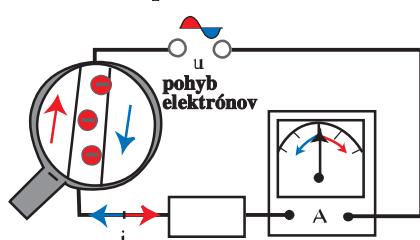


Zdroj jednosmerného napäťia núti elektróny v obvode pohybať sa ku kladnej svorke zdroja.

Usmernený pohyb elektrónov v obvode nazývame **jednosmerný elektrický prúd**. Veľkosť prúdu zistíme pomocou ampérmetra.

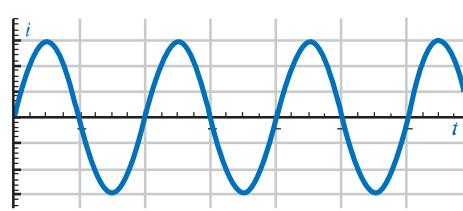
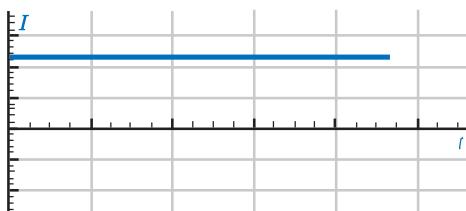
Prúd v obvode je jednosmerný a ustálený, tzn. veľkosť prúdu a ani jeho smer sa v čase nemení.

Obvod striedavého prúdu



Ak do obvodu zapojíme zdroj striedavého napäťia, pohyb elektrónov bude riadený meniacim sa elektrickým napäťom. So zváčšovaním napäťia sa bude zváčšovať aj prúd prechádzajúci obvodom. V kladnej polperióde napäťia sa elektróny budú pohybovať jedným smerom, v nasledujúcej polperióde napäťie klesne do záporných hodnôt. Ampérmetr ukáže výchylku opačným smerom.

Priebeh striedavého prúdu v závislosti od času opisuje sínusoidu.





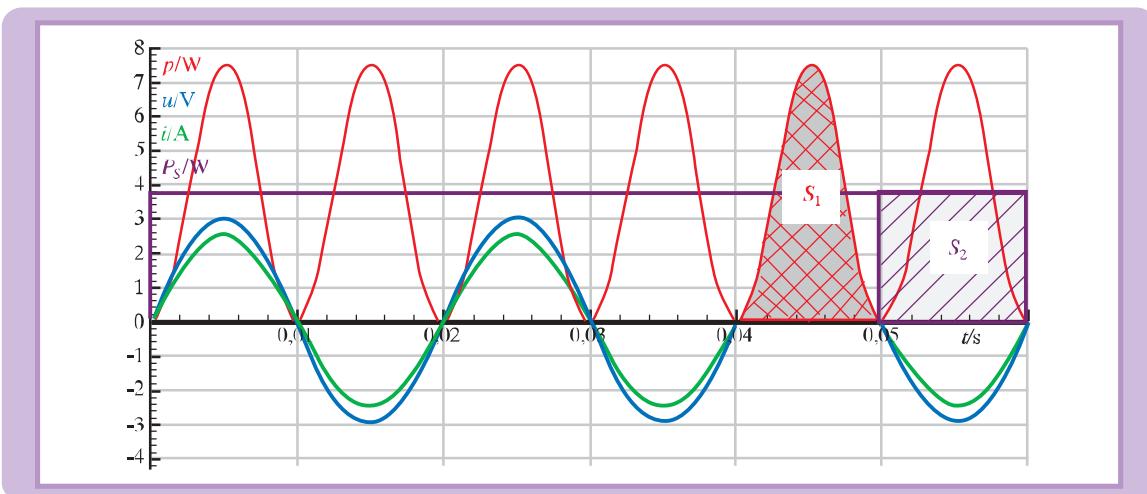
Výkon v obvode so striedavým elektrickým prúdom

V predchádzajúcim ročníku ste sa naučili, že ak spotrebičom s odporom R prechádza jednosmerný elektrický prúd I a na koncoch spotrebiča je elektrické napätie U , potom príkon spotrebiča možno vypočítať zo vzťahov:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Vzťah $P = UI$ môžeme použiť aj pri prechode striedavého prúdu obvodom, avšak iba na výpočet okamžitého príkonu – vtedy použijeme okamžité hodnoty prúdu a napäcia. Okamžité hodnoty budeme označovať malými písmenami, teda platí: $p = ui$.

Na obrázku máme zakreslené časové priebehy okamžitého napäcia, prúdu a výkonu v istom obvode.



Zvyčajne nás nezaujíma okamžitý príkon spotrebiča, ale jeho priemerný výkon. Symbolom S je na obrázku znázornená celková energia dodaná spotrebiču za čas $0,01$ s. Priemerný príkon získame tak, že celkovú dodanú energiu vydelíme celkovým časom, teda časom $0,01$ s. Ak tak správime (napríklad v prostredí počítačom podporovaného prírodrovedného laboratória), dostaneme hodnotu

$$P = \frac{1}{2} P_{\max.}$$

Označme maximálne hodnoty napäcia a prúdu $U_{\max.}, I_{\max.}$. Platí:

$$P = \frac{1}{2} P_{\max.} = \frac{1}{2} U_{\max.} I_{\max.} = \frac{U_{\max.} I_{\max.}}{\sqrt{2} \sqrt{2}}$$

Posledný zo vzťahov pripomína vzťah pre príkon jednosmerného prúdu. Stačí použiť pre hodnoty nové označenie:

Efektívne hodnoty napäcia a prúdu

$$U = \frac{U_{\max.}}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{I_{\max.}}{\sqrt{2}}$$

Veličiny U a I použité v súvislosti so striedavým napätiom a prúdom budeme nazývať efektívna hodnota napäcia a efektívna hodnota prúdu.

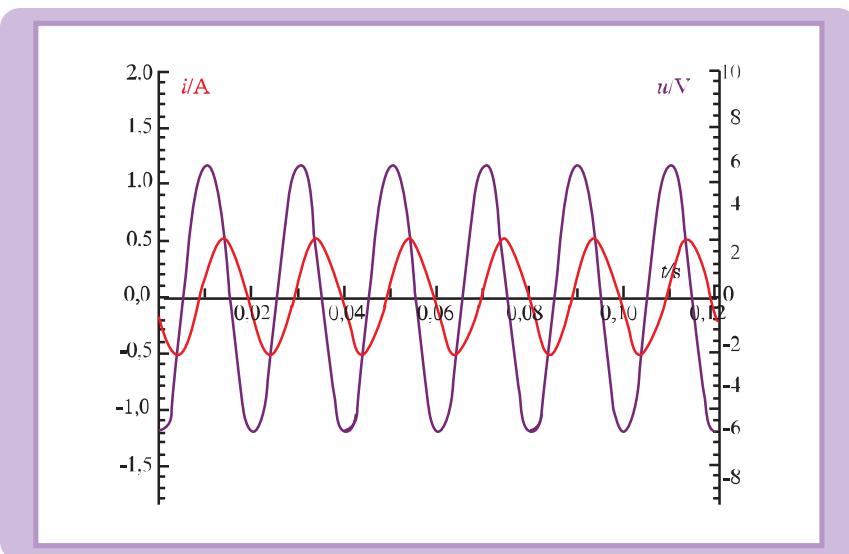




Poznámka

Na nasledujúcom obrázku sú grafy závislosti elektrického prúdu od času a elektrického napäťa od času zakreslené tak, že amplitúdy dosahujú v rozdielnych okamihoch. V obvode so striedavým prúdom môže nastať aj takáto situácia. V tomto prípade vypočítame príkon spotrebiča pomocou vzťahu $P = UI \cos\varphi$, kde U a I sú efektívne hodnoty napäťia a prúdu a $\cos\varphi$ sa nazýva účinník. Účinník dosahuje hodnotu z intervalu od 1 do 0. Pri väčšine spotrebičov sa výrobcovia snažia dosiahnuť, aby po pripojení do elektrického obvodu sa účinník rovnal jednej. Rýchlovamá kanvica, klasický elektrický šporák (nie indukčný šporák), klasický ohrievač a podobné spotrebiče obsahujú iba vhodne zapojené rezistory s vhodnými vlastnosťami – účinník všetkých týchto spotrebičov sa rovná jednej.

Výkon striedavého prúdu



Zhrnutie:

Ak spotrebič obsahujúci iba rezistor pripojíme ku zdroju striedavého elektrického napäťia, príkon spotrebiča bude $P = UI$, kde U a I sú efektívne hodnoty napäťia a prúdu.

Príkon elektrického spotrebiča

Napätie elektrických rozvodov v domácnostiach v Európe je 230 V. Tieto rozvody obsahujú ešte jednu vlastnosť – vždy sú robené po trojiciach. Už v elektrárni sa vyrába elektrická energia s troma výstupmi napäťia a tieto sa distribuujú v elektrifikácej sieti spoločne. Hovoríme, že napätie je trojfázové.

V niektorom z vašich zdrojov informácií by ste mohli nájsť, že v takejto sústave sa dajú dosiahnuť dve hodnoty efektívneho napäťia, a to pri jednom spôsobe zapojenia spotrebiča 230 V a pri inom spôsobe zapojenia spotrebiča 400 V. Druhé zapojenie sa používa iba zriedka. Často sa však spotrebiče s vyšším potrebným priekonom pripájajú k všetkým troma fázam súčasne. Takéto spotrebiče nazývame trojfázové.

Trojfázová sústava



Úlohy

- Všimnite si, spýtajte sa rodičov alebo správcu bytového domu, či máte v dome zásuvku s trojfázovým napäťom. Prezrite si ju. V žiadnom prípade sa však nesnažte robiť na tejto (ani na žiadnej inej) žiadne meranie.
- Zistite, aká je veľkosť fázového napäťa v zásuvkách v zahraničí, napr. v USA. Čo radi cestovná kancelária urobiť, aby sme mohli spotrebiče zakúpené v Európe používať aj v USA?

3.9 (Prenosová sústava

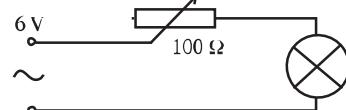
Bez elektrickej energie si nevieme predstaviť život. Používame ju stále a automaticky. Ako sa k nám však táto energia dostáva? Prečo prenášame striedavé napätie a nie jednosmerné?

Modelový experiment

Zapojme do obvodu zdroj napäťa 6 V, žiarovku s menovitým napäťom 6 V a s menovitým prúdom 0,2 A a reostat s odporom 100 Ω .

Menovité napätie spotrebiča

Menovitý prúd, menovité napätie – prúd a napätie odporúčané výrobcom zariadenia.



Pri malej hodnote odporu na reostate žiarovka svieti, pri väčšej hodnote žiarovka nesveti. Tento obvod môže predstavovať model nasledujúcej situácie:

V dedine máme dom so zásuvkou s napäťom 230 V (v našom modeli 6 V). Hlboko v lese, 5 km od dediny, máme chalupu a v nej chceme používať elektrický ohrievač (v našom modeli namiesto ohrievača máme žiarovku). Na ohrievači je napísané 230 V, 1,2 kW. Prívodné vodiče, ktoré musíme použiť majú istý elektrický odpor, v našom modeli nahradený odporom reostatu.

Úloha

- Vypočítajte odpor ohrievača.
- Odhadnite priemer medených vodičov kábla, ktorý použijete. Vypočítajte celkový odpor použitých káblov.
- Vypočítajte celkový odpor elektrického obvodu, prúd prechádzajúci obvodom a elektrické napätie na svorkách ohrievača. Vypočítajte príkon ohrievača.





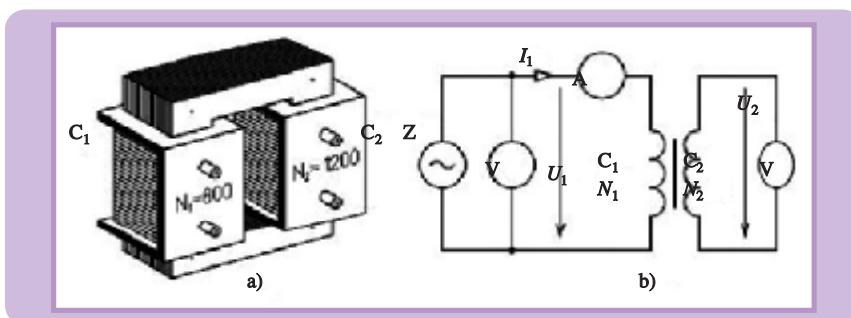
- d) Odhadnite cenu použitých káblov.
e) Vysvetlite nebezpečenstvo, ktoré hrozí ak takéto káble necháme voľne ležať na zemi v lese.

Prenos elektrickej energie na väčšie vzdialenosť sa uskutočňuje pri vyšších napätiach. Striedavé napätie zdroja možno meniť transformátorom.

Transformátor je zariadenie, ktoré mení veľkosť striedavého napäťa a prúdu tak, že celkový prenášaný výkon sa takmer nezmení (pri účinnosti transformátora trochu menší ako 100 %, mierne klesne). Jeho princíp je založený na elektromagnetickej indukcii.

Transformátor sa skladá z dvoch cievok na spoločnom uzavretom jadre z vhodného materiálu. Jednu cievku nazývame primárna a druhú sekundárna. Primárna cievka je tá, ku ktorej pripojíme striedavé napätie, ktoré máme k dispozícii. Sekundárna cievka je tá, z ktorej odoberáme napätie také, aké potrebujeme.

Transformátor je konštruovaný tak, aby sa indukčné čiary vytvorené v primárnej cievke nerozptylovali do okolia, teda aby prechádzali aj sekundárnu cievkou.



Ak primárnu cievku pripojíme k zdroju striedavého napäťa, vytvorí vo svojom okolí premenlivé magnetické pole. Jadrom sa magnetické pole prenáša aj na druhú cievku, ktorá sa dostáva do premenlivého magnetického pola. Podľa Faradayovho zákona elektromagnetickej indukcie sa v sekundárnej cievke indukuje striedavé napätie. Vzťah medzi napäťami na primárnej a sekundárnej cievke nazývame rovnica transformátora.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Transformačný pomer

V dôsledku zákona zachovania energie, nemôže byť výstupný výkon väčší ako vstupný. Kedže najlepšie transformátory pracujú s účinnosťou až 99 %, môžeme povedať, že vstupný a výstupný výkon sa približne rovnajú. Preto

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Hovoríme, že prúdy sa transformujú v obrátenom pomere k počtu závitov.





Úlohy

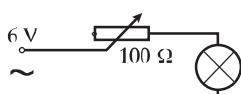
1. Transformátor má doma každý z nás. Vymenujte zariadenia, o ktorých predpokladáte, že je v nich zabudovaný transformátor.
2. Prezrite si ističe pri vstupe do vášho bytu. Aké hodnoty prúdu sú na nich vyznačené? Aký je maximálny príkon spotrebiča, ktorý môže byť pripojený k zásuvke istenej ističom s najvyššou hodnotou prúdu?

Prenos elektrickej energie v energetike



Vráťme sa späť k úvodnému pozorovaniu. Videli sme, že našim spotrebičom – žiarovkou, neprechádzal dostatočne veľký prúd na to, aby ju rozsvietil. Tento problém môžeme riešiť tak, že budeme prenášať určitý výkon pri vyššom napätí, čím sa znížia tepelné straty vo vedení. Teda napäťie budeme transformovať, a to najskôr nahor (pri zdroji napäťia) a následne nadol (pri spotrebiči).

Úloha



a) Predstavme si zdroj napäťia 6 V, žiarovku s menovitým napätiom 6 V a s menovitým prúdom 0,2 A a reostat s odporom 100 Ω . Odhadnite napätie na svorkách žiarovky. Pri odhade uvažujte, že odpor žiarovky sa nemení.

b) Predstavme si, že napätie zdroja transformujeme z hodnoty 6 V na hodnotu 40 V s účinnosťou 100 %. Tesne pred žiarovkou napätie transformujeme opačným pomerom nadol. Odhadnite napätie na svorkách žiarovky. Pri odhade uvažujte, že odpor žiarovky sa nemení.



**Návod na riešenie:**

a) Z menovitých hodnôt vypočítajte odpor žiarovky. Potom vypočítajte celkový prúd prechádzajúci obvodom. Svorkové napätie na žiarovke bude súčinom prúdu a odporu žiarovky. **Predpokladáme, že dostanete výsledok 1,4 V.** Pri takomto výsledku by sme sa mali zamyslieť nad predpokladom, že odpor žiarovky sa nemení – žiarovka nebude rozzeravená, a preto jej odpor bude výrazne menší.

b) Riešenie tejto časti je podstatne zložitejšie. Napriek tomu vám odporúčame pokúsiť sa o to. Uvedomme si, čo platí pre druhý transformátor pre napäcia a pre prúdy. Tiež si uvedomme, o koľko je primárne napätie druhého transformátora menšie v porovnaní s napäťom 40 V vplyvom úbytku napäcia na rezistore. Ďalej si uvedomme, že súčin prúdu prechádzajúceho žiarovkou a odporu žiarovky sa rovná napätiu na svorkách žiarovky.

Základom energetickej prenosovej sústavy sú siete elektrických vedení vysokého napäcia 220 kV a 400 kV. Tieto siete sú prepojené so sietami susedných štátov. Napätie sa ďalej transformuje na 110 kV a na 22 kV pre prenos na menšie vzdialnosti. V lokálnych transformátoroch sa napätie transformuje na konečných 230 V. Skutočné napätie v našich zásuvkách sa môže mierne lísiť od tejto hodnoty, napríklad v závislosti od momentálneho zataženia siete.

Energetická prenosová sústava

3.10 (Zhrnutie, úlohy

Vysvetlite svojimi slovami význam slov a slovných spojení, ktoré sme zaviedli a používali v tejto časti:

- magnetické pole
- magnetka
- magnetická indukčná čiara
- magnetická sila
- magnetická indukcia
- elektromagnetická indukcia
- elektrická energia
- vírivé prúdy
- striedavý prúd
- efektívna hodnota elektrického napäcia
- transformátor

Pripravte si zdroj informácií

Niektoré z pojmov sú používané v učebnici iba intuitívne. Ak neviete uviesť význam niektorého zo spomenutých slov, vyhľadajte ho vo svojom zdroji informácií.

Vyjadrite sa k nasledovným problémom:

1. Dozvedeli sme sa, že elektrická energia sa efektívnejšie prenáša pri vyššom napäti. Diskutujte o tom, prečo nie je efektívne toto napätie zvyšovať bez obmedzení (napríklad viac ako na 2 GV), ale existuje optimálne napätie pre prenos (220 kV alebo 400 kV).
2. Od pradávna sa na tvorbu máp a na určovanie smeru cesty používalo magnetické pole Zeme. Vysvetlite úlohu kompasu na lodi v minulom storočí. Aké zariadenia sa používajú na určovanie smeru cesty dnes? Aký má vplyv využitie výsledkov



základného a aplikovaného výskumu v oblasti mapovania a lokalizácie na celkovú ekonomiku spoločnosti? Poznáte geografické súradnice školy?

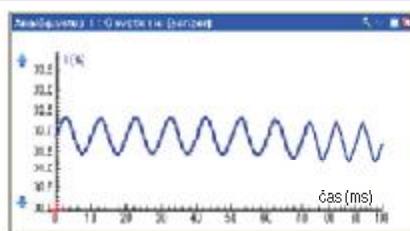
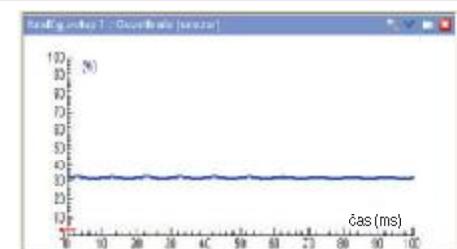
3. Diskutujte o tom, aké zariadenia otáčajú rotorom generátora v jednotlivých typoch elektrární. Ktoré typy elektrární nevyužívajú jav elektromagnetickej indukcie pri premene inej formy energie na elektrickú energiu?



Úloha

Odpovedajte na nasledujúce otázky:

- Aká je frekvencia a aká perióda napäťa v zásuvke s napäťom 230 V?
- Prečo žiarovka lampy pripojenej k elektrickej sieti svieti a nebliká?
- Svetlo zo žiarovky pripojenej k elektrickej sieti sme sledovali senzorom osvetlenia. Namerali sme závislosť osvetlenia od času zobrazenú na obrázku vľavo. Pozorne sme si prezreli údaj zo senzora osvetlenia v oblasti okolo 32 % tak, ako na obrázku vpravo.



Odmerajte z grafu frekvenciu blikania žiarovky a vysvetlite, ako súvisí nájdená hodnota s frekvenciou striedavého prúdu. Zároveň vysvetlite, prečo toto blikanie okom nepozorujeme.





4. Aktivity

V tejto časti sú pripravené námety na prácu v školskom laboratóriu a čiastkové výsledky, ku ktorým dospeli študenti niektorých škôl v čase písania tejto učebnice. V školskom laboratóriu realizujeme najmä pozorovanie, meranie a experimentovanie tak, aby sme dosiahli vopred vytyčený cieľ. V predchádzajúcim ročníku ste sa naučili, že pri meraní hodnoty fyzikálnej veličiny je potrebné:

- uvedomiť si cieľ merania,
- vyslovíť **hypotézu**, najlepšie podporenú prvotným skúmaním objektu alebo jasu,
- navrhnúť **metódu merania**, pripraviť si vhodné meracie prístroje,
- zmerať údaje potrebné na dosiahnutie cieľa merania a vhodným spôsobom ich zaznamenať,
- namerané údaje spracovať tak, aby sme dospeli k výsledku merania,
- výsledky merania interpretovať, vyslovíť závery, porovnať výsledky s hypotézou,
- identifikovať zdroje chýb merania a navrhnúť **zlepšenie metódy merania**.

Ak plánujeme experiment, tak okrem uvedených krokov si musíme naplánovať, ktorú fyzikálnu veličinu (ktorú vlastnosť objektu alebo jasu) budeme meniť, ktorá fyzikálna veličina sa bude meniť ako dôsledok nášho zásahu do objektu alebo jasu a ktoré veličiny budeme udržiavať nezmenené – konštantné. Do predchádzajúceho zoznamu teda doplníme:

- **Nezávisle premenná veličina** – veličina, ktorej zmenu riadime zásahmi do objektu alebo jasu.
- **Závisle premenná veličina** – veličina, ktorá sa mení ako dôsledok nášho zásahu.
- **Konštantné veličiny** – veličiny, ktoré sledujeme a dbáme, aby sa nemenili.

V školských podmienkach zvyčajne sledujeme iba jednu nezávisle a jednu závisle premennú veličinu.

4.1 (Vztlaková sila, Archimedov zákon

Tažké teleso, napr. veľký kameň, ľahko zdvihнемe z dna bazénu plného vody. Ale keď sa kameň začne vynárať z vody, vyžaduje si jeho zdvihanie stále väčšiu námahu. Na suchej zemi s ním potom manipulujeme len s veľkým úsilím.

Na obrázku je jeden z najhlbších bazénov na svete. Nachádza sa v Belgicku v Bruseli.

Sily pôsobiace na teleso v kvapaline si ozrejmíme komentovaným experimentom.

Hypotéza: Na základe tejto skúsenosti sa môžeme domnievať, že teleso ponorené do kvapaliny je nadláhčované. Proti smeru gravitačnej sily pôsobí iná sila, nazvime





ju **vztlaková sila**, označme ju F_v . Celková sila pôsobiaca na teleso ponorené do vody časťou V svojho objemu, má preto veľkosť

$$F = F_g - F_v$$

Predpokladáme, že veľkosť vztlakovej sily bude závisieť od objemu ponorenej časti telesa.

Plánovanie experimentu

Postup merania: Aby sme preskúmali závislosť $F_v = F_v(V)$, pripravíme si tyč, ktorá má po celej svojej dĺžke rovnaký prierez. Zavesíme ju na niť a na silomer. Postupne ju budeme ponárať do vody a budeme merať objem ponorenej časti tyče a veľkosť napnutia nite (silu na silomere).

Objem ponorenej časti tyče budeme merať nepriamo – budeme merať dĺžku ponorenej časti tyče a objem ponorenej časti tyče vypočítame zo vzťahu

$$V = \pi \frac{d^2}{4} l, \text{ kde } d \text{ je priemer tyče a } l \text{ je dĺžka ponorenej časti tyče.}$$

Úloha

Tekutina	Hustota/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Vzduch	1,29
Voda (4 °C)	1 000
Morská voda	1 025
Benzín	680
Nafta	770
Olej	900

Vztlaková sila, Archimedov zákon

Zostavte aparáturu na meranie, navrhnite spôsob merania jednotlivých veličín a postup spracovania výsledkov.

Interpretácia výsledkov: Po spracovaní výsledkov pravdepodobne príde na to, že na teleso ponorené do kvapaliny pôsobí vztlaková sila. Tiež sa ukáže, že vztlaková sila je priamo úmerná objemu ponorenej časti telesa. Môžeme preto písat $F_v = kV$.

Experimentom sme prišli k záveru, ktorý súvisí s **Archimedovým zákonom**:

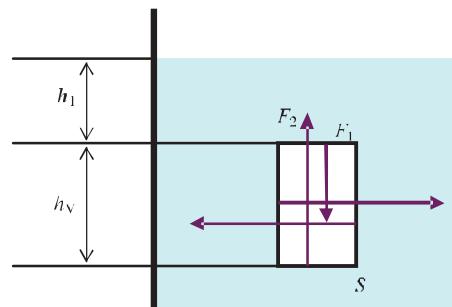
Teleso ponorené do kvapaliny je nadlážčované silou, ktorú vypočítame podľa vzťahu:

$$F_v = V\rho g$$

kde V je objem ponorenej časti telesa, ρ je hustota kvapaliny a g je tiažové zrýchlenie.

Všimnime si, že veľkosť vztlakovej sily nezávisí od hĺbky ponoru telesa.

Vzťah pre vztlakovú silu je možné aj odvodiť. Prezrite si nasledujúci postup odvodenia a zhodnote, či je jednoduchý alebo zložitý.





Predstavme si valec umiestnený zvisle v nádobe s vodou tak, ako na obrázku.

Valec má podstavu s plochou S , výšku h_v a objem $V = h_v S$. Vo vode je ponorený tak, že horná podstava je vo výške h_1 pod hladinou. Na každú plôšku s veľkosťou ΔS telesa pôsobí voda silou $F = p \Delta S$ kolmo na povrch valca. Tlak v každom bode kvapaliny sa dá vypočítať pomocou vzťahu $p = p_a + h \rho g$. Povrch valca sme rozdelili na podstavy a plášť. Silu pôsobiacu na spodnú podstavu sme označili F_2 , silu pôsobiaču na hornú podstavu sme označili F_1 . Na obrázku sme naznačili tiež sily pôsobiače na plášť. Uvedomme si, že na plášť pôsobia sily zo všetkých strán rovnomerne a že súčet všetkých týchto sôl sa rovná nule.

Z predchádzajúceho vyplýva, že voda pôsobí na valec výslednou silou smerom nahor. Táto sila je vektorovým súčtom sôl F_2 a F_1 . Môžeme písat:

$$F = F_2 - F_1 = (p_a + (h_1 + h_v) \rho g)S - (p_a + h_1 \rho g)S = h_v \rho g S = V \rho g$$

Odvodenie
Archimedovho zákona

Výsledný vzťah je vzťahom pre vztlakovú silu.

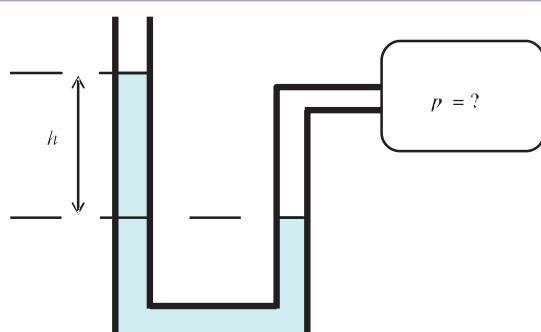
Úloha

V učebnici biológie sme sa mohli dočítať že najväčší živočich, vráskavec obrovský, dosahuje dĺžku 30 m a hmotnosť okolo 130 ton. Zároveň tam je tiež napísané, že túto hmotnosť mohol dosiahnuť iba vďaka tomu, že žije v morskej vode, ktorá ho nadľahčuje. Vysvetlite toto tvrdenie. Odhadnite priemernú hustotu vráskavca. Ak by sme vráskavca nahradili valcom, odhadnite aký by mal priemer.

4.2 (Tlak, Torricelliho experiment

V tejto sérii experimentov sa budeme venovať tlaku kvapaliny.

a) Tlak vzduchu v uzavorennej nádobe niekedy meriame kvapalinovým tlakometrom. Schéma takéhoto tlakomera je na obrázku.



Vysvetlite činnosť kvapalinového tlakomera. Zostrojte takýto tlakomer, ako kvapalinu použite vodu. Pripravte aj stručný návod na použitie vášho tlakomera. Určte

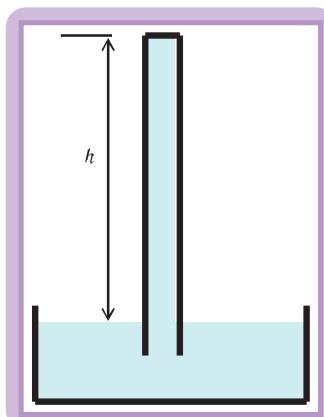


merací rozsah väčšo tlakomeru a zmerajte tlak vzduchu v balóniku, v injekčnej striekačke alebo v inej nádobe.

b) Predstavme si nasledujúcu situáciu:

Máme úzku trubicu na jednom konci uzavorenú. Trubicu úplne naplníme vodou a otočíme tak, aby trubica bola vo zvislej polohe s uzavoreným koncom smerom nahor. Zabezpečíme, aby voda nevytiekla, napr. tým, že ponoríme otvorený koniec do vody. Situáciu sme znázormili na obrázku.

Navrhnite a zrealizujte experiment



Úlohy

- Vypočítajte tlak v hornej časti trubice, ak atmosférický tlak je 998 hPa a výška $h = 1,52$ m.
 - Určte výšku h tak, aby tlak v hornej časti trubice bol nulový. Predpokladajte, že voda je nestlačiteľná a nemení svoje skupenstvo ani pri veľmi malom tlaku.
 - Navrhnite a zrealizujte experiment na overenie výsledku z úlohy 2. Ako trubicu použite priebehadnú hadicu s vnútorným priemerom niekoľko milimetrov, napríklad takú, ako sa predáva v obchodoch s potrebami pre akvaristov alebo v predajni súčiastok do automobilov. Pokúste sa vysvetliť rozdiel medzi výsledkom z úlohy 2 a vašim odmeraným výsledkom.
- c)** Situácia z aktivity b) pripomína experiment, ktorý vošiel do histórie pod názvom Torricelliho experiment alebo merací prístroj, ktorý sa nazýva Torricelliho barometer. Vyhľadajte informácie o tomto experimente a o tomto meracom prístroji. Vysvetlite, ako sa aparátura tohto experimentu používala na meranie atmosférického tlaku. Vysvetlite, prečo experiment s ortufoú nesmieme v škole realizovať.

4.3 Tepelná výmena medzi kovovým telesom a kvapalinou

Cieľom tejto aktivity je odmerať hmotnostnú tepelnú kapacitu kovu a na základe tohto merania rozhodnúť, o ktorý kov ide.

Smerovanie k hypotéze: Predpokladáme že máme iba valčeky z materiálov uvedených v tabuľke v časti 1.9.

Hľadanie postupu merania: Hmotnostnú tepelnú kapacitu sa budeme snažiť odmerať tak, že valčeku dodáme známu hodnotu energie. Ak budeme poznáť hmotnosť valčeka aj zmenu jeho teploty, zistíme hmotnostnú tepelnú kapacitu pomocou vzťahu:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

Energiu môžeme valčeku dodať napríklad tepelnou výmenou. Ak ponoríme val-





ček do vody s inou teplotou, potom bude medzi vodou a valčekom prebiehať tepelná výmena – až do okamihu, keď sa teploty vyrovnajú. Bolo by vhodné, keby sme mohli považovať zmenu vnútornej energie vody za rovnakú ako je zmena vnútornej energie valčeka. Dosiahneme to tak, že sústavu voda – valček izolujeme od okolitého prostredia. Vodu nalejeme do vhodnej nádoby, napr. do polystyrénového pohára s vekom (ako sa používa v reštauráciach s rýchlym občerstvením na čaj a na kávu), alebo do nádoby vystrihnutej zo škatule na trvanlivý nápoj. Tepelná výmena sústavy s okolím bude zanedbateľná vtedy, ak teplota tejto sústavy sa bude iba málo lísiť od teploty okolia.

Postup merania

1. Odvážime valček, hmotnosť $m_{\text{valček}}$ si zapíšeme.
2. Do nádoby nalejeme vodu s hmotnosťou rovnajúcou sa dvojnásobku až trojnásobku hmotnosti valčeka, hmotnosť m_{voda} si zapíšeme.
3. Zohrejeme valček na teplotu 100 °C tak, že ho necháme 2-3 minúty vo vriacej vode.
4. Odmeriameme teplotu vody v nádobe, hodnotu $t_{\text{záčiatok}}$ si zapíšeme.
5. Valček bezpečne, pomocou držiaka, preložíme do nádoby a nádobu uzavrieme. Cez veko vložíme do vody teplomer tak, aby sa nedotýkal valčeka.
6. Meríame teplotu vody. Počkáme kým sa teplota vody ustáli, túto hodnotu $t_{\text{konečná}}$ si zapíšeme.
7. Z nameraných údajov vypočítame hmotnostnú tepelnú kapacitu valčeka a hodnotu porovnáme s hodnotami v tabuľke.

Úloha

Naplánujte postup spracovania nameraných údajov. Potom meranie zrealizujte, snažte sa dodržať naplánovaný postup merania.

4.4 (Overenie vzťahu pre periódu kmitania závažia na pružine

Cieľom tejto série experimentov je overenie platnosti vzťahu $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

Niektoré časti plánovania tejto série experimentov ponechávame na vás.

V niektorých častiach uvádzame aj typické chyby, ktoré sa objavujú pri plánovaní podobných experimentov a vyzývame vás, aby ste navrhli vylepšenia postupu, aparátury a metódy spracovania údajov. Berte túto kapitolu ako námet na plánovanie vlastného experimentu na túto tému.

Výskumné otázky, na ktoré budeme hľadať odpovede:

(Pri hľadaní odpovedí sa rozdelte do skupín.)

- a) Aká je závislosť medzi períodom kmitania závažia na pružine a hmotnosťou závažia, pri jednej pružine?
- b) Aká je závislosť medzi períodom kmitania závažia na pružine a tuhostou pružiny pri jednej pôvodnej dĺžke pružiny a jednej hmotnosti závažia?



c) Aká je závislosť medzi periódou kmitania závažia na pružine a dĺžkou nezaťenej pružiny pri konštantnej tuhosti pružiny a hmotnosti závažia?

Úloha

Viete si predstaviť aj inú veličinu, od ktorej by períoda mohla závisieť, pokiaľ by overovaný vzťah bol chybný? Môžete vyslovíť aj ďalšie otázky, ktoré by sme v súvislosti s overovaním vzťahu mohli riešiť. Pri svojom experimente použite túto veličinu (tieto veličiny) ako konštantnú aj pri odpovediach na predchádzajúce výskumné otázky.

Príklad žiackeho plánovacieho experimentu s chybami

Hľadajte chyby
a nepresnosti v tomto
experimente

a) Aká je závislosť medzi períodom kmitania závažia na pružine a hmotnosťou závažia, pri jednej pružine?

Veličiny podstatné v tomto experimente:

Nezávisle premenná veličina: hmotnosť závažia.

Závisle premenná veličina: períoda kmitania závažia.

Konštantné veličiny: pružina a jej vlastnosti.

Aparatúra: Podstatnou časťou aparátury je statívová súprava, v ktorej je uchytená pružina, závažie bezpečne upevnené na pružine, zariadenie na meranie períody kmitania, zariadenia na meranie ďalších veličín, ktoré máme udržiavať konštantné. Hmotnosti závaží sú na nich napísané a sami sa rozhodnite, či ich budete kontrolovať alebo nie.

Nezabudnite sa presvedčiť, či je aparátura bezpečná, aby sa napr. nemohlo kmitajúce závažie uvoľniť.

Postup merania

1. Vyberieme si pružinu a odmeriame jej tuhosť a dĺžku, pokiaľ nie je zatažená.
2. (Tento bod preformulujte podľa vlastného uváženia.) Pre istotu odmerajme aj ďalšie veličiny opisujúce vlastnosti pružiny napríklad jej hmotnosť.
3. Na pružinu pripievame závažie so známou hmotnosťou m a necháme ho ustáliť v rovnovážnej polohe. Potiahneme ho o 10 cm nadol a uvoľníme.
4. Zmeriame závislosť výšky závažia od podlahy od času. Z grafu odčítame períodu kmitania T . (Períodu kmitania môžeme zmerať aj inak, napr. stopkami, ktoré máte v mobilnom telefóne. V takomto prípade odporúčame merať niekoľko períod a delením celkového času a počtu períod dostaneme hodnotu jednej períody).
5. Body 3 a 4 budeme opakovať s hmotnosťami od ...g po ...g s krokom ...g. (Hodnoty plánujte podľa použitej pružiny).

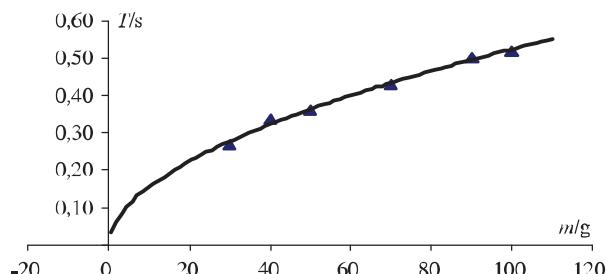
Postup spracovania údajov: Údaje o hmotnosti závažia a període kmitania zapíšeme do tabuľky. Hodnoty zobrazíme v grafе závislosti períody od hmotnosti. Bodmi preložíme krivku. Podľa hypotézy predpokladáme, že bodmi je možné preložiť funkciu $y = k\sqrt{x}$. Zakreslíme tiež graf závislosti druhej mocniny períody od hmotnosti. Predpokladáme, že tento graf bude grafom priamej úmernosti. Ak to tak naozaj bude, bude to potvrdením našej hypotézy. Meriame aj sklon grafu a porovnáme ho so sklonom, ktorý očakávame: sklon = $\frac{4\pi^2}{k}$.





Namerané údaje:

m/g , $\Delta m = 0g$	T/s , $\Delta T = \pm 0,01 s$
30	0,27
40	0,34
50	0,36
70	0,43
90	0,50
100	0,52



Určite ste si všimli, že namerané údaje majú niekoľko nepresnosťí. Pri realizácii vášho experimentu sa im snažte vyhnúť.

- Zabudli sme si poznamenať konštantné veličiny – hmotnosť pružiny, dĺžku nezaťaženej pružiny a tuhosť pružiny.
- Časť krvky v intervale od 0 g po 30 g sa veľmi mení a vôbec nevieme potvrdiť, či zmeraná závislosť skutočne súhlasí s funkciou, ktorou sme namerané údaje preložili.

Úlohy

- Na základe predchádzajúceho príkladu naplánujte svoj experiment. Snažte sa vyhnúť všetkým chybám uvedeným v príklade. Po realizácii experimentu vyhodnotte dosiahnuté výsledky aj postup merania. Pravdepodobne budú získané výsledky súhlasiť s hypotézou iba čiastočne. Pokúste sa identifikovať zdroje systematických ako i náhodných chýb merania a ich vplyv na výsledok experimentu.

Jednou z chýb postupu uvedeného v predchádzajúcim príklade je zanedbanie hmotnosti pružiny. Časti pružiny blízko závažia sa pohybujú spolu so závažím. Hmotnosť pružiny by sme mali brať do úvahy. Jedným z možných odhadov je, že výsledky merania budú súhlasiť s hypotézou, ak k hmotnosti závažia pripočítame tretinu hmotnosti pružiny.

- Rozdelte sa na skupiny. Každá zo skupín si vyberie ďalšie z úloh uvedených na začiatku tejto aktivity (jeden čiastkový problém, b), c), prípadne ďalšie), naplánuje a zrealizuje experiment. O svojich výsledkoch sa budete informovať na moderovej konferencii. Pri prezentácii svojich výsledkov použite prezencačnú techniku. Prezentácia každého čiastkového výsledku by nemala trvať viac než 7 minút. Na záver diskutujte o spoločnom závere.



4.5 Meranie rýchlosť zvuku rezonátorom

V časti 2.14 sme merali rýchlosť zvuku dvoma mikrofónmi pripojenými k osciloskopu. V tejto aktivite si naplánujeme meranie rýchlosť zvuku jednoduchými pomôckami. Použijeme trubicu s dĺžkou viac ako 1,5 m. Trubica bude na jednom konci otvorená a na jej druhom konci bude umiestnený pohyblivý piest. Piestom bude možné pohybovať tak, aby sme mohli vytvoriť trubicu s premenlivou dĺžkou, na jednom konci otvorenú. Použijeme tiež zdroj harmonického zvuku so známou frekvenciou. Počas experimentu budeme hľadať dĺžku trubice, pri ktorej zvuk s danou frekvenciou vytvorí v trubici stojatú vlnu, a tak sa zosilní. Toto zosilnenie budeme môcť počuť, bez ďalších prístrojov.

Cieľom experimentu je odmerať rýchlosť zvuku vo vzduchu použitím jednoduchých pomôcok.

Úloha

Najdite alebo vytvorte si trubicu s parametrami opísanými v úvode do tejto aktivity. Navrhnite a zrealizujte experiment.

My sme zvolili sklenú trubicu na jednom konci zúženú. Na zúžený koniec sme pripievni hadicu a do trubice sme naliali vodu. Trubicu sme umiestnili zvisle a hladina vody tvorila piest. Pohybom hadice bolo možné posúvať hladinu vody nahor aj nadol. Ako zdroj zvuku sme použili ladičku bez rezonátora s frekvenciou 440 Hz.

4.6 Overenie vzťahu pre rýchlosť priečnej vlny na napnutom vlákne

Cieľom tohto experimentu je overiť platnosť vzťahu $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ pre rýchlosť priečnej vlny na napnutom vlákne. V tejto aktivite ponúkame iba niekoľko námetov na riešenie čiastkových úloh pri plánovaní experimentu.

a) Jednou z úloh je navrhnuť metódu merania rýchlosť priečnej vlny. Na to, aby sme mohli merať rýchlosť postupnej vlny šíriacej sa napnutým vláknom, potrebujeme by sme dostatočne dlhé vlákno. Jednou z možností je vytvoriť na vlákne stojaté vlnenie a z vlastnosti takého vlnenia vypočítať rýchlosť postupnej vlny.

b) Na meranie rýchlosť postupnej vlny meraním vlastnosti stojatej vlny potrebujeme poznáť vlnovú dĺžku a frekvenciu vlnenia. Vlnovú dĺžku sa vám iste podarí zmerať – pravdepodobne sa vám podarí vytvoriť stojatú vlnu tak, že na oboch koncoch bude uzol a žiadnen iný uzol na stojatej vlnie nebude. Problémom zostáva merať frekvencie.

c) Merať napätiu silu F možno tak, že na vlákno zavesíme závažie so známou hmotnosťou. Ak potrebujeme mať vlákno vodorovne, potom jeden koniec viedieme cez kladku a závažie zavesíme na voľný koniec vlákna.

d) Ako nezávisle premennú veličinu si môžeme zvoliť napätiu silu F . V takom





priípade meníme napínaciu silu a potrebujeme merať rýchlosť vlny (teda frekvenciu a vlnovú dĺžku).

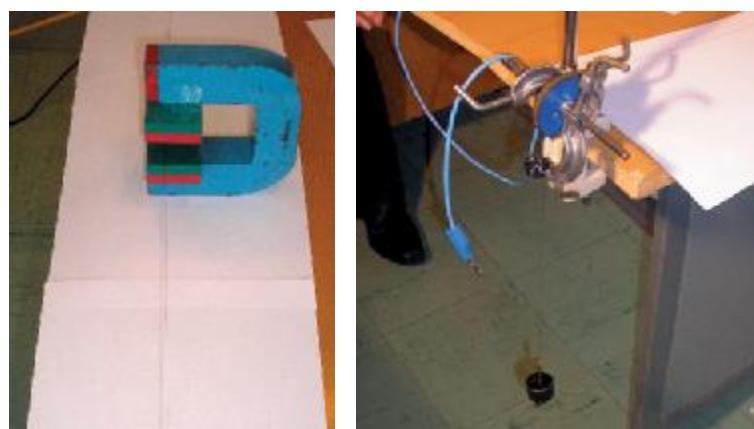
e) Vláknom je možné kmitať napr. tak, že vlákno bude vodivé (tenký medený drôt), bude ním prechádzať striedavý elektrický prúd a stredná časť drôtu bude v **magnetickom poli magnetu tvaru U**. **V tomto prípade bude frekvencia kmitania konštantná, rovnajúca sa 50 Hz.**

f) Vlákno môžeme rozkmitať aj rukou, podobne ako na gitare. Frekvenciu kmitania môžeme merať meraním frekvencie zvuku, ktorý bude vlákno vydávať (mikrofónom a osciloskopom).

g) Pri vyhodnocovaní experimentu je dobré poznať aj skutočnú hodnotu konštanty μ . Budeme teda potrebovať dostatočne presné váhy a dostatok vlákna tak, aby sme mohli odmerať hmotnosť istej dĺžky vlákna a z toho určiť hmotnosť jedného metra vlákna.

Úloha

Naplánujte meranie závislosti rýchlosťi postupnej priečnej vlny na vlákne od napínacej sily pre jeden konkrétny tenký medený drôt. Môžete použiť námety z nasledujúcich obrázkov:



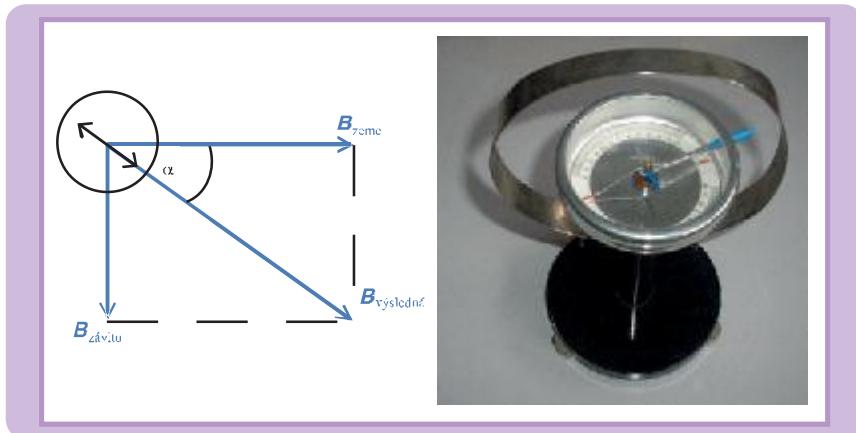
4.7 (Meranie magnetického pola Zeme

Pomocou tohto experimentu sa pokúsime odmerať horizontálnu zložku magnetickej indukcie magnetického pola Zeme vo vašom laboratóriu.

Meranie bude založené na porovnávaní horizontálnej zložky magnetickej indukcie Zeme vo vašom laboratóriu B_{zeme} a známej hodnoty magnetického pola závitu $B_{závitu}$, ktorým bude prechádzať elektrický prúd I . V aparátu experimentu zabezpečíme, aby tieto dva vektorové magnetické indukcie boli na seba kolmé. Smer výsled-



nej magnetickej indukcie budeme sledovať magnetkou (ustáli sa v smere výslednej magnetickej indukcie).



Z obrázka vidíme, že $\tan \alpha = \frac{B_{zavitu}}{B_{zemc}}$. Vzťah na výpočet veľkosti magnetickej indukcie magnetického poľa v strede závitu sme našli v našom zdroji informácií:

$$B_{zavitu} = N \frac{\mu_0 I}{d}$$

kde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$, d je priemer závitu a N je počet závitov.

Hypotéza: Predpokladáme, že magnetické pole v našom laboratóriu bude približne rovnaké, ako je na Slovensku bežné. V našom zdroji informácií sme našli hodnotu $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

Veličiny podstatné v tomto experimente:

Nezávisle premenná veličina: uhol medzi smerom horizontálnej zložky magnetickej indukcie magnetického poľa Zeme a smerom výslednej magnetickej indukcie α .

Závisle premenná veličina: elektrický prúd I prechádzajúci závitom.

Konštantné veličiny: priemer závitu d , poloha aparátury v miestnosti.

Aparatúra: Na meranie budeme potrebovať kruhový závit, magnetku so stojanom (alebo kompas), obvod s premenlivým elektrickým prúdom, pravítko na meranie priemeru závitu a uhlomer. Môžeme použiť učebnú pomôcku zvanú tangentová buzola (na obrázku). Pre vhodný výber parametrov elektrického obvodu a ampérmetra odhadneme prúd potrebný na vychýlenie magnetky o 45° .

Ak použijeme závit s priemerom 15 cm, potom pre hodnotu $2,2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ potrebujeme prúd $\frac{B_{zavitu} d}{\mu_0} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,15}{4\pi \cdot 10^{-7}} \text{ A} = 2,6 \text{ A}$. Potrebujeme zdroj a ampérmetr s rozsahom zodpovedajúcim tomuto odhadu (alebo viac závitov úzkej cievky spomenujte v alternatíve na konci tejto aktivity).

Postup merania

- Umiestnime aparáturu tak, aby magnetka ležala v rovine závitu a bola v jeho strede.





2. Uhlomer umiestnime tak, aby sme mohli čo najpresnejšie merať vychýlenie magnetky z pôvodnej polohy.
3. Nastavíme hodnotu prúdu v závite tak, aby sa magnetka vychýlila o 5° z pôvodnej polohy.
4. Odmeriameme hodnotu prúdu ampérmetrom.
5. Body 4 a 5 opakujeme s hodnotami výchylky od 5° po 60° s krokom 5° .
6. Zakreslíme graf závislosti $B_{závitu}$ od tgct.
7. Odmeriameme sklon grafu. Zo sklonu grafu vypočítame veľkosť horizontálnej zložky magnetickej indukcie magnetického poľa Zeme.

Úloha

Vykonajte meranie, zhodnote výsledok merania a navrhnite možnosti na zlepšenie aparátúry alebo postupu merania. Môžete použiť aj alternatívnu aparátúru – napríklad úzkú cievku s niekoľkými závitmi alebo dlhú jednovrstvovú cievku s dostatočným priemerom na to, aby ste do nej mohli vložiť magnetku.



4.8 (Zostrojme si elektromotor

Cieľom tejto aktivity je zstrojenie jednoduchého, ale funkčného elektromotora.

Príprava

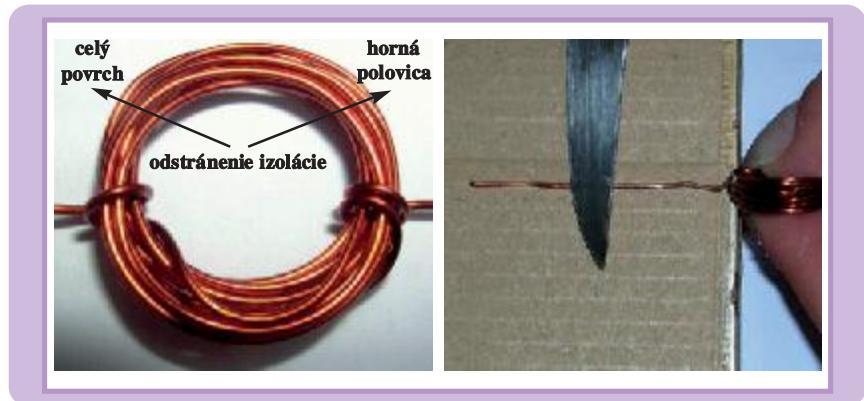
1. Aké podmienky musia byť splnené, aby sa cievka umiestnená v magnetickom poli otáčala?
2. Ako treba upraviť kontakty cievky, aby sa nezastavila v polohe kolmej na indukčné čiary, ale aby jej pohyb pokračoval ďalej?

Pomôcky: 4,5 V batéria, magnet, jednoduchá cievka (podľa obrázka z lakovaného medeného drôtu), stojančeky (kancelárske spinky), plastelína, spojovacie vodiče.



Postup

1. Navinutím približne 10 závitov z izolovaného drôtu si vyrobíme ľahkú cievku. Z koncov drôtu odstráňme izoláciu – z jedného konca úplne celú, druhý koniec odizolujeme pozdĺž hornej polovice tak, ako na obrázkoch.



2. Stojanček zo spiniek pripojme na batériu a pomocou magnetu roztočme cievku. Ak sa pokus nedarí, skúsmo znova vystrieľ kontakty cievky a lepšie ju vyvážiť.



3. Meraním pomocou počítača zistime frekvenciu otáčania elektromotora (počet otáčok elektromotora za sekundu). Porovnajte si navzájom svoje výsledky a najdite v triede najlepšieho konštruktéra.
4. Navrhnite zlepšenia tak, aby sa elektromotor roztočil s väčšou frekvenciou.

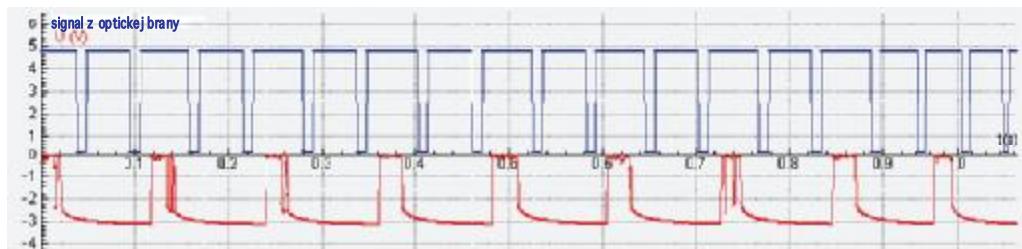
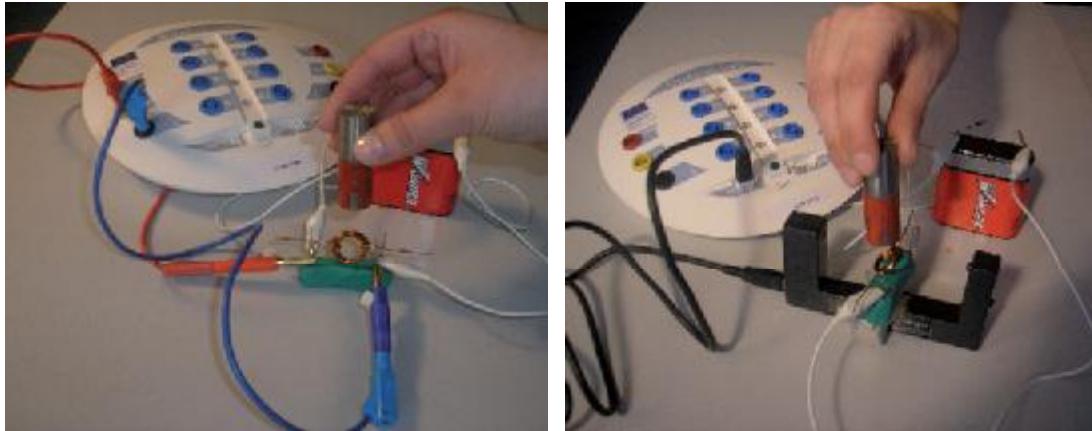
Doplňujúce otázky

1. Fungoval by váš elektromotor bez magnetu? Fungoval by váš elektromotor, keby cievkou neprechádzal elektrický prúd?
2. Čo je príčinou toho, že sa cievka otáča?
3. Vysvetlite, prečo musia byť kontakty cievky, ktorá tvorí rotor elektromotora upravené podľa obrázka. Mohli by byť konce cievky upravené aj iným spôsobom? Svoju odpoveď odôvodnite.
4. Vyhľadajte vo svojom zdroji informácií, čo je to komutátor.



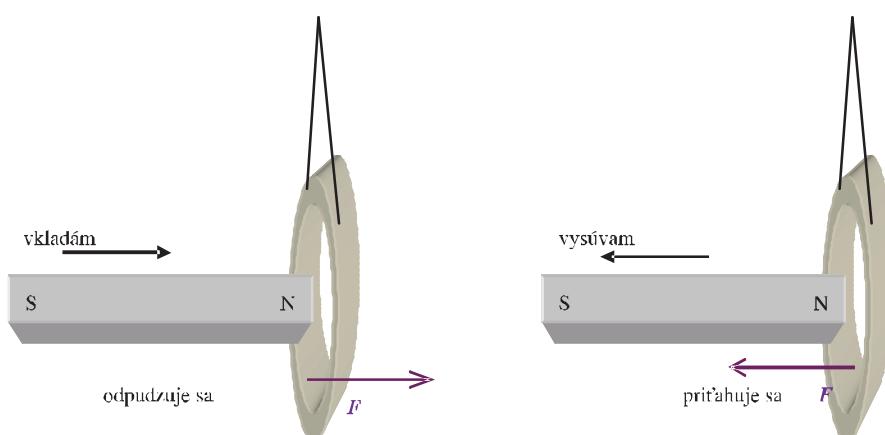


Na nasledujúcich obrázkoch sú príklady rôznych spôsobov merania frekvencie otáčania rotora.



Jedno z možných vylepšení experimentu je na obrázku - magnet nahradíme elektromagnetom. Spôsob odstránenia izolácie koncov cievky musíme mierne upraviť.

Všimnime si aj ďalšie silové pôsobenie – teraz máme iba jeden magnet a žiadnen zdroj elektrického prúdu. Tomuto javu sa v tejto učebnici podrobne nevenujeme, súvisí však s javom elektromagnetickej indukcie.

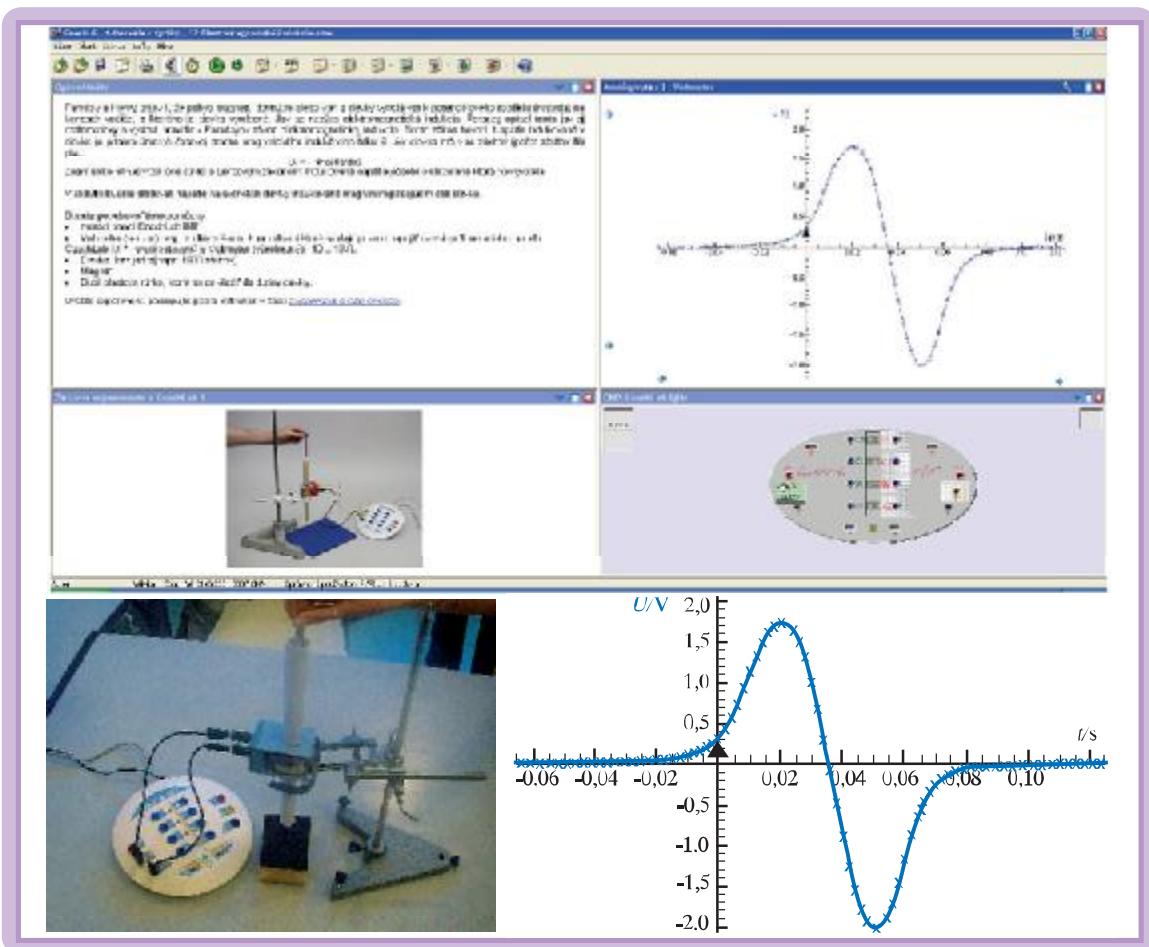




4.9 Elektromagnetická indukcia a pád magnetu

V tejto sérii aktivít sa budeme venovať najmä elektromagnetickej indukcii. Na zobrazenie priebehu indukovaného napäťia budeme používať prostriedky počítačom podporovaného laboratória. Aktivity je možné realizovať aj s vhodným osciloskopom. Túto aktivitu možno riešiť aj tak, že údaje zobrazené v nasledujúcich grafoch niekto nameral a my ich teraz budeme vyhodnocovať. Podobne pracujú mnohí fyzici z oblasti teoretickej fyziky – získajú prístup k údajom z experimentov napr. v organizácii pre jadrový výskum - CERN a snažia sa tieto údaje spracovať tak, aby našli odpovede na svoje otázky.

V prvom z experimentov sme nechali magnet padať dutinou cievky. Meranie času sa automaticky spustilo až vtedy, keď napätie indukované na cievke dosiahlo hodnotu 0,2 V.



Úlohy

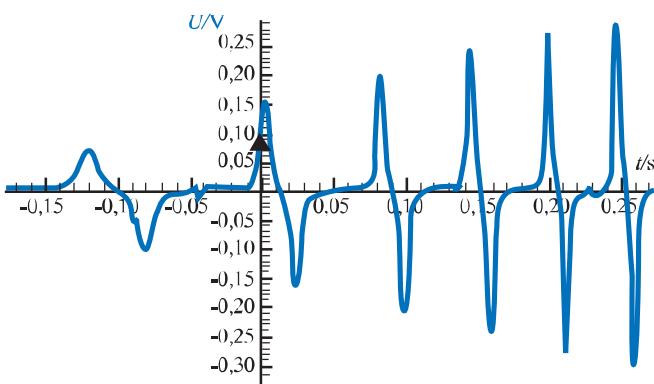
1. Preskúmajte nameraný graf. Vezmite do úvahy Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie a vysvetlite priebeh indukovaného napäťia. Jednotlivé časti priebehu dajte do súvisu s okamžitými polohami magnetu. Prečo je maximálne indu-





kované napätie menšie ako maximálne záporné indukované napätie? Ako súvisí tento jav s javom na obrázku v časti 3.5 tejto učebnice?

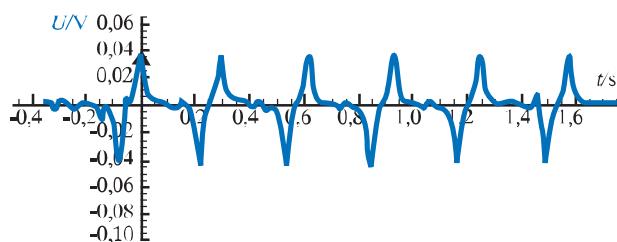
V nasledujúcim experimente sme nechali padať magnet dlhšou trubicou. Na trubici boli navinuté cievky, každá obsahovala iba niekoľko závitov. Cievky boli navzájom sériovo spojené. Získali sme nasledujúci graf.



2. Popíšte graf, a odpovedajte na otázky:

- Kolko cievok bolo umiestnených na trubici?
- Prečo bolo maximálne kladné indukované napätie na jednotlivých cievkach rôzne? Prečo bolo na každej nasledujúcej cievke väčšie?
- Prečo časové intervaly medzi susednými maximami indukovaného napäcia klesali?
- Pri všetkých experimentoch v tejto aktivite sme použili rovnaký magnet. Prečo boli maximálne indukované napäcia v tomto experimente až 10-krát nižšie ako v prvom experimente?

V ďalšom experimente sme plastovú trubicu nahradili kovovou – hliníkovou s rovnakými rozmermi. Všimli sme si, že magnet sa k hliníku vôbec nepritahuje. Predpokladali sme teda, že magnet bude hliníkovou trubicou padat rovnako ako plastovou. Experiment sme vyskúšali a s prekvapením sme namerali nasledujúci graf.



3. Popíšte graf a odpovedajte na otázky:

- Prečo je maximálne indukované napätie stále rovnaké?
- Prečo sú časové intervaly medzi susednými maximami indukovaného napäcia stále rovnaké?
- Porovnajte maximálne indukované napäcie v tomto experimente s maximálnym indukovaným napätiom na prvej cievke v predchádzajúcom experimente.



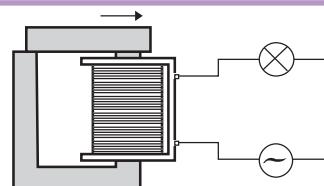
- d) Porovnajte časové intervaly medzi susednými maximami indukovaného napäťia v tomto experimente s časovým intervalom medzi prvými dvoma maximami v predchádzajúcom experimente.

V experimente s plastovou aj s hliníkovou trubicou sme rovnaký magnet nechali padat z rovnakej výšky. Magnety počas pohybu prešli rovnaké dráhy, v oboch prípadoch zvislo nadol. Zmena ich potenciálnej energie bola teda rovnaká. Magnet vypadol z hliníkovej trubice s výrazne menšou rýchlosťou, teda aj jeho kinetická energia bola pri dopade výrazne menšia. Vysvetlite, na akú formu energie sa premenila časť potenciálnej energie pri páde magnetu v hliníkovej trubici.

4.10 Skúmanie obvodu striedavého napäťia s cievkou

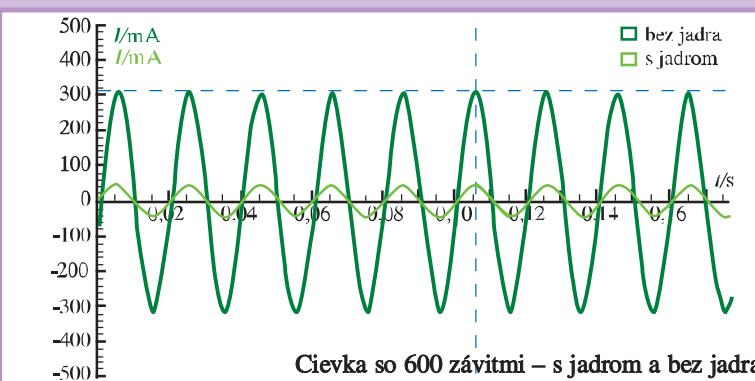
Problém: Prečo žiarovka zhasne, ak do cievky, zapojenej sériovo do obvodu striedavého napäťia, vložíme jadro?

Pomôcky: cievky s rôznym počtom závitov, žiarovka na malé napätie, zdroj jednosmerného i striedavého napäťia (3 V), ampérmetier, voltmeter, prípadne senzory prúdu a napäťia napr. z interfejsu CoachLab II



Úlohy

- Zostavte obvod podľa schémy.
- Odmerajte veľkosť prúdu v obvode v prítomnosti jadra a bez neho. Čo sa stane pri zasunutí jadra? Čo ovplyvňuje intenzitu svietenia žiarovky?
- Akú hodnotu prúdu meriate? Ako to závisí od výberu ampérmetra?



- Zmeňte počet závitov cievky. Zopakujte pozorovanie.
- Čo sa stane s napäťom na cievke – s jadrom a bez jadra?
- Vyslovte záver o správaní sa cievky zapojenej podľa schémy v obvode striedavého napäťia.
- Pokus zopakujte aj pre zapojenie cievky do obvodu jednosmerného napäťia. Formulujte záver.
- Zapojte cievku opäť sériovo k žiarovke – na zdroj jednosmerného napäťia. Pohybujte magnetom v dutine cievky. Ako sa správa žiarovka? Prečo?

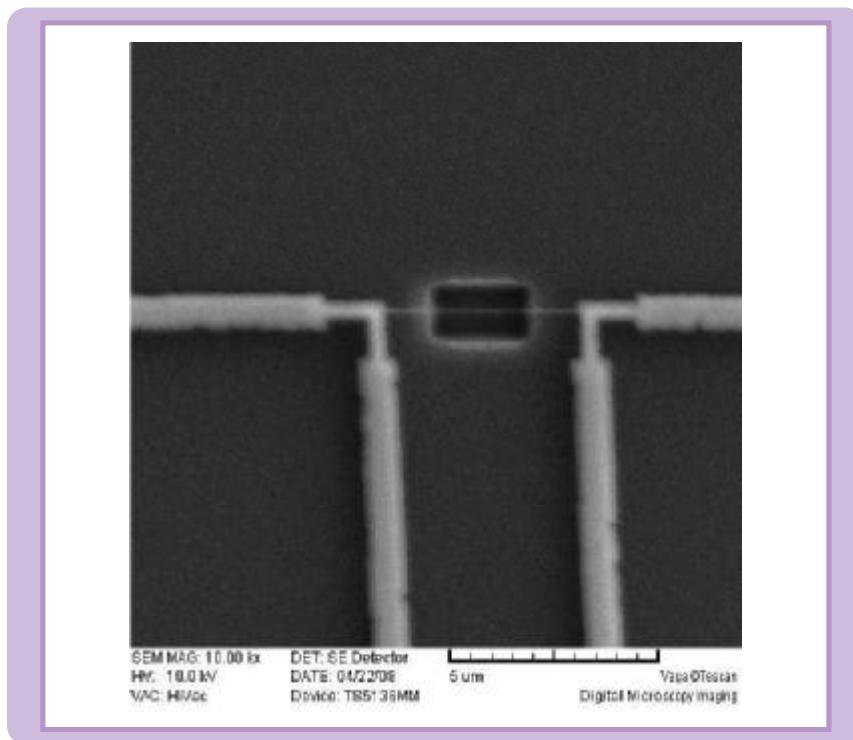




4.11 (Velmi malé vo fyzike

Fyzika skúma prírodu v obrovské škále rozmerov – od pozorovateľného vesmíru ($7,4 \times 10^{26}$ m) až po jadrá atómov (10^{-15} m) a elementárne častice (bodové častice), z ktorých niektoré sa nazývajú kvarky. Aktivity v tejto kapitole boli zamerané na skúmanie makrosveta – časti sveta dostupnej priamemu pozorovaniu našimi zmyslami. V tejto časti uvedieme dva príklady z oblasti mikrosveta, či z oblasti ležiacej na hranici medzi mikrosvetom a makrosvetom. V tejto oblasti sú rozmery objektov nedostupné priamemu pozorovaniu našimi zmyslami.

Prvý príklad je hliníkový drôtik na obrázku. Ten sice nie je z mikrosveta, ale je taký tenký, že ho nie je možné vidieť ani pomocou optického mikroskopu. Uložený je na kremíkovej doštičke a premostuje hrubšie prívodné hliníkové vodiče. Hliníkový drôtik s hrúbkou 100 nm bol vyrobený v Jene v Nemecku. Obrázok, ktorý máte možnosť vidieť, bol nasnímaný elektrónovým mikroskopom na FMFI UK v Bratislave. Drôtiky s hrúbkou v nm (nanodrôtiky) možno použiť napríklad na meranie hmotnosti niektorých fažsích molekúl.



Cieľ merania: Odmerať hmotnosť molekuly DNA.

Náčrt metódy merania:

1. V okolí drôtika vytvoríme magnetické pole.
2. Drôtikom necháme prechádzať striedavý prúd. Meníme frekvenciu prúdu tak, aby sa drôtik dostał do rezonancie.



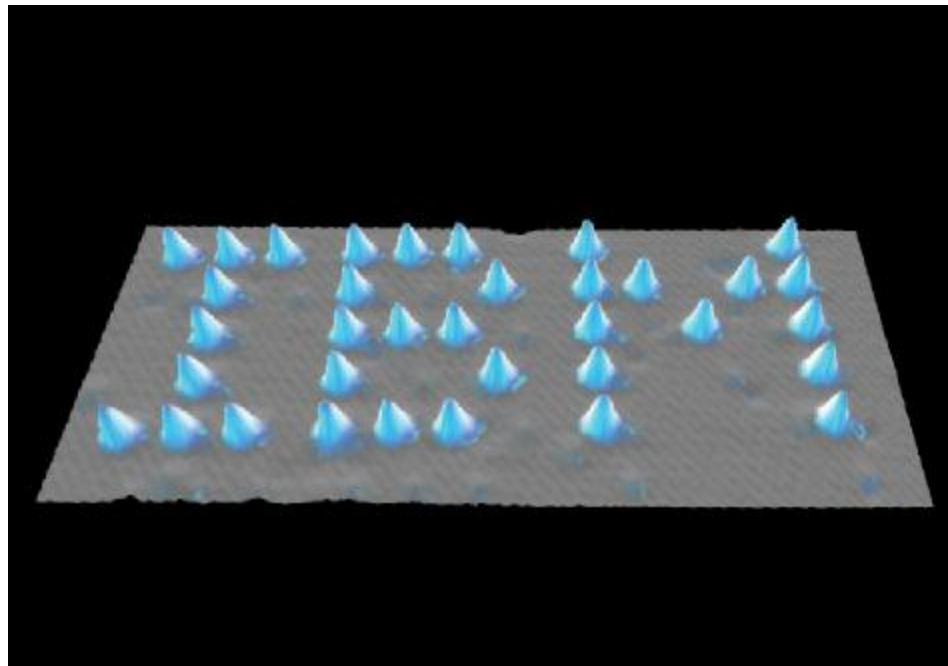
3. Vypneme zdroj prúdu a do stredu drôtika pripieváme molekulu. Znovu zapneme zdroj prúdu a frekvenciu zmeníme tak, aby sa drôtik znova dostal do rezonancie.

4. Z nameraných údajov vypočítame hmotnosť molekuly.

Úlohy

1. Nájdite informáciu o tom, aké rozmery možno pozorovať optickým mikroskopom a aké rozmery možno pozorovať elektrónovým mikroskopom.
2. Vysvetlite úlohu magnetického poľa v okolí drôtika v tomto experimente.
3. Určte vlnovú dĺžku stojatého vlnenia, ktoré vznikne na drôtiku, ak jeho dĺžka je $5 \mu\text{m}$ a uzly stojatého vlnenia sú iba na jeho koncoch.
4. Použitím vzťahu pre rýchlosť vlnenia na napnutom vlákne $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ kvalitatívne vysvetlite, prečo sa po pridaní molekuly DNA do stredu drôtika zmení frekvencia, pri ktorej na drôtiku vznikne stojatá vlna.

Druhým príkladom je logo spoločnosti IBM, vytvorené jej vedcami z jednotlivých atómov pomocou nízko teplotného tunelového mikroskopu.



Písmená sú vytvorené z atómov xenónu a sú umiestnené na platni z niklu.

Úloha

Zistite veľkosť atómov xenónu z vášho zdroja informácií a na základe tejto informácie odhadnite reálnu veľkosť obrázka.





4.12 (Zopakujme si

Na záver ročníka sme pripravili niekoľko jednoduchých úloh. V prvej etape sa ich pokúste vyriešiť čo najrýchlejšie. V druhej etape sa hlbšie zamyslite nad úlohami, ktoré za jednoduché nepovažujete.

1. Voda v bazéne má hĺbku 1,8 m a teplotu 24 °C. Aký je parciálny hydrostatický tlak na dne tohto bazéna?
 A. 18 Pa; B. 118 Pa; C. 18 kPa; D. 118 kPa.
2. Odporúčaný tlak vzduchu v pneumatike osobného automobilu zvyčajne býva 2,2 násobok atmosférického tlaku. Vyjadrite túto hodnotu v pascaloch.
 A. 220 Pa; B. 220 kPa; C. 22 MPa; D. 220 MPa.
3. Bosý človek stojí na rovnej podlahe. Rádovo odhadnite parciálny tlak, ktorým pôsobí na podlahu.
 A. $1 \cdot 10^2$ Pa; B. $1 \cdot 10^3$ Pa; C. $1 \cdot 10^5$ Pa; D. $1 \cdot 10^6$ Pa.
4. Olej v hydraulickom systéme mal v určitom okamihu tlak o 1,0 MPa väčší ako bol atmosférický tlak. Tento olej tlačil na piest s plochou podstavy 100 cm^2 a piest pôsobil silou na lisovaný výrobok. Určte veľkosť tejto sily.
 A. 10^2 N; B. 10^4 N; C. 10^6 N; D. 10^8 N.
5. Teplota topenia hliníka je 659 °C. Teplota -659 °C
 A. približne zodpovedá teplote skvapalňovania vzduchu;
 B. približne zodpovedá teplote tuhnutia vzduchu;
 C. je na Zemi nedosiahnuteľná. Túto teplotu majú niektoré objekty mimo Slnečnej sústavy;
 D. je teplota, o ktorej nemá zmysel rozprávať.
6. Na stole máme dve prázdne otvorené plastové flaše od nápojov. Vnútorný objem prvej je 2,5 l, druhej 0,5 l. Ak tlak vzduchu v prvej fľaši je 1 002 hPa, potom tlak vzduchu v druhej fľaši je
 A. 5-krát väčší; B. $\sqrt{5}$ -krát väčší; C. rovnaký; D. 5-krát menší.
7. Prázdnú sklenú fľašu sme pri teplote 24 °C dobre uzavreli a vložili do mrazničky s teplotou -24 °C. Po ustálení teploty tlak vzduchu vo fľaši klesol približne
 A. o 5 %; B. o 15 %;
 C. na polovicu pôvodného tlaku; D. na štvrtinu pôvodného tlaku.
8. Hustota suchého vzduchu pri teplote 20 °C bola $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Tento vzduch sme napumpovali do lopty tak, aby tlak v lopte bol dvojnásobný v porovnaní s atmosférickým tlakom v jej okolí a teplota lopty bola rovnaká ako teplota okolitého vzduchu. Odhadnite hustotu vzduchu v lopte.
 A. $0,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; B. $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; C. $2,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; D. $2,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



9. Objem uzavretej nádoby sme zmenšili na polovicu, pričom teplotu plynu v nádobe sme nezmenili. Plyn sa počas tohto deja správal ako ideálny plyn.
Tlak vzduchu v nádobe za zvýšil

- A. 0,2-krát; B. $\sqrt{2}$ -krát; C. 2-krát; D. 4-krát.

10. Objem uzavretej nádoby sme zmenšili na polovicu, pričom teplota plynu v nádobe sa nezmenila. Plyn sa počas tohto deja správal ako ideálny plyn.
Tlak vzduchu sa zvýšil

- A. lebo počet nárazov častic na steny nádoby za jednotku času narástol a aj molekuly narázali na steny nádoby s väčšou priemernou veľkosťou hybnosti;
- B. aj keď sa počet nárazov častic na steny nádoby za jednotku času nezmenil, ale molekuly narázali na steny nádoby s väčšou priemernou veľkosťou hybnosti;
- C. lebo počet nárazov častic na steny nádoby za jednotku času narástol a molekuly narázali na steny nádoby s nezmenenou priemernou veľkosťou hybnosti;
- D. aj keď sa počet nárazov častic na steny nádoby za jednotku času nezmenil a aj molekuly narázali na steny nádoby s rovnakou priemernou veľkosťou hybnosti.

11. V nádobe máme plyn obsahujúci dva druhy molekúl, ktoré navzájom chemicky nereagujú. Označme ich písmenami X a Y. Molekuly Y sú 4-krát tažšie ako molekuly X. Priemerná veľkosť rýchlosťi molekúl Y je v porovnaní s priemernou veľkosťou rýchlosťi molekúl X

- A. 16-krát menšia; B. 4-krát menšia;
C. 2-krát menšia; D. rovnaká.

12. V uzavretej nádobe sme mali 10^{10} molekúl plynu. Teplota plynu bola 27°C . Priemernú kinetickú energiu týchto molekúl sme zvýšili na dvojnásobok. Teplota plynu sa

- A. nezmenila; B. zvýšila na 54°C ;
C. zvýšila na 327°C ; D. zvýšila na 600°C .

13. V miestnosti tesne pri podlahe sme namerali teplotu 21°C a tesne pri strope 26°C . Vyplýva to z toho, že

- A. hustota teplejšieho vzduchu pri rovnakom tlaku je menšia;
- B. hustota teplejšieho vzduchu pri rovnakom tlaku je väčšia;
- C. tlak teplejšieho vzduchu pri rovnakej hustote je väčší;
- D. tlak teplejšieho vzduchu pri rovnakej hustote je menší.

14. Z chladničky sme súčasne vybrali dve platne – drevenú a hliníkovú. Hliníková platňa sa nám zdala na pocit chladnejšia, lebo

- A. odvádzala z dlane energiu rýchlejšie, pretože hliník je lepším vodičom tepla;
- B. odvádzala z dlane energiu rovnako rýchlo, aj keď hliník je lepším vodičom tepla;
- C. odvádzala z dlane energiu rýchlejšie, aj keď hliník nie je lepším vodičom tepla;





D. odvádzala z dlane energiu rovnako rýchlo, pretože hliník nie je lepším vodičom tepla.

15. Dve častice určitej látky sú práve v rovnovážnej polohe. V tejto polohe

- A. sa prítahujú, nezáleží na ich hmotnosti;
- B. sa odpudzujú, nezáleží na ich hmotnosti;
- C. sila ich vzájomného pôsobenia je nulová, nezáleží na ich hmotnosti;
- D. ak je jedna z častic ľahšia, tak prítahuje tú ľahšiu a ľahšia sa odpudzuje od ľahšej.

16. Do nádoby s vodou nám padol horúci kameň. Voda sa od kameňa začala zohrievať. Počkali sme, kým sa teplota vody ustálila. Pre vlastnosti kameňa a vody sme použili nasledujúce označenia: m_v hmotnosť vody; m_k hmotnosť kameňa; c_v hmotnostná tepelná kapacita vody; c_k hmotnostná tepelná kapacita kameňa; t_v počiatočná teplota vody; t_k počiatočná teplota kameňa, t výsledná teplota. Ak zanedbáme tepelnú výmenu medzi vodou a okolím, potom teplo, ktoré voda od kameňa prijala sa dá vyjadriť takto:

- A. $m_v c_v (t - t_v)$;
- B. $m_k c_k (t - t_k)$;
- C. $m_v c_v (t - t_v) - m_k c_k (t - t_k)$;
- D. $m_k c_k (t - t_k) - m_v c_v (t - t_v)$.

17. Na valcovej ocelovej tyči je pevne nasadený hliníkový krúžok. Koeficient teplotnej dĺžkovej rozľažnosti hliníka je väčší než ocele. Tyč s krúžkom zohrejeme na teplotu 150 °C. Krúžok

- A. pritom praskne;
- B. sa ešte viac upevní;
- C. ostane rovnako upevnený;
- D. sa uvolní.

18. V sušičke bielizne sa väčšina vody z mokrej bielizne

- A. vyparí do priestoru miestnosti, v ktorej sa sušička nachádza;
- B. najskôr odpári a vzápäť v inej časti sušičky skondenzuje (skvapalní);
- C. najskôr odpári a vzápäť sa chemicky rozloží;
- D. chemicky rozloží na kyslík a vodík priamo v bielizni.

19. Voda na dne bazéna v ustálenom stave má teplotu 4 °C a povrch nie je zamrznutý. Ak uvažujeme meranie teploty s presnosťou na celé stupne Celzia, potom platí, že všade inde v bazéne je teplota vody

- A. určite vyššia ako 4 °C;
- B. určite nižšia ako 4 °C;
- C. vyššia alebo nižšia ako 4 °C;
- D. akákoľvek iná, nižšia ako 10 °C.

20. V rýchlovarnej kanvici s príkonom 2 000 W sme zohrievali vodu s počiatočnou teplotou 20 °C. Kanvica bola pokazená a pri vare vody zohrievanie nevyplá. Zohrievanie vody až do začiatku varu trvalo približne dve minúty. Za aký čas od začiatku varu 90 % vody vyvrelo?

- A. 1 min;
- B. 2 min;
- C. 5 min;
- D. 10 min.



21. Ľovek pokojne kráčajúci po rovnej ceste spravil za hodinu 7 321 krokov. Jeho ľavá noha kmitala s frekvenciou približne
- A. 1 Hz; B. 100 Hz; C. 3 600 Hz; D. 7 321 Hz.
22. Ak elektromagnetické kmity oscilátora majú frekvenciu $1,8 \cdot 10^6$ Hz, potom perióda týchto kmítov je
- A. 560 ns; B. 560 ms; C. 1,8 ks; D. 1,8 Ms.
23. Uhol 36° je rovnako veľký ako uhol
- A. 36 rad; B. 1 rad; C. 0,63 rad; D. 0,36 rad.
24. Závažie s hmotnosťou 150 g visí na niti s dĺžkou 1,6 m. Toto závažie sme vychýlili o 15 cm doľava a pustili. Po prechode rovnovážnej polohou sa závažie dostalo voči rovnovážnej polohe o 15 cm doprava. Celková energia závažia pri pohybe z polohy s maximálnou výchylkou cez rovnovážnu polohu až do druhej polohy s maximálnou výchylkou
- A. najskôr klesala a potom stúpala;
B. najskôr stúpala a potom klesala;
C. stúpala;
D. nemenila sa.
25. Závažie s hmotnosťou 150 g visí na niti s dĺžkou 1,6 m. Toto závažie sme vychýlili o 15 cm doľava a pustili. Po prechode rovnovážnej polohou sa závažie dostalo voči rovnovážnej polohe o 15 cm doprava. Amplitúda výchylky meraná na vodorovnej osi má hodnotu
- A. 1,9 m; B. 1,6 m; C. 30 cm; D. 15cm.
26. Závažie s hmotnosťou 150 g visí na niti s dĺžkou 1,6 m. Toto závažie sme vychýlili o 15 cm doľava a pustili. Pohyb z ľavej polohy s maximálnou výchylkou do pravej polohy s maximálnou výchylkou trval 1,26 s. Periódna kmitania závažia bola
- A. 5,02 s; B. 2,51 s; C. 1,26 s; D. 0,63 s.
27. Závažie s hmotnosťou 220 g sme zavesili na pružinu. Pružina sa natiahla o 23 cm a v tejto polohe sa sústava ustálila a ostala v pokoji. Celková sila pôsobiaca na závažie v tejto polohe bola
- A. viac ako 2,3 N; B. 2,2 N; C. 0,22 N; D. 0 N.
28. Pružinu voľne položenú na stole sme uchopili a predĺžili o 18 cm. Vykonali sme pritom prácu 4 J. Ak by sme tú istú pružinu predĺžili iba o 9 cm, tak by sme museli vykonať prácu iba
- A. 3 J; B. 2 J; C. 1,4 J; D. 1 J.
29. Reproduktor vydáva zvuk s vlnovou dĺžkou 1,02 m. Tento zvuk má frekvenciu
- A. 333 Hz; B. 1,02 Hz; C. 0,98 Hz; D. 0,003 Hz.





30. Elektromagnetické vlnenie s frekvenciou $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz je fialové svetlo. Šíri sa rýchlosťou $3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹. Vlnová dĺžka tohto svetla je

- A. 7,5 mm; B. 22,5 μm; C. 400 nm; D. $7,5 \cdot 10^{-14}$ m.

31. Z reproduktora nasmerovaného na vzdialenosť dny ľudí sa šíri zvuk. Tento zvuk je

- A. postupné priečne vlnenie;
B. stojaté priečne vlnenie;
C. postupné pozdĺžne vlnenie;
D. stojaté pozdĺžne vlnenie.

32. Ak rýchlosť zvuku s frekvenciou 440 Hz vo vode je $1\ 440$ m·s⁻¹, tak rýchlosť zvuku s frekvenciou 880 Hz vo vode bude:

- A. 2 880 m·s⁻¹; B. 1 440 m·s⁻¹; C. 720 m·s⁻¹; D. 340 m·s⁻¹.

33. Lokomotíva stojaca na stanici vydala zvukový signál vo forme harmonického zvuku s frekvenciou f . O hodinu neskôr sme zachytili signál rovnakej lokomotívy, avšak tento signál mal frekvenciu o trochu menšiu ako f . Z toho sa dá usúdiť, že

- A. lokomotíva sa vzdalovala od stanice a pritom zrýchlovala;
B. lokomotíva sa vzdalovala od stanice, ale nevieme či zrýchlovala;
C. lokomotíva sa približovala ku stanici a spomaľovala;
D. lokomotíva sa približovala ku stanici, ale nevieme či spomaľovala.

34. Pri zobrazovaní plodu v tele matky sa využíva skutočnosť, že sa ultrazvuk

- A. dostáva do rezonancie s bunkami pokožky plodu;
B. pohlcuje v tele matky inak ako v plode;
C. odráža od pokožky plodu;
D. vyvoláva svietielkovanie pokožky plodu.

35. Súčasne rozozvučme dva zdroje zvuku, jeden s frekvenciou 440 Hz a druhý s frekvenciou 444 Hz. Výsledný zvuk bude mať frekvenciu

- A. 884 Hz; B. 444 Hz; C. 442 Hz; D. 440 Hz.

36. Stred napnutej struny bude harmonicky kmitať s frekvenciou f . Na strune sa

- A. určite vytvorí stojaté vlnenie s frekvenciou f ;
B. určite vytvorí stojaté vlnenie s frekvenciou $2f$;
C. určite vytvorí stojaté vlnenie, avšak frekvenciu bez ďalších údajov určiť nevieme.
D. Ani jedna z predchádzajúcich možností nie je správna.

37. Kosačka vytvára vo vzdialosti 10 m hluk 85 dB. Ak máme súčasne zapnuté dve kosačky, každú vo vzdialosti 10 m, potom sme v oblasti s hlučnosťou

- A. približne 170 dB; B. približne 127 dB;
C. o trochu viac ako 85 dB; D. presne 85 dB.





38. Najničivejšie zemetrasenia vznikajú najmä ako dôsledok

- A. skúšok výbušnín, ktoré robia ľudia v súčasnosti na rôznych častiach Zeme;
- B. skúšok výbušnín, ktoré ľudia robili v minulosti;
- C. zmien Zeme, ktoré ľudia žiadnym spôsobom neovplyvnili;
- D. zmien v silovom pôsobení iných vesmírnych objektov na Zem, napríklad zmien na Slnku.

Uvedené úlohy sú iba k učivu prvých dvoch kapitol tejto učebnice. Pokúste sa sami sformulovať podobné úlohy pre tretiu kapitolu tejto učebnice. Zadania vami pripravených úloh môžu obsahovať aj obrázky, animácie, videoklipy – alebo môžu byť zadané aj experimentom! Sériu takto sformulovaných úloh dajte trom spolužiacom. Učiteľ bude hodnotiť nielen to, ako spolužiaci úlohy zodpovedia, ale aj to, ako ste úlohy sformulovali.





5. Niektoré pojmy a vzťahy

Prehľad vybraných základných pojmov a vzťahov slúži iba na opakovanie, preto význam použitých symbolov neuvádzame.

Sila - vyjadruje mieru vzájomného pôsobenia dvoch telies.

Schéma volného telesa – spôsob zakreslovania silového pôsobenia, pri ktorom sú na obrázku znázornené všetky sily pôsobiace na konkrétné teleso a žiadne iné.

Účinok sily na teleso sa nezmiení ak silu posunieme do ľubovoľného bodu na jej vektorovej priamke.

Tužisko telesa je bod, vzhľadom na ktorý sa celkový moment tiažových sôl pôsobiacich na časti telesa rovná nule.

Pôsobenie sily na teleso sa môže prejavíť deformačným alebo pohybovým účinkom.

Gravitačná sila (tiažová sila) $F_g = mg$

Gravitačná sila $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Vztlaková sila $F_v = V \rho g$

Tretia sila $F_t = f F_n; F_{\text{stmax.}} = f_{\text{st}} F_n$

Aerodynamická odporová sila $F = \frac{1}{2} C S \rho v^2$

Sila pružiny $F = kx$



Dostredivá sila (nie miera ďalšieho vzájomného pôsobenia telies, ale v súvislosti s prejavom výslednej sily pôsobiacej kolmo na smer rýchlosť telesa) $F = \frac{mv^2}{R}$

Moment sily $M = rF$

Hybnosť $p = mv$

Tlak $p = \frac{F}{S}$

Hydrostatický tlak $p_h = h \rho g$

Teleso sa **pohybuje rovnomerne**, ak v ľubovoľných, navzájom rovnakých časových intervaloch prejde rovnaké dráhy.

Priemerná rýchlosť $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Dráha pri rovnomernom pohybe $s = v(t - t_0) + s_0$

Rovnomerné zrýchlený pohyb $v = at + v_0; s = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + s_0$



Prvý Newtonov pohybový zákon: Teleso zotrva v stave pokoja alebo v priamočiarom rovnomenom pohybe dovtedy, kým nie je nútene pôsobením vonkajších sôl tento pohybový stav zmeniť.

Druhý Newtonov pohybový zákon: Zrýchlenie telesa je priamo úmerné výslednej pôsobiacej sile a nepriamo úmerné hmotnosti telesa $a = \frac{F}{m}$. Smer zrýchlenia je rovnaký ako smer výslednej pôsobiacej sily. Alternatívne vyjadrenie:

$$F\Delta t = \Delta p; \quad F = \frac{\Delta p}{\Delta t}.$$

Tretí Newtonov pohybový zákon: Dve telesá na seba pôsobia rovnako veľkými, opačne orientovanými silami.

Mechanická práca $W = Fs; W = F_p s = Fs \cos \alpha$

Práca silou vykonaná - práca sily pôsobiacej v smere pohybu telesa.

Práca silou „spotrebovaná“ - práca sily pôsobiacej proti smeru pohybu telesa.

Gravitačná potenciálna energia (Tiažová potenciálna energia): $E_p = mgh$

$$\text{Zmena gravitačnej potenciálnej energie} \quad \Delta E_p = GmM \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$$\text{Potenciálna energia pružnosti} \quad E_e = \frac{1}{2} kx^2$$

$$\text{Kineticá energia} \quad E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\text{Výkon} \quad P = \frac{W}{t}$$

$$\text{Výkon elektrického prúdu} \quad P = UI = PR = \frac{U^2}{R}$$

$$\text{Účinnosť} \quad \eta = \frac{\text{výkon}}{\text{príkon}} = \frac{E_{\text{využ.}}}{E_{\text{dod.}}}$$

$$\text{Zmena teploty pri dodaní energie} \quad \Delta t = \frac{Q}{mc}$$

$$\text{Elektrický prúd} \quad I = \frac{Q}{t}; \quad I = \frac{U}{R}$$

$$\text{Elektrický odpor vodiča} \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\text{Ideálny plyn v uzavorenenej nádobe} \quad \frac{pV}{T} = \text{konšt.}$$

$$\text{Jednotky teploty} \quad (T) = (t) + 273,15$$

$$\text{Frekvencia} \quad f = \frac{1}{T}$$

$$\text{Rovnica harmonického kmitania} \quad y = Y \sin(2 \pi ft)$$

$$\text{Jednotka uhla} \quad \{ \alpha_{\text{rad}} \} = \{ \alpha_{\text{st}} \} \frac{2\pi}{360}$$





Závažie kmitajúce na pružine $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Kmitanie telesa zaveseného na niti (matematický oscilátor) $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Vlnová dĺžka $v = \lambda T$

Rýchlosť zvuku vo vzduchu $\{v\} = 331 + 0,6 \{t\}$

Rýchlosť priečneho vlnenia na napnutom vlákne $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

Dopplerov jav $f_p = f_z \frac{v \pm v_p}{v \pm v_z}$

Sila pôsobiaca na vodič umiestnený kolmo v magnetickom poli $F = BIl$

Sila pôsobiaca na nabité časticu $F = Bqv$

Polomer pohybu nabitej častice $R = \frac{mv}{Bq}$

Magnetické pole vnútri dlhej jednovrstvovej cievky $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$

Magnetické pole uprostred závitu s prúdom $B_{závitu} = N \frac{\mu_0 I}{d}$

Indukované napätie $U_i = \frac{\Delta(B \cdot S)}{\Delta t}$

Efektívne hodnoty napäcia a prúdu $U = \frac{U_{\max.}}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{I_{\max.}}{\sqrt{2}}$

Výkon striedavého prúdu $P = UI \cos \varphi$

Rovnica transformátora $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$

Predpona	Značka	Hodnota	Príklad	Znamená hodnotu
tera	T	10^{12}	Každý z dvoch blokov elektrárne v Jaslovských Bohuniciach vyrobí za hodinu elektrickú energiu rádovo 1 TJ.	1 000 000 000 000 J
giga	G	10^9	30 W žiarovka svietiaca 1 rok spotrebuje energiu rádovo 1 GJ.	1 000 000 000 J
mega	M	10^6	Hydrostatický tlak v hĺbke 100 m pod hladinou vody je približne 1 MPa.	1 000 000 Pa
kilo	k	10^3	Vzdialenosť, ktorú prejdeme pokojným krokom približne za 12 min je 1 km.	1 000 m
mili	m	10^{-3}	Najmenší dielik na bežnom pravítku je 1 mm.	0,001 m
mikro	μ	10^{-6}	Svetlo prejde vzdialenosť 300 m za 1 μs.	0,000 001 s
nano	n	10^{-9}	Ak zoradíme 10 atómov do úsečky, potom dĺžka tejto úsečky sa bude rádovo rovnať 1 nm.	0,000 000 001 m
piko	p	10^{-12}	Ak prierezom vodiča prechádza usmerňým pohybom každú sekundu $6 \cdot 10^6$ elektrónov, potom ním prechádza elektrický prúd 1 pA.	0,000 000 000 001 A



|



doc. RNDr. Peter Demkanin, PhD.
PaedDr. Peter Horváth, PhD.
PaedDr. Soňa Chalupková, PhD.
PaedDr. Zuzana Markovičová, PhD.

Fyzika

pre 2. ročník gymnázia
a 6. ročník gymnázia s osemročným štúdiom

Odborná redaktorka: RNDr. Eva Danišová

Ilustrácie: autori

„Schválilo Ministerstvo školstva Slovenskej republiky pod č. MŠSR-2829/2010-919
zo dňa 2. marca 2010 ako učebnicu Fyzika pre 2. ročník gymnázia a 6. ročník
gymnázia s osemročným štúdiom. Schvaľovacia doložka má platnosť 5 rokov.“

1. vydanie, 2010

Vydalo Združenie EDUICO

Tlač: Patria I., spol. s r. o., Prievidza

ISBN 978-80-89431-10-6



|