

Fyzika

2.ročník

Mgr. Alena Gulačová

Považská Bystrica 2011

Názov: Fyzika 2. ročník

Autor: Mgr. Alena Gulačová

Odborný garant: Mgr. Vojtech Prosnan

Vydavateľ: Stredná odborná škola strojnícka, Považská Bystrica

Je skvelé, ak vie veda vysvetliť rôzne exotické javy ako napríklad holografiu či reliktné žiarenie. Ale hádam ešte úžasnejšie je, že vie vysvetliť celkom obyčajné veci ako modrú oblohu, červené zore a biele oblaky. Prečo majú snehové vločky tvar hviezdíčiek, prečo je zasnežená krajina tichá, prečo je sneh biely a prečo pod nohami vŕzga? Ako funguje 3D kino? Teplo vedia ľudia vyrábať od nepamäti, odkedy ovládli oheň. Prečo však zimu vieme vyrábať len niečo vyše 150 rokov?

Na tieto a podobné otázky odpovedá fyzika. Keby jej nebolo, museli by sme knihy písať ručne, lebo by nebola elektrická energia. Jules Verne by nemohol napísať knihu „Päť týždňov v balóne“, lebo by neexistovali teplovzdušné balóny. Nemohli by sme sa voziť na bicykli, lebo by sme nevedeli o tlaku vzduchu. Na veľa činností by sme potrebovali Asterixa a Obelixa, lebo by nebola kladka, ani žeriavy.

Tak nakoniec môžeme byť radi, že predmet fyzika existuje a vieme si pomocou nej vysvetliť mnohé javy a úkazy. My vám pri jej štúdiu želáme veľa chuti a úspechov.

Vaši učitelia fyziky

Obsah

1	KMITANIE	5
1.1	Kinematika kmitavého pohybu	5
1.2	Rýchlosť a zrýchlenie kmitavého pohybu	7
1.3	Zložené kmitanie	7
1.4	Dynamika kmitavého pohybu	8
1.5	Kyvadlo	9
1.6	Druhy kmitania	11
1.7	Rezonancia	12
2	VLNENIE	13
2.1	Prenos energie vlnením	13
2.2	Postupné mechanické vlnenie	14
2.3	Rovnica postupného vlnenia	15
2.4	Priečne a pozdĺžne vlnenie	16
2.5	Vlnenie v rovine a v priestore	17
2.6	Odraz a lom vlnenia	17
2.7	Ohyb a skladanie vlnenia	18
2.8	Stojaté vlnenie	19
2.9	Vlnenie v kuchyni - mikrovlnná rúra	19
3	AKUSTIKA	20
3.1	Zdroje zvuku	20
3.2	Šírenie zvuku	21
	História merania rýchlosti zvuku	21
3.3	Druhy zvukov	22
3.4	Vnímanie zvuku	23
3.5	Ultrazvuk	24
3.6	Infrazvuk	25
4	Optika	27
4.1	Vývoj názorov na podstatu svetla	27
4.2	Spektrum elektromagnetického vlnenia	29
4.3	Infračervené žiarenie	29
4.4	Ultrafialové žiarenie	30
4.6	Viditeľné svetlo	32
4.7	Rýchlosť šírenia svetla	33
4.8	Odraz svetla	34
4.9	Lom svetla	35
4.11	Rozptyl svetla	36
4.12	Interferencia a ohyb svetla	36
4.13	Rozklad svetla hranolom	37
	Viete odpovedať?	38
4.14	Zobrazovanie odrazom	38
	d) Zobrazovanie vypuklým zrkadlom	40
4.15	Zobrazovanie lomom – šošovky	43
4.17	Ľudské oko	45
4.18	Lupa	47
4.19	Mikroskop	47
4.20	Ďalekohľad	48

Ked'
Pytagoras
objavil
svoju
poučku,
obetoval
100 volov.
Od tých
čias sa
všetky voly
trasú, keď
sa nájde
nová pravda
(Balzac)

Periodický
kmitavý
pohyb

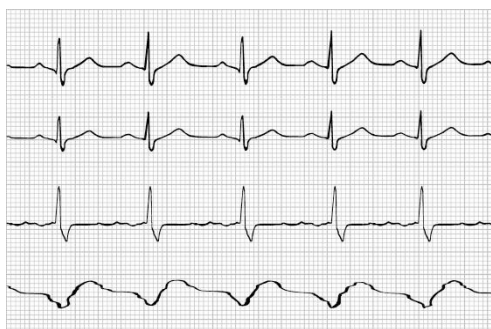
Srdce
netopiera
urobí pri
najvyššom
výkone až
800 úderov
za minútu, v
čase
zimného
spánku je to
len 16-krát
za minútu.
Ide o
najrýchlejší
u frekvenciu
srdca

Okamžitá
výchylka

Rovnovážn
a poloha

1 KMITANIE

V učive mechaniky sme sa zaoberali jednoduchými príkladmi priamočiarych a krivočiarych pohybov, pri ktorých sa teleso pohybuje so zrýchlením. Pri priamočiarom rovnomerne zrýchlenom pohybe má zrýchlenie konštantnú veľkosť a smer. Pri rovnomernom pohybe po kružnici je síce veľkosť zrýchlenia



Obr. 1-1 Kardiogram srdcovej činnosti

konštantná, ale smer zrýchlenia sa mení (zrýchlenie dostredivé).

V tejto kapitole sa budeme zaoberať iným typom pohybu, ktorý označujeme ako **kmitavý pohyb** alebo **mechanické kmitanie**. Stretávame sa s ním často – v prírode, aj v technickej praxi. Pre mechanické kmitanie je charakteristické, že kmitajúce teleso pri pohybe ostáva stále v okolí určitého bodu, označovaného ako **rovnovážna**

poloha. Ak teleso pravidelne prechádza rovnovážnou polohou, koná **periodický kmitavý pohyb**.

Takto sa pohybuje napríklad teleso (závažie) zavesené na pružine, struna hudobného

nástroja a periodicky pulzuje tiež naše srdce (obr. 1-1). Kmitavý pohyb konajú piesty v automobilovom motore a súčiastky najrôznejších výrobných zariadení.

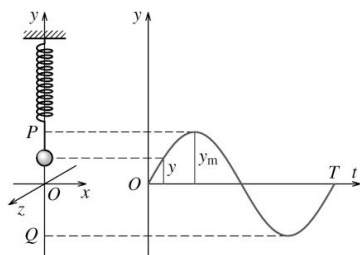
Periodický dej	Periód T [s]	Frekvencia f [Hz]
kmitanie ľudského srdca	0,8	1,25
striedavý prúd v elektrickej sieti	0,02	50
zvuk tónu a ¹ (komorné a)	$2,27 \cdot 10^{-3}$	440
tón časového signálu v rozhlas	10^{-3}	10^3
kmitanie kremenného kryštálu v hodinách	$3 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^4$
frekvenčné pásmo mobilných telefónov	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^8$
kmitanie procesoru počítača (príklad)	$5 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^9$
signál družicovej televízie (rádovo)	10^{-11}	10^{11}

Javy, ktoré sme práve vymenovali nazývame periodické deje. Pri ich opise pracujeme s takými veličinami ako je periód T, frekvencia f, uhlová frekvencia ω , fáza ϕ . Zopakujte si, čo už o nich viete – budeme s nimi pracovať aj pri opise kmitavého pohybu.

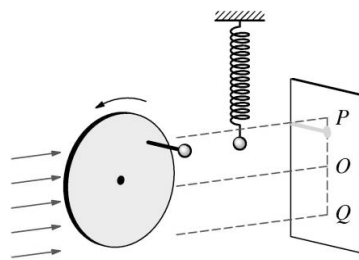
1.1 Kinematika kmitavého pohybu

Kinematika je tá časť fyziky, ktorá skúma a opisuje pohyb pomocou veličín *dráha*, *rýchlosť* a *zrýchlenie*. Pri opise pohybu sa kinematika usiluje vyjadriť každú z týchto veličín v závislosti od času. Podobne kinematika postupuje aj pri opise kmitania.

Jeden zo spôsobov kinematického opisu kmitavého pohybu je znázornený napr. aj na obr.1-2. Závažie zavesené na pružine kmitá vo zvislom smere okolo rovnovážnej polohy O. Do grafu na os y znázorňujeme **okamžitú výchylku** y závažia z **rovnovážnej polohy** a meriame jej závislosť od času t.



Obr. 1-2 K výkladu základných pojmov kmitavého pohybu



Obr. 1-3 Demonštrácia súvislosti kmitavého pohybu s rovnomerným pohybom po kružnici

Odmerané hodnoty y priradíme časom t a znázorňujeme ich v smere zvislej osi súradníc. Keď preskúmame graf, môžeme vysloviť záver:

Pri pohybe mechanického oscilátora sa výchylka y s časom periodicky mení a vzhľadom k rovnovážnej polohe nadobúda kladné i záporné hodnoty.

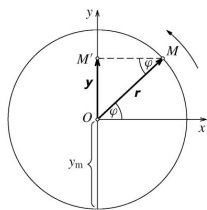
Amplitúda

V určitých časoch dosahuje výchylka najväčšie kladné, resp. záporné hodnoty. Hodnota *najväčšej výchylky* je amplitúda výchylky y_m alebo krátko **amplitúda**.

Graf kmitavého pohybu

Z časového diagramu kmitania pružinového oscilátora na obr. 1-2 je zrejmé, že výchylka oscilátora sa s časom mení podľa funkcie sínus (ak začneme merať čas v okamihu, keď pri pohybe smerom nahor oscilátor prechádza rovnovážnou polohou). Kmitavý pohyb, ktorého časovým **diagramom je sínusoida**, budeme nazývať harmonický kmitavý pohyb alebo všeobecne **harmonické kmitanie**. Je to najjednoduchší periodický pohyb. Väčšina periodických dejov v prírode i v technickej praxi má však zložitejší, neharmonický priebeh.

Harmonické kmitanie



Fáza kmitavého pohybu

Za okamžité hodnoty výchylky y kmitavého pohybu považujeme kolmé priemety sprievodiča r do smeru osi y

$$y = r \sin \omega t \quad \text{alebo} \quad y = r \sin \varphi$$

Uhol $\varphi = \omega t$ je **fáza** kmitavého pohybu a v každom okamihu jednoznačne určuje výchylku oscilátora, ktorý koná harmonický pohyb.

Z obr. 1-4 je tiež zrejmé, že veľkosť sprievodiča r zodpovedá najväčšej výchylke bodu M z rovnovážnej polohy. Je to amplitúda y_m kmitavého pohybu ($r = y_m$). Pre výchylku harmonického pohybu telesa, ktoré sa v začiatočnom okamihu nachádza v rovnovážnej polohe, platí vzťah:

$$y = y_m \sin \omega t$$

Veľičina ω je uhlová frekvencia, f je

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Jednotka uhlovej frekvencie

Jednotka uhlovej frekvencie je s^{-1} ($\text{rad} \cdot s^{-1}$).

Príklad: Hmotný bod kmitá harmonicky s amplitúdou 1,5 cm a s periódou 0,2 s. Napíšte rovnicu harmonického kmitania.

Riešenie

$$y_m = 1,5 \text{ cm} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}, \quad T = 0,2 \text{ s}; \quad y = ?$$

Určíme uhlovú frekvenciu harmonického kmitania:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,2 \text{ s}} = 10\pi \text{ s}^{-1}$$

Rovnicu harmonického kmitania napíšeme v tomto prípade v tvare

$$y = 1,5 \cdot 10^{-2} \sin 10\pi t$$

Preskúšajte sa

Cvičenie

1. Vysvetlite rozdiel medzi pojmami periodický pohyb a harmonický pohyb.

2. Rovnica harmonického kmitania má tvar:

a) $y = 5,0 \cdot 10^{-3} \sin 4\pi t$

$/5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}/$

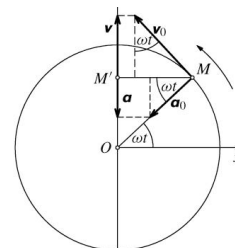
b) Určte a) amplitúdu výchylky harmonického kmitania, b) jeho frekvenciu /2Hz/

3. Určte čas od začiatočného okamihu, za ktorý hmotný bod kmitajúci podľa rovnice v úlohe 2 dosiahne výchylku -5 mm . / $0,375 \text{ s}$ /
4. Určte fázu kmitajúceho hmotného bodu s periódou $0,5 \text{ s}$, ak od začiatku periódy uplynulo $0,05 \text{ s}$. / $\omega = 4\pi$ /
5. Najtenšia struna gitary vydáva tón a^1 (komorné a) s frekvenciou približne 330 Hz . Napíšte rovnicu harmonického kmitania bodu v strede struny, ak sme ho vychýlili o 2 mm . Za začiatočný okamih si zvolte priechod bodu rovnovážnou polohou. Predpokladáme, že struna kmitá dlhšiu dobu so stálou amplitúdou. / $2 \cdot 10^{-3} \sin 660t$ /

1.2 Rýchlosť a zrýchlenie kmitavého pohybu

Odvedenie

K základným veličinám, ktorými v kinematike opisujeme kmitavý pohyb, patrí tiež rýchlosť a zrýchlenie. Z pozorovania kmitavého pohybu telesa na pružine môžeme usúdiť, že v rovnovážnej polohe t. j. keď $y = 0$, je rýchlosť telesa najväčšia. Naopak, keď $y = \pm y_m$, rýchlosť telesa sa rovná nule. Vzťah pre rýchlosť kmitavého pohybu nájdeme opäť na základe modelu, ktorý vychádza zo vzájomnej súvislosti s rovnomerným pohybom po kružnici. Na obr. 1-5 je hmotný bod, ktorý rovnomerne obieha po kružnici. Vektor rýchlosti v_0 pohybu rovnomerného po kružnici má smer dotýčnice v danom bode trajektórie a veľkosť rýchlosti $v_0 = \omega r$. Rýchlosť v kmitavého pohybu je priemetom vektora v_0 $v = \omega y_m \cos \omega t$



Obr.1-5

Podobnou úvahou nájdeme vzťah pre zrýchlenie kmitavého pohybu

$$a = -\omega^2 y$$

Zrýchlenie harmonického pohybu je priamo úmerné výchylke a a v každom okamihu má opačnú smer.

Pretože $r = y_m$, je vzťah pre rýchlosť kmitavého pohybu

$$v = v_0 \cos \omega t = \omega r \cos \omega t.$$

Rýchlosť kmitavého pohybu

To potvrdzuje naše predpoklady z úvodu tohto článku, že v rovnovážnej polohe je rýchlosť oscilátora najväčšia (amplitúda rýchlosti).

Kmitavý pohyb je pri pohybe telesa z rovnovážnej polohy spomalený a pri pohybe do rovnovážnej polohy je zrýchlený. Na rozdiel od pohybu rovnomerne zrýchleného sa však veľkosť zrýchlenia mení a dosahuje najväčšiu hodnotu (amplitúda zrýchlenia) v okamihu, kedy je kmitajúce teleso v najväčšej vzdialenosti od rovnovážnej polohy. Amplitúdu zrýchlenia vyjadruje vzťah

$$a_m = -\omega^2 y_m.$$

Zrýchlenie kmitavého pohybu

Poznámka

Znamienko $(-)$ vo vzťahoch pre zrýchlenie má fyzikálny význam: Okamžitá výchylka y a zrýchlenie a sú vektorové veličiny, ktoré majú pri kmitaní vždy navzájom opačný smer.

1.3 Zložené kmitanie

Vykonáme pokus s dvoma oscilátormi spojenými navzájom gumeným vláknom (obr. 1-6). Stred S vlákna zvýrazníme napr. kúskom polystyrénu. Ak rozkmitáme len prvý oscilátor, kmitá bod S podľa obr. 1-7a. Podobné kmitanie pozorujeme, keď rozkmitáme len druhý oscilátor (obr. 1-7b). Ak však kmitajú obidva oscilátory súčasne, koná bod S periodický pohyb, ktorého časový diagram je na obr. 1-7c. Vzniká zložené kmitanie.

Zložené kmitanie môže mať rozličný priebeh. V jednoduchých prípadoch má harmonický priebeh, v ostatných prípadoch neharmonický priebeh, aj keď sú obidva pohyby, ktoré sa skladajú harmonické.

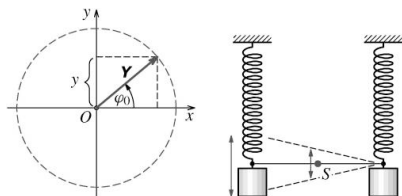
Ak hmotný bod koná súčasne niekoľko harmonických kmitavých pohybov toho

istého smeru s výchylkami $y_1, y_2, \dots, y_k$, potom je výchylka y výsledného kmitania

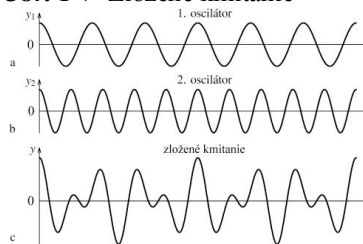
$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_k$$

Výchylky môžu mať v určitom okamihu kladnú i zápornú hodnotu. Preto sa pri skladaní kmitaní sčítavajú a odčítavajú.

Obr. 1-6 Demonštrácia zloženého kmitania



Obr. 1-7 Zložené kmitanie



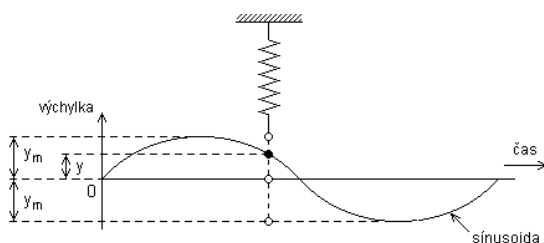
1.4 Dynamika kmitavého pohybu

Dynamika skúma príčiny pohybu. Už v úvode kapitoly (pozri čl. 1.1) sme si mohli všimnúť, že príčinou kmitania mechanického oscilátora môže byť napr. sila pružnosti, alebo tiažová sila.

V prípade, že skúmame pružinový oscilátor, je kmitanie harmonické. Jeho zrýchlenie $a = -\omega^2 y$ je priamo úmerné okamžitej výchylke a má vzhľadom k výchylke vždy opačný smer. Silu pružnosti $F_p = F$, ktorá pôsobí na závažie oscilátora, môžeme vyjadriť podľa 2. Newtonovho pohybového zákona ako súčin hmotnosti závažia a zrýchlenia

$$F = m \cdot a = -m \cdot \omega^2 \cdot y$$

Táto rovnica sa nazýva aj **pohybová rovnica** harmonického pohybu.



Obr. 1-8 K vysvetleniu kmitania pružinového oscilátora

Sila pružnosti je priamo úmerná výchylke. Tak ako zrýchlenie, má aj sila v rovnici smer opačný ako výchylka a je vždy orientovaná k rovnovážnej polohe závažia oscilátora.

Uhlová frekvencia oscilátora závisí od jeho

vlastností, ktoré určujú parametre oscilátora. Ak je závažie zavesené na pružine, tak jeho parametre sú hmotnosť telesa m a tuhosť pružiny k (konštanta k vyjadruje elastické vlastnosti pružiny pri deformácii vonkajšou silou).

K tomu, aby sa pružina z pôvodnej dĺžky l_0 predĺžila na dĺžku $l = l_0 + \Delta l$, musíme ju deformovať silou $F = k \cdot \Delta l$. **Tuhosť pružiny** je definovaná vzťahom

$$k = \frac{F}{\Delta l}$$

$$[k] = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Tuhosť pružiny je tým väčšia, čím väčšiu silu potrebujeme k jej predĺženiu o rovnakú dĺžku.

Všeobecne **harmonický pohyb** spôsobuje sila pružnosti F , ktorá vždy smeruje do rovnovážnej polohy, teda má opačný smer ako vektor posunutia y a jej veľkosť je priamo úmerná okamžitej výchylke y . Vyslovili sme **dynamickú podmienku harmonického pohybu**, ktorú možno vyjadriť rovnicou

$$F = -k \cdot y,$$

Vlastné kmitanie

Uhlová frekvencia voľne kmitajúceho mechanického oscilátora nie je ovplyvnená vonkajšími silami, závisí len od jeho parametrov, t. j. od **hmotnosti m** telesa a **tuhosti k pružiny**. Také kmitanie nazývame **vlastné kmitanie** oscilátora a jeho **vlastnú uhlovú frekvenciu** značíme ω_0 :

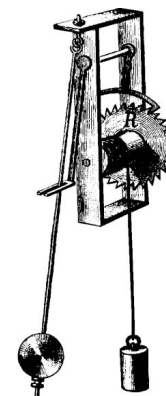
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Úpravou nájdeme vzťah pre periódu T_0 a frekvenciu f_0 vlastného kmitania pružinového oscilátora:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Poznámka

Vzťahy pre periódu a frekvenciu pružinového oscilátora sme odvodili pre ideálny pružinový oscilátor, t. j. oscilátor, ktorý má pružinu s hmotnosťou zanedbateľne malou v porovnaní s hmotnosťou závažia. Pri presnom overovaní práve odvodených vzťahov by sme museli k hmotnosti závažia oscilátora pripočítať jednu tretinu hmotnosti jeho pružiny. Pomocí uvedených vzťahov môžeme určiť **zotrvačnú hmotnosť telesa**, tzn. určiť hmotnosť telesa v pohybe.



Obr. 1-9 Dobová kresba kyvadlových hodín

Preskúšajte sa

Kravy sa potia cez nosy

Cvičenia

1. Pružinový oscilátor vznikol zavesením telesa s hmotnosťou 10 kg na pružinu, ktorá sa predĺžila o 15 cm. Určte periódu oscilátora ($g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). / 0,78 s. /
2. Teleso zavesené na pružine s tuhosťou $50 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ vykoná 50 kmitov za 64 s. Určte hmotnosť telesa. / 2,1 kg. /
3. Teleso s hmotnosťou 200 g zavesené na pružine s tuhosťou $32 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ kmitá s amplitúdou výchylky 4 cm. Určte
 - a) rýchlosť telesa v rovnovážnej polohe, / $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ /
 - b) najväčšiu silu, ktorá na teleso v priebehu periódy pôsobí. / 1,3 N /
4. Medená guľôčka zavesená na pružine kmitá s frekvenciou f . Ako sa zmení frekvencia kmitania oscilátora, ak medenú guľôčku zameníme za hliníkovú guľôčku s rovnakým priemerom? / 1,8 krát sa zväčší. 5. 0,63 s; 0,57 kg (príčinou kratšej periódy kmitania je hmotnosť pružiny, ktorú pri skutočnom oscilátore spravidla nemôžeme zanedbať) /
5. Teleso s hmotnosťou 0,50 kg je zavesené na pružine s tuhosťou $50 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. Pri kmitaní tohto oscilátora sa meraním zistila perióda vlastného kmitania 0,67s. Určte periódu výpočtom a uvažte, čo môže byť príčinou zisteného rozdielu. Akú hmotnosť by musel mať oscilátor, aby teoretická hodnota periódy zodpovedala nameranej hodnote?
6. Špirála sa pri zaťažení hmotnosťou 1 kg predĺži o 0,06 m. Vypočítajte pružnosť špirály a frekvenciu. / 163 Nm^{-1} , 2,04 Hz /
7. Pri zaťažení špirály hmotnosťou 0,1 kg vzniká pohyb frekvencie 2 Hz. Aká sila spôsobí predĺženie špirály o 0,01 m? / 0,16 N /
8. Teleso hmotnosti 0,7 kg kmitá na špirále frekvenciou 10 Hz. Akú pružnosť má špirála? / $2,8 \cdot 10^3 \text{ Nm}^{-1}$ /

Huygensove hodiny z r. 1582 mali chybu menej než 1 minúta za deň.

Okolo r. 1675 vyvinul zotrvačník používaný ešte aj dnes v náramkových hodinkách.

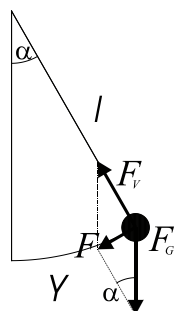
1.5 Kyvadlo

Kyvadlo zohralo významnú úlohu v histórii merania času. Je to jednoduché zariadenie, ktorého periódu kmitania možno ľahko a pomerne presne nastaviť zmenou parametra, ktorým je **dĺžka kyvadla**. Pri kyvadlových hodinách kyvadlo tvorí niekoľko tyčí so závažím (obr.1-9). Kyvadlo svojím pohybom riadilo pozvoľné otáčanie sústavy ozubených kolies spojených s hodinovými ručičkami. Konštrukciou mechanizmu kyvadlových hodín sa preslávil holandský fyzik

Christian Huygens (1629 – 1695).

Vývojom moderných časomerných zariadení strácajú kyvadlové hodiny na význame. Napriek tomu predstavuje kmitanie kyvadla zaujímavý fyzikálny problém, ktorého riešenie nám poslúži k lepšiemu pochopeniu dejov, pri ktorých vzniká harmonické kmitanie. Ako kyvadlo sa obvykle označuje akékoľvek teleso zavesené nad ťažiskom, ktoré sa môže voľne otáčať okolo vodorovnej osi. My sa budeme zaoberať pohybom najjednoduchšieho kyvadla v podobe malého telesa (napr. malej guľôčky, ktorú môžeme považovať za hmotný bod) zaveseného na pevnom vlákne so zanedbateľne malou hmotnosťou a konštantnou dĺžkou l . Tento abstraktný model mechanického oscilátora sa vo fyzike nazýva **matematické kyvadlo**. Harmonické kmitanie sme zaviedli ako priamočiary pohyb. Aby táto podmienka bola približne splnená aj pre kyvadlo, musí byť výchylka tak malá, že oblúk, po ktorom sa teleso pohybuje, môžeme považovať za úsečku. Pre výpočty v našich úlohách je to splnené s dostatočnou presnosťou, ak najväčší uhol α , ktorý vlákno kyvadla pri kmitavom pohybu zvierá so zvislým smerom, neprekročí 5° . Potom tiež platí, že $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$.

Príčinou kmitavého pohybu kyvadla je sila F (obr. 1-10), ktorá je výslednicou tiažovej sily F_G a sily F_t , ktorou pôsobí vlákno závesu na teleso. Pre túto silu platí:



$$F_t = -mg \frac{y}{l} = -\frac{mg}{l} y$$

Ak je kmitanie kyvadla harmonické, guľôčka na konci závesu sa pohybuje so zrýchlením a , dostaneme pohybovú rovnicu v tvare

$$F = -m\omega^2 y$$

Pre uhlovú frekvenciu ω_0 vlastného kmitania kyvadla vychádza

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Obr 1- 10

A pre periódu T_0 kmitania kyvadla platí

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Vidíme, že perióda kmitania kyvadla nezávisí od hmotnosti telesa ani od výchylky z rovnovážnej polohy. Pretože veľkosť tiažového zrýchlenia g je na danom mieste povrchu Zeme konštantná, je perióda kmitania určená len dĺžkou l závesu. V súvislosti s použitím kyvadla na meranie času sa zaviedol tiež pojem **kyv**, ktorý kyvadlo vykoná medzi dvoma po sebe idúcimi prechodmi rovnovážnou polohou. **To znamená, že doba kyvu t sa rovná polovici periódy T .**

Príklad

V kyvadlových hodinách sa používalo sekundové kyvadlo, ktoré pri každom prechode rovnovážnou polohou umožňovalo pootočenie mechanizmu hodín o jeden dielik zodpovedajúci času 1 s. Určte dĺžku sekundového kyvadla.

Riešenie

$$t = 1,00 \text{ s}, g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; l = ?$$

Sekundové kyvadlo vykonalo za 1 s jeden kyv, t. j. kmitalo s periódou $T = 2t = 2,00 \text{ s}$.

Upravíme vzťah pre periódu kyvadla a dosadíme:

$$l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} = \frac{(2,00 \text{ s})^2 \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{4\pi^2} = 0,994 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

Matematické
kyvadlo.

Príčiny
kmitania
kyvadla

Atómové
hodiny majú
odchýlku
1 sekundu
za 1,7
milióna
rokov

Od čoho
závisí
perióda
kmitania?

Preskúšajte sa

Sekundové kyvadlo malo dĺžku približne 1 m.

Cvičenia

1. Aké dlhé je sekundové kyvadlo ($T=1s$) v Bratislave ($g=9,8092ms^{-2}$), v Prahe ($g=9,8109ms^{-2}$), na Mesiaci ($g=1,6ms^{-1}$) a na Marse ($g=3,6ms^{-1}$) ?
/0,9938m, 0,9940m, 0,162m, 0,365m /
2. Kyvadlo s dĺžkou závesu 40 cm kmitá s rovnakou periódou ako teleso zavesené na pružine s tuhosťou $20 N \cdot m^{-1}$. Určte hmotnosť telesa. / 0,82 kg /

Otázky

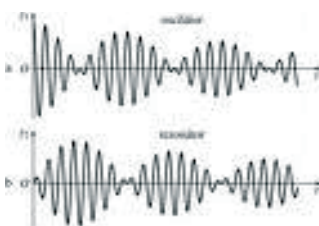
1. Ako vzniká kmitavý pohyb?
2. Kedy je guľôčka na pružine v rovnovážnej polohe?
3. Prečo sa guľôčka na pružine rozkmitá? Aké zmeny energie prebiehajú pri jej kmitaní?
4. Prečo sú kmity väčšinou tlmené?
5. Plech sa upína blízko pilovaného miesta. Vysvetlite prečo?
6. Ako sa graficky znázorňuje priebeh kmitov?
7. Vysvetlite pojmy perióda a amplitúda výchylky.
8. Vyjadrite vzťah medzi uhlovou frekvenciou kmitania oscilátora a periódou jeho kmitania rovnicou.
9. Vyjadrite vzťah medzi veľkosťou tiažovej sily pôsobiacej na závažie a hmotnosťou závažia rovnicou.
10. . Ako sa zmení perióda kmitania hojdačky, ak dieťa bude pri hojdaní najprv sedieť a potom sa postaví? / Ak sa dieťa na sedačku postaví, perióda kmitania sa zmenší, pretože sa zmenší dĺžka kyvadla (približne vzdialenosť ťažiska tela dieťaťa od osi otáčania hojdačky)./
11. Kyvadlo je zostavené z nite a z guľôčky zavesenej na jej konci. Ako musíme zmeniť dĺžku nite, aby frekvencia vzrástla na dvojnásobok?

1.6 Druhy kmitania

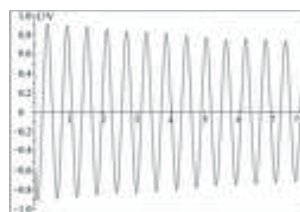
Zo skúsenosti vieme, že amplitúda výchylky mnohých kmitavých pohybov sa postupne znižuje, až kmitanie zanikne. Prebieha **tlmené kmitanie**. Časový priebeh tlmeného kmitania je na obr.1-11 Také kmitanie, ktoré by prebiehalo neobmedzene dlho bez zmeny svojej amplitúdy, nazýva sa **netlmené kmitanie**. Časový priebeh netlmeného kmitania je na obr. 1-12.

Tlmené kmitanie

Netlmené kmitanie



Obr. 1-11



Obr. 1-12

Tlmené kmitanie oscilátora zapríčiňujú sily, ktoré vznikajú tak v samotnom oscilátore, ako aj pri jeho styku s prostredím, v ktorom sa pohybuje. V prvom prípade ide o sily, ktoré vznikajú deformáciou pružných častí oscilátora, v druhom prípade ide o odporovú silu, ktorou pôsobí prostredie na oscilátor. V oboch prípadoch sa časť mechanickej energie oscilátora postupne mení na vnútornú energiu oscilátora a prostredia, čím sa oscilátor aj prostredie v najbližšom okolí zahrieva.

Pretože v praxi vždy existujú sily pôsobiace proti pohybu, sú kmitavé pohyby reálnych oscilátorov, ktorým sa nedodáva energia z vonkajšieho zdroja, tlmené.

V technickej praxi je často potrebné, aby reálny oscilátor kmital netlmene, t.j. neprestajne so stálou amplitúdou výchylky. Známym príkladom je netlmené

kmitanie nástenných hodín.

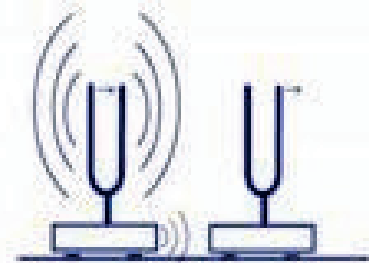
Aby kmitanie oscilátora bolo netlmené, musí sa mu nejakým spôsobom dodávať z vonkajšieho zdroja energia, ktorá má nahradiť úbytok spôsobený tlmením. Keďže k netlmenému kmitaniu v tomto prípade nútime guľôčku vonkajším zásahom, hovoríme o **nútenom kmitaní**.

Nútené
kmitanie

Kmitanie, ktoré nie je ovplyvnené vonkajšími silami sa nazýva **vlastné kmitanie**. Nútené kmitanie je **netlmené kmitanie** - kmitanie bez zmeny amplitúdy.

1.7 Rezonancia

Rezonancia je jav, pri ktorom sa frekvencia vynúteného kmitania rovná frekvencii vlastného kmitania. V podstate ide o "skladanie" dvoch kmitaní s rovnakými frekvenciami.



Obr.1-13

Frekvencia, pri ktorej sa rozkmitajú iné teleso sa nazýva **rezonančná frekvencia**; pri tejto frekvencii nastane **rezonancia oscilátora**. Rezonanciu môžeme považovať za vzájomné pôsobenie dvoch oscilátorov (obr.1-13). Jeden je zdrojom núteného kmitania (**oscilátor**) a druhý sa pôsobením zdroja nútene rozkmitá (**rezonátor**)

Rezonančná
frekvencia

Pri rezonancii dochádza k najväčšiemu prenosu mechanickej energie na oscilátor. Preto pri rezonancii možno vyvolať aj pomerne malou vonkajšou silou veľkú amplitúdu výchylky oscilátora. Napríklad malou silou ľahko rozkývame aj veľmi ťažký zvon, ak budeme lano od zvona ťahať v pravidelných časových intervaloch, ktoré zodpovedajú frekvencii jeho vlastného kmitania. Opakovanými silovými nárazmi sa ťažký predmet uvedie najskôr do kmitavého pohybu, ktorého postupne sa zväčšujúce amplitúdy sa potom využijú na premiestnenie predmetu (napr. potlačenie pokazeného auta).



Obr. 1-14

Najčastejší príklad na ktorom sa rezonancia vysvetľuje je hojdačka (obr.1-14). Hojdačku môžeme prirovnáť ku kyvadlu, ktoré rozkmitáme vychýlením z rovnovážnej polohy. Ak si na hojdačku sadneme a pustíme sa, hojdanie (kmity) po istom čase ustanú. Ide o vlastné tlmené kmity sústavy človek a hojdačka. Ak počas hojdania používate aj nohy (narovnáte a zohnete ich v pravý čas), dodávate oscilátoru energiu (vonkajšia sila), ktorú stráca. Rezonanciou dochádza k zosilneniu kmitov t.j. zväčšenie amplitúdy. Každý oscilátor možno charakterizovať rezonančnou krivkou a kvalitou oscilátora. Rezonančná krivka je závislosť amplitúdy oscilácií od budiacej frekvencie, kvalita oscilátora súvisí so šírkou rezonančnej krivky.

Príklady
rezonancie



Veľký význam má rezonancia pri hudobných nástrojoch a v reprodukčnej zvukovej technike. Napríklad mechanické kmitanie strún gitary sa prenáša na celé teleso gitary, ktoré rezonuje v širokom intervale frekvencií, čím sa zosilňujú jej



Kritické
otáčky
stroja

zvuky. Rovnakú frekvenciu majú rezonančné skrinky všetkých strunových hudobných nástrojov. Ale aj zvuky reprodukovanej hudby sa výrazne zosilňujú rezonančnými skrinkami, do ktorých sú zabudované reproduktorové sústavy.

Rezonancia má však aj niektoré nepriaznivé dôsledky. Prejavuje sa najmä pri chode strojov, ktoré vykonávajú otáčavý pohyb. Pri istých, tzv. **kritických otáčkach** stroja rezonujú niektoré jeho časti alebo aj podstavec, na ktorom je stroj upevnený. Preto je nevyhnutné, aby pracovná frekvencia stroja bola vždy dosť odlišná od kritickej frekvencie. Z rovnakých dôvodov sa musí s rezonanciou rátať aj pri konštrukcii dielenských hál a celých továrenských blokov, do ktorých sa stroje umiestňujú. Podobne sa s rezonančnými javmi ráta pri konštrukcii trupov lietadiel, ktoré sa nesmú dostať do rezonancie s kmitaním, ktoré vyvolá chod motorov. Veľké amplitúdy výchylky niektorých častí lietadla by mohli zapríčiniť ich vážne poškodenie a haváriu lietadla.

Zo života

Viete odpovedať? K

Zvláštnym
druhom
vlnenia sú
seizmické
vlny
vyvolané
zemetrasením

1. Nesieme plné vedro vody. Keď prejdeme niekoľko metrov, začne voda z vedra špliechať von. Prečo?
2. Môže malé dieťa rozkývať ťažký zvon?
3. Prečo nesmú vojenské útvary pochodovať po chodbách alebo mostoch jednotným krokom?



2 VLNENIE

V tejto kapitole sa oboznámime s ďalším pohľadom na svet okolo nás. Budeme sa zaoberať mechanickým a elektromagnetickým vlnením. V prípade mechanického vlnenia si najväčšiu pozornosť zasluhuje zvuk a javy s ním súvisiace. V prípade elektromagnetického vlnenia sa budeme najviac venovať svetlu, ale pozornosť si zasluhujú aj iné časti spektra elektromagnetického vlnenia.

Obr. 2-1 Vlnenie na vodnej hladine



2.1 Prenos energie vlnením

Vlnenie

Po vhození kameňa do bazénu alebo do jazera, šíri sa z miesta dopadu kruhová vlna, ako na obr. 2-1. Vlna sa tiež šíri pozdĺž hadice v záhrade, ak jej koncom kmitáme hore-dolu. Vlna na vodnej hladine a vlna na hadici sú dva bežné príklady vlnenia. Neskôr sa môžeme zaoberať aj inými druhmi vlnenia – napríklad svetlom alebo vlnením ktoré patrí k letiacemu elektrónu. Zatiaľ sa však obmedzíme na **mechanické vlnenie**.

Človek sa
denne
nadýchne v
priemere
23.000 krát

Isto ste už sedeli na brehu jazera a zdalo sa vám, že vlny, ktoré sa šíria smerom ku brehu, prinášajú naň vodu. Nie je to však celkom tak. Vlny sa šíria istou rýchlosťou, zatiaľ čo časti vodnej hladiny iba kmitajú okolo rovnovážnej polohy. Vlna nespôsobuje pohyb listu padnutého na hladinu v smere jej šírenia. List iba kmitá okolo rovnovážnej polohy. Toto je všeobecná vlastnosť vlnenia. Vlnenie sa môže šíriť na veľké vzdialenosti, ale prostredie (voda, hadica) koná iba obmedzený pohyb – bod prostredia kmitá okolo rovnovážnej polohy. **Vlnenie sa šíri bez toho, aby nieslo so sebou aj časti prostredia. Vlnenie prenáša energiu z jedného miesta na iné.** Vlna na vodnej hladine získa energiu napríklad od kameňa hodeného do vody, alebo od vetra a táto sa jej prostredníctvom dostane ku brehu. Ak ste boli počas vlnobitia na brehu jazera,

Mechanické
vlnenie

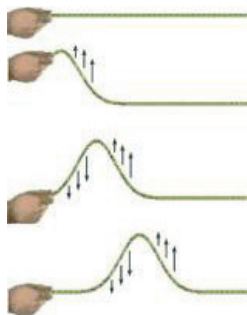
Prenos energie pri vlnení

Vrch a dol

Šírenie vlnenia

isto ste tú energiu cítili.

Pozrime sa trochu bližšie na to, ako vlna vzniká a ako sa šíri. Najskôr sa pozrime na jednu samostatnú „vlnku“, na jeden „kopček“ šíriaci sa na lane (obr.2-2). Tento budeme nazývať **vrch** ak je jeho výchylka v jednom smere a **dol** pri opačnej výchylke. Môžeme ho vytvoriť tak, že jedným koncom lana rýchle mykneme hore-dolu. Ak koncom lana kmitáme spojitě, dostaneme spojitě vlnenie. Zdrojom postupného vlnenia je kmitajúca časť prostredia – zdroj a pružné prostredie spôsobuje, že sa vlnenie šíri. **Mechanické vlnenia sa môžu šíriť iba v pružných prostrediach**, teda v

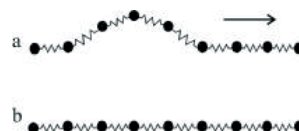


Obr. 2-2

Šírenie sa „kopčeka“ na lane

takých, kde existujú väzbové sily medzi časticami prostredia. Kmitanie jednej častice sa väzbovými silami prenáša na vedľajšie častice.

Na obr. 2-3 máme model lana. Je na ňom znázornených niekoľko bodov, väzby medzi nimi sú znázornené pružinami. Všetky body sú v rovnovážnych polohách, lano je v pokoji. Lanom sa šíri vrch. Smer šírenia vlny je znázornený šípkou, zľava



Obr. 2-3

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

SEIZMOLOGIA
Zaoberá sa štúdiom zemetrasení a nimi vyvolaných seizmických vln. Citlivé prístroje zachytia záchvevy ďaleko od zemetrasenia. Veľkosť zemetrasenia sa meria Richterovou stupnicou, ktorá má rozsah 0 – 9 stupňov. Zemetrasenie 8. stupňa je schopné zrovnať mesto zo zemou.
Jedno z najväčších zemetrasení bolo v r.1923 v Tokiu a zahynulo tu 143 000 ľudí.

2.2 Postupné mechanické vlnenie

Zdrojom vlnenia je teda **kmitanie**, a je to zároveň kmitanie, čo sa šíri prostredím a vytvára vlnenie. Ak zdroj kmitá harmonicky (časová závislosť je sínusoida s určitou frekvenciou) a prostredie je dokonale pružné, aj vzniknuté vlnenie je harmonické. Ak sa na takéto vlnenie pozrieme v ľubovoľnom okamihu, **vlnenie má tvar sínusoidy**. Na druhej strane, ak sa pozrieme na pohyb jedného bodu, grafom závislosti výchylky z rovnovážnej polohy od času je tiež sínusoida.

Pri opise vlny používame niekoľko nových fyzikálnych veličín:

Amplitúda y je najväčšia výchylka z rovnovážnej polohy.

Vlnová dĺžka λ je vzdialenosť medzi dvoma susednými bodmi s maximálnou kladnou výchylkou z rovnovážnej polohy.

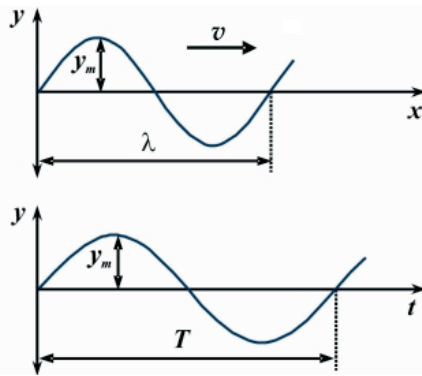
Frekvencia f je počet vln za jednotku času.

Periód T je čas potrebný na vykonanie vlny. Vieme, že platí:

$$f = \frac{1}{T}$$

Rýchlosť vlnenia v je rýchlosť, ktorou sa pohybuje maximálna kladná výchylka. Musíme rozlišovať medzi rýchlosťou vlny a rýchlosťou bodu prostredia. Na obr. 2-2 sa vlna pohybuje doprava v smere lana, zatiaľ čo body prostredia sa pohybujú kolmo naň. Vlnový rozruch prejde vzdialenosť jednej vlnovej dĺžky za jednu periódu, teda

Od čoho závisí rýchlosť vlnenia



Obr.2-4

$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$

Napríklad vlna šíriaca sa rýchlosťou $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ s periódou 5 s má vlnovú dĺžku 10 m .

Rýchlosť vlny závisí od vlastností prostredia, v ktorom sa šíri. Napríklad rýchlosť vlny na napnutom špagáte (drôte) závisí od napnutia špagátu a od dĺčkovej hustoty (hmotnosti pripadajúcej na jeden meter) špagátu.

Příklad:

frekvenciou $7,0 \text{ Hz}$, tým vytvoríme vlnenie s vlnovou dĺžkou $1,2 \text{ m}$. Určte rýchlosť šírenia tohto vlnenia.

Riešenie

Podľa predchádzajúceho vzťahu platí

$$v = f \cdot \lambda = 8,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Cvičenia

- Rýchlosť šírenia pozdĺžneho postupného vlnenia v istom druhu oceli je $550 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Akú vlnovú dĺžku má v tejto oceli vlna pri frekvencii: a) 1 Hz , b) 1 kHz , c) 1 MHz ?
/ 5 500 m , $5,5 \text{ m}$, $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ /
- Medenú rúrku 360 m dlhú prebehla vlna za $0,1 \text{ s}$. Aká bola rýchlosť šírenia tohto vlnenia v medi? / $3 \text{ 600 m} \cdot \text{s}^{-1}$ /
- Rýchlosť šírenia postupného priečného vlnenia je $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Aká je jeho vlnová dĺžka pri frekvencii $0,2 \text{ Hz}$? / 500 m /
- Pri frekvencii 1 kHz je dĺžka vlny v železe $5,13 \text{ m}$. Aká je rýchlosť šírenia vlnenia v železe? / $5 \text{ 130 m} \cdot \text{s}^{-1}$ /
- Rýchlosť šírenia vlnenia vo vzduchu je asi $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Aký kmitočet a akú periódou v ňom má vlnenie s vlnovou dĺžkou $0,1 \text{ m}$? / 3 400 Hz , $1/3400 \text{ s}$ /
- Pomenujte čo najviac druhov vlnení. Uveďte, ako využívame prenos energie prostredníctvom jednotlivých druhov vlnení.

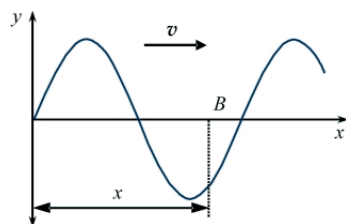
Látka	Rýchlosť mech. vlnenia / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ /
ocel'	5100
papier	2000
korok	480
voda	1484

Preskúšajte sa

Pri kýchnutí sa z pľúc uvoľní vzduch, ktorý dosahuje rýchlosť až 900 km/hod

2.3 Rovnica postupného vlnenia

Závislosť polohy telesa kmitajúceho okolo rovnovážnej polohy možno opísať rovnicou $y = \sin \omega t$. Pokúsme sa nájsť podobnú rovnicu pre vlnenie. Dá sa očakávať, že výchylka z rovnovážnej polohy bude závisieť nielen od času, ale aj od vzdialenosti rovnovážnej polohy určitého bodu prostredia od zdroja.



Obr. 2-5

Keď sa vám silno kýchne, môžete si zlomiť rebrá

Nech zdroj ($x = 0$) kmitá podľa rovnice $y = \sin \omega t$. Ľubovoľne zvolený bod B (obr. 2-5) nech je vo vzdialenosti x v smere šírenia vlnenia. Označme písmenom t čas, za ktorý sa vlnenie dostane zo zdroja do bodu B. Môžeme povedať, že bod B kmitá takisto, ako kmital zdroj v čase 0 .

Rovnica kmitania tohto bodu teda bude taká istá, ako rovnica kmitania

Tsunami

Zemetrasenia, ku ktorým dochádza na dne oceánov, často vyvolávajú vlnu nazývanú tsunami, ženúcu sa smerom k pobrežiu. Uprostred oceánu nie je veľmi vysoká, no ako sa približuje k pevnine, narastá až do výšky 75 metrov . Prudko sa preváľa na pobrežie, ničí budovy a odnáša lode ďaleko do vnútrozemia. Posledné veľké tsunami bolo v roku 2004 .

Rovnica
vlnenia

Fáza vlny

zdroja až na to, že fáza kmitania tohto bodu bude posunutá o ωt . Teda $y = y_m \sin 2\pi(t/T - x/\lambda)$

Táto rovnica opisuje kmitanie ľubovoľného bodu B, do ktorého sa dostala vlna zo zdroja. Nazýva sa **rovnica postupného vlnenia**. Vidíme, že ak zdroj kmitá harmonicky, aj ľubovoľný (každý) iný bod prostredia kmitá harmonicky. Podobne ako v rovnici harmonického kmitania argument funkcie sínus nazývame **fáza vlny**.

Príklad

V rade bodov postupuje priečne vlnenie s amplitúdou výchylky 4 cm rýchlosťou 24 ms⁻¹. Určte okamžitú výchylku bodu v čase 1 s a vo vzdialenosti 23 cm od zdroja vlnenia, ktorý kmitá s periódou 0,5 s?

Riešenie

Pre amplitúdu výchylky $y_m = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$, rýchlosť vlnenia $v = 24 \text{ ms}^{-1}$, čas $t = 1 \text{ s}$, vzdialenosť $x = 23 \text{ cm}$ a periódou $T = 0,05 \text{ s}$ je okamžitá výchylka

$$y = y_m \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) = 0,04 \cdot \sin \frac{2\pi}{0,5} \left(1 - \frac{23}{24} \right) = 0,02 \text{ m}$$

Cvičenia

1. Rovnica postupnej vlny je $y = 0,05 \sin 2\pi \left(\frac{t}{0,2} - \frac{x}{10} \right)$.

Určte amplitúdu výchylky, periódou kmitania a vlnovú dĺžku. / 0,05m, 0,2s, 10m /

Preskúšajte
sa

2. Napíšte rovnicu vlny s amplitúdou výchylky 2 mm, ktorá postupuje v smere osi x rýchlosťou 340 ms⁻¹. Zdroj vlnenia kmitá s frekvenciou 5 Hz. / $y = 0,002 \cdot \sin 10\pi(t - x/340) \text{ m}$
3. V rade bodov postupuje vlnenie s frekvenciou 3 Hz, amplitúdou 0,4 m, rýchlosťou 1,5 ms⁻¹. Aká bude okamžitá výchylka v bode vzdialenom o 6 m, v čase $t=3 \text{ s}$ po tom, čo bola v zdroji amplitúda? / 4 m /

Môžeme zabrániť zemetraseniu?

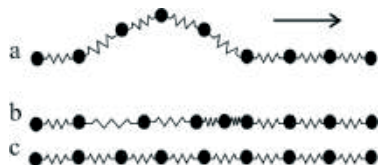
Aj keď vieme, kde sa nachádzajú hlavné pásma výskytu zemetrasení, nemôžeme im zabrániť. Keďže veľa ľudí žije v blízkosti aktívnych seizmických zón (napr. 3 milióny Američanov žijú neďaleko zlomu San Andreas v Kalifornii), je čoraz dôležitejšie vedieť predpovedať tieto javy. Vedci špeciálnymi prístrojmi merajú pohyb hornín hlboko pod povrchom zeme v nádeji, že zistia, kedy hrozí akútne nebezpečenstvo. Miestni obyvatelia by mohli potom odísť do bezpečia.

2.4 Priečne a pozdĺžne vlnenie

Ako sme doteraz videli, aj keď sa vlny môžu šíriť na veľké vzdialenosti, časti prostredia sa pohybujú iba obmedzene. Keď sa vlna šíri pozdĺž lano tak, že časti lano kmitajú hore-dolu kolmo na lano ako na obr. 2-6a, potom takéto vlnenie nazývame **priečne vlnenie**. Keď časti prostredia kmitajú v smere šírenia vlnenia, ako na obr. 2-6b, potom ho nazývame **pozďĺžne vlnenie**. Pri pozďĺžnom vlnení sa šíria za sebou oblasti zhusteného a zriedeného prostredia.

Priečne
vlnenie

Pozďĺžne
vlnenie



Obr.2-6



Obr.2-7

Dôležitým príkladom pozďĺžneho vlnenia je zvuk. Membrána bubna na obr. 2-7 striedavo stláča a rozpína vzduch a vytvára pozďĺžnu zvukovú vlnu, ktorá sa šíri vo vzduchu. V *pevných látkach* sa stretávame s oboma typmi vlnenia – priečnym i pozďĺžnym. V *tekutinách* sa môže šíriť iba pozďĺžne vlnenie. Okrem týchto dvoch typov sa stretávame ešte s povrchovými vlnami, ktoré sa šíria na rozhraní prostredí, napríklad na rozhraní vody a vzduchu – na vodnej hladine. Časti vody sa pohybujú po elipse.

Postupné
vlnenia

Všetky doteraz spomenuté vlnenia nazývame **postupné vlnenia**. Okrem nich existuje stojaté vlnenie – priečne i pozdĺžne. Toto budeme študovať neskôr.

2.5 Vlnenie v rovine a v priestore

Izotropné
prostredie

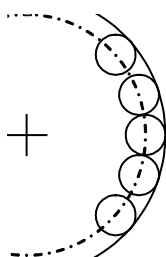
Rýchlosť, ktorou sa šíri vlnenie závisí od fyzikálnych vlastností prostredia, napríklad od pružnosti a hustoty prostredia. Ak sú fyzikálne vlastnosti prostredia vo všetkých smeroch rovnaké, je vo všetkých smeroch aj rovnaká rýchlosť vlnenia. Také prostredie sa nazýva **izotropné prostredie**.

Vlnoplocha

V izotropnom prostredí sa vlnenie od bodového zdroja šíri všetkými smermi rovnako. Množina bodov, ktoré kmitajú s rovnakou fázou sa nazýva **vlnoplocha**. V izotropnom prostredí bude mať vlnoplocha tvar gule. Vo veľkej vzdialenosti od zdroja prechádza **guľová vlnoplocha** na **rovinnú vlnoplochu**. Smer šírenia vlnenia charakterizuje **lúč**. Lúč je v každom mieste kolmý na vlnoplochu. Pod pojmom elementárna vlnoplocha rozumieme nekonečne malú vlnoplochu bodového zdroja.

Lúč

Huygensov
princíp



Obr.2-8

Pri šírení vlnenia nastávajú prípady keď vlnenie naráža na prekážky, prechádza rozhraním prostredí a pod.

Určiť tvar vlnoplochy v takýchto prípadoch nám umožňuje **Huyghensov princíp**: Každý bod vlnoplochy (obr.2-8), do ktorého sa dostalo vlnenie v istom okamihu, môžeme pokladať za zdroj elementárneho vlnenia, ktoré sa z neho šíri v elementárnych vlnoplochách. Vlnoplocha v ďalšom časovom okamihu je vonkajšia obalová plocha všetkých elementárnych vlnoploch, smer šírenia vlnenia v danom bode určuje kolmica na vlnoplochu, ktorá sa nazýva lúč

2.6 Odraz a lom vlnenia

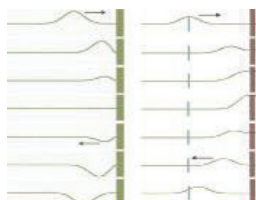
a) Odraz vlnenia

Vrch a dol

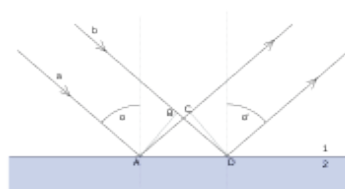
Keď vlna narazí na prekážku, vždy sa aspoň čiastočne odrazí. Iste ste už videli odraz vlny na vodnej hladine od okraja bazénu a počuli ste po výkriku v horách ozvenu. Odraz **vrchu** šíriaceho sa na lane je znázornený na obr. 2-9. Ak je koniec pevný, po odraze sa vracia ako **dol**, je prevrátený. Ak je koniec voľný, pri odraze sa neprevracia.

Odraz vlnenia alebo reflexia vzniká, ak sa prichádzajúce vlnenie dostane k rozhraniu dvoch prostredí. Na tomto rozhraní môže dôjsť k jeho odrazu späť do

Zákon
odrazu



Obr.2-9



Obr.2-10

prostredia (obr.2-10), z ktorého vlnenie prichádza. Tento jav nazývame **odrazom**. Odraz sa riadi **zákonom odrazu**.

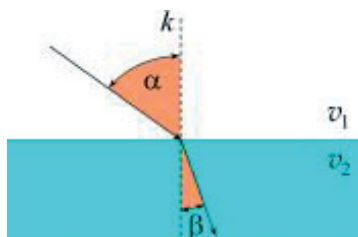
Uhol odrazu je rovný uhlu dopadu, pričom odrazené vlnenie ostáva v rovine dopadu. Odrazený lúč ostáva v rovine dopadu (v rovine danej dopadajúcim lúčom a kolmicou dopadu) a zvierá s kolmicou dopadu uhol odrazu, ktorý je rovnako veľký ako uhol dopadu.

$$\alpha = \alpha'$$

Uhol α sa nazýva **uhol dopadu**, α' sa nazýva **uhol odrazu**. Lúč odrazeného vlnenia leží v rovine dopadu vlnenia. Zákon odrazu platí nielen pre rovinné vlnenie, ale vo všeobecnosti pre ľubovoľné vlnenie dopadajúce na rozhranie ľubovoľného tvaru.

b) Lom vlnenia

Keď sa vlnenie dostane na rozhranie dvoch prostredí, časť sa odrazí a časť sa môže šíriť v druhom prostredí. Prechod vlnenia z jedného prostredia do iného nazývame lom vlnenia. Vlnenie pritom mení svoj smer. Toto je



Obr. 2-11

zapríčinené inou rýchlosťou šírenia vlnenia v druhom prostredí. Lúč po prechode rozhraním zvierá s kolmicou dopadu uhol lomu.

Na obr. 2-11 je uhol lomu β menší, ako uhol dopadu α . Tento jav nazývame **lom ku kolmici** a nastáva vtedy, ak rýchlosť vlnenia v druhom prostredí je menšia ako rýchlosť v prvom prostredí.

Ak je rýchlosť vlnenia v druhom prostredí väčšia ako rýchlosť v prvom prostredí, nastáva **lom od kolmice** alebo úplný odraz (o tom sa zmienime neskôr). Pre lom vlnenia platí **zákon lomu** (Snellov zákon lomu):

Lomený lúč ostáva v rovine dopadu a pomer sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu je pre danú dvojicu prostredí konštantný, rovná sa podielu rýchlostí vlnení v týchto prostrediach

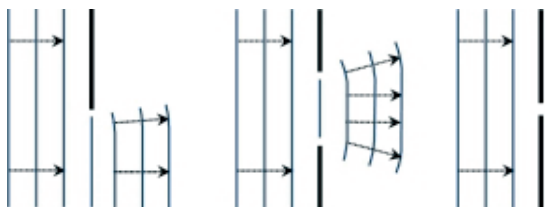
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Je dôležité uvedomiť si, že pri lome sa okrem smeru šírenia mení i vlnová dĺžka vlnenia.

2.7 Ohyb a skladanie vlnenia

Ohyb (difrakcia) vlnenia je jav, ktorý vzniká vtedy, keď sa vlnenie šíri cez otvor v prekážke, alebo okolo prekážky. Ohyb môžeme sledovať na vodnej hladine, na prístroji zvanom vlnostroj. Difrakciu môžeme vysvetliť **Huygensovým princípom**.

Ak postavíme do cesty postupujúcemu vlneniu na vodnú hladinu prekážku malých rozmerov, pozorujeme, že vlnenie prejde aj za prekážku (obr.2-12).



obr.2-12

Vzniká **ohyb vlnenia**. Okraje prekážky, ku ktorým dôjde vlnenie, stávajú sa zdrojom elementárnych vlnení. Keď má prekážka oveľa väčší rozmer, ako je vlnová dĺžka vlnenia, vzniká za prekážkou **tieň**.

Skladanie (interferencia) vlnenia môže nastať, ak dve alebo viac vlnení toho istého druhu prechádzajú tým istým prostredím v tom istom čase. V pružnom prostredí sa môže súčasne šíriť vlnenie od viacerých zdrojov. Môžeme to pekne pozorovať na pokojnej hladine jazera, ak na ňu hodíme dva kamienky. Od miesta dopadu každého z nich sa budú šíriť a prechádzať cez seba kružnice vlnoplôch. Výchylka určitého elementu prostredia bude vektorovým

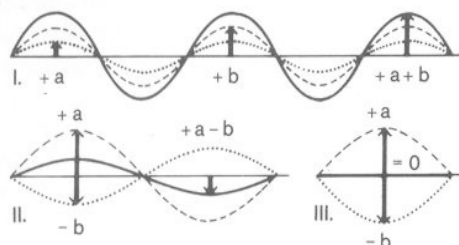
súčtom výchyliek (obr.2-13), ktoré by daný element mal mať od každého z vlnení. Môže nastať zväčšenie, zmenšenie alebo dokonca aj zrušenie výchylky v danom mieste.

Takéto prejavy prekrývania sa vlnení nazývame **interferenčné javy**.

Interferenčné javy môžeme pozorovať iba v prípade, že interferujúce vlnenia sú koherentné. **Koherentné** sú vlnenia vtedy, ak majú rovnakú frekvenciu a

v dôsledku toho aj konštantný fázový rozdiel. K interferencii vlnení by samozrejme dochádzalo aj v prípade nekoherentných vlnení, ale výsledný obraz sa bude rýchlo meniť. Koherentné vlnenia sú vytvárané koherentnými zdrojmi. Koherentné zdroje sú napr. dva reproduktory riadené jedným oscilátorom alebo dva malé otvory na

Koherentné
vlnenie



Obr.2-13

tienidle, na ktoré dopadá rovinná vlna.

2.8 Stojaté vlnenie

Špeciálnym prípadom interferencie dvoch vlnení je stojaté vlnenie. Vzniká **skladaním** dvoch postupných vlnení s rovnakou amplitúdou a frekvenciou **postupujúce proti sebe**. Stojaté vlnenie vznikne, ak ohraničený rad bodov, pružné vlákno, strunu rozkmitáme na obidvoch koncoch, alebo ak rozkmitáme jeden jej koniec a druhý je upevnený. Na upevnenom konci nastane **odraz vlnenia** a odrazená vlna postupuje proti pôvodnej vlne a s ňou interferuje.

Pre stojaté vlnenie je charakteristické, že jednotlivé body kmitajú s rôznou amplitúdou výchylky, ktorá je pre daný bod konštantná. Niektoré body (obr.2-14), ktorých amplitúda výchylky je nulová, zostávajú stále v pokoji; polohy týchto bodov sa nazývajú **uzly**.



Obr.2-14

Všetky ostatné body medzi nimi kmitajú s nenulovými a navzájom rôznymi amplitúdami výchylky; polohy bodov, v ktorých je amplitúda výchylky najväčšia, nazývajú sa **kmitne**.

Pri stojatom vlnení nemáme postupujúce čelo vlny, ako pri vlne šíriacej sa napr. po pružnom vlákne. Niekedy sa preto tiež používa možno výstižnejší termín pre stojaté vlnenie a to „chvenie“. V ohraničenom prostredí, ktorým je napr. napnutá husľová struna nemôže vzniknúť stojaté vlnenie ľubovoľnej frekvencie.

Poznámka

Rázy dobre poznajú hudobníci, ktorí si ladia strunové nástroje, napr. gitaru tak, že jednu strunu pritlačia na drevený *pražec* nástroja v takom mieste, aby znela s rovnakou frekvenciou ako susedná struna. Ak sa frekvencie obidvoch súčasne znejúcich strún o malú hodnotu líšia, môžeme rázy vnímať aj hmatom – rukou, ktorou držíme krk strunového nástroja.

2.9 Vlnenie v kuchyni - mikrovlnná rúra

Jedného dňa roku 1946 si vraj Percy Spencer všimol, že sa mu vo vrecku roztopil cukrík.

Napadlo mu, že by to mohla mať na svedomí radarová anténa, ktorú v ten deň testoval. A tak postavil k anténe zrnká kukurice a vajíčko. Tým dal základ vzniku mikrovlnnej rúry.

Mikrovlny – elektromagnetické vlny s vysokou frekvenciou. Vysokofrekvenčná elektrónka najprv využije tok elektrónov vo vákuu a následne magnetické pole. Na vlnovú dĺžku mikrovln sú citlivé molekuly, ktoré sa rozkmitajú, až sa zahrejú.

Zo života

Toto zariadenie sa už od roku 1920 volá **magnetron**. Najprv si ho užívali vojenské radary a neskôr dostal i pacifistické poslanie. Vďaka skladnejším rozmerom teraz pekne kmitá v našich kuchyniach. Dizajnéri a výrobcovia preto vyvinuli mikrovlnné rúry s možnosťou grilovania, pečenia a parenia.

Teplná úprava pokrmov sa odohráva vďaka pohlcovaniu mikrovln, ktoré prebieha v celom objeme zahrievanej potraviny. V nej sa potom rozkmitávajú s najväčšou intenzitou molekuly tuku a cukru, pomalšie molekuly vody. To je dôvod, prečo sa dobroty s vysokým obsahom tukov a cukrov uvaria rýchlejšie ako jedlá s vysokým obsahom vody. Čím rýchlejšie kmitanie, tým je jedlo teplejšie. Nijaké ohrievanie nádoby a postupný prenos tepla. Mikrovlnami sa ohrieva priamo potravina. Teplota na zahriatie alebo uvarenie jedla sa dosahuje za oveľa kratší čas ako pri klasickom varení. Čím vyšší výkon (od 700 W) podáva váš prístroj, tým je čas ohreву kratší. Porcii jedla z rôznorodých potravín však určite neuškodí, ak zvolíte dlhší čas a nižšiu intenzitu.

Preskúšajte sa

Otázky

1. V čom je rozdiel medzi kmitaním hmotného bodu a vlnením?
2. Aký druh vlnenia môžeme pozorovať na vlniacom sa lánе obilia?
3. Čo sú kmitne a čo uzly?
4. Čo je vlnová dĺžka?
5. Aký je vzťah medzi vlnovou dĺžkou a frekvenciou?
6. Čo znamená pojem koherentnosť dvoch vlnení?
7. Kedy sa interferujúce vlnenia najviac zosilňujú a kedy sa najviac zoslabujú?



Obr. 3-1
Historický gramofón

3 AKUSTIKA

Akustika

Akustika je špeciálny odbor náuky o mechanickom vlnení v pružnom prostredí, ktorý sa zaoberá vznikom, šírením a vnímaním zvuku. V akustike sa teda študujú vlastnosti zvuku, zdroje zvuku, prostredia, v ktorých sa zvuk šíri.

Zvuk

16 Hz–16 000 Hz

Zvukom sa nazýva mechanické vlnenie, ktoré vnímame sluchovým orgánom. Sú to vlny frekvenciou 16 Hz – 16 000 Hz. Mechanické vlnenie s frekvenciou pod 16 Hz je **infrazvuk** frekvenciou väčšou ako 16 kHz je **ultrazvuk**.

3.1 Zdroje zvuku

Zdrojom zvuku je kmitajúce teleso. Záleží však aj na jeho schopnosti tento zvuk odovzdať (preniesť) na okolité prostredie. Dôležitou vlastnosťou je tvar telesa a tvar jeho okolia. Struna napnutá medzi dvoma pevnými bodmi telesa s veľkou hmotnosťou nie je dobrý zdroj zvuku, pretože pri kmitaní struny vzniká pretlak v smere jej pohybu ale súčasne i podtlak na opačnej strane. Vzniká akustický skrat. Preto sa v strunových nástrojoch používa rezonančná doska, ktorá je v skutočnosti zdrojom zvuku gitary.

Zdroje zvuku

Ľuďom pri ich komunikácii pomáha okolo 2700 jazykov

V elektronických nástrojoch kmitá tenká membrána, ktorú rozochvieva elektromagnet. Rovnako vzniká zvuk aj v reproduktore alebo slúchadlách. Iným zdrojom zvuku sú ľudské hlasivky. Hlasivky sa nachádzajú v dolnej časti hrdla, v hrtane. Hlas vzniká rozochvením stien hlasiviek pomedzi ktoré prechádza zvuk postupným sťahovaním a rozťahovaním týchto stien. Zdrojom zvuku sú okrem telies s vlastným kmitaním aj umelé zdroje, ktoré kmitajú tzv. vynúteným kmitaním (reproduktor, hlasivky, krídelká svrčka a pod.

Ľudský hlas
Zvuk ľudského hlasu vzniká vtedy, keď vzduch z pľúc prechádza okolo hlasiviek. Výška alebo hĺbka hlasu závisí od toho, ako rýchlo či pomaly hlasivky kmitajú. Prúd vzduchu do pľúc a z pľúc riadi bránica. Svaly okolo úst pretvárajú zvuk vytvorený hlasivkami na zvuky rozoznateľné ušami. Dutiny v nose, hrdle a v hrudi pomáhajú, aby zvuk dobre znel – aby rezonoval.

3.2 Šírenie zvuku

Zo zdroja zvuku sa šíri zvukové vlnenie do okolitého prostredia.

Rýchlosť zvuku vo vzduchu závisí od zloženia vzduchu (nečistoty, vlhkosť), ale najviac od teploty. Pre teplotu t vzduchu v $^{\circ}\text{C}$ určíme rýchlosť zvuku vo

Šírenie
zvuku

Hustejšie látky vedú
zvuk rýchlejšie.

Vzduch 340 m.s^{-1}

Voda $1\,500 \text{ m.s}^{-1}$

Betón $1\,700 \text{ m.s}^{-1}$

Ľad $3\,200 \text{ m.s}^{-1}$

Oceľ $5\,000 \text{ m.s}^{-1}$

Sklo $5\,200 \text{ m.s}^{-1}$

vzduchu podľa vzťahu:

$$v_t = (331,82 + 0,61 \cdot t) \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

Pri bežných teplotách je rýchlosť zvuku vo vzduchu približne 340 m.s^{-1} .

V kvapalinách a pevných látkach je rýchlosť zvuku väčšia ako vo vzduchu. Rýchlosť

šírenia zvuku závisí na fyzikálnom stave prostredia, v ktorom sa šíri. Pre vzduch s atmosferickým tlakom $1\,013,25 \text{ hPa}$ v nulovej nadmorskej výške pri teplote 20°C je rýchlosť šírenia zvuku $c = 343 \text{ m/s}$.

Ozvena

Ozvena je zvláštny prípad odrazu zvuku od prekážky – dva zvuky rozlíšime pokiaľ je medzi nimi doba $0,1 \text{ s}$, za túto dobu zvuk prejde 34 m , teda pokiaľ stojíme 17 m od prekážky počujeme jednoslabičnú ozvenu, pokiaľ stojíme od prekážky ďalej počujeme viacslabičnou ozvenu.

Kvákajú
kačky
nevyvolávajú
ozvenu a
nikto nevie
prečo

Zvuk (rýchlosť šírenia 340 m/s) prejde za $0,1 \text{ s}$ dráhu

34 metrov . Teda naša vzdialenosť od steny nesmie byť menšia ako 17 m .)

Ak stojíme bližšie ako 17 m od prekážky, zvuky nerozlíšime, splývajú a predlžuje sa trvanie zvuku – **dozvuk**.

Dozvuk

Predbehnutie zvuku

Ak lietadlo prekročí rýchlosť zvuku, vzduch pred ním sa začína hromadiť. Keď lietadlo prerazí túto prekážku, vzduch mu ustupuje z cesty, rýchle a prudko sa rozpína, pričom sa ozve veľmi hlasná rana nazývaná aj sonický tresk. Istý čas sa vedci domnievali, že tento efekt by mohol pre nadzvukové lietadlá predstavovať nebezpečenstvo, ale dnešné lietadlá prerážajú zvukové bariéry každodenne.



Zo života

Ak na vás niekto volá v telocvični alebo v krytom bazéne, ťažko mu rozumieť. Každý zvuk sa viackrát odráža od stien či vodnej plochy. Spôsob, akým sa zvuk odráža v nejakej budove, voláme akustikou budovy. Veľké budovy sú plné odrazov, najmä ak je v nich veľa holých povrchov. V koncertnej sále treba regulovať ozveny. Ak v nej nie je dostatočný dozvuk, hudobné tóny znejú nevýrazne. Ak je dozvuk priveľký, tóny sa navzájom miešajú.

Aj divadlo musí byť postavené tak, aby diváci počuli každé slovo z javiska zreteľne. Aby sa potlačili mnohonásobné ozveny, steny hľadiska bývajú členité, s balkónmi a mnohými ozdobami. Na takých stenách sa väčšina zvuku pohltí. Strop však býva hladký a máva tvar obrátenej misy. Tá pôsobí ako „zvukové zrkadlo“, ktoré odráža zvuk z javiska k divákovi. Odrazený zvuk je oneskorený len nepatrne, preto neznižuje zrozumiteľnosť. Naopak, divák počuje hlasnejšie a tým aj lepšie. Ak sa hrá

pod širým nebom, kde táto odrazená vlna chýba, počujeme hercov slabšie.

História merania rýchlosti zvuku

Prvý, kto sa pokúsil zmerať rýchlosť zvuku vo vzduchu, bol **Marin Mersenne**. Pokusy s kanónom nameral rýchlosť 428 m.s^{-1} . Rýchlosť zvuku vo vode ako prvý presne merali **Jean-Daniel Colladon** a **Charles Sturm**. Na ženevskom jazere postavili v roku 1827 dve loďky do vzdialenosti $13\,487 \text{ m}$. Špeciálne zariadenie zároveň uderilo do zvonu, ponoreného do vody a

Meranie
rýchlosti
zvuku

Zvuk prenášaný svetlom

Zvuk z filmu sa zaznamenáva pomocou svetelného lúča, ktorý silnie alebo slabne v závislosti od signálu prichádzajúceho z mikrofónu. Takto sa na strane filmu vytvára špeciálna zvuková stopa. Pri prehrávaní svetlo v projektore prežaruje túto stopu dopadá na fotobunku snímajúcu informácie o zvuku.

Preskúšajte sa

Keď niekto rozpráva lebo spieva, hlasivky sú napnuté. Pri výdychu hlasivky kmitajú, a tak vzniká hlas

Keď máte nasadené slúchadlá (napr. z wolkmanu) počas jednej hodiny, zvýši sa vám počet baktérii v uchu o 700%.

Tóny – periodické zvuky

Hluk – neperiodické zvuky

odpálilo nálož strelného prachu. Pozorovateľ na druhej lodi nameral rozdiel medzi akustickým a optickým signálom 9,4 s, čo odpovedá 1435 m.s^{-1} .

Cvičenie

1. Vypočítajte, v akej vzdialenosti sa nachádzal netopier pred prekážkou v okamihu vyslania zvukového signálu, ak letí rýchlosťou veľkosti 10 m.s^{-1} a zvukový signál sa vráti k nemu za čas 0,15 s od vyslania. Rýchlosť zvuku vo vzduchu je 340 m.s^{-1} .
2. Turista stojí na okraji priepasti. Zvuk vzbudený dopadom kameňa na dno priepasti počuje za 4 s od začiatku pádu kameňa. Veľkosť rýchlosti zvuku vo vzduchu je 330 m.s^{-1} . Aká je hĺbka priepasti? [70 m]
3. Napätou gumovou hadicou sa kmitavý rozruch šíri rýchlejšie ako hadicou voľne položenou na podlahe. Vysvetlite
4. Vzdialenosť medzi dvoma železničnými stanicami je 10,2 km. Za aký čas by došiel zvukový signál z jednej stanice do druhej vzduchom a koľajnicami. (Rýchlosť zvuku v oceli je 5100 m.s^{-1}) [30 s, 2 s]
5. Určte rýchlosť zvuku pri teplotách -30°C , 0°C , 30°C . [313,8, 331,8, 349,8 m.s^{-1}]
6. Aká je vzdialenosť medzi susednými uzlami stojatej pozdĺžnej zvukovej vlny vo vzduchu, ak rýchlosť zvuku je 342 m.s^{-1} a frekvencia 440 Hz? [0,39 m]
7. Frekvenčný rozsah ľudskej reči je 200 Hz až 1,5 kHz. Určte najmenšiu a najväčšiu vlnovú dĺžku príslušného zvukového vlnenia. Rýchlosť zvuku vo vzduchu je asi 340 m.s^{-1} . [od 0,23 m do 1,7 m]
8. Určte rýchlosť vlnenia vo vode pri vlnovej dĺžke 30 m, ak je vlnenie budené kmitaním s periódou 0,02s. [1 500 m.s^{-1}]
9. S akou frekvenciou a periódou kmitá molekula vzduchu v mieste, ktorým prechádza zvukové vlnenie vlnovej dĺžky 1,7 m rýchlosťou 340 m.s^{-1} ? [200 Hz, 0,005 s]

Väčšina dopravných lietadiel dosahuje asi dve tretiny rýchlosti zvuku. V tejto rýchlosti lietadlo neustále dobieha zvukové vlny, čo sa šíria pred ním, a uniká tým, ktoré zanecháva za sebou.



Zadné vlny vyvolávajú pri vzdalovaní lietadla hlboké dunenie.

3.3 Druhy zvukov

Periodické zvuky nazývame hudobné zvuky alebo tóny. Ak má zvuk harmonický priebeh, je to **jednoduchý tón**. Periodické zvuky zložitejšieho priebehu označujeme ako zložené tóny. Samohlásky sú periodické.



Obr.3-2

Prelomenie zvukovej bariéry
13. októbra 1997 v nevadskej púšti Black Rose v USA tridsaťpäťročný pilot Raf Green prvýkrát na zemskom povrchu prekonal rýchlosť zvuku. Jeho vozidlo, poháňané dvoma prúdovými motormi, dosiahlo rýchlosť 1224,95 km.h^{-1} .



Neperiodické zvuky vnímame ako **hluk** (búchanie, praskot). Zvláštnym prípadom je šum, ktorý sprevádza všetky sluchové vnemy, je zapríčinený zmenou tlaku prostredia.

Zvuky (z hľadiska človeka a jeho vnímania) môžeme rozdeliť na hudobné (tóny) a nehudobné (hluky). **Tóny** vznikajú pri pravidelnom, periodickom opakujucom kmitaní. Pri počúvaní vzniká v mozgu dojem určitej výšky, preto sa tóny používajú v hudbe. Zdrojom hudobných zvukov môžu byť okrem hlasoviek aj rôzne hudobné nástroje. **Hlukom** označujeme nepravidelné vlnenie, vznikajúce ako zložené nepravidelné kmitanie telies. Rozdiel medzi tónmi a hlukom je malý a súvisí s ponímaním zvuku jednotlivcom.

Ako hluk býva označovaný tiež nepríjemný, rušivý zvuk. Táto definícia je subjektívna, pretože ten istý zvuk môže byť pre niekoho nepríjemný a pre iného prijateľný alebo dokonca príjemný. Hluk sú zvuky vyvolané neperiodickými kmitmi (väčšinou sú ľudskému uchu nepríjemné).

3.4 Vnímanie zvuku

Výška tónu	Zvuk pod vodou  Zvuk sa pod vodou šíri takmer štyrikrát rýchlejšie ako vzduchom. Znamená to, že ryba bude počuť hluk lode skôr ako človek stojací neďaleko na zemi.	Ľudské vnímanie zvuku je veľmi zložitý proces, závislý na mnohých faktoroch, pre ktoré zatiaľ nebola vytvorená uspokojivá teória. Pravidelné kmitanie zdroja zvuku je tón. Výška tónu je určená frekvenciou kmitania zdroja zvuku. Tóny rovnakej výšky, ktoré znejú rozlične majú rozličnú farbu. Tón hlasu závisí na frekvencii kmitajúcich hlasoviek. Pri dospelých mužoch sa táto frekvencia pohybuje okolo 125 Hz, u dospelých žien asi 210 Hz a u detí až 300 Hz. Rozhodujú o kvalite sluchového vnemu. Táto frekvencia určuje <i>absolútnu výšku</i> zloženého tónu. Sluchom však absolútna výška tónu väčšinou nedokážeme určiť. Obsah vyšších harmonických tonou spôsobuje, že má tón pre naše ucho charakteristický zvuk. Túto vlastnosť označujeme ako <i>farba tónu</i>. Tretia základná vlastnosť zvuku z hľadiska jeho vnímania sluchom je hlasitosť zvuku. Hlasitosť zvuku je určená veľkosťou akustického tlaku, ktorým zvukové vlnenie pôsobí na sluch. Ľudské ucho môže vnímať tlakové zmeny od $\Delta p = 10^{-5} \text{ Pa}$ (táto hranica určuje prah počuteľnosti - 0 dB). Veľmi hlasným zvukom zodpovedajú tlakové zmeny až $\Delta p = 10^2 \text{ Pa}$. Keď sa táto hranica prekročí, vzniká v uchu pocit bolesti, hovoríme o prahu bolesti (130 dB). Ľudské ucho je najcitlivejšie na zvuky s frekvenciou 700 Hz až 6 kHz. Človek počuje pozdĺžne mechanické vlnenie, ak má dostatočnú amplitúdu a ak má frekvenciu z intervalu od 20 Hz do 20 kHz. U starších ľudí klesá horná hranica frekvencie až ku 10 kHz.	Nezvyčajný sluch Ryby, kalmari a iné živočíchy majú orgán, ktorým vnímajú vibrácie z okolia. U rýb je to bočná čiara – ryhy vedúca pozdĺž tela, v ktorej sú zmyslové bunky zaznamenávajúce tlakové vlny.
Hlasitosť			
Prah počutia			
Prah bolesti			
Príklady frekvencií	Prečo nám praská v ušiach? Za oboma ušnými bubienkami je komôrka stredného ucha naplnená vzduchom. Tlak v tejto komôrke musí byť rovnaký ako tlak vonkajšieho prostredia, inak hrozí nebezpečenstvo prasknutia bubienky keď náhle zmeníme výšku.	Uchovávanie zvuku Dnes nie je problém ucho ať zvuk a hocikedy ho reprodukovat'. Môžeme nahrávať hudbu, robiť si rýchle poznámky do diktafónov alebo vyrábať „hovoriace“ knihy pre nevidiacich. Zaznamenaný zvuk získava rôzne podoby; napríklad podobu špirálovej drážky na platni, jamiiek na kompaktnej platni, magnetických polí na páske alebo elektrických impulzov v pamäti počítača. V nahrávacom štúdiu sa zvuk sníma niekedy až 24 mikrofónmi. Signál z každého mikrofónu sa zaznamenáva ako jedna samostatná stopa na širokej magnetickej páske 24 –stopovým magnetofónom. V najmodernejších štúdiách sa zvuk zaznamenáva priamo do pamäte počítača.	
Zo života			
Šum, ktorý počujeme keď si priložíme k uchu mušľu nie je oceán ale krv prúdiaca našim stredným uchom.		Vedeli ste? Teraz si ukážeme pár praktických príkladov zo života, kde je krásne vidieť, zase opačný vplyv. Vplyv zvuku na hmotu. Začnime tým najstarším príkladom v dejinách. Jericho. Vieme, že múry mesta Jericho padli po tom, ako smerom na ne zatrubilo niekoľko tisíc trubačov. Vtedy sa múry roztriasli a padli. To je ale len polovica pravdy. Ono by totiž nestačilo len hlasno zatrubiť. Oni vtedy museli najprv nájsť rezonančnú frekvenciu tých múrov, aby sa začali triasť a aby následne padli. Keby zahrli ton vyšší alebo nižší, tak by sa nič nestalo. Museli zahrat' len jeden jediný, presný tón, v ktorom hradby začali rezonovať so zvukom. Vysvetlíme si, ako funguje rezonancia. Zoberme si strunu na gitare. Keď na ňu brnkame, ozve sa tón. Ale tak isto sa struna rozozvuč, keď tento tón do gitary len tak	Sluch v nohách  Kobylky majú sluchový orgán na prednom páre nôh, zatiaľ čo koničky majú na bokoch prvého článku bruška.

zaspievame. Ale musí byť presný, inak sa nič nestane. Vyskúšajte si to. Môžete to vyskúšať s hocijakým predmetom, ktorý vydáva nejaký čistejší tón. Aj s hrncom. Najprv do hrnca klepnite, zapamätajte si tón, ktorý zaznie a potom dosť hlasno tento tón do hrnca zaspievajte. Hrnec sa rozozvučí.

Ďalší príklad je z Ameriky. Postavili tam vtedy taký dlhý most cez rieku. Potom jedného dňa fúkal veľmi slabý, ale pravidelný vietor. Most sa začal pomaly vlniť a vlnil sa stále viac a viac, až sa rozsypal. Vietor pôsobil na most ako veľmi hlboký infrazvuk. Náhodou fúkal presnou rezonančnou frekvenciou mostu, takže sa ani nič iné stať nemohlo. Most začal rezonovať s vetrom. Po tom ale stavbári prišli na to, ako prechádzať rezonanciami, takže už by sa to nemalo stať. V závislosti od rezonancie s určitým tónom, sa stavali kedysi aj sakrálné stavby. Takže sa dá pokojne povedať, že „tento kostol je naladený do Gis“.

Istí umelci urobili jeden pokus so zvukom. Na reproduktor sa naliala hustá farba. Keď sa potom ozval tón, farba sa začala dvíhať a formovala rôzne sochy. Tak sa hýbala, že vzbudzovala dojem, že je živá.. Že by zvuk dokázal oživiť neživé? Vezmúc do úvahy presvedčenie Indov, že základom všetkého je zvuk, tak by to dávalo celkom zmysel.. To isté sa dá robiť s pieskom. Na tenkú platňu sa nasype piesok, pod to sa dá reproduktor. Keď zaznie zvuk, tak v určitom momente sa piesok zoskupí do mandaly. A vždy do inej, podľa výšky tónu. Čím vyšší je tón, tým zložitejšia mandala vzniká. Ak máte možnosť, na internete sa dá nájsť množstvo zaujímavých videí o zvuku. Tak keď si zadáte heslo „sound and salt“ alebo sound waves tak môžete vidieť to, o čom si tu píšeme. Alebo „Creature in the sonic liquid“.

3.5 Ultrazvuk

Ultrazvuk
 $f \geq 20 \text{ kHz}$.

Mechanické vlnenie s **frekvenciou vyššou ako 20 kHz** sa nazýva ultrazvuk. Intenzita ultrazvukových vln je väčšia ako intenzita počuteľného zvuku u človeka. Ale niektoré zvieratá môžu vnímať aj ultrazvuk, napríklad pes počuje ultrazvukovú píšťalku, delfíni či netopiere vnímajú zvuk až do frekvencií okolo

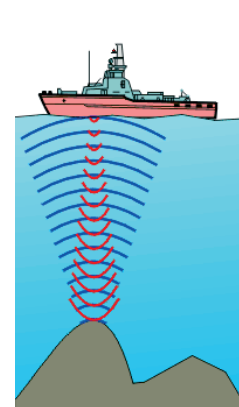
Využitie

150 kHz. **Ultrazvuk sa môže využívať** na odhaľovanie skrytých puklín, dutín, trhlín v materiáloch. Takisto aj v lekárstve na snímanie pacientov. Ultrazvukové vlny prechádzajú telom a odrážajú sa od jednotlivých orgánov resp. od prechodov medzi rôzne hustými tkanivami. Odrazené vlny môžeme previesť vo forme modulovaného obrazu na monitor.

Sonar

Čím dlhšie trvá ultrazvukovej vlne kým sa vráti tým ďalej sa nachádza prekážka v ktorej sa odrazila. Vlnové dĺžky ultrazvuku sú omnoho menšie ako vlnové dĺžky počuteľných zvukov. Na odraze ultrazvuku je založená aj ponorka. Pomocou ultrazvukových vln sa ponorky orientujú v hĺbkach a tme. Polohu a vzdialenosť rôznych telies pomocou ultrazvuku zisťuje **sonar** (obr.3-3). Používanému postupu sa hovorí **echolokácia**. Radary a sonary sa používajú na určovanie polohy vecí, ktoré ťažko vidieť. Pomáhajú aj pri určovaní rýchlosti pohybu objektov. Radary slúžia na letiskách na sledovanie lietadiel vo vzdušnom priestore. Na člnoch sa zasa používajú sonary, ich pomocou sa meria hĺbka morí alebo riek a vyhľadávajú sa prekážky pod vodou. Obrazovka rádiolokátora na lodi, alebo črne názorne ukazuje situáciu okolo lode nesúcej radar

Netopiere pri opúšťaní jaskyne vždy zahnú dol'ava.



Obr.3-3



Pes počuje na 4 krát väčšiu vzdialenosť ako človek

medzikontinentálne rakety).

Policaisti používajú radar na meranie rýchlosti automobilov. Anténa radaru vysiela zväzok rádiových vln a prijíma vlny odrazené od idúceho auta. (*V súčasnosti však už prevažujú laserové radary*)



Ultrazvukom je dokonca možné prenášať energiu, a tak zrýchľovať celý chod častíc (urýchľovanie rozpúšťania častíc či chemických reakcií). Ďalej sa ultrazvuk využíva na kontrolu homogenity, meranie hrúbky materiálu, čistenie vzduchu (odstraňovanie exhalácií), sterilizácia vody, mlieka a iných roztokov, čistenie predmetov. Princíp čistenia ultrazvukom je založený na princípe **kavitácie** (čo je mechanické narušovanie povrchu prudkým nárazom kvapaliny na predmet).

Ultrazvukom sa spájajú aj drobné telieska ktoré obsahuje vzduch a plyn (častice prachu a dymu) do väčších celkov. Ultrazvukové vlny môžu dokonca podporovať klíčenie a rast poľnohospodárskych plodín. Na živočíchov naopak môže ultrazvuk pôsobiť nepriaznivo.

3.6 Infrazvuk

Infrazvuk
 $f \leq 16 - 20$
Hz

Je zvuk s takým nízkym kmitočtom, že ho ľudské ucho nie je schopné zaznamenať. Presná hranice medzi počuteľným zvukom a infrazvukom neexistuje, ale udáva sa medzi 16 až 20 Hz. Spodná hranica sa udáva medzi 0,001 a 0,2 Hz. Takúto frekvenciu majú napr. seizmické vlny pri zemetrasení či nízkofrekvenčné vibrácie strojov. Sú to predovšetkým otrasy a záchvevy pôdy. Dopravné prostriedky s veľkou hmotnosťou vyvolávajú kmity pôdy a budov v rozpätí 1 – 10 Hz.



Zemetrasenie spôsobuje kmity nižšej ako 1 Hz.

Využitie

Infrazvukové vlny je možné registrovať a zmerať pomocou seizmografu dokonca aj niekoľko dní pred príchodom katastrofy. Infrazvuk sa veľmi dobre šíri vo vode, vnímajú ho hlavne morské živočích, ktorým to môže pomôcť, aby sa ukryli. Je známe, že veľryby, slony, hrochy, nosorožce a aligátory používajú infrazvuk k dorozumievaniu. Dlhotrvalé pôsobenie infrazvuku na ľudský

Najhlasnejší zvuk zo zvierat vydáva vráskavec ozrutný – dosahuje hlasitosť 188 decibelov a počuť ho až do vzdialenosti 392 km



organizmus je škodlivé. I keď infrazvuk nepočujeme, môže spôsobiť vážne zdravotné komplikácie. Pri malých intenzitách človek pociťuje nepríjemné vibrácie, nevoľnosť a závrate. Pri vysokej intenzite môže spôsobiť infarkt. Vnímoví jedinci



pociťujú tlak v ušiach (pocit "zaľahnutia"), tlak na citlivé oblasti pokožky, ako napr obličaj, chrbát ruky. Vlny akustického "signálu" v prírode vo frekvenčnej oblasti 0,05 - 20 Hz sú obvykle na úrovni 80-90 dB. Pri búrkach, prechodoch frontov dosahuje až 120 dB.

Vojaci využívajú zvukové delo, ktoré je schopné zostreliť lietadlo. Vzhľadom k tomu, že intenzita zvuku klesá s druhou mocninou vzdialenosti, je dosah relatívne malý a praktické využitie dosť obmedzené.

Otázky

1. Sklo pohlcuje zvuk menej ako vzduch. Prečo v miestnosti počujeme ruch z ulice viac pri otvorenom ako pri zavretom okne?

Preskúšajte sa

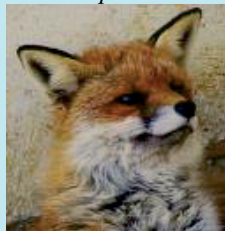
2. Keď do vysokej valcovitej nádoby lievame vodu, počujeme zvuk, ktorého výška sa zvyšuje. Vysvetlite.
3. Prečo sa pri zázname nášho hlasu na magnetofónovej páske nespoznávame?
4. Prečo si ľudia radi spievajú v kúpeľni?
5. Prečo sa vlajka vo vetre vlní?
6. Prečo rozpálený kov po ponorení do vody zasyčí?
7. Aký význam má telo hudobného nástroja pre vydávané tóny?
8. Prečo morské vlny zväčšujú svoju výšku, keď sa približujú k pobrežiu?
9. Vysvetlite, prečo reč skupiny osôb počujete aj na veľkú vzdialenosť, ale nerozumiete slovám?
10. Prečo vzniká v jedálňach hluk? Akým spôsobom ho môžeme znižovať?

Viete odpovedať? A

1. Vonku šľahali blesky a hrmelo. Proste ozajstná letná búrka. Katka počula hrmenie 15 s potom čo videla blesk. Ako ďaleko od nej uderel blesk?

Radarové uši

Väčšina zvierat má veľké ušnice. Tie sa natáčajú dookola a koncentrujú zvukové vlny hlboko do vnútra uší. Mnohé zvieratá majú taký citlivý sluch, že začujú šramot na mnohometrovej vzdialenosti. Veľké ušnice majú ešte jednu funkciu: cez množstvo krvných vlásočníc odvádzajú z tela teplo, a tak pomáhajú udržať prijateľnú telesnú teplotu na prudkom slnku.



okne. Ale odkedy jej nový sused začal v noci hrať na heligón, musela okno zatvárať. Sklo absorbuje zvuk oveľa menej ako vzduch. Napriek tomu môžeme značne zmenšiť hluk zvonka zavretím okna. Ako je to možné?

7. Učiteľ povedal žiakom, že dnes musia končiť skôr. Všetci radostne vybehli z triedy. Zdá sa, že tieto radostné zvesti sa šíria bleskovo a počuť ich, aj keď sú povedané šepotom. Hlasitosť zvuku je nepriamo úmerná štvorcu vzdialenosti od zdroja. Žiak v piatom rade je trikrát tak ďaleko od učiteľa ako žiak v prvom rade. Napriek tomu počujú obaja učiteľa skoro rovnako dobre. Prečo?

8. Prichádzajú Vianoce, vonku je tak krásne, všade biely sneh, pokoj a ticho. Len deti sa vonku hrajú a sánkujú. Prečo je po snežení tak ticho?

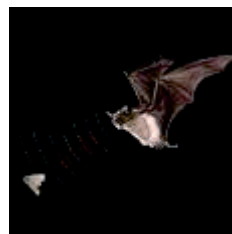
9. Elenka na skúške v divadle spievala svoju obľúbenú pieseň. Počas predstavenia sa jej zdalo, že jej hlas znel úplne inak. Prečo je zvuk v prázdnom divadle hlasnejší a „plnší“, ako v divadle naplnenom ľuďmi.

Zrak a sluch

Pretože máme dve oči, ktorými sa pozeráme na svet z dvoch rôznych uhlov, môžeme pri pohľade na predmety správne odhadovať ich vzdialenosť. Dve uši nám zasa umožňujú počuť „stereo“, takže vieme odhadnúť, odkiaľ zvuk prichádza.



2. Pri pátraní po vraku Titanicu, používali vedci na zistenie hĺbky mora sonar. Aké je more hlboké, keď vyslaný ultrazvuk po odraze od morského dna sa vrátil späť na morskú hladinu za 1,6 s a rýchlosť ultrazvuku v morskej vode je 1450 m/s.
3. Táňa pozerala v televízii Western. Pištoľníci strieľali po sebe ako diví, guľky len tak svišťali. Prečo guľka sviští, keď je vystrelená z pištole, ale letí ticho keď je hodená?
4. Na kabarete spievala známa operná speváčka. Keď jej Onasis chcel pripíť na zdravie, zistil, že už nemá ani jeden celý pohár. Speváčka môže rozbiť veľký sklenený pohár hlasným spievaním určitého tónu v priebehu niekoľkých sekúnd. Ako to?
5. Každý z nás nenávidí ten odporný zvuk pri zaspávaní. Bzzzauuuuu. Potom väčšinou nasleduje hon na to malé bzučiacie čudo. Kto máva častejšie krídlami počas letu, mucha alebo komár? Prečo?
6. Soňa si zvykla spávať pri otvorenom okne. Ale odkedy jej nový sused začal v noci hrať na heligón, musela okno zatvárať. Sklo absorbuje zvuk oveľa menej ako vzduch. Napriek tomu môžeme značne zmenšiť hluk zvonka zavretím okna. Ako je to možné?



Echolokácia

Popri zraku a sluchu delfíny registrujú vo vode iné živočíchy a predmety pomocou sonaru – zvláštneho orgánu v hlave. Vydávajú hlasitý rapčavý zvuk, ktorý odrazený od iných živočíchov a predmetov týmto orgánom znova zachytávajú; dokážu tak určiť smer, vzdialenosť a veľkosť prekážky, od ktorej sa zvuk odrazil. Podobne to je u netopierov. Tie sa orientujú tak, že vydávajú veľmi vysoké pískavé zvuky. Zvuky sa odrážajú od prekážok a netopier ich zachytáva veľkými, dopredu napriamenými ušami.

Zo života

Isaac
Newton,
prepáč mi,
neprišiel som
aby som ťa
zhodil z
piedestálu
najvyššej
múdrosti, to
predsa
nemôže nikto;
prišiel som,
aby som ťa
ešte viac
oslávil. Ty si
našiel jedinú
existujúcu
cestu, ktorá
bola v tvojom
čase možná, a
ktorú okrem
teba nikto
nevidel.
Pojmy, ktoré
si vytvoril sú
ešte aj teraz v
našom čase
platné a
unikáme, aj
keď vieme, že
ich možno
doplniť,
rozšíriť,
pretože máme
k dispozícii
také nástroje
myslenia,
ktoré tvoja
doba ešte
nemohla
poznať.“

(Albert
Einstein)

Planckova
teória

10. V Pneuservise používali pri nedostatku iných meracích prístrojov rokmi osvedčenú metódu „väčšieho kladiva“. Po údere dokážu určiť majstri tlak v kolese. Tlak kolesa môže byť určený zvukom, ktorý vzniká po udretí kovovým predmetom na koleso. Ako to funguje?

11. Deniska si varila chutný nikaragujský čaj. Aby vedela, kedy jej zovrie voda, používala strieborný čajník po babičke. Prečo je do polovice naplnený čajník hlučnejší tesne pred zovretím vody, ako plný?

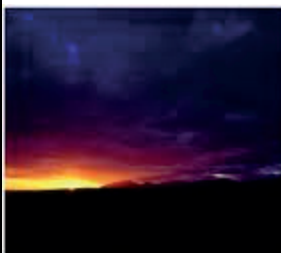
12. Jeden gazda mal psa. A strašne mu vadilo, že v noci zavýja na mesiac. Keď ho konečne presvedčil (klobásou), aby prestal, vonku sa ozvalo ešte príšernejšie zavýjanie. Gazda vybehol von a bol to vietor. Smutne sa vrátil do izby vediač, že takú veľkú klobásu nezoznaenie. Prečo vietor zavýja?

13. Nová hudobná skupina Šialený kôň sa rozhodla preraziť s netradičným nástrojom – harfou. Po pár koncertoch však gitarista vyhlásil, že to nie je ono. Má to taký divný zvuk a navyše sa to neprakticky nosí pripevnené na pleci. Prečo majú gitara a bendžo taký rinčiaci, zvonivý zvuk a harfa má mäkký spevavý tón?

14. Čo je príčinou toho, že niekedy krieda pri písaní na tabuli škripe? Prečo vŕzajú dvere?

4 Optika

Optika je časť fyziky, ktorá sa zaoberá svetlom, jeho šírením v rôznych prostrediach a na ich rozhraniach, zaoberá sa vzájomným pôsobením svetla a látky, skúma podstatu svetla a ďalších javov, ktoré so svetlom súvisia. Svetlo je však iba časť spektra elektromagnetického žiarenia. Tiež ostatné druhy žiarenia majú veľké množstvo vlastností, ktoré je vhodné opisovať prostredníctvom optiky. **Optiku** je teda možné chápať ako **náuku o žiarení**.



4.1 Vývoj názorov na podstatu svetla

Prvé názory predstavovali svetlo vo forme rôzne veľkých hmotných častíc (guliek), ktoré vylietajú zo svetelných zdrojov pohybujú sa veľkou rýchlosťou priestorom. Tento názor spracoval **Newton** v roku 1704. podľa tejto teórie sa svetlo skladá z nekonečne malých, rýchle sa pohybujúcich častíc, tzv. korpuskúl, ktoré vysiela svetelný zdroj. Častice sa pohybujú priestorom priamočiario, prenikajú priehľadnými látkami, odrážajú sa od nepriehľadných látok ako pružné guľôčky a po vstupe do oka vyvolávajú v ňom vnem videnia. Rôzne farby svetla sú spôsobené rôznou veľkosťou častíc. Newtonova teória sa udržala 100 rokov. všetkým prenikajúceho, veľmi riedkeho nehmotného prostredia, tzv. svetelného éteru. Tento éter existuje aj vo vákuu. Svetlo sa ním šíri podobne ako zvuk vzduchom.

Huygensova vlnová teória sa však neujala, predovšetkým preto, že existencia svetelného éteru nebola dokázaná.

V roku 1873 odvodil **Maxwell** teóriu elektromagnetického poľa a z nej predpovedal existenciu elektromagnetického vlnenia a vyslovil predpoklad, že i svetlo je elektromagnetickým vlnením. Keď potom Hertz v roku 1887 experimentálne potvrdil Maxwellove predpoklady, vyvinula sa elektromagnetická teória svetla a uspokojivo vysvetlila všetky známe javy bez rozporov, ktorými bola zaťažovaná teória vlnenia éteru. Optika sa tak stala kapitolou náuky o elektrine a magnetizmu.

Ale i elektromagnetická teória ma problémy, keď má vysvetliť niektoré javy pri vzájomnom pôsobení svetla a látky. Z tejto teórie bol síce predpovedaný tlak svetelného žiarenia, ale nedal sa úplne vysvetliť napr. fotoelektrický jav.

V spojení s výskumom tepelného žiarenia vyslovil preto na začiatku minulého storočia **Planck** predpoklad, že svetelné zdroje nevyžarujú energiu spojite, ale po kvantách. **Einstein** prehĺbil a prepracoval kvantovú teóriu predpokladom, že energia prenášaná elektromagnetickým vlnením nie je rozložená po celej vlnoploche rovnomerne, ale je sústredená len v určitých miestach vlnoplochy. Zmienené energetické kvantá nazval fotóny a pripísal im hybnosť. Výklad korpuskulárnej a vlnovej podstaty svetla podáva teda kvantová teória žiarenia, ktorá hovorí, že elektromagnetické pole je kvantované.



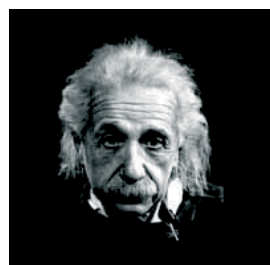
Myšlienku duality častíc a vlnenia zaviedol v roku 1905 Albert Einstein pre objasnenie fotoelektrického javu. Fyzikálny pojem **dualita častice a vlnenia** sa vzťahuje ku skutočnosti, že hmotu môžeme popísať buď ako vlnu alebo ako časticu, v závislosti na usporiadaní experimentu a spôsobu pozorovania. I keď sa táto dualita vo všeobecnosti týka všetkej hmoty, najčastejšie sa s ňou môžeme stretnúť v prípade objektov s veľmi malou hmotnosťou, zvlášť u elementárnych častíc.

Napr. elektromagnetické žiarenie môže niekedy vykazovať vlnový charakter (napr. pri ohybe svetla), a inokedy sa správa ako časticové žiarenie (napr. u fotoelektrického javu). Svetlo môžeme teda popísať vlnovou teóriou, ale aj teóriou kvantovou. Na otázku, či má toto žiarenie vlnový alebo časticový charakter, sa nedá odpovedať jednoznačne.

Otázky a cvičenia

1. Vysvetlite Newtonovu korpuskulárnu teóriu.
2. Aké sú základné myšlienky vlnovej teórie svetla vybudovaného Huygensom?
3. Čím sa líši elektromagnetická teória svetla od Huygensovej vlnovej teórie?
4. Aké sú vlastnosti svetla podľa súčasných predstáv?
5. Objasnite, čo vyjadruje pojem dualizmus svetla.
6. Je svetlo vlnením alebo časticou?

Albert Einstein



Narodil sa 14. marca 1879 v židovskej rodine v Ulme, ako syn Hermanna Einsteina a Paulíny Kochovej. Rok po jeho narodení sa jeho rodičia presťahovali do Mníchova, kde si jeho otec založil elektrotechnickú dielňu. Neskôr, kvôli likvidácii rodinnej firmy sa rodina Einsteinovcov presťahovala do Severného Talianska. Mladý Einstein tu absolvoval priemyselnú školu v Aarau, ktorá mu umožnila štúdium na univerzite v Zürichu. Po skončení vysokoškolského štúdia sa ocitol v existenčných a finančných problémoch.

Túžil pokračovať ďalej v štúdiu a zamestnať sa ako asistent na univerzite, no univerzitná dráha mu zostala na krátky čas zatvorená.

Oveľa priaznivejšie podmienky mu prinieslo získanie švajčiarskeho štátneho občianstva. Veľkou oporou v jeho každodennom zápase mu bola jeho priateľka Jelena Maričova, ktorá bola od neho staršia o päť rokov. Neskôr s ňou uzavrel manželstvo. Prvé dieťa – dcéra zomrelo, v roku 1904 sa mu narodil syn Eduard a neskôr druhý syn Albert. V tom čase je však už Albert zamestnancom patentového úradu a členom prírodovedeckej spoločnosti v Berne. Tu sa začína Albertova vedecká práca.

Po tom, čo vedeckému a akademickému kruhu predstavil svoju prácu o špeciálnej teórii relativity a o novom určení rozmerov molekúl, získal doktorát.

V roku 1908 sa stal docentom na univerzite v Berne. Karty sa v jeho živote obrátili a doterajší nezáujem o jeho názory bol vystriedaný veľkým pochopením a ohlasom vo vedeckých a akademických kruhoch. Profesorské miesto mu poskytla univerzita v Zürichu a záujem prejavili aj ďalšie. V Nemecku sa zamiloval do svojej sesternice Elzy, s ktorou sa neskôr aj oženil.

V rokoch 1911-1912 pôsobil ako profesor teoretickej fyziky na fakulte Nemeckej univerzity v Prahe. Jeho vedecká činnosť v oblasti fyziky postupne vzbudila záujem v akademických kruhoch celej Európskej spoločnosti.

V roku 1922 mu bola udelená Nobelova cena za fyziku za rok 1921. Otvorili sa mu dvere do kruhov najvplyvnejších a najvzdelanejších ľudí vtedajšej doby.

Pravidelne navštevuje svoju bývalú rodinu vo Švajčiarsku. V roku 1933 odchádza do USA.

Mladší syn Eduard ochorel – bol schyzofrenik, druhý syn Albert odišiel s manželkou do USA, bývalá manželka Jelena zošalela a osamelá zomiera v roku 1948.

Tak aký skromný bol jeho slávny život, tak skromne a s tichosťou odchádzal z tohto sveta s nádejou, že ľudstvo raz bude schopné ceniť si hodnotu života. „Smrť je len stará vina, ktorú konečne splatíme.

Človek pri tom robí inštinktívne všetko pre to, aby tento okamih odsunul. Je to hra, ktorú príroda s nami hrá. Pri lúčení sa s týmto zvláštnym svetom ma smrť trochu predbehla. To však nič neznamená.

Pre nás veriacich fyzikov má delenie na minulosť, prítomnosť a budúcnosť iba význam ilúzie."

Albert Einstein zomrel 18. apríla 1955. Po krátkom a jednoduchom obrade jeho telo spopolnili a rozsypali na neznámom mieste, tak ako si to prial.

„Neplač, že zapadlo slnko, lebo slzy ti zabránia uvidieť hviezdy" (A.Einstein)

4.2 Spektrum elektromagnetického vlnenia

Elektromagnetické žiarenie



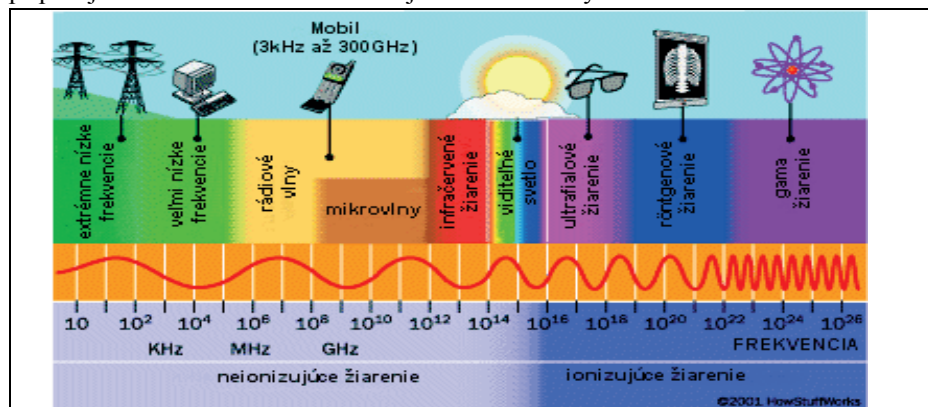
S elektromagnetickým žiarením sa stretávame na každom kroku a mnohokrát si to ani neuvedomujeme. Sledujeme televízny program, počúvame rádio, pozorujeme osvetlené predmety okolo nás, necháme sa ohrievať infražiaricou, ak je slnečný deň, opaľujeme sa, lekár nám zhotoví röntgenovú snímku. Žiadna z týchto činností by nebola možná bez elektromagnetického žiarenia, ktoré sa šíri priestorom a nepotrebuje na svoje šírenie látkové prostredie. Toto žiarenie vzniká, ak sa elektricky nabitá častica pohybuje s nenulovým zrýchlením. Uvedieme na to niekoľko príkladov.

V oscilačnom obvode sa elektróny pohybujú so zrýchlením. Svetlo žiarovky je vysielané rozžeraveným vláknom. Vo vlákne sa pohybujú v dôsledku vysokej teploty nabité častice (najmä elektróny). Nabité častice sa pohybujú so zrýchlením aj na povrchu Slnka zahriatom na vysokú teplotu. V prípade žiarenia telies zahriatych na vysokú teplotu má žiarenie spojité spektrum. Znamená to, že energia pripadajúca na blízke vlnové dĺžky žiarenia nie je veľmi rozdielna.

S iným typom žiarenia sa stretávame vtedy, ak sa mení vnútorná štruktúra jednotlivých atómov, molekúl alebo atómových jadier. V takom prípade má žiarenie čiarové spektrum. Znamená to, že energia žiarenia pripadajúca na určitú vlnovú dĺžku je veľká, ale energia žiarenia pripadajúca na blízku vlnovú dĺžku je malá. Niekedy sa stretávame s kombináciou

Naše oči majú od narodenia rovnakú veľkosť, jedine nos a uši nám stále rastú.

Druhy spektier



Obr.4-1

dopadajú na materiál (kov), v ktorom sú prudko zbrzdené. Pri brzdení elektrónov vzniká žiarenie so spojitým spektrom. Pri svojom brzdení elektróny spôsobia prechod atómov v kove do iných stavov. Atómy potom prejdú do pôvodného alebo iného stavu a pritom žiarenia vzniká žiarenie s čiarovým spektrom. Rôzne druhy elektromagnetického

Rozdelenie elektromagnetického spektra

klasifikujeme podľa vlnovej dĺžky žiarenia. Najväčšie vlnové dĺžky majú rádiové, televízne a rádiolokačné vlny (od 10^4 m – 10^{-3} m). Potom nasleduje infračervené žiarenie, viditeľné svetlo (od $3,8 \cdot 10^{-7}$ m do $7,8 \cdot 10^{-7}$ m), ultrafialové žiarenie, röntgenové žiarenie, žiarenie gama a kozmické žiarenie.

Takéto rozdelenie elektromagnetických žiarení podľa vlnovej dĺžky (alebo frekvencie) sa nazýva spektrum elektromagnetického žiarenia (obr.4-1).

4.3 Infračervené žiarenie

Infračervené žiarenie ($4 \cdot 10^{-4}$ – $7,5 \cdot 10^{-3}$)m

Je elektromagnetické vlnenie s vlnovými dĺžkami v rozmedzí asi $4 \cdot 10^{-4}$ m až $7,5 \cdot 10^{-3}$ m, t.j. od 0,4 nm do 750 nm. Je to tepelné žiarenie, ktoré prenáša veľkú energiu. Na rozdiel od prenosu tepla prúdením a vedením nie je pri žiarení nevyhnutná sprostredkujúca látka. Infračervené žiarenie preniká vákuom. Úbytok jeho energie pri prechode vzduchom je veľmi malý. Najväčším zdrojom infračerveného žiarenia je pre nás Slnko. Umelým zdrojom infračerveného žiarenia sú plynové alebo elektrické infražiarice. Zdrojom tepelného žiarenia sú

spojitého a čiarového žiarenia. Napríklad v röntgenke (zdroj röntgenového žiarenia) sa elektróny najprv urýchlia na vysokú rýchlosť a potom

Využitie

Ultrafialové žiarenie ($4 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-9}$)m

všetky objekty na zemi Infračervené žiarenie sa používa na zohrievanie miestností, na sušenie farieb, infražiariče sú používané ako zdroje tepla, v meteorológii, diaľkové ovládače, komunikačné zameriavacie zariadenia. Pomocou infračervených kamier možno vidieť objekty aj v noci. Každý predmet vyžaruje totiž infračervené žiarenie. Keď toto žiarenie dopadne na infračervený fotografický materiál, po vyvolaní získame okom viditeľný obraz.

4.4 Ultrafialové žiarenie

($4 \cdot 10^{-7}$ m – $4 \cdot 10^{-9}$ m) nadväzuje na krátkovlnný koniec svetelného žiarenia 400nm a končí až pri röntgenovom žiarení vlnových dĺžok asi 4 nm. Jeho fotóny majú dosť veľkú energiu, a preto vyvoláva luminiscenciu a veľmi pôsobí na fotografickú emulziu. Ultrafialové žiarenie má fyziologické účinky, ničí mikroorganizmy a pri opaľovaní spôsobuje zhnednutie kože. Vo väčších dávkach je nebezpečné, spôsobuje rakovinu kože. Zdrojom ultrafialového žiarenia je slnko. Sklo a vzduch ho pohlcujú; vo väčších nadmorských výškach má slnečné žiarenie väčšiu ultrafialovú zložku, lebo prechádza tenšou vrstvou vzduchu s menšou hustotou (atmosféra, ozón a kyslík prepustí na povrch Zeme zhruba tretinu ultrafialového žiarenia).

Využitie

svietidlá na kontrolu napr. cenných papierov, kreditných kariet, niektorých dokladov výbojkové oblúkové lampy (xenon, meď) spektrofotometria analýza minerálov spektroskopia dezinfekcia fototerapia laserová technológia	čistenie vody zpracovanie jedla detektory požiaru opaľovanie vymazávanie pamäťových modulov EPROM stabilizátory pri výrobe plastov, kozmetiky a filmov archeológia (čítanie poškodených papierov) súdne zneuctvo
---	--

Využitie UV žiarenia pre úpravu vody

Dezinfekcia ultrafialovým žiarením patrí medzi fyzikálne metódy, pri ktorej je usmrčovanie baktérii spôsobované UV žiarením vo vlnovej dĺžke v rozsahu 250 – 280 nm. UV žiarenie sa najčastejšie získava ortuťovými výbojkami rôznych konštrukcií a účinnosti. Potrebný reakčný čas dezinfekcie je do 10 sek.

Účinok UV žiarenia na mikroorganizmy je iný ako v prípade chemickej dezinfekcie, ktorá poškodzuje ireverzibilne jadrovú hmotu, protoplazmu, enzýmy, bunkovú blanu. Germicídný efekt UV žiarenia spočíva vo fotochemickom poškodení RNA, DNA, eventuálne i proteínov, enzýmov či iných biologicky významných makromolekúl

Využitie

**Wilhelm
Conrad
Röntgen**

Nemecký fyzik



(1845 – 1923)

Röntgenové lúče objavil roku 1895, nevedel nič o ich podstate, a tak ich nazval lúče X

Röntgenove žiarenie (0,01-4) nm.



Snímok ruky Berthy Röntgenovej - jeden z prvých röntgenových snímok

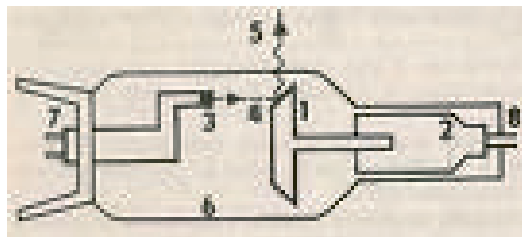
4.5 Röntgenove žiarenie

Je elektromagnetické vlnenie s dĺžkami 0,01 nm - 4 nm. V roku 1895 nemecký fyzik Wilhelm Conrad Röntgen pokusmi zistil, že z kovovej platničky, na ktorú dopadalo katódové žiarenie, šírilo sa veľmi prenikavé neviditeľné žiarenie, ktoré sa dnes nazýva podľa jeho objaviteľa röntgenovým žiarením.

Röntgenové žiarenie vzniká prudkým zabrzdzením elektrónov na kove s veľkou relatívnou atómovou hmotnosťou, napr. na volfráme. Pri zabrzdzení elektrón náhle stratí svoju rýchlosť, jeho kinetická energia sa vyžiarí ako elektromagnetické žiarenie, a tak vznikne fotón. Röntgenové žiarenie získavame v röntgenových trubiciach, čo sú vlastne vysokovákuové diódy (obr.4-2) . Priamo žeravená katóda röntgenovej trubice je z volfrámového drôtu. Medzi katódou a anódou je vysoké napätie 10 kV až 400 kV, takže všetky elektróny, ktoré sú

Vznik
röntgenového
žiarenie

emitované z katódy, smerujú k anóde a prudko na ňu narážajú.



Röntgenová trubica je najčastejším spôsobom „výroby“ röntgenového žiarenia.

Stavba
röntgenky

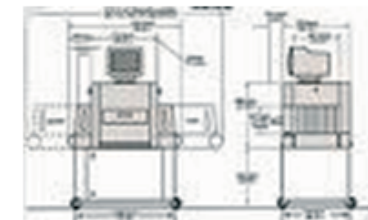
Röntgenové žiarenie v tejto jednoduchšej röntgenovej trubici vzniká na anóde, a to na jej šikmej čelnej ploche, ktorá usmerňuje žiarenie von z röntgenovej

trubice. Len asi 1 % energie, ktorú prenášajú elektróny na anódu, vyžiari sa vo forme röntgenového žiarenia. Väčšia časť prenesenej energie zvyšuje vnútornú energiu anódy, ktorá sa preto veľmi zahrieva a musí sa ochladiť.

Röntgenové žiarenie silne ionizuje vzduch, je neviditeľné, spôsobuje svetielkovanie niektorých látok a má podobné účinky na fotografický materiál ako viditeľné svetlo.

Röntgenové žiarenie najviac pohlcujú látky s veľkou relatívnou atómovou hmotnosťou. Pohlcovanie závisí aj na frekvencii röntgenového žiarenia. Frekvenciu vyžarovaného röntgenového žiarenia možno meniť zmenou napätia na trubici. Žiarenie s malou frekvenciou je **mäkké** žiarenie ($\lambda = 1 \text{ nm}$ až 100 nm), pretože sa ľahko pohlcuje. Žiarenie s veľkou frekvenciou je oveľa prenikavejšie, ide o tvrdé röntgenové žiarenie ($\lambda =$

Druhy RTG
žiarenia



a počítač na základe signálov z detektorov zostaví obraz jej obsahu

Mäkké RTG

Tvrdé RTG

0,01 nm až 1 nm).

Rozličná „pohltivosť“ röntgenového žiarenia sa využíva napr. v lekárstve. Tvrdé röntgenové žiarenie kosti pohlcujú asi 150-krát viac ako svalové tkanivá. Na tomto poznatku sa zakladá diagnostika, napr. zisťovanie zlomenín kostí. Na liečebné účely (terapia) sa používa mäkké žiarenie.

Röntgenové žiarenie je vo väčších dávkach nebezpečné pre ľudský organizmus. Energia, ktorú bunky pohlcujú pri dlhšom ožarovaní, ich poškodzuje, a tak môže spôsobiť veľké škody na zdraví človeka. V priestore s röntgenovým žiarením sa musia dodržiavať osobité bezpečnostné predpisy a nepovolani pracovníci sa nemajú v ňom zdržiavať.

Ochrana prd
RTG

Ochranné zariadenia, ktoré majú zabrániť šíreniu röntgenového žiarenia, zhotovujú sa z olova, z olovnatého skla, z gumy, prípadne z hrubých betónových stien s vrstvou bária..

Využitie RTG

V priemysle sa röntgenové žiarenie využíva na zisťovanie chýb v odliatkoch. Dutinou sa žiarenie menej pohltí, takže na fotografii sa obraz dutiny líši od obrazu plného materiálu. Na základe obrazov utvorených röntgenovým žiarením sa

Obr.4-2

Stavba röntgenky:

1. rotujúca anóda,
2. elektromotor roztáčajúci anódu,
3. žeravená katóda,
4. elektróny vyletujúce z katódy,
5. RTG lúče,
6. sklená nádoba,
7. a 8. privody.

Röntgenové lúče vo vesmíre
Okolo Zeme obiehajú družice s röntgenovými



teleskopmi, ktoré zachytávajú röntgenové žiarenie prichádzajúce zo Slnka, z hviezd, čiernych dier a iných objektov. Družice vysielajú röntgenové snímky týchto vesmírnych telies na Zem, kde pomáhajú astronómom hlbšie porozumieť vesmíru, prípadne v ňom objaviť niečo nové.

študuje štruktúra materiálov. Preniká aj kovmi, preto sa používa v defektoskopii (kontrola súčiastok, zvarov). Používa sa v astronómii. Čierne diery a neutrónové hviezdy emitujú röntgenové žiarenie, čo umožňuje ich štúdium.

Otázky a cvičenia

Vyskúšajte sa

1. Aké vlastnosti má infračervené žiarenie. Kde sa používa?
2. Je ultrafialové žiarenie viditeľné? Aké sú biologické účinky?
3. Slnečným žiarením, ktoré prechádza sklom, sa neopálime i napriek tomu, že pociťujeme

Filip Lenard (1862 - 1947) (plné meno Philipp Eduard Anton von Lenard) vedec, nositeľ Nobelovej ceny za fyziku

Nemecký fyzik maďarského pôvodu sa narodil 7. júna 1862 v Bratislave. Študoval na reálnom gymnáziu v Bratislave, s vyučovacím jazykom maďarským, kde získal aj prvé základy z fyziky. Po skončení štúdií žil v Nemecku kde prednášal na mnohých univerzitách. Neskôr sa stal riaditeľom Ústavu Filipa Lenarda v Heidelbergu. R. 1897 maďarská akadémia vied ho zvolila za člena korešpondenta. V roku 1902 objavil pozoruhodnú zákonitosť fotoelektrického efektu a pracoval na skúmaní tzv. X lúčov. Praktické výsledky jeho pokusov dostal k dispozícii ďalší bádateľ W. Röntgen, ktorý Lenarda v podstate pripravil (zrejme nie džentlmenským spôsobom) o prvenstvo pri objave týchto lúčov.

Roku 1905 dostal Nobelovú cenu za fyziku a to najmä za práce v oblasti katódového žiarenia. Lenard patril medzi najvýznamnejších fyzikov prelomu 19. a 20. storočia, má zásluhy aj na objasnení štruktúry atómu. V roku 1911 bol Lenardovi udelený čestný doktorát v Oslo, r. 1922 v Drážďanoch a v r. 1942 Slovenskou univerzitou v Bratislave. Lenard bol uznávaný vedec svetového formátu, patril medzi najväčších experimentálnych fyzikov a podstatne preispel k rozvoju svetovej vedy. O to viac je poľutovaniahodné, že v prvých desaťročiach dvadsiateho storočia sa začal prikláňať k nacizmu, zastával funkciu vedeckého poradcu Nacistickej strany a spolu s ďalším nemeckým fyzikom Starkom, taktiež nositeľom Nobelovej ceny sa stal pilierom nacistickej ideológie. Hlásali nadradenosť "nemeckej fyziky" voči "dogmatickej (židovskej)" fyzike. Lenard bol pravdepodobne veľmi osobne motivovaný a jeho hnev bol namierený predovšetkým voči Einsteinovi. Ten totiž dostal r. 1921 Nobelovú cenu za kvantitatívnu interpretáciu fotoelektrického javu, samotný fotoelektrický jav však objavil Lenard.



Zomrel 20. mája 1947 v Messelhausene. I keď politické názory Lenarda sú odsúdeniahodné, nepochybne patrí k významným fyzikom prelomu devätnásteho a dvadsiateho storočia.

tepelné účinky žiarenia. Vysvetlite prečo.

4. Akú vlnovú dĺžku a frekvenciu má mäkké röntgenové žiarenie?
5. Aké sú vlastnosti röntgenového žiarenia? Čím sa líši mäkké žiarenie od tvrdého?
6. Ako sa röntgenové žiarenie využíva v lekárstve a ako v priemysle?

4.6 Viditeľné svetlo

Obr. 4-3

Farba

Vlnová dĺžka Frekvencia

červená

~ 625 až 740 nm ~ 480 až 405 THz

oranžová

~ 590 až 625 nm ~ 510 až 480 THz

žltá

~ 565 až 590 nm ~ 530 až 510 THz

zelená

~ 520 až 565 nm ~ 580 až 530 THz

azurová

~ 500 až 520 nm ~ 600 až 580 THz

modrá

~ 430 až 500 nm ~ 700 až 600 THz

fialová

~ 380 až 430 nm ~ 790 až 700 THz

Viditeľné svetlo (360 -760) nm

Je časť elektromagnetického spektra s frekvenciou $7,6 \cdot 10^{14}$ Hz - $3,6 \cdot 10^{14}$ Hz. Vlnová dĺžka viditeľného svetla vo vákuu, je teda 360 nm (fialová zložka) až 760 nm (červená zložka). Presnejšie povedané tento rozsah je viditeľným svetlom

Svetelné spektrum

pre človeka. Niektoré druhy živočíchov vnímajú rozsah iný - napríklad včely ho majú posunutý smerom ku kratším vlnovým dĺžkam (ultrafialové svetlo), naopak niektoré plazy vnímajú ako viditeľné aj to, čo je pre človeka už infračervené žiarenie.

Rozsah vnímaných vlnových dĺžok je daný predovšetkým tým, že v oblasti viditeľného svetla je maximum elektromagnetického žiarenia zo Slnka dopadajúceho na zemský povrch, to znamená, že v tomto rozsahu je najlepšie vidieť. Viditeľné svetlo obsahuje vlnenia s dĺžkami vo vzduchu od 360 nm - 760 nm. Pokusmi sa zistilo, že každej farbe svetla prislúcha iná vlnová dĺžka.

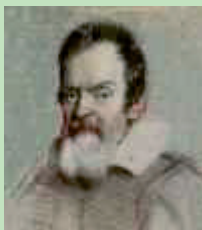
Táto časť elektromagnetického spektra sa tiež označuje ako svetelné spektrum (obr.4-3). Jednotlivé farby, vyskytujúce sa v svetelnom spektre sa nazývajú spektrálnymi farbami a odpovedajú im určité intervaly vlnových dĺžok elektromagnetického žiarenia.

Svetlo, ktoré nevidno
Keby vám v absolútnom
vzduchoprázdne prešiel
lúč svetla aj priamo pred
nosom, nevideli by ste ho.
Svetlo môžeme vidieť iba
za predpokladu, že nám
svieti priamo do očí. Na
zemi vidíme svetelné lúče
aj zboku, pretože prach
a rôzne častice rozptýlené
vo vzduchu odrážajú časť
svetla našim smerom.

4.7 Rýchlosť šírenia svetla

Dlho trvalo, kým sa určila hodnota rýchlosti svetla vo vákuu. Keďže rýchlosť svetla vo vákuu je podstatne väčšia ako rýchlosť mechanického vlnenia, boli problémy pri určení času, keď sa použila rovnaká metóda, ako pri určení rýchlosti mechanického vlnenia. (Takto sa pokúšal určiť rýchlosť svetla napr. Galileo Galilei, ale neúspešne. Metóda spočívala v meraní času, za ktorý sa vlnenie rozšíri do známej vzdialenosti.

Galileo Galilei se narodil 15. februára 1564 v talianskom meste Piza. V roku 1572 sa rodina presťahovala do Florencie, ale Galileo zostáva ešte 2 roky v Pize. Otec z neho chcel mať lekára, on sa chcel stať vedcom. Štúdium medicíny zanechal a študoval matematiku. Kvôli financiám r. 1592 prijal miesto profesora matematiky na univerzite v Padove, kde zostal ďalších 18 rokov. V tom čase začal pochybovať o Aristotelovej predstave o fungovaní vesmíru. V Padove naviazal dlhodobý vzťah s Mariou Gambra, s ktorou mal 2 dcéry a syna. Kvôli zlej finančnej situácii sa ale nikdy nevzali. V tom čase získal informácie o ďalekohľadoch vyrábaných v Holandsku. V roku 1609 predstavil senátu v Benátkach svoj vylepšený ďalekohľad. Objavil štyri mesiace Jupitera, prstence planéty Saturn. O rok neskôr objavil slnečné škvrny. Zo známej šikmej veže hádzal kamene s rôznou hmotnosťou, aby vyvrátil mylnú predstavu o tom, že ťažšie predmety padajú rýchlejšie. Domnieval sa, že v blízkosti povrchu majú telesá konštantné zrýchlenie. Zaoberal sa aj mechanikou a kmitaním kyvadla. Vysvetlil rezonanciu. Pre svoje názory sa dostal do sporu s cirkvou. Bol zástancom heliocentrickej Koperníkovej teórie. Matematici už v roku 1611 potvrdili Galileiho pozorovania, ale interpretovali ich inak, v súlade s vtedajšími poznatkami. V októbri 1632 dostal predvolanie pred inkvizíciu. Vo februári 1633 prichádza do Ríma, je uväznený a vypočúvaný. Pred inkvizíčným súdom svoje učenie odvolal, ale jeho veta "A predsa sa točí" je dostatočne známa. Slepý umiera 8. januára 1642 v domácom väzení v Arcetri neďaleko Florencie



Prvý úspešný pokus realizoval v roku 1675 dánsky astronóm **Olaf Römer**. V súvislosti s problematikou navigácie moreplavby pozoroval pohyb planéty Jupiter a jeho mesiacov Io ďalekohľadom, pričom zaznamenal odchýlku v zdanlivej obežnej dobe Io. Z Römerových meraní neskôr vypočítali rýchlosť svetla. Prvým bol významný holandský matematik, fyzik a astronóm Christian Huygens.

Prvé úspešné meranie pozemskými prostriedkami urobil **Hippolyte Fizeau** v roku **1849**. Fizeau poslal zväzok svetla na zrkadlo, ktorému do cesty vložil točiace sa ozubené kolo. Pri známej rýchlosti otáčania kolesa vypočítal rýchlosť svetla na $313\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rýchlosť svetla vypočítame zo vzťahu:

$$c = \lambda \cdot f,$$

kde λ je **vlnová dĺžka** a f frekvencia vlnenia. (Vlnová dĺžka svetla je

vzdialenosť, ktorú prejde svetlo v prostredí počas jednej periódy.)

Vzhľadom na zmeny vlnovej dĺžky v rozličných prostrediach je zrejmá aj zmena rýchlosti vlnenia, pretože frekvencia vlnenia je jednoznačne určená už pri vysielaní vlnenia z jeho zdroja. V priebehu celého deja šírenia svetla, t.j. existencie fotónu, zostáva jeho frekvencia stála.

Využitím týchto poznatkov môžeme povedať: *V opticky hustejšom prostredí sa svetlo šíri menšou rýchlosťou ako v opticky redšom prostredí.*

Záver pozorovaní:

Rýchlosť šírenia svetla je vo všetkých optických prostrediach menšia ako vo vákuu. Rýchlosť šírenia svetla vo vákuu je $v=299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$. Vo vzduchu je rýchlosť svetla približne rovnaká ako vo vákuu

Rýchlosť šírenia svetla nezávisí od vlnovej dĺžky svetla, teda od jeho farby.

Rýchlosť šírenia svetla sa nedá zväčšiť vzájomným pohybom pozorovateľa a zdroja svetla oproti sebe.

P r í k l a d : Akú vlnovú dĺžku má elektromagnetické vlnenie vysielajúceho rádiového vlnenia s frekvenciou 100 MHz?

Riešenie:

$$f = 100\text{ MHz} = 100 \cdot 10^6\text{ Hz} = 10^8\text{ s}^{-1}$$
$$f = c / \lambda \dots \lambda = c / f = 3 \cdot 10^8\text{ m/s} / 10^8\text{ s}^{-1} = 3\text{ m}$$

P r í k l a d : Aká je frekvencia svetla s vlnovou dĺžkou 600 nm ?

$$\lambda = 600\text{ nm} = 600 \cdot 10^{-9}\text{ m} = 6 \cdot 10^{-7}\text{ m}$$

Riešenie:

$$f = c / \lambda = 3 \cdot 10^8\text{ m/s} / 6 \cdot 10^{-7}\text{ m} = (10^{15} / 2)\text{ s}^{-1} = 5 \cdot 10^{14}\text{ Hz} = 500 \cdot 10^{12}\text{ Hz} = 500\text{ THz}$$

Otázky

Prečo sa rýchlosť svetla mení pri prechode rozličnými optickými prostrediami?

Ktoré veličiny zmenia svoju veľkosť pri prechode elektromagnetického vlnenia z jedného prostredia do druhého? Svoje tvrdenie zdôvodnite.

Koľkokrát je rýchlosť šírenia svetla vo vzduchu väčšia ako rýchlosť zvuku vo vzduchu?

Porovnajme vlastnosti zvukových a svetelných vln.

Vyskúšajte sa

Cvičenia

1. Vypočítajte frekvenciu svetla vlnovej dĺžky 640 nm.

Vypočítajte vlnovú dĺžku svetla s frekvenciou $530 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$.

2. Rýchlosť šírenia svetla vo je $225 \cdot 10^6\text{ m.s}^{-1}$, v skle $205 \cdot 10^6\text{ m.s}^{-1}$. Ktoré z obidvoch látok je opticky hustejšie?

3. Pod akým uhlom má dopadať svetelný lúč na sklenú dosku s indexom lomu $n_2 = 1,57$, aby odrazený a lomený lúč boli navzájom kolmé? [$\alpha = 57^\circ 30'$]

4. Vypočítajte frekvenciu elektromagnetického vlnenia, ktoré sa šíri vo vzduchu s vlnovou dĺžkou 240 m.

5. Vypočítajte, ako sa zmení vlnová dĺžka tohto elektromagnetického vlnenia, ak prenikne zo vzduchu do rovnorodého prostredia, v ktorom sa šíri rýchlosťou veľkosti $2 \cdot 10^8\text{ m.s}^{-1}$.

Nikto nevie,
kto vynášiel
okuliare

Nepokoijné oči



Bunky na sietnici môžu fungovať len v prípade, že sa oči pohybujú, a svetelný obrazec, ktorý na bunky dopadá, sa neustále mení. Aj keď sa nám zdá, že oči sú celkom v pokoji, približne päťdesiatkrát za sekundu sa nepatrne zachvejú. Bez tohto chvenia by sme nič nevideli

4.8 Odraz svetla

Ak použijeme vhodný zdroj svetla, napr. baterku, a v tme osvetľujeme okolité predmety, ľahko zistíme, že niektoré predmety sú tmavé, iné farebné, napríklad žlté. Ak máme vo svojom okolí lesklý predmet zistíme, že svetlo zo zdroja na tomto predmete zmenilo svoj pôvodný smer – odrazilo sa. Svetlo, ktoré dopadlo na okolité predmety sa buď

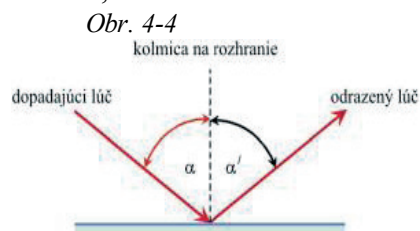


Odraz svetla

všetko pohltilo v danej látke a zväčšilo jej vnútornú energiu, alebo časť sa pohltila, časť sa odrazila a podľa toho, ktoré vlnové dĺžky sa odrazili, predmet získal danú farbu. Ak sa svetlo

odrazilo, uhol odrazu sa rovná uhlu dopadu (obr. 4-4), odrazený lúč zostal v rovine dopadu a nezmenila sa vlnová dĺžka dopadajúceho svetla.

Zákon odrazu



Tieto vlastnosti vyjadruje **zákon odrazu**:
Uhol odrazu je rovný uhlu dopadu, pričom odrazený lúč ostáva v rovine dopadu.

$$\alpha = \alpha'$$

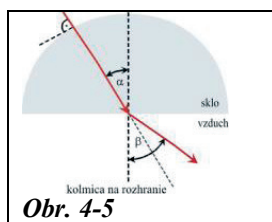
Zrkadlá

Zariadenia, ktoré sa v praxi používajú na odrážanie svetla, sa nazývajú zrkadlá. Lesklá vrstva môže byť nanosená na rovinnej ploche, ale aj na inej, napríklad guľovej.

4.9 Lom svetla

Použijeme zdroj svetla a osvetlíme priesvitné telesá. Budeme pozorovať, že časť svetla sa odrazí, časť svetla prejde do druhého prostredia, ale so zmeneným smerom lúča – láme sa. Na overenie vlastnosti lomeného lúča, sa používajú vhodné opticky priehľadné prostredia, napr. doska v

Lom svetla



tvare polvalca zo skla.

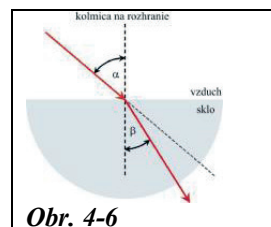
Zistíme: Lúč, ktorý dopadne kolmo na rozhranie dvoch prostredí, sa neláme.

Lúč, ktorý sa pohybuje tak, ako to vidíme na obr.4-5, pri výstupe zo skla na rovinnej časti zmení smer. Uhol lom β bude väčší ako uhol dopadu α.

Ak svetlo pôjde opačným smerom, zo vzduchu do skla, bude uhol lomu β menší ako uhol α (obr. 4-6).

V druhom a treťom prípade nastal lom. V druhom prípade lom od kolmice a v treťom prípade lom ku kolmici. Všetky tieto vlastnosti určuje **zákon lomu** (Snellov zákon lomu):

Zákon lomu



Lomený lúč ostáva v rovine dopadu a pomer sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu je pre danú dvojicu prostredí konštantný, rovná sa podielu rýchlostí vlnení v týchto prostrediach

V roku 1260 anglický fyzik Roger Bacon spísal zákony odrazu a lomu

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Veľmi zaujímavá situácia nastane, ak svetlo prechádza z prostredia opticky hustejšieho (sklo, voda) do prostredia opticky redšieho (vzduch, vákuum). Zväčšujeme uhol dopadu α a sledujeme uhol lomu β. Keďže nastáva lom od kolmice, platí $\beta > \alpha$. Je zrejmé, že pri určitom uhle dopadu $\alpha = \epsilon$ bude uhol $\beta = 90^\circ$ a vtedy sa lomený lúč bude šíriť rozhraním (obr. 4-7).

Medzný uhol

Nastal **úplný odraz**. Uhol $\alpha = \epsilon$ sa nazýva **medzný uhol** a je charakteristický pre dané prostredie. Rýchlosť svetla vo vákuu označme c. V inom prostredí (napr. voda, sklo) označme rýchlosť svetla v. Táto rýchlosť je menšia ako rýchlosť svetla vo vákuu.

Úplný odraz

Pomer rýchlostí svetla vo vákuu c a v danom prostredí v udáva absolútny index lomu

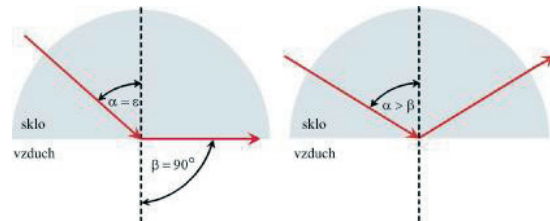
$$n_0 = c/v$$

Absolútny index lomu

Keďže $v < c$, tak je vždy $n_0 \geq 1$.

Index lomu je pre dané prostredie stála veličina a je udávaná v tabuľkách, je to číslo vždy väčšie ako 1. Látky s väčším indexom lomu zvykneme nazývať opticky hustejšie. Ak budete porovnávať rýchlosť v dvoch rôznych prostrediach, napríklad voda – vzduch,

Obr. 4-7



Relatívny index lomu

Látka	Index lomu	Látka	Index lomu
voda	1,33	sklá	1,51 - 1,76
oleje	1,47 - 1,50	diamant	2,42

dostanete relatívny index lomu.

$$n = v/v_1$$

Príklady niektorých absolútnych indexov lomu:

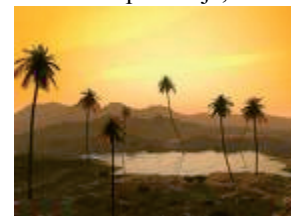
Praktické následky lomu

Praktické následky lomu

Index lomu vzduchu je síce len málo odlišný od 1, ale predsa len väčší ako 1. To spôsobuje, že slnečné lúče sa v atmosfére lámu. Pri obzore sa slnko zdá byť o $1/2^\circ$ vyššie, ako skutočne je. Slnko sa taktiež javí sploštené.

Za predpokladu, že rýchlosť šírenia svetla v prostredí sa mení lineárne (napr. hustnuci vzduch v atmosfére), dá sa ukázať, že trajektóriu lúča je kružnicový oblúk.

V dôsledku prehriatia vzduchu nad horúcimi povrchmi môže ich index lomu poklesnúť. Takto môže vo vzduchu dochádzať k totálnemu odrazu, ktorý nazývame **fata morgána**.



Fata morgána

4.11 Rozptyl svetla

Rozptyl svetla

Odras svetla na drsných stenách, ktorých nerovnosti presahujú vlnovú dĺžku svetla, nazýva sa rozptyl svetla. Na drsnom rozhraní sa rovnobežné lúče po odraze navzájom nepravidelne križujú (obr.4-8). Rozptyl svetla umožňuje jeho šírenie aj na tie miesta, ktoré nie sú priamo osvetlené zdrojom svetla. Vplyvom rozptylu svetla vidíme aj v miestnostiach, do ktorých práve nesvieti cez deň priame slnečné svetlo, alebo keď je zatiahnutá obloha.

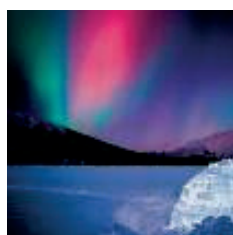
Modrá obloha

Modrá farba oblohy vzniká rozptylom svetla Obr.4-8

v atmosfére. Podľa pozorovaní kozmonautov je vesmírny priestor čierny. To úplne zodpovedá našim poznatkom o šírení svetla, lebo vo vesmíre nie je látka, na ktorej by sa odrážalo svetlo. Výnimkou sú samozrejme vesmírne telesá, prípadne umelé družice a vesmírne rakety, ktoré samy nie sú zdrojom svetla. Rozptyl svetla nastáva aj jeho prechodom priehľadnými látkami. ostrých tieňov zabránime umelým osvetlením napr. tak, že svetlo necháme prechádzať mliečnym alebo matovaným sklom.

sklom.

Poznatok: Svetlo sa pri šírení prostredím rozptyľuje, pričom viac sa rozptyľuje svetlo s kratšími vlnovými dĺžkami.



Interferencia svetla

4.12 Interferencia a ohyb svetla

Pri dopade svetla na rozhranie prostredí sa svetlo čiastočne odrazí a čiastočne prenikne do prostredia. Pri dopade na tenkú vrstvu porovnateľnú s vlnovou dĺžkou



Ohyb svetla

svetla (100-ky nm) sa odrazená vlna skladá s pôvodnou (napr.krásne sfarbené mydlové bubliny na tenkých vrstvách oleja). Hovoríme o interferencii svetla.

Takto môže dôjsť k zosilneniu určitej farby. Takáto tenká vrstva sa javí ako farebná pod určitým uhlom. V praxi sa tenké vrstvy používajú ako ochranný prvok na doklady alebo bankovky.

Ohybom svetla nazývame prenikanie svetla na to miesto, kde podľa zákonov optiky nemá dopadať. Vďaka ohybu vzniká za osvetleným predmetom polotieň a tieň.

Rozklad svetla hranolom

4.13 Rozklad svetla hranolom

Index lomu závisí od frekvencie svetla. To sa prejavuje ako rozklad svetla na hranole. Vzniká farebný pruh, ktorý sa volá spektrum bieleho svetla (obr.4-9). V spektre zreteľne rozpoznáme niekoľko spektrálnych farieb, ktoré prechádzajú plynule medzi sebou. Takéto spektrum sa nazýva spojité spektrum. Farby hranolového svetla majú vždy rovnaké poradie: červená, oranžová, žltá, zelená, modrá, indigová, fialová.

Biele svetlo je zložené zo svetiel jednoduchých farieb. Zdrojom bieleho svetla je napr. Slnko, alebo žiarovka **Monochromatické svetlo** obsahuje jednu farbu svetla. Jej zdrojom je napr. sodíková výbojka so žltým svetlom.

Číry (bezfarebný) predmet prepúšťa všetky farby. Farebný priehľadný predmet má farbu svetla, ktoré prepúšťa. Farebný nepriehľadný predmet má farbu svetla, ktoré odráža. V odrazenom svetle sa predmet javí ako biely ak odráža všetky farby, ako čierny ak neodráža žiadne farby. Červený sa javí ak odráža červené svetlo, modrý ak odráža modré svetlo, atď.

Vidieť polárnu žiaru v našej zemepisnej šírke je jav nielen výnimočný ale i jedinečný. Pozorovať tento neobvyklý prírodný fenomén sme mali možnosť vo štvrtok 20. novembra 2003. Hodinu po západe Slnka ste si mohli všimnúť, že nad severným a celým severovýchodným a severozápadným obzorom žiaril výrazný žltý zelený oblúk ktorý siahla do výšky asi 20 stupňov. Miestami s ním vystupovali kužele svetla siahajúce až k Polárke, ktoré s periódou niekoľkých minút zjasnievali a pohasínali.



Obr.:4-9

Farba predmetov

Vyskúšajte sa

Otázky

1. Ako vzniká odraz a úplný odraz svetla?
2. Kedy nastáva lom svetla?
3. Ako znie zákon lomu svetla a čo vyjadruje index lomu?
4. Kedy nastáva lom ku kolmici a kedy lom od kolmice?
5. Aký vplyv má hranol na prechod svetla?
6. Ako dokážeme, že biele svetlo je zmes svetiel s rozličnými vlnovými dĺžkami? Prečo sa niektorý predmet po osvetlení javí tmavý?
7. Čo sa stalo s energiou svetelného lúča?
8. Prečo je daný predmet žltý?

Cvičenia

1. Pri meraní indexu lomu namerali pre 30° uhol dopadu 19° uhol lomu, pre 40° uhol dopadu 26° uhol lomu a pre 50° uhol dopadu 31° uhol lomu.
 - a) Určte index lomu pre prechod medzi obidvoma optickými prostrediami. [asi 1,5]
 - b) Aké optické prostredie sa pravdepodobne použili pri meraní? [vzduch-sklo]
2. Vypočítajte rýchlosť svetla v skle s indexom lomu 1,5. [$2 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$]
3. Slnčné žiarenie dopadá na vodnú hladinu.

Objav spektra

Anglický vedec Isaac Newton v roku 1666 prostredníctvom skleneného hranola rozložil svetlo a dokázal, že svetelný lúč je v skutočnosti zložený z mnohých rôznych farieb. Farby, ktoré objavil, boli rovnaké ako tie, z ktorých sa skladá dúha.



- a) Aký je uhol lomu, keď uhol dopadu je 25° ? [18°]
 b) Aký je uhol dopadu, keď uhol lomu je 42° ? [63°]
 c) Aký je uhol dopadu a uhol lomu, keď uhol odrazu je 30° [30° a 22°]
 4. Rýchlosť červeného svetla v skle je $v_1 = 199\,200\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ a fialového $v_2 = 196\,700\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Určite index lomu pre červené a fialové svetlo. ($c = 3\cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) [1,507 ; 1,525]
 5. Svetlo dopadá zo vzduchu ($n_1 = 1$) na stenu diamantu pod uhlom $\alpha = 68^\circ$. Lomený lúč je kolmý na odrazený lúč. Vypočítajte
 a) index lomu diamantu pre požitú svetlo [2,475]
 b) rýchlosť svetla v diamante ($c = 3\cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) [$1,212\cdot 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$]
 6. Na rovinný povrch kvapaliny dopadá zo vzduchu pod uhlom 50° svetelný lúč a vstupuje do neho pod uhlom 30° . Lomený lúč dopadá na priehľadné dno, ktorého index lomu je 1,2. Určte a) index lomu kvapaliny, b) smer šírenia sa lúča na dno nádoby. [$n = 1,532$, $\gamma = 39,67^\circ$]



Zo života

Viete odpovedať? (O1)

1. Za letného slnečného dňa mnohokrát vidíme pred sebou cestu akoby bola mokrá. Ak však dorazíme do tohto miesta, nič na ceste nie je. Vysvetlite.
2. Čo je fata morgana a ako vzniká?
3. Niekedy je vidieť okolo Mesiaca svetelné kruhy. Ako vznikajú?
4. Prasklina v skle alebo čistom ľade sa v prechádzajúcom svetle javí úplne nepriehľadná, v odrazenom svetle kovovo lesklá. Vysvetlite.
5. Ako vzniká dúha?
6. Prečo je denná obloha modrá? Prečo je Slnko pri západe alebo východe oranžové až červené?
7. Prečo sú niektoré mraky biele a niektoré až čierne?
8. Na hladine rieky vidieť oproti slnku trblietavú cestičku. Ako vzniká?
9. Prečo vznikajú dúhové obrazy na olejových škvrnách na cestách po daždi?
10. Ako sa mení dúha z pohľadu pri vzlete lietadla?
11. Môžu byť farby v dúhe v ľubovoľnom poradí?
12. Je biela farba skafandra kozmonauta náhodná?
13. Prečo sú namočené predmety tmavšie?

Optické zobrazovanie

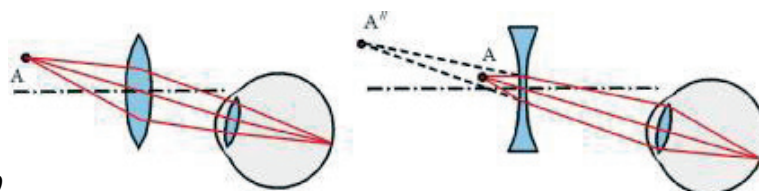
4.14 Zobrazovanie odrazom

Stáva sa, že predmety nemôžeme pozorovať priamo okom (napr. pehu na tvári, veľmi malé alebo veľmi vzdialené predmety). Lúče vychádzajúce z pozorovaného predmetu alebo bodu A (obr. 4-10) najprv odrazom alebo lomom menia svoj smer a až potom dopadajú na sieťnicu oka. V tomto prípade do oka neprichádzajú lúče z bodu A, ale z nejakého iného bodu A', ktorý nazývame skutočným obrazom. V inom prípade majú smer akoby všetky vychádzali z bodu A'', ktorý nazývame neskutočný obraz.

Optická sústava

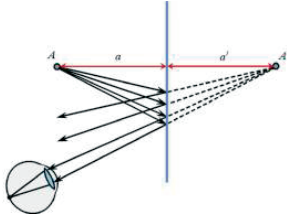
Skutočný obraz

Neskutočný obraz



Obr. 4-10

Prostredia, ktoré zmenili chod lúčov z bodu A po oko, sú optické prostredia. O

Ohnisko	tom ako optickými prostrediami získame obraz a aké vlastnosti tento obraz má, budeme hovoriť v tejto kapitole.
	<i>Zapamätajte si základné pojmy, ktoré budeme v ďalšom texte používať:</i>
	Lúč je priamka znázorňujúca smer šírenia svetla.
	Skutočný obraz – vznikne, ak lúče vplyvom optickej sústavy vytvoria zbiehavý zväzok, ktorý sa stretne v ich priesečníku. Takýto obraz <i>môžeme zobrazit' na tienidle</i>.
	Neskutočný obraz – vznikne, ak lúče vplyvom optickej sústavy vytvoria rozbiehavý zväzok. Oko je schopné takéto lúče spojiť do jedného bodu, aj keď v opačnom smere ako je chod lúčov. Takýmto bodom v skutočnosti lúče, a ani svetelná energia neprechádza, preto ho <i>nemožno zobrazit' na tienidle</i>.
Rovinné zrkadlo	Ohnisko je bod na osi, v ktorom sa pretnú všetky rovnobežné lúče s osou alebo bod na osi, z ktorého lúče po prechode spojnou šošovkou vytvoria zväzok lúčov rovnobežných s osou.
	Zobrazovanie odrazom
(Obraz: neskutočný, priamy, rovnako veľký)	Zrkadlá sú zariadenia, ktorých povrch je pokrytý vrstvou, ktorá dobre odráža svetelné lúče. Pri konštrukcii vzniku obrazu využívame zákon odrazu. Podľa toho, na akej ploche je nanosená odrážajúca vrstva, poznáme zrkadlá rovinné a guľové.
	a) Zobrazovanie rovinným zrkadlom
	Z každého bodu predmetu vychádza rozbiehavý zväzok lúčov. Vyberieme si a zobrazíme bod A (obr. 4-11), z ktorého takéto lúče vychádzajú. Lúče sa po dopade na zrkadlo odrážajú podľa zákona odrazu. Keďže aj odrazené lúče sú rozbiehavé, pozorovateľovi sa zdá, že lúče vychádzajú spoza zrkadla z jedného bodu A'. Tento bod A' vieme nájsť konštrukčne, ale lúče zo zdroja doňho vôbec nedošli. Odrážali sa od zrkadla a majú smer, akoby vychádzali z bodu A'. A' je zdanlivý obraz bodu A. Je to bod súmerne združený s bodom A vzhľadom
Guľové zrkadlo	na rovinu zrkadla. Znamená to, že leží na kolmici zostrojenej zo zvoleného bodu na zrkadlo, vzdialenosť a zobrazovaného bodu A od roviny zrkadla nazveme predmetovou vzdialenosťou a obdobne a' bude obrazovou vzdialenosťou. Z náčrtku
	
	Obr.: 4-11
Rozdelenie guľových zrkadiel	je zrejmé a iste ľahko dokážete, že $a = a'$. Keďže kolmosť sa pri zobrazovaní zachováva, môžeme takýmto postupom zostrojiť obraz ľubovoľných bodov, a tak aj celého predmetu. Vzniknutý obraz predmetu vytvorený rovinným zrkadlom je neskutočný a súmerne združený s predmetom podľa roviny zrkadla. To znamená, že obraz je priamy, stranovo prevrátený a rovnako veľký ako predmet. Ak sa pozeráte do zrkadla, svoju ľavú ruku vidíte ako pravú a naopak. Použitie rovinných zrkadiel je veľmi rozšírené v domácnostiach, ale nájdú uplatnenie aj v iných odboroch (meracie prístroje, astronomické zariadenia, periskop a pod.).
	b) Zobrazovanie guľovým zrkadlom
Základné lúče pre duté zrkadlo	Podľa toho, ktorá časť guľovej plochy je odrazová, poznáme zrkadlá duté (konkávne), ak je pokovovaná <i>vnútorná časť</i>, alebo vypuklé (konvexné), ak je pokovovaná <i>vonkajšia časť</i> guľovej plochy. Stred guľovej plochy (obr.4-12) je stred krivosti zrkadla – C a polomer guľovej plochy je polomer krivosti – r. Stred zrkadliacej plochy budeme nazývať vrchol – V a priamka, ktorá prechádza vrcholom V a stredom krivosti C je optická os zrkadla.
	

V strede vzdialenosti medzi vrcholom V a stredom krivosti C sa nachádza *ohnisko F*. Vzdialenosť ohniska F od vrcholu zrkadla V budeme označovať f a nazývame ju ohnisková vzdialenosť.

Pri konštrukcii obrazu predmetu pri odraze na guľovom zrkadle využijeme vlastnosti nasledujúcich lúčov:

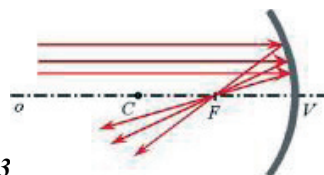
Lúč prechádzajúci stredom krivosti dopadá na zrkadliacu plochu kolmo a odráža sa do tej istej priamky, len v opačnej orientácii (obr. 4-12).

Lúč rovnobežný s optickou osou zrkadla sa na zrkadliacej ploche odrazí do ohniska (obr. 4-13).

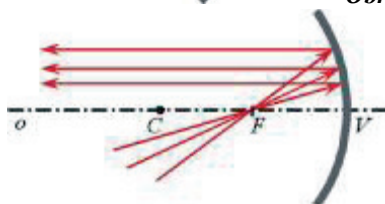
Lúč prechádzajúci ohniskom sa od zrkadliacej plochy odrazí rovnobežne s optickou osou (obr. 4-14).



Obr. 4-12



Obr. 4-13

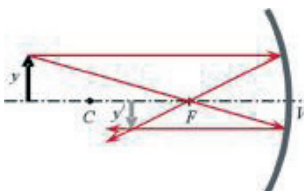


Obr. 4-14

Uvedené vlastnosti lúčov platia len pre tie lúče, ktoré sú len málo odchýlené od optickej osi. Pri dutom zrkadle skutočne prechádzajú stredom C a ohniskom F, ale pri vypuklom zrkadle len zdánlivo (po predĺžení).

c) Zobrazovanie dutým zrkadlom

Pri zobrazovaní predmetu dutým zrkadlom budú vlastnosti obrazu závisieť od polohy predmetu pred zrkadlom. Aby sme sa o tom presvedčili, stačí použiť dva lúče vychádzajúce z jedného bodu predmetu. Je výhodné použiť také, ktorých vlastnosti už poznáme. Ak bude predmet v ohnisku, zistíme, že lúče po odraze na zrkadle budú rovnobežné, to znamená, že obraz nevznikne. Ak bude predmet vo vzdialenosti a väčšej ako f , zistíme, že obraz vznikne prevrátený a skutočný. Jeho veľkosť sa bude meniť so zmenou predmetovej vzdialenosti. Vznikne obraz prevrátený, skutočný, zmenšený (obr. 4-15). Ak je $a < f$, odrazené lúče vytvoria rozbiehavý zväzok a naše oko vidí neskutočný obraz. Vznikne obraz priamy, zväčšený a neskutočný (obr. 4-16).



Obr. 4-15



Obr. 4-16

d) Zobrazovanie vypuklým zrkadlom

Pri zobrazovaní vypuklým zrkadlom postupujeme rovnako ako pri dutom zrkadle, len si musíme uvedomiť, že stred aj ohnisko ležia za zrkadlom, a preto sa lúče odrazia skôr, ako do týchto bodov prídu. Vytvorený obraz bude vždy zmenšený, priamy a neskutočný (obr. 4-17).

Priečne
zväčšenie

e) Riešenie úloh na zrkadlá

Pri riešení úloh je výhodné využiť vzťah, ktorý nazývame zobrazovacia rovnica:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

Na určenie veľkosti obrazu použijeme *priečne zväčšenie* Z pre ktoré platí:

$$Z = \frac{y'}{y}$$

Vlastnosti
obrazu

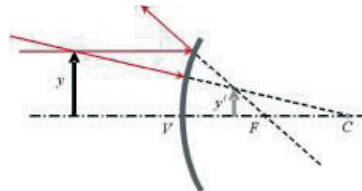
Zväčšenie je bezrozmerné číslo a je to pomer výšky obrazu y' a výšky predmetu y . Úpravou dostaneme:

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} = -\frac{a' - f}{f} = -\frac{f}{a - f}$$

Znamienko mínus vyjadruje, že predmet a obraz sú v navzájom opačných polrovinách. Podľa veľkosti a znamienka zväčšenia rozoznávame **vlastnosti obrazu**:

- a) ak $|Z| > 1$, obraz je zväčšený; ak $|Z| < 1$, obraz je zmenšený
b) ak $Z > 0$, obraz je priamy; ak $Z < 0$, obraz je prevrátený

Obr.4-17



Použitie
zrkadiel

Treba sa dohodnúť na určitých pravidlách. Všeobecne sa označuje pre duté zrkadlo $+f$ a pre vypuklé zrkadlo $-f$. Ak je predmet a obraz nad hlavnou osou, jeho veľkosti y a y' majú kladné znamienko, ak sú pod hlavnou osou, majú záporné znamienko. Obrazová vzdialenosť a' pred zrkadlom má kladné znamienko, za zrkadlom záporné.

Použitie guľových zrkadiel

Guľové zrkadlá sa používajú v praxi pri zobrazovaní a v meracích prístrojoch. Duté zrkadlá sa používajú napr. v lekárstve, na osvetľovanie v mikroskopoch a v zrkadlových ďalekohľadoch. Duté zrkadlá majú často paraboloidný tvar. Zväzok lúčov, vychádzajúcich z ohniska, odráža sa ako zväzok lúčov rovnobežných s optickou osou. Keď umiestime v ohnisku takého zrkadla bodový zdroj svetla, zrkadlo odráža zväzok rovnobežných lúčov, pričom so vzdialenosťou od zrkadla ubúda svetlo len nepatrne. To je podstatou reflektorov, ktoré používajú vo filmovej technike, na motorových vozidlách, vo vreckových elektrických lampách. Vypuklé zrkadlá sa používajú napr. v doprave na križovatkách, v zrkadlových ďalekohľadoch, na rozptyl svetla a pod.



Vyskúšajte sa

Otázky

1. Uveďte vlastnosti obrazov predmetov v dutých, aj vo vypuklých zrkadlách.
2. Aký obraz predmetov vidia vodiči vždy v dopravných zrkadlách? Aký tvar zrkadiel tieto vlastnosti obrazu zabezpečí?
3. Ktoré dôležité lúče možno používať pri konštrukcii obra v guľových zrkadlách?
4. Zostrojte obraz trojuholníka v rovinnom zrkadle.
5. Vyjadrite vzťah medzi priečnym zväčšením zrkadla, jeho ohniskovou vzdialenosťou a vzdialenosťou predmetu od zrkadla rovnicou. Popíšte a vysvetlite uvedenú rovnicu.
6. Uveďte vlastnosti obrazov predmetov v dutých, aj vo vypuklých zrkadlách.
7. Aký typ guľového zrkadla by bolo možné využiť pri holení? Svoje tvrdenie zdôvodnite.
8. Vyjadrite vzťah medzi priečnym zväčšením guľového zrkadla, jeho ohniskovou

Lidská zrenička sa zväčší o približne 45% keď sa človek pozerá na niečo príjemné

Museli by ste prejsť 80 kilometrov, aby vaše nohy dostali zabrat rovnako ako vaše očné svaly za jeden deň

Ryby a hmyz nemajú očné viečka. Ich oči sú chránené stvrdnutými šošovkami

Zobrazovanie šošovkami

vzdialenosťou a vzdialenosťou predmetu od vrcholu zrkadla rovnicou. Popíšte a vysvetlite uvedenú rovnicu.

9. Ako sa budú meniť vlastnosti obrazu tváre, ak budeme zrkadlo k tvári približovať alebo vzdďaľovať? Svoje tvrdenie zdôvodnite.
10. Vysvetlite, prečo by nemalo zmysel mať zrkadlo vzdialené od tváre 50 cm

Cvičenia

1. Človek stojí 3 m pred rovinným zrkadlom. V akej vzdialenosti od neho uvidíte svoj obraz?
2. Určte polomer sférického zrkadla, ktoré sústreďuje rovnobežné lúče do bodu vzdialeného 160 mm od zrkadla.
3. Narysujte obraz číslíky 1 vysokej 4 mm a vzdialenej 90 mm od dutého sférického zrkadla s polomerom krivosti 60 mm. Správnosť umiestenia obrazu skontrolujte výpočtom.
4. Narysujte obraz číslíky 7, ktorý vznikne vo vypuklom sférickom zrkadle. Číslíka je vysoká 25 mm a je umiestená 20 mm od zrkadla s polomerom krivosti 30 mm. Určte výšku obrazu. Správnosť konštrukcie skontrolujte výpočtom.
5. Vypočítajte, v akej vzdialenosti od zrkadla je obraz automobilu, ktorý je vzdialený od zrkadla 9 m, ak ohnisková vzdialenosť vypuklého dopravného zrkadla je 45 cm.
6. Vypočítajte výšku obrazu automobilu v dopravnom zrkadle, ak automobil bol vzdialenosti 9 m pred zrkadlom je vysoký 180 cm.
7. Vypočítajte, v akej vzdialenosti od tváre treba mať pri holení konkávne zrkadlo s ohniskovou vzdialenosťou 50 cm, aby obraz tváre v zrkadle bol päťnásobne zväčšený.
8. Predmet vysoký 7 cm stojí kolmo na optickú os vo vzdialenosti 5 cm od vrcholu dutého zrkadla s polomerom 4 cm. Určte polohu a vlastnosti obrazu.
9. Predmet vysoký 6,5 cm stojí kolmo na optickú os dutého zrkadla vo vzdialenosti 1 cm od vrcholu zrkadla. Polomer zrkadla je 4 cm. Určte polohu a vlastnosti obrazu.
10. Duté zrkadlo s polomerom krivosti 1 m vytvára zdanlivý obraz 3 m za zrkadlom. V akej vzdialenosti pred zrkadlom stojí predmet? Aké je zväčšenie obrazu?
11. Predmet je umiestnený vo vzdialenosti 60 cm od vrcholu dutého zrkadla. Určte ohniskovú vzdialenosť zrkadla, ak skutočný obraz predmetu ($Z < 0$), vytvorený zrkadlom na tienidlo je zväčšený 1,5 krát.
12. Kde treba umiestniť pred dutým zrkadlo s ohniskovou vzdialenosťou $f = 40$ cm predmet, aby sme dostali prevrátený obraz 4 krát väčší, ako predmet?
13. Predmet sa nachádza od dutého zrkadla vo vzdialenosti 1,4 m a jeho obraz 0,6 m. Určte ohniskovú vzdialenosť zrkadla, jeho polomer krivosti a zväčšenie obrazu.
14. Predmet stojí 60 cm pred dutým zrkadlom. Ak sa predmet priblíži k zrkadlu o 10 cm, zväčší sa vzdialenosť obrazu od zrkadla o 80 cm. Aká je ohnisková vzdialenosť zrkadla?
15. V akej vzdialenosti od vypuklého zrkadla ($\acute{a} < 0$, $f < 0$) treba umiestniť zdroj svetla, aby jeho obraz bol vo vzdialenosti 60 cm od zrkadla? Ohnisková vzdialenosť zrkadla je 90 cm.
16. Človek sa pozerá na postriebnú guľu ($\acute{a} < 0$, $f < 0$) s polomerom 0,3 m, ktorá je od neho vzdialená 0,25 m. V akej vzdialenosti od pozorovateľa sa nachádza jeho obraz?

Akú najmenšiu vec môžeme vidieť?

Voľným okom môžeme vidieť také malé predmety, ako sú častice prachu, ale bez akéhokoľvek detailu. Tradičné, optické mikroskopy dokážu zväčšiť predmety až tisíckrát, Elektronový mikroskop, objavený v roku 1932, môže zväčšovať až 50 000-krát. Namiesto svetla pri tom využíva zväzok lúčov elektrónov, ktoré skúmaný objekt nasnímajú a vytvoria jeho zväčšený obraz. Najvýkonnejší elektronový skenovací mikroskop, nám umožňuje pozorovať atómy s priemerom desať milióntiny milimetra.

Zvuk prenášaný svetlom

Zvuk z filmu sa zaznamenáva pomocou svetelného lúča, ktorý silnie alebo slabne v závislosti od signálu prichádzajúceho z mikrofónu. Takto sa na strane filmu vytvára špeciálna zvuková stopa. Pri prehrávaní svetlo v projektore prežarujúce túto stopu dopadá na fotobunku snímajúcu informácie o zvuku.

Druhy
šošoviek

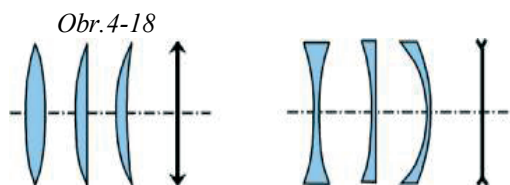
4.15 Zobrazovanie lomom – šošovky

Optická
mohutnosť

Dioptria

Šošovky sú opticky priehľadné prostredia ohraničené väčšinou guľovými plochami. Stredy guľových plôch, ktoré vytvárajú šošovku, nazývame stredy krivosti S_1 , S_2 a ich polomery sú polomery krivosti r_1 , r_2 . Spojnica stredov krivosti sa nazýva optická os šošovky. V praxi najčastejšie používané šošovky môžeme rozdeliť na vypuklé – spojky, duté – rozptylky (obr.4-18). Dohodneme sa, že ohnisková vzdialenosť spojky je kladná a rozptylky je záporná.

Na charakteristiku optických vlastností šošovky sa v praxi používa veličina optická mohutnosť D , ktorá je určená ako prevrátená hodnota ohniskovej vzdialenosti.



$$D = \frac{1}{f}$$

Jednotkou optickej mohutnosti je 1 **dioptria** [1 D]. Optickú

mohutnosť jednej dioptrie má šošovka, ktorej ohnisková vzdialenosť je 1 meter.

Šošovky s malou ohniskovou vzdialenosťou majú väčšiu optickú mohutnosť, viac menia smer chodu lúčov.

a) Zobrazovanie spojkou

Podobne ako pri zrkadlách, aj pri konštrukcii obrazu spojnou šošovkou používame lúče, ktorých vlastnosti po prechode spojnou šošovkou sú experimentálne overené (obr. 4-19).

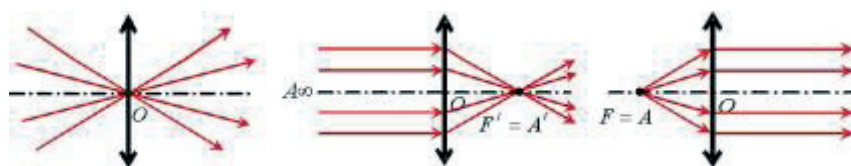
Základné lúče

Lúče prechádzajúce stredom šošovky O sa nelámu.

Lúče rovnobežné s optickou osou sa po prechode spojnou šošovkou lámu do obrazového ohniska F' .

Lúče prechádzajúce predmetovým ohniskom F sa po prechode spojkou lámu tak, že ich smer je rovnobežný s optickou osou.

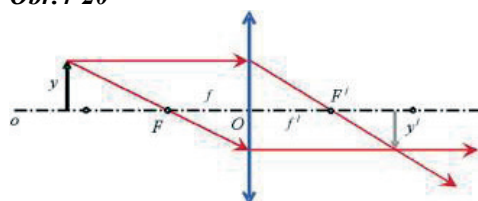
Keďže predpokladáme, že lúče, ktoré vyšli z jedného bodu predmetu sa po prechode šošovkou znova v jednom bode stretnú, na konštrukciu obrazu nám stačia dva lúče.



Obr. 4-19

Ak sa predmet nachádza vo vzdialenosti väčšej ako ohnisková vzdialenosť f (obr. 4-20), vznikne obraz skutočný, prevrátený a jeho veľkosť y' je závislá od vzdialenosti predmetu od vrcholu šošovky a (predmetová vzdialenosť).

Obr.4-20



Ak sa predmet nachádza v ohnisku F , lomené lúče budú rovnobežné a obraz nevznikne.

Ak sa predmet nachádza vo vzdialenosti a menšej ako f , vznikne obraz neskutočný, zväčšený a priamy.

Zväčšenie obrazu Z je určené podielom veľkosti obrazu y' a veľkosti predmetu y (tak ako to je pri zrkadlách). Pri riešení úloh môžeme použiť aj zobrazovaciu rovnicu uvedenú pri zrkadlách.

Pre ohniskovú vzdialenosť tenkej šošovky platí:

Zobrazovacia
rovnica

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right),$$

kde n_2 je index lomu šošovky, n_1 index lomu prostredia, v ktorom je šošovka; r_1 a r_2 sú polomery krivosti optických plôch šošovky

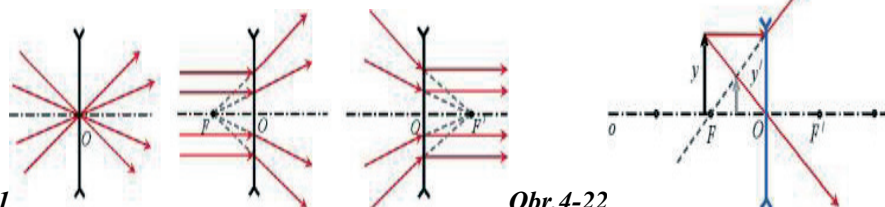
b) Zobrazovanie rozptylkou

Zobrazovanie
rozptylkou

Pri zobrazovaní rozptylkou môžeme použiť lúče podobných vlastností ako pri spojke. Zmena je v tom, že ohnisková vzdialenosť rozptylky je záporná, a preto lúč rovnobežný s optickou osou sa na rozptylke láme tak, akoby vychádzal z ohniska F a lúč, ktorý smeruje do ohniska F' sa na šošovke láme tak, že jeho smer je rovnobežný s optickou osou (obr. 4-21). Obráz vytvorený rozptylkou je vždy neskutočný, priamy a zmenšený (obr.4-22).

S praktickým používaním šošoviek sa budeme podrobnejšie zaoberať v samostatnej časti „optické prístroje“. Nakoniec treba pripomenúť, že spojky sú v strede hrubšie ako na okraji a rozptylky naopak, majú väčšiu hrúbku na okrajoch. Ale to platí len vtedy, ak je index lomu materiálu šošovky väčší ako index lomu okolia. Ak bude jej index lomu menší ako okolia, bude sa správať

Základné lúče
pre rozptylku



Obr.4-21

Obr.4-22

ako rozptylka. Napríklad spojka vo vode.

Ak šošovky nie sú tenké a predmety nezobrazujeme len lúčmi, ktoré sa nachádzajú blízko optickej osi, obraz nemá vlastností, ktoré vyplývajú z našich úvah. Zobrazovanie je zaťažené chybami, z ktorých spomenieme aspoň niektoré. Pri prechode svetla šošovkou sa biele svetlo láme ako na hranole a rozkladá sa. Vzniknutý obraz je na okrajoch sfarbený, má farebnú chybu. Túto chybu korigujeme kombináciou šošoviek z rôznych druhov skiel.

Ďalšie chyby vznikajú pri zobrazovaní lúčov viac vzdialených od optickej osi.

Prejavuje sa to tým, že bod sa zobrazuje do plôšky (astigmatizmus), alebo zväčšenie pre vzdialenejšie lúče je iné ako pre stredové a vznikne skreslený (deformovaný) obraz. Korekcia týchto chýb sa dá dosiahnuť kombináciou rôznych šošoviek.

Príklad: Určite ohniskovú vzdialenosť šošoviek, ak ich optická mohutnosť je: a) $D = 2D$ b) $D = -12D$

Riešenie: Podľa predchádzajúcich vzťahov : a) $f = 0,5 \text{ m}$, b) $f = -8,3 \text{ m}$.

Vyskúšajte sa

Otázky

1. Menujte charakteristické znaky: a) spojok, b) rozptyliek.
2. Ktoré význačné lúče používame na konštrukciu pri zobrazovaní šošovkami?
3. Porovnajme šošovky s hranolmi. Aké spoločné vlastnosti sa pri nich využívajú?
4. Čo je optická mohutnosť?
5. Čo je v SI jednotkou optickej mohutnosti? Ako je definovaná?
6. Uveďte vlastnosti obrazov predmetov vytvorených spojnou šošovkou. Svoje tvrdenie dokažte pomocou obrázkov.

Cvičenia

1. Vypočítajte ohniskovú vzdialenosť šošovky s optickou

Zločin pod mikroskopom

Súdni znalci získavajú hodnoverné informácie aj zo stóp zanechaných páchatelom na mieste činu, akými sú napríklad vlas, kvapka krvi, vlákno z odevu, či úlomok laku z karosérie neznámeho auta. Po ich preskúmaní pod mikroskopom a po chemickej analýze môžu znalci často priradiť tieto stopy práve k vzorkám odobraným podozrivým osobám.

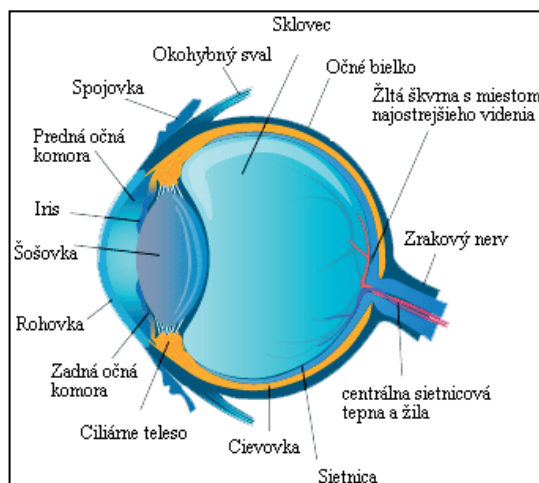
Prvé sklo bolo vyrobené už pred cca 3500 rokmi v Mezopotámii	mohutnosťou 2 dioptrie. [0,5 m] 2. Určte druh a ohniskovú vzdialenosť šošovky s optickou mohutnosťou a) 5 D; b) – 3,5 D. [0,20 m, - 0,29 m] 3. Určte ohniskovú vzdialenosť dvojvypuklej šošovky, ktorá je vyrobená zo skla s indexom lomu 1,5, ak je polomer krivosti 15 cm a 25 cm? [0,17 m] 4. Vypočítajte vzdialenosť obrazu od spojky, ktorej ohnisková vzdialenosť je 20 cm, ak je predmet umiestnený pred spojkou vo vzdialenosti a) 30 cm, b) 14 cm, c) 18 cm, d) 28 cm. Sú obrazy skutočné alebo neskutočné? [a)60cm] 5. Vypočítajte priečne zväčšenie predmetu a veľkosť obrazu, ak je predmet vysoký 1 cm. 6. Pred tenkú spojkou s ohniskovou vzdialenosťou 0,20 umiestnime predmet vo vzdialenosti 0,25 m. Určte v akej vzdialenosti sa vytvorí obraz? [1m] 7. Určte optickú mohutnosť šošovky, ktorej ohnisková vzdialenosť je 0,25 m. [4 D]
Pštosie oko je väčšie, než jeho mozog	8. Určte optickú mohutnosť tenkej dvojvypuklej šošovky s polomerami krivosti 25 cm a 10 cm, keď je zhotovená zo skla s indexom lomu 1,5. [7D] 9. Určte ohniskovú vzdialenosť a optickú mohutnosť spojky, ktorá predmet vo vzdialenosti 25 cm zobrazuje na vzdialenosť 1 m. [20 cm, 5 D] 10. Predmet veľkosti 1 cm je umiestnený 8 cm pred rozptylkou s ohniskovou vzdialenosťou – 24 cm. Určte polohu obrazu a jeho zväčšenie. [-6 cm, $\frac{3}{4}$] 11. Ohnisková vzdialenosť spojenej šošovky je 25 cm . Pred ňou je umiestnený vo vzdialenosti 50 cm predmet 12 cm vysoký . Určte polohu a vlastnosti obrazu : a) výpočtom b) konštrukciou vo vhodnej mierke [a' = 50 cm, skutočný , prevrátený , zmenšený a vysoký 12 cm] 12. Určte optickú mohutnosť dvojvypuklej šošovky s $r_1 = r_2 = 0,4\text{m}$ vyrobenej z kamennej soli ($n_2 = 1,537$) vo vzduchu ($n_1 = 1$) a v sírouhlíku ($n_1 = 1,609$) [vo vzduchu je 2,7D, v sírouhlíku –0,22D]
Zdravý človek mrkne očami každý deň takmer 11 500 krát	<i>Dve oči Väčšina živočíchov má dve oči, čo im umožňuje odhadovať vzdialenosť, a to hneď dvoma spôsobmi. Každé oko vidí objekt z trochu iného uhla. Mozog porovnáva oba obrazy. Čím sú odlišnejšie, tým je objekt bližšie. Mozog zároveň meria nakoľko sa oči museli potočiť dovnútra, keď zaregistrovali objekt, ktorý je veľmi blízko.</i>
Zo života	Viete odpovedať? 1. Aké zrkadlo je najvhodnejšie ako spätné zrkadlo? 2. Je možné vidieť v ďalekohľade muchu, ktorá si sadla na objektív? 3. Aký je princíp „kukátka“ v dverách? 4. Prečo mačky „svietia“ oči? 4.16 Optické prístroje V súčasnosti sa používa celý rad optických prístrojov. Od najjednoduchších, ku ktorým patria lupy a okuliare, až po zložité fotografické prístroje, filmové a televízne kamery, mikroskopy a mnohé iné. Hlavnými časťami optických prístrojov sú šošovky, zrkadlá a hranoly. 4.17 Ľudské oko Z fyzikálneho hľadiska je ľudské oko vlastne biologický optický prístroj (obr.4-23). V priemere má asi 25 milimetrov. Každé váži asi 7 gramov. Oči sú uložené v očníciach, kde sú dobre chránené. Pracujú na podobnom princípe ako kamera. V bdelom stave zachytávajú všetko, čo sa okolo nás deje. Zachytávajú svetlo odrazené od okolitých predmetov a na spracovanie týchto zrkových vnemov sa potom využíva mozog. Mozog sám používa na pretlmočenie a pochopenie týchto signálov asi 10% mozgovej kôry. Týchto 10% je takzvaná zrková pamäť. V nej sa ukládajú tvary vecí, ktoré sme videli predtým. V oku aj v samotnom zrkovom ústredí sú mechanizmy, ktoré vedia zaostrávať obrysy, vyplňať obrazce a ktoré vedia vytvoriť pre nás pochopiteľné symboly a tvary v čierno-bielej, ale aj vo farebnej podobe. Oko sa skladá z častí, ktoré prenášajú, zachytávajú alebo ináč upravujú obraz. Sú to: <i>očná šošovka, očný mok, rohovka, sklovec, dúhovka, vráskovcové teleso,</i>
Stavba oka	

Elektrónové mikroskopy začali vedci používať v 30. rokoch 20.stor. Namiesto svetla sa v nich používa zväzok elektrónov ovládaných magnetickým poľom

sietnica, cievovka, očné bielko, žltá škvrna, slepá škvrna, zrakový nerv. Optickú sústavu však tvoria iba: šošovka, očný mok, rohovka a sklovec.

Ako oko funguje

Svetlo, ktoré sa odráža od okolitých predmetov dopadá na najprv cez očný mok na šošovku. Ľudská šošovka je vlastne spojná dvojvypuklá šošovka so schopnosťou meniť polomer krivosti. Zaostrenie oka na predmety v rôznych vzdialenostiach (**akomodácia**) sa uskutočňuje tak, že kruhový sval viac či menej napína šošovku, čím sa mení jej zakrivenie, a tým aj optická mohutnosť. Svetelný lúč sa láme a dopadá na zadnú stranu oka - sietnicu. Na nej vytvorí



Akomodácia oka

prevrátený obraz. Veľkosť obrazu závisí od *zorného uhla*, čiže od toho ako ďaleko sa pozorovaný objekt nachádza. Samozrejme, že oko má aj prirodzený filter svetla. Sú to zrenice, ktoré vždy prepúšťajú len potrebný zväzok lúčov. Zrenice sú na obidvoch očiach prepojené a sú synchronizované. To znamená, že sa rozširujú alebo sťahujú súčasne na obidvoch očiach. Jedna zrenica má v priemere asi 2 až 4 mm. Aby sme však mohli vnímať obraz potrebujeme, aby sa nejakým spôsobom

Vaše oči fungujú ako obrovské vypuklé šošovky a sústreďujú svetlo na zadnú časť očí. Keď chcete zaostriť zrak na vzdialené predmety, očné svaly stiahnu šošovku, aby boli ploškejšie. Keď chcete zaostriť zrak na blízke predmety, svaly šošovky rozšíria.

**Tyčinky
Čapíky**

premenil na nervový impulz. To zabezpečujú milióny zrakových buniek, ktoré sa nachádzajú na sietnici. Tie dokážu premeniť svetlo na nervový impulz a poslať ho očným nervom do zadnej zrakovkej časti veľkého mozgu. Tieto bunky sa nazývajú **tyčinky a čapíky**. Čapíkov sa v oku nachádza asi 7 miliónov. Sústreďujú sa najmä v strednej oblasti sietnice, v takzvanej žltej škvrne. Majú dôležitú úlohu pri vnímaní farebného svetla. Tyčiniek je asi 120 miliónov a uplatňujú sa predovšetkým pri videní za slabého svetla, za šera. V mozgu sa signály z týchto buniek prenášané cez asi 800 tisíc nervových vlákien zrakového nervu premenia na vedomé obrazy, ktoré dokážeme

analyzovať a zapamätáť si.

Zdravé oko môže zaostriť aj na veľmi vzdialené body. Hovoríme, že jeho vzdialený bod je v nekonečne. Nedokáže však zaostriť na predmety bližšie ako 10 cm. Nazýva sa to vzdialenosť blízkeho bodu. Akomodačná schopnosť má isté hranice. Vzdialenosť, v ktorej môžeme predmety dlhšie pozorovať bez väčšej únavy, je asi 25 cm – **konvenčná zraková vzdialenosť d**

**Konvenčná
zraková
vzdialenosť**

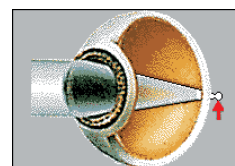
Chyby oka:

- **krátkozrakosť** (obr.4-24a) -obraz veľmi vzdialeného predmetu sa utvorí pred

Chyby oka



Obr.4-24a

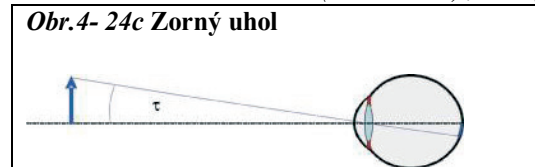


Obr.4-24b

sietnicou. Krátkozraké oko má ďaleký bod v konečnej vzdialenosti a blízky bod má posunutý k oku. Krátkozrakosť sa odstraňuje rozptylkou.

- **d'alekozrakosť** (obr.4-24b) - obraz veľmi vzdialeného predmetu sa utvorí za sieťnicou. Blízky bod je v značnej vzdialenosti od oka (50–100 cm).

Ďalekozrakosť sa odstraňuje spojkou. Veľkosť obrazu na sieťnici závisí od veľkosti **zorného uhla** τ (obr.4-24c), ktorý zvierajú svetelné lúče prechádzajúce



optickým stredom šošovky a okrajmi predmetu. Čím je predmet bližšie k oku, tým je zorný uhol τ väčší. oko je schopné rozlíšiť dva predmety (body), keď ich vidí pod zorným uhlom $\tau \geq 1'$

(keď $\tau < 1'$, vníma ich ako jeden bod).

Krátkotrvajúci vnem sa pri bežnom osvetlení predmetu zachová asi 0,1 s. Toto zachovanie vnemu umožňuje vnímať postupnosť rýchle sa striedajúcich obrazov (film) ako plynulý dej.

4.18 Lupa

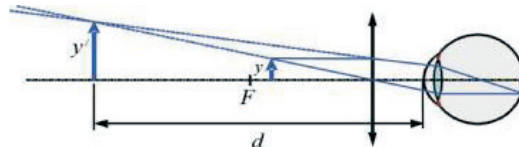
Lupa

Ak je zorný uhol predmetu veľmi malý, pretože predmet má malé rozmery, nepomôže priblížiť predmet k očnej šošovke, a tak zväčšiť zorný uhol. Oko v tomto prípade nie je schopné vytvoriť ostrý obraz. Riešenie je v tom, že pomocou lupy alebo mikroskopu vytvoríme neskutočný obraz v konvenčnej vzdialenosti aj pri malých



Obr.4-26

Obr.4-25



vzdialenostiach od oka.

Lupa (obr.4-25) je vlastne **spojka s malou ohniskovou vzdialenosťou**.

Vhodnou polohou šošovky a predmetu dosiahneme (obr. 2-27),

že šošovka vytvorí neskutočný obraz vo vzdialenosti, v ktorej je oko schopné vytvoriť ostrý obraz.

Otázky

1. Uveďte, aké vzdialenosti v úvodnom tvrdení predstavujú f a d .
2. V akej vzdialenosti od lupy musí byť pozorovaný predmet, aby ho malo zmysel lupou pozorovať? Svoje tvrdenie vysvetlite.
3. Nakreslite lupu, oko, pozorovaný predmet a jeho obraz. Aké vlastnosti má obraz predmetu pozorovaného lupou?
4. Aké vlastnosti by mal obraz predmetu pozorovaný lupou, keby sa predmet nachádzal pred lupou vo väčšej vzdialenosti, ako je ohnisková vzdialenosť lupy? Svoje tvrdenie zdôvodnite.

Vyskúšajte sa

Cvičenia

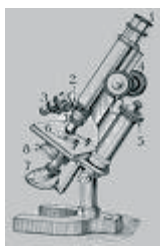
1. Aké zväčšenie má lupa s ohniskovou vzdialenosťou 5 cm ?
2. Vypočítajte zväčšenie lupy s ohniskovou vzdialenosťou 25 mm, ak sa pozorovaný predmet nachádza v jej ohnisku.
3. Vypočítajte zväčšenie tejto lupy, ak sa pozorovaný predmet nachádza medzi ohniskom a lupou vo vzdialenosti 22,7 mm od lupy.

4.19 Mikroskop

Mikroskop (obr.4-26) je optická sústava, zložená z objektívu a okulára. Obe šošovky sú spojky a sú usporiadané tak, aby ich optická os bola spoločná. Objektív má malú ohniskovú vzdialenosť f_1 a okulár väčšiu ohniskovú vzdialenosť f_2 . Predmet umiestnime pred objektív tak, aby vznikol skutočný, prevrátený a

Mikroskop

zväčšený obraz. Okulár je od objektívu vzdialený tak, aby obraz vytvorený objektívom bol v ohniskovej rovine okulára.



Okulár tu slúži ako lupa a vytvorí neskutočný obraz, ktorý je oko schopné pozorovať. Celkové zväčšenie mikroskopu vypočítame ako súčin zväčšení objektívu a okulára (zväčšenia bývajú obyčajne na objektívoch a okulároch uvedené).

Vzdialenosť $\Delta = |F_1' F_2|$ sa nazýva **optický interval mikroskopu**.

Mikroskopom môžeme dosiahnuť zväčšenie asi 2 000.

Optický interval

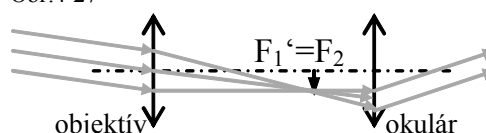
4.20 Ďalekohľad

Ďalekohľady sú optické prístroje na pozorovanie vzdialených predmetov pod väčším zorným uhlom ako má oko.

Skladajú sa z dvoch šošoviek:

- väčšia z nich, na strane pozorovaného predmetu, sa nazýva **objektív**,
- menšia, ktorú prikladáme na oko, je **okulár**.

Obr.4-27



Ďalekohľad

Zväčšenie ďalekohľadu Z je dané podielom ohniskovej vzdialenosti objektívu f_1 a okuláru f_2 : $Z = f_1 / f_2$.

V praxi sa používajú rôzne druhy ďalekohľadov, ktoré sa líšia konštrukciou i použitím. Sú to napr.:

- malé divadelné ďalekohľady so zväčšením 2,5 až 4-krát,
- poľovnícke ďalekohľady so zväčšením 6 až 10-krát,
- hvezdárske ďalekohľady a i.

Poznáme dva základné typy ďalekohľadov. :

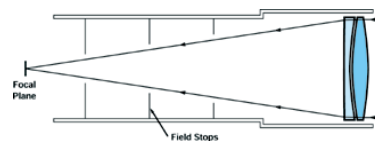
Refraktory (šošovkové ďalekohľady), v ktorých sa na koncentráciu a zaostrenie svetelných lúčov používajú šošovky,

Reflektor

Refraktor

Refraktory môžu byť zaťažené farebnou chybou, ktorú je však už dnes možné odstrániť. Našli využitie najmä ako divadelné ďalekohľady, poľovnícke ďalekohľady, triédre a binokuláre.

V astronómii sa používajú viac na vizuálne pozorovania a astrometriu. Šošovky veľkých astronomických ďalekohľadov však majú obmedzenú veľkosť, pretože priveľká šošovka sa deformuje vlastnou hmotnosťou.



- reflektory (zrkadlové ďalekohľady), v ktorých sa používajú zrkadlá. Najsilnejšie sú zrkadlové ďalekohľady.

Zrkadlový ďalekohľad

Väčšina astronómov pracuje so zrkadlovými hvezdárskymi ďalekohľadmi, ktoré sa najlepšie hodia na zachytávanie slabučkého svetla zo vzdialených hviezd. Veľké zakrivené zrkadlo zbiera svetlo a sústreďuje, koncentruje ho, aby sa vytvoril obraz. Menšie zrkadlo potom prenáša obraz na šošovku, ktorej sa hovorí okulár. Naň je často pripojený fotoaparát alebo elektronický detektor svetla.

Šošovkový ďalekohľad

V prednej časti šošovkového hvezdárneho ďalekohľadu sa nachádza veľká šošovka, ktorá láme, ohýba svetlo, aby sa vytvoril obraz vzdialeného objektu. V zadnej časti je šošovka okuláru. Niektoré refraktory majú uprostred tretiu šošovku. Bez nej by bol obraz obrátený hore nohami.

Divadelný ďalekohľad

Najjednoduchšie ďalekohľady sú divadelné. Skladajú sa z dvoch malých ďalekohľadov umiestnených vedľa seba.



Polovnícky ďalekohľad

Polovnícky ďalekohľad je zložitejší ako divadelný. Je malý, no jeho približovaciu schopnosť zväčšuje sústava šošoviek a hranolov.



Galileov ďalekohľad (1609,1610)

Keď sa taliansky učenec Galileo Galilei dozvedel o Lippersheyových ďalekohľadoch, v roku 1609 si sám jeden zostrojil, zväčšoval 3-krát. Zdokonalil jeho dizajn a v roku 1610 prostredníctvom neho začal skúmať planéty a hviezdy (zväčšoval až 23-krát). Pomocou ďalekohľadu vykonal prekvapujúce objavy. Skúmal Slnko, Venušu, planétu Jupiter a jeho mesiace a veľa ďalších nebeských telies. Jeho pozorovania viedli ľudstvo k novému pohľadu na vesmír. Od Galileových čias je ďalekohľad najdôležitejším prístrojom v astronómii.

Galileiho

Keplerov ďalekohľad (1630)

Kepler, astronóm na pražskom kráľovskom dvore, navrhol v roku 1630 nový ďalekohľad, keďže obraz v Galileovom ďalekohľade je menej svetlý a veľmi nevyhovoval astronomickým účelom. V tomto tzv. Keplerovom ďalekohľade alebo hvezdárskom ďalekohľade je objektívom aj okulárom spojená šošovková sústava. Ďalekohľad robí prevrátené obrazy, v astronómii to nevádi, ale na pozemské pozorovanie áno.



Keplerov

Na vzpriamenie obrazu sa preto využíva ešte jedna spojená sústava medzi objektívom a okulárom, prípadne systém dvoch hranolov, ktorých bočné steny sú postavené k sebe kolmo. Zdvojeným Keplerovým ďalekohľadom je triéder. Keplerove ďalekohľady sa dnes používajú na špeciálne účely ako lovecké ďalekohľady, pozorovacie, zameriavacie, bývajú zabudované aj v rozličných prístrojoch - tu sa ich stupnica používa na odčítanie údajov. Pre potreby modernej astronómie sa už taktiež nehodia.

Newtonov ďalekohľad (1668)

Ďalším vedcom, ktorý zdokonalil ďalekohľad, bol Isaac Newton. Použil nie len šošovky, ale aj sférické zrkadlá a zostrojil zrkadlové ďalekohľady, pri ktorých nedochádza ku skresľovaniu farieb. Isaac Newton zistil, že problémy šošovkových ďalekohľadov (alebo refraktorov) spočívajú v chromatickej chybe a navrhol využiť namiesto objektívu zrkadlo. Položil tak základ pre rozvoj zrkadlových ďalekohľadov. Svetelné lúče sa dutým zrkadlom odrazia do jeho ohniskovej roviny, ktorá je na tej istej strane ako pozorovaný objekt. Treba preto odrazené lúče odchyliť tak, aby sa mohol obraz pozorovať okulárom. V pôvodnej Newtonovej konštrukcii z r. 1671 bolo guľové zrkadlo vybrúsené z kovovej platne - zo zliatiny medi



Newtonov

a cínu. Jeho ďalekohľad zväčšoval 38x. Lúče sa odchyľovali od okuláru malým rovným zrkadielkom kolmým na ich pôvodnú dráhu. Cassengrainov ďalekohľad (1672)

Hubbelov vesmírny ďalekohľad

Hubbelov vesmírny ďalekohľad je najväčší kozmický ďalekohľad, aký bol vypustený do kozmického priestoru. Na obežnej dráhe lieta okolo Zeme od roku 1990. Je to zrkadlový ďalekohľad, ktorý je diaľkovo ovládaný zo Zeme. Bol vynesенý na obežnú dráhu ako výsledok spolupráce Európy a USA do výšky 600 kilometrov. Má dĺžku 13 metrov, váhu 11 ton a má zrkadlo s priemerom 2,4 metra. Po uvedení na obežnú dráhu sa zistilo, že neposkytuje dobrý obraz. Jeho zrkadlo malo menšiu optickú chybu : na okrajoch sa odchyľovalo o 2 tisíciny milimetra od ideálneho tvaru. Po rok 1993 sa teda nedal tento ďalekohľad naplno využiť. V decembri 1993 ho kozmonauti na obežnej dráhe zachytili a na palube kozmického raketoplánu opravili : vybavili ho korekčným optickým zariadením podobným okuliárom, ktoré musí nosiť krátkozraký človek. Zároveň dostal nové slnečné batérie na výrobu elektrickej energie potrebnej na prevádzku a takisto na ňom umiestnili novú širokouhlú kameru. Od roku 1993 teda poskytuje kvalitné fotografie.

Compton

Po Hubbelovom kozmickom ďalekohľade je Compton druhým z veľkých kozmických observatórií NASA. Váži vyše 16 ton. V čase svojho vynesenia na obežnú dráhu okolo Zeme bolo toto obs. Najväčšou civilnou družicou, aká bola vyslaná do vesmíru. Je vybavená 4 detektormi gama žiarenia, ktoré registrujú najmohutnejšie udalosti vo vesmíre. Obs. Compton vyniesol na obežnú dráhu raketoplán Atlantis 7. apríla 1991. Vypustenie sa uskutočnilo 450 km od zemského povrchu. Pôvodne sa nazývalo GRD (Gama Ray Observatory-Obs. Gama žiarenia) a po uvedení do prevádzky ho premenovali podľa amerického fyzika Comptona. Najväčšie ďalekohľady Veľké hvezdárske ďalekohľady majú objektív nahradený dutým zrkadlom, v súčasnosti najväčšie z nich má priemer 6m.

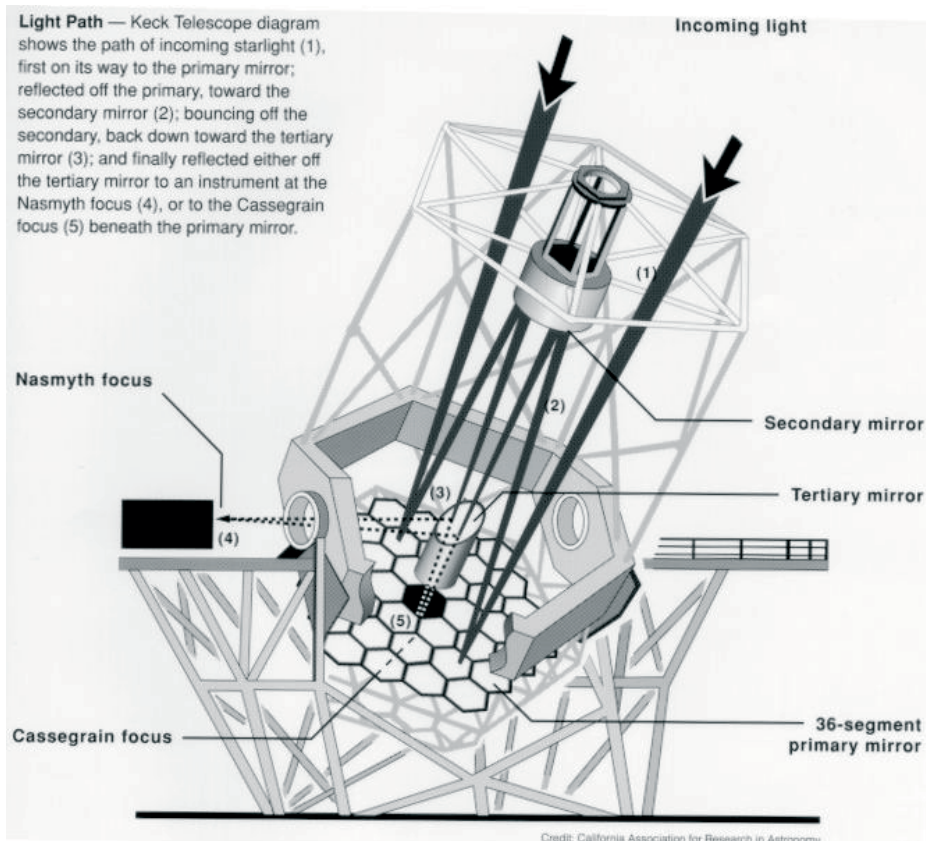
Jeden z najväčších zrkadlových ďalekohľadov na svete sa nachádza na vrchu Semirodnyky na Kaukaze, a jeho parabolické zrkadlá majú priemer 6 metrov.

Najväčší zrkadlový ďalekohľad Keck 1 sa nachádza na Havajských ostrovoch. Priemer jeho zrkadiel je 10 metrov. Tento teleskop je taký silný, že teoreticky by mohol zachytiť svetlo sviečky vzdialenej 24 000 kilometrov

Viete odpovedať?

1. Prečo sa oči veľmi rýchlo unavia, keď máme pri čítaní knihu blízko očí?
2. Za súmraku alebo na svitaní sa nám javí okolitý svet akoby šedomodrý. Čím to je spôsobené?

Zo života



Zoznam použitej literatúry :

B. Klimeš , J. Krajčík , A. Ženíšek Základy fyziky II
Fyzika pre 9. ročník základných škôl J. Janovič, A. Chalupková, V. Lapitková,
<http://fyzikus.fmph.uniba.sk/typo/index.php?id=1>
http://www.infostat.sk/new_web/sk
<http://veda.sme.sk/>
<http://www.infovek.sk/predmety/fyzika/index.html>
<http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/fyzika-a-astronomia/>
<http://www.quido.cz/fyzika/uvod.htm>
<http://www.tahaky-referaty.sk/ultrazvuk-a-jeho-pouzitie/26982/>
<http://www.ovesmire.webzdarma.cz/technologie/technologie-dalekohlady.html>
<http://www.priklady.eu>
<http://web.souplevoca.sk/view.php?cislocclanku=2007080027>
http://sk.wikipedia.org/wiki/R%C3%BDchlos%C5%A5_zvuku
<http://sk.wikipedia.org/wiki/Zvuk>
<http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/fyzika-a-astronomia/18002/zvuk>
<http://www.gbl.cz/seminarky/zvukove-vlny/index.htm>
<http://www.gympos.sk/gymposdata/predmety/fyzika/kvizobrazky/zvuk.gif>
http://www.jamesak.sk/JamesTrencin/akcie/labut_a_laco23.jpg
<http://registerkultury.gov.sk/podujatia/foto/f560.jpg>
http://os2.zemris.fer.hr/wm/2001_petrovic/pics/echo-yes.jpg
<http://infosluch.sk/wordpress/wp-content/uploads/2006/06/casti-ucha.jpg>
<http://tama-do.com/roothtmls/research/Jacques-A440-103-cropped2.jpg>
http://www.stihl.sk/main/page/novinky/picx_4mix/zvuk.gif
http://www.gjgt.sk/digitalna_studovna/fyzika.html -zaujímavé
http://www.antiskola.eu/referaty/index.php?page=show_info&obl=36