



# 5.1 Mechanické vlnění

## Vlnění

- mechanické ... mimo jiné zvuk  sluch
- elektromagnetické ... mimo jiné světlo  zrak
- 2 z našich smyslů jsou založeny na vnímání vlnění!

## Mechanické vlnění



- je kmitání šířící se pružným látkovým prostředím
- pružné prostředí si můžeme představit jako „šňůru“ vzájemně vázaných mechanických oscilátorů

# Mechanické vlnění

## Vlnění

- se šíří z oscilátoru na oscilátor
- oscilátory kmitají kolem své rovnovážné polohy
- tedy nepřenáší se látka
- přenáší se
  - energie
  - informace

## Vlnění podle směru výchylky kmitů

- podélné  směr kmitů je shodný se směrem šíření
- příčné  směr kmitů je kolmý na směr šíření

# Opakování – veličiny popisující kmity

## Perioda $T$

- doba trvání jednoho kmitu oscilátoru  $[T] = \text{s}$

## Frekvence $f$

- počet kmitů oscilátoru za jednotku času (za 1 s)

$$f = \frac{1}{T} \quad [f] = \text{Hz} = \text{s}^{-1}$$

## Úhlová rychlost (úhlová frekvence) $\omega$

- používá se vzhledem k souvislosti kmitů s RPK

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad [\omega] = \text{rad.s}^{-1}$$

# Veličiny popisující vlnění

## Vlnová délka $\lambda$

- vzdálenost mezi nejbližšími sousedními místy se stejnou fází (vrcholy, či důly vln)  $[\lambda] = \text{m}$

## Fázová rychlost $v$

- rychlost šíření místa s danou fází (vrcholu, důlu)

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \quad [v] = \text{m.s}^{-1}$$



## Vlnočet $\sigma$

- převrácená hodnota vlnové délky  
 $[\sigma] = \text{m}^{-1}$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda}$$

# Interference vln, stojaté vlnění

## Vlnění podle fázové rychlosti



- postupné   $v > 0$  běžné vlnění z 1 zdroje
- stojaté   $v = 0$  vznik interferencí 2 vln

## Interference

- zesilování, nebo zeslabování 2 různých vln
- při blízkých frekvencích vznikají zázněje
- složením 2 proti sobě jdoucích vlnění o přesně stejné vlnové délce a fázové rychlosti vzniká stojaté vlnění
- může jít o odraz vlny na „konci“ prostoru, kde se šíří
- typickým příkladem je chvění struny (kytara, housle)

# Stojaté vlnění, kmitny a uzly

## Při stojatém vlnění (chvění) vznikají

- kmitny  místa s největší amplitudou kmitů
- uzly  místa, která nekmitají vůbec (amplituda je rovna nule)

## Otázky pro muzikanty

- Kde musí logicky být uzly struny na kytáře?
- Víte co jsou to flažolety a jak je zahrát?
- Víte jak je možné využít flažolety při ladění kytary?

# Vlny na vodě

## Otázky pro chytré hlavy

- Jsou vlny na vodě podélné, nebo příčné vlnění? Vzpomeňte si na vlny na moři.
- Proč se na vodní hladině dělají kruhy, i když do ní hodíte hranatý kámen?
- Proč se výška vln tvořících kruhy na vodě postupně snižuje?
- Víte jak nejčastěji vznikají vlny tsunami?
- Když tsunami dorazí do mělkých vod u pobřeží, její rychlost se snižuje. Proč současně roste výška vlny?

# 5.1p Zvuk, akustika

## Zvuk

- mechanické vlnění, které můžeme vnímat sluchem
- jeho vznikem, šířením a vlastnostmi se zabývá akustika

## Zvuky

- hluky ... nepravidelné, neperiodické vlnění
- tóny ... pravidelné periodické vlnění

## Akustika

- fyzikální ... popis veličinami
- hudební ... popis notami a volbou nástrojů  
(aranžmá, barva zvuku)



# Slyšitelný zvuk, infra~ a ultra~

## Slyšitelný zvuk

- od frekvence 16 Hz do 16 kHz (16 000 Hz)
- frekvence určuje výšku tónu, komorní a ...  $f = 440$  Hz
- „příměsi“ násobků základní frekvence (tzv. vyšších harmonických frekvencí) určují barvu tónu

## Ultrazvuk

- mechanické kmitání s frekvencí vyšší než 16 kHz
- vnímají ho psi, delfíni (komunikace), netopýři (noční „vidění“ - orientace v prostoru podobná radaru)
- lidé ho využívají v lékařství ( $f = 300$  až 500 Mhz !), k čištění brýlí a šperků, námořníci jako echolot

# Zvuk, infrazvuk a intenzita zvuku

## Infrazvuk

- mechanické kmitání s frekvencí nižší než 16 Hz
- u citlivých osob vzbuzuje pocit úzkosti a strachu
- může být vyvolán zemětřesením (seismologie)

## Intenzita zvuku $I$ (angl. intensity of sound)

- účinek zvuku, infra~ i ultra~ výrazně závisí na jeho intenzitě, která je definována jako výkon zvukového vlnění procházející kolmo danou plochou

$$I = \frac{P}{S}$$

$$[I] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

# Hladina intenzity zvuku

## Subjektivní hlasitost zvuku

- není přímo úměrná intenzitě zvuku, ale roste spíše s exponentem (mocnitelem), vyjádříme-li ji pomocí čísla v semilogaritmickém tvaru ( $\times 10^n$  ... roste s  $n$ )

## Hladina intenzity zvuku $L$ (angl. level)

- je logaritmus poměru intenzity zvuku ku intenzitě „ticha“ (tichem myslíme hraniční intenzitu zvuku, při které zvuk už neslyšíme)

$$L = \log \frac{I}{I_0}$$

$$[L] = \text{B} \dots \text{bel} \\ \text{dB} \dots \text{decibel}$$

# Hladina intenzity zvuku, decibel

## Intenzita zvuku a hladina intenzity zvuku

- ticho  $I_0 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$   $L_0 = 0 \text{ dB}$
- ševelení listí  $I = 1 \cdot 10^{-9} \text{ W.m}^{-2}$   $L_0 = 30 \text{ dB}$
- hovor 2 osob  $I = 1 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}$   $L_0 = 60 \text{ dB}$
- diskotéka  $I = 1 \cdot 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$   $L_0 = 90 \text{ dB}$
- práh bolesti  $I = 1 \text{ W.m}^{-2}$   $L_0 = 120 \text{ dB}$

$$L = \log \frac{I}{I_0}$$

# Rychlost zvuku ve vzduchu

## Rychlost zvuku ve vzduchu

- přibližně 1/3 km/s
- přesněji – závisí na tlaku a teplotě vzduchu
- při normálním tlaku 20 °C ...  $v = 343 \text{ m.s}^{-1}$   
0 °C ...  $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$   
- 20 °C ...  $v = 319 \text{ m.s}^{-1}$
- Dokážete odvodit vzorec pro závislost  $v$  na  $t$  ?
- Jak daleko je bouřka, když od záblesku blesku napočítáme 6 s a teprve pak zaburácí hrom?

# Ozvěna a dozvuk, zvuk ve vodě

## Při dopadu na stěnu se zvuk odráží

- při vzdálenosti větší než 17 m slyšíme opakování zvuku se slabší intenzitou ... ozvěna
- při menší vzdálenosti oba zvuky splývají a výsledný zvuk je zkreslený ... dozvuk (hudbu většinou kazí)
- akustika hudebních sál musí být prostá dozvuků a hluchých míst (nežádoucí interference), proto se stěny „rozbíjejí“ na malé plochy – členitost, nebo se obkládají materiály pohlcujícími zvuk
- ve vodě se zvuk šíří lépe (méně se tlumí) a rychleji než ve vzduchu ( $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ... komunikace kytovců



# Dopplerův jev

## Změna frekvence vlnění při pohybu zdroje

- výška tónů houkající sanitky se změní, když nás míjí
- při přibližování je tón vyšší; při vzdalování nižší
- lékařský ultrazvuk měří pomocí DJ rychlost průtoku krve ve velkých cévách
- policejní radar (nepoužívá mechanické vlny, ale elmg. vlny – tzv. mikrovlny) měří DJ rychlost automobilů
- díky DJ víme, že se náš Vesmír rozpíná
- Christian Doppler žil v 1. polovině 19 století, učil na pražské technice (dnešní ČVUT)

## 5.2 Elektromagnetické vlny

### Vlnění

- elektromagnetické ... mimo jiné světlo  zrak
- mechanické ... mimo jiné zvuk  sluch
- 2 z našich smyslů jsou založeny na vnímání vlnění!

### Elektromagnetické vlny

- kmitání šířící se díky vazbě mezi elektrickým a magnetickým polem
- spojené elmg. pole se šíří prostorem jako elmg. vlny
- nepotřebují žádné pružné prostředí, šíří se i ve vakuu



# Elektromagnetické vlny. Světlo

## Elektromagnetické vlny

- příčné vlnění ... oba „kmitající“ vektory, popisující el. a mg. složku pole jsou kolmé ke směru šíření vlny i k sobě navzájem
  - intenzita elektrického pole  $E$
  - magnetická indukce  $B$
- rychlost šíření elmg. vlnění závisí na prostředí
- nejrychlejší je elmg. vlnění ve vakuu
- **světlo** je elmg. vlnění, které vidíme
  - ( $\lambda = 390 \text{ nm}$  až  $790 \text{ nm}$ )
- rychlost světla = rychlost elmg. vln ve vakuu

# Rychlost světla ve vakuu $c$

## Rychlost elmg. vln ve vakuu

- je nejvyšší možná rychlost jakéhokoliv hmotného objektu (tělesa, částice) ve vesmíru
- poloměr viditelného vesmíru ( $c \times$  stáří vesmíru)
- nic se nemůže pohybovat rychleji, pouze fotony (částice svázané s elmg. polem) mohou rychlosti světla dosáhnout, ostatní objekty se mohou jen hodně přiblížit (*vzpomeňte na absolutní nulu 0 K*)
- budeme si pamatovat  $c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$   
(*300 000 kilometrů za sekundu ...  $\approx$  Země - Měsíc*)
- přesná hodnota  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$

# Spektrum elektromagnetických vln

## Elmg. vlny od nejdelších po nejkratší $\lambda$

- rádiové vlny ... 30 km až 1 m
- mikrovlny ... 1 m až 30  $\mu\text{m}$
- infračervené záření ... 30  $\mu\text{m}$  až 790 nm
- viditelné světlo ... 790 nm až 390 nm
- ultrafialové záření ... 390 nm až 10 nm
- rentgenové záření ... 10 nm až 1 pm
- záření gama ... < 300 pm

Jednotlivá pásma se ještě často dále dělí (DV, SV, KV, VKV, UVA, UVB, měkké RTG, tvrdé RTG).

# Spektrum viditelného světla

**V přírodě – barvy duhy – opět podle  $\lambda$**

- červená
- oranžová
- žlutá
- zelená
- modrá
- fialová

**Vznik barev duhy nezávisle na sobě vysvětlili**

- Isaac Newton
- Marcus Marci z Kronlandu (*z Lanškrouna*),  
první český fyzik

# Infračervené a ultrafialové záření

## Infračervené záření

- projevuje se tepelnými účinky (sálání tepla)
- proto se mu také někdy říká tepelné záření

## Ultrafialové záření

- pro nás neviditelné, ale někteří živočichové ho vnímají
- UVA ... 99 % z UV záření ze slunce, neškodné
- UVB ... 1 % !! poškozují zrak, může vyvolat rakovinu kůže
- tvrdší UV záření zachytí atmosféra Země

# Rentgenové záření

## Původně „Paprsky X“

- objevil roku 1895 W. C. Röntgen
- roku 1901 obdržel jako 1. Nobelovu cenu za fyziku
- velký význam má v lékařství, zejména v chirurgii
- s RTG zářením pracuje i CT (počítačová tomografie)

## Měkké a tvrdé elmg. záření

- čím je kratší vlnová délka elmg. vln
- tím je vyšší jeho frekvence (nepřímá úměrnost)
- tím snáze proniká záření různými látkami, včetně tkání těl organismů (UVA < UVB < RTG)
- lépe pronikající záření nazýváme **tvrdé elmg. záření**

# Rádiové vlny a jejich šíření

Pokračování příště ...

## 5.2p Modulace a přenos signálu

### Rádiové vlny

- elektromagnetické vlny s velkou  $\lambda$
- používají se pro přenos signálů (rozhlas, televize, mobilní telefony, wi-fi sítě, spojení s družicemi, ...)
- zachránili už mnoho lidských životů, nelze si bez nich představit dobývání vesmíru, ...
- teoreticky je předpověděl James Clark Maxwell
- o 12 let později je experimentálně vytvořil Heinrich Rudolf Herz
- o dalších 10 let později zachraňují rádiové signály první lidské životy při námořních katastrofách



# Rádiové vlny a jejich šíření

## Spektrum rádiových vln a mikrovln

- DV ... dlouhé vlny 2 km až 1 km
- SV ... střední vlny 600 m až 150 m
- KV ... krátké vlny 50 m až 15 m
- VKV ... velmi krátké vlny 15 m až 1 m
- UKV ... ultra krátké vlny už vlastně nejsou rádiové vlny, ale mikrovlny 100 cm až 1 cm

Televizní vysílání probíhá v pásmech VKV a UKV. Úzkým pásům dohodnutých frekvencí se říká kanály.

# Rádiové vlny a jejich šíření

## Způsob šíření radiových vln závisí na $\lambda$

- DV ... se snadno ohýbají za překážky a okolo Země
- SV ... podobně jako DV, lépe se šíří v noci
- KV ... odrážejí se od ionosféry; dálková spojení
- VKV ... šíří se hlavně přímočaře;  
antény: půlvlnný dipól, Yagi
- UKV ... šíří se pouze přímočaře (jako světlo);  
antény s parabolickým odražečem (reflektorem)

# Modulace a přenos signálu

## Typy modulace

- „primitivní modulace“ – přerušování vysílání vln;  
1905 – Morseova abeceda; radiotelegrafie
- **amplitudová modulace** – výkon vysílače (amplituda) se mění v rytmu zvukového kmitání snímaného mikrofonem ( $f_{\text{zvuku}} \ll f_{\text{nosné elmg. vlny}}$ )  
1920 – veřejné rozhlasové vysílání – DV, SV, KV
- **frekvenční modulace** –  $f$  vysílače se mění, výsledná  $f$  je dána součtem (nebo rozdílem) základní  $f$  vysílače a  $f$  zvuku nebo videosignálu; umožňuje v rámci kanálu obraz a stereo zvuk zároveň

# Modulace a přenos signálu

## Další využití elmg. vln

- **digitální signál**

„0“ ... základní  $f$ , „1“ ... změněná  $f$

1905 – Morseova abeceda; radiotelegrafie

- **radar** (radiolokátor)

využívá odrazu elmg. mikrovln od letadel nebo lodí k sledování jejich pohybu (nejdřív vojenské využití, v civilu řízení letového provozu, navigace v mlze, ...)

- **výzkum vesmíru**

radioteleskopy – např. objev tzv. reliktního záření; snaha o navázání kontaktu s mimozemskou civilizací


# Modulace televizního signálu

## Vyvíjela se v průběhu let

- **černobílé > barevné vysílání**  
černobílé – pouze informace o jasu jednotlivých míst obrazovky; barevné – trojnásobná informace o jasu tří základních barev RGB (red – green – blue)
- **monofonní > stereofonní**  
jeden zvukový signál, nebo dva zvukové signály LR (left – right), člověk vnímá prostorový (stereo) zvuk
- **analogové > digitální**  
způsob modulace všech signálů na nosnou vlnu
- **pozemní > satelitní** (podle umístění vysílače)

## 5.3 Světlo

### Světlo


- elmg. vlnění, které nám umožňuje vidět okolní svět
- a tím získávat řadu informací a poznatků
- elmg. vlnění, které umožňuje fotosyntézu  život
- sluneční světlo je hlavní zdroj energie planety Země

### Optika

- část fyziky zkoumající světlo a světelné jevy

# Zdroje světla

## Teplé světlo


- elmg. vlnění vyvolané kmitání elektronů v atomech
- celé spektrum záření, jehož maximum se mění podle teploty zahřátého tělesa
- modelový zdroj  černé těleso (dutina)
- záření černého tělesa je v rovnováze s teplotou dutiny, proto můžeme hovořit o teplotě záření

## Chladné světlo

- luminiscence (fosforescence a fluorescence)
- svatojánské mušky, zářivky, televizní obrazovky, ...

# Zdroje světla - laser

## Laser

- záblesk světla mnoha atomů je vybuzen naráz
- světlo laseru je monochromatické (má přesnou  $\lambda$ )
- a koherentní  jednotlivé vlny mají stejnou fázi
- proto lze tímto světlem také vrtat, řezat, operovat, ...
- lasery se používají v počítačových tiskárnách, v mechanikách CD, DVD a blue-ray, jako nosná vlna pro signál ve světlovodných datových kabelech



# Zdroje světla podle geometrie

## **Bodový zdroj**

- všechny paprsky světla vycházejí z jednoho bodu ( $\approx$  plamen svíčky, vlákno žárovky)

## **Bodový zdroj v $\infty$**

- Slunce je velmi daleko od Země, jeho paprsky jsou rovnoběžné

## **Plošný zdroj světla**

- na rozdíl od bodového zdroje nedává ostrý stín, ale pozvolný „měkký“ přechod mezi světlem a stínem
- vhodné osvětlení pro jemnou práci (zubní lékař)

# Dělení látek podle chování světla

## **Průhledné látky**

- čiré – propouští světlo beze změny
- barevné – propouští jen světlo určité barvy
- je skrz ně vidět

## **Průsvitné látky**

- rozptylují světlo tak, že skrz ně není vidět, i když světlo jimi (alespoň částečně) prochází

## **Neprůhledné látky**

- světlo jimi neprojde vůbec
- světlo buď pohlcují nebo odráží (často obojí)

# Barva látek

## **Barevné průhledné látky**


- propouští jen světlo určité barvy

## **Barevné neprůhledné látky**

- pohlcují jen světlo určité barvy (a ostatní barvy se složí do barvy, kterou vnímáme)
- případně odráží jen světlo určité barvy

## 5.3p Odraz a lom světla

### Rychlost světla v různých prostředích

- není stejná!
- nevyšší je rychlost světla ve vakuu (nepřekročitelná hraniční rychlost pro všechny hmotné objekty)
- připomínáme:  $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 300\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$
- v látce se může např. elektron pohybovat rychleji než světlo (foton)  vzniká Čerenkovovo záření
- poměr rychlosti světla  $c$  ve vakuu a rychlosti světla  $v$  v látce (v prostředí) nazýváme **index lomu** látky (vody, skla, ...)

$$n = \frac{c}{v}$$

# Zákon odrazu a zákon lomu

## Tyto zákony lze odvodit

- z vlnových vlastností světla pomocí **Huygensova principu** ... viz učebnice str. 195
- z částicových vlastností světla (představa fotonů jako miniaturních dokonale pružných kuliček) pomocí **Fermatova principu** (zjednodušeně řečeno světlo se pohybuje tak, aby pohyb z bodu A do B trval nejkratší možnou dobu)
- představy světla jako částice (Newton) nebo vlnění (Huygens) spolu v historii optiky soupeřily
- dnešní představa: světlo má vlnové i korpuskulární (částicové) vlastnosti, komplexní pohled je složitější

# Zákon odrazu a zákon lomu

## Oba zákony mají společnou 1. část

- odražený (lomený) paprsek zůstává v rovině dopadu
- rovina je dána dvěma přímkami
  - dopadající paprsek
  - kolmice dopadu (tj. kolmice k rovině rozhraní, vztyčená v bodě dopadu paprsku)
- úhel dopadu  $\alpha$  je úhel, který svírají tyto dvě přímky

## Zákon odrazu ... 2. část

- úhel odrazu  $\alpha'$  se rovná úhlu dopadu  $\alpha$
- známe z kulečnicku; úhel odrazu je úhel, který svírá odražený paprsek s kolmicí dopadu

# Zákon lomu = Snellův zákon

## 1. část

- lomený paprsek zůstává v rovině dopadu

## 2. část

- úhel dopadu je  $\alpha$  , úhel lomu označíme  $\beta$
- index lomu 1. prostředí (dopadající paprsek) je  $n_1$
- index lomu 2. prostředí (dopadající paprsek) je  $n_2$
- pak platí

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

# Důsledky zákona lomu

## **Cimrmanův zákon lomu**

- Hůl do vody ponořená zdá se býti nalomená.

## **Máme dva typy lomu světla**

- lom ke kolmici (z opticky řidšího prostředí do opt. hustšího)
- lom od kolmice (z opt. hustšího prostředí do opt. řidšího)
- v případě lomu od kolmice může při zvětšování úhlu dopadu nastat úplný odraz světla

## **Analogie s běžcem**

- opticky hustší ... „oranice“; opticky řidší ... „louka“
- běžec se řídí Fermatovým principem ... jak poběží?




# Úplný odraz světla

- v případě lomu od kolmice může při zvětšování úhlu dopadu nastat úplný odraz světla při mezním úhlu  $\alpha_m$

$$n_1 \sin \alpha_m = n_2 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$$

- pozorujeme při pohledu z vody do vzduchu (kruhové okno), v parném létě na „zdánlivých loužích“, které vidíme na rozpálené silnici
- využíváme u skleněných světlovodných vláken (v lékařství endoskopy, v ICT datové kabely)
- využíváme při odrazu na vnitřní straně opt. hranolů (triedry, periskopy)

# Další pozorované světelné jevy

- **dvojlom** světla na některých krystalech (řádný a mimořádný lomený paprsek) – islandský vápenec
- **rozklad** bílého světla na **barevné spektrum** (popsali a vysvětlili nezávisle Jan Marek Marci z Lanškrouna a Isaac Newton)
- vlnové vlastnosti světla  **interference** a **difrakce**
- protože světlo je příčné elmg. vlnění, je možné jej **polarizovat** (odrazem, lomem, rozptylem)  
polarizátor – analyzátor
  - fotografové používají polarizační filtr
  - rybáři – muškaři polarizační brýle

## 5.4 Zrcadla a čočky

### Geometrická optika

- při zkoumání zobrazení optickými prvky a přístroji nemusíme brát v úvahu vlnové vlastnosti světla
- světlo lze považovat za přímočaré paprsky (které znázorňují tok částic světla), které se odrážejí nebo lámou podle geometrických zákonů

### Zrcadlo

- lesklá plocha, která dobře odráží světlo

### Čočka

- průhledné těleso, které láme světelné paprsky

# Skutečný a zdánlivý obraz

## Skutečný obraz

- jestliže se paprsky vycházející z jednoho bodu opět sejdou v jednom místě, vzniká **skutečný obraz**
- obraz zdroje světla (plamen svíčky, vlákno žárovky) **můžeme zachytit na stínítku** (princip projektorů)

## Zdánlivý obraz

- pokud se odražené, nebo lomené paprsky rozbíhají, ale jejich prodloužení „zpět“ se setkávají v jednom místě (z něhož zdánlivě vycházejí) vzniká **zdánlivý obraz**
- zdánlivý obraz **nemůžeme zachytit na stínítku**

# Skutečný obraz v praxi

## Skutečný obraz

- skutečným obrazem Slunce můžeme zapálit oheň
- vzniká na sítnici oka a odtud je přenesen do mozku
- vzniká na citlivém prvku digitálního fotoaparátu (CCD snímač) a je digitalizován a uložen do paměti
- vzniká při promítání různými druhy projektorů (diaprojektor, filmový projektor, dataprojektor)
- vzniká zobrazením preparátu objektivem mikroskopu, tento skutečný obraz pak pozorujeme přes okulár jako přes lupu (a tak můžeme celkové zvětšení mikroskopu vypočítat jako součin zvětšení objektivu a okuláru)

# Vlastnosti obrazu - přehled

## **Obraz**

podle reálnosti – jde zachytit na stínítku?

- skutečný
- zdánlivý

## **Obraz**

podle orientace – vzhledem k předmětu

- vzpřímený ... na stejnou stranu od optické osy jako předmět
- převrácený ... na opačnou stranu od optické osy než předmět

## **Obraz**

podle velikosti – vzhledem k předmětu

- zvětšený
- zmenšený
- 1:1

# Významné body zrcadla a čočky

## Zrcadlo

- střed křivosti zrcadla ... S
- vrchol zrcadla ... V
- ohnisko (*focus*) ... F
- pro tyto body platí:
  - poloměr křivosti zrcadla  $r = |SV|$
  - ohnisko je středem úsečky SV
  - přímka spojující body S a V je optická osa
  - ohnisková vzdálenost  $f = |FV|$

$$f = \frac{r}{2}$$

# Významné body zrcadla a čočky

## Čočka

- optický střed čočky ... S
- předmětové ohnisko ... F
- obrazové ohnisko ... F'
- pro tyto body platí:
  - optický střed S je středem úsečky FF'
  - přímka spojující body F a F' je optická osa
  - ohnisková vzdálenost  $f = |FS| = |F'S|$
- u spojky je předmětové ohnisko F v předmětovém prostoru „vlevo od čočky“ a obrazové ohnisko F' v obraz. prostoru „vpravo od čočky“, ale u rozptylky se jejich pozice navzájem vymění !!! (má zápornou ohnisková vzdálenost)



# Význačné zobrazovací paprsky

## Rovnoběžně >> ohnisko

- paprsek jdoucí rovnoběžně s optickou osou
- se odráží do ohniska  $F$  (*zrcadlo*)
- se láme do obrazového ohniska  $F'$  (*spojka*)
- se láme tak, jako kdyby vycházel z obrazového ohniska  $F'$  (*rozptylka*)

## Ohnisko >> rovnoběžně

- paprsek procházející ohniskem  $F$  (*tj. u čoček předmětovým ohniskem*) se odráží, nebo láme tak, aby šel rovnoběžně s optickou osou

# Význačné zobrazovací paprsky

## Paprsek jdoucí středem S - pro kontrolu

- paprsek jdoucí středem křivosti zrcadla se odrazí zpět po přímce, po které „přišel“ (*změní jen směr*)
- paprsek jdoucí optickým středem čočky se neláme (*pokračuje i po průchodu čočkou v daném směru*)

## Geometrická optika

- se dostává do hlavy prostřednictvím ruky, která kreslí, proto si několik konstrukcí narýsujeme, abychom pravidla pro chod paprsků dostali „do krve“

## 5.4p Optické přístroje

### Dalekohledy

- čočkové (refraktory)
  - holandský (Galileův) ... objektiv / okulár
  - Keplerův (hvězdářský) ... spojka / rozptylka
- zrcadlové (reflektory)
  - Cassegrainův ... duté z. / vypuklé z. / spojka
  - Newtonův ... duté z. / rovinné z. / spojka

### Zajímavosti

- triedr (obraz Keplerova dalekohledu otočený o  $180^\circ$  se vrací zpět pomocí odrazu na rovinných plochách 2  $\Delta$  hranolů)
- periskop (umožňuje bezpečný pohled ven z ponorky, tanku, ...)

# Úhlové zvětšení dalekohledu

- je dáno poměrem tangensů úhlu, který svírá paprsek vycházející z okuláru s optickou osou, a úhlu, který svírá paprsek dopadající do objektivu
- u astronomických dalekohledů je tím dána schopnost rozlišit blízké objekty, hvězdy jsou tak vzdálené, že se nám i v dalekohledu jeví jako svítící body, ale vidíme jich víc a jsou od sebe vzájemně vzdálenější
- úhlové zvětšení běžně užíváme i u dalších optických přístrojů, např. u lupy

# Lupa a mikroskop

- lupa je spojná čočka, kterou přikládáme k oku, abychom uviděli obraz zvětšený, vzpřímený a zdánlivý
- úhlové zvětšení lupy je dáno poměrem konvenční zrakové vzdálenosti  $d = 0,25$  m a ohniskové vzdálenosti lupy  $f$ ; běžné zvětšení lup je 5 až 12

$$\gamma = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{d}{f}$$

- lupa je součástí dalšího opt. přístroje - mikroskopu

# Lupa a mikroskop

- **mikroskop** (drobnohled) slouží k pozorování velmi malých objektů
- **objektiv** je spojná čočka s velmi malou ohniskovou vzdáleností, která **vytváří** zvětšený, převrácený a **skutečný obraz**; ten pak pozorujeme okulárem jako lupou

$$Z = \gamma \gamma_0 = \frac{\Delta}{f} \frac{d}{f_0}$$

- úhlové zvětšení mikroskopu  $Z$  je součinem zvětšení objektivu  $\gamma$  a okuláru  $\gamma_0$ ;  $\Delta$  označuje optický interval

Určeno pro prezentaci přednášky Vybrané kapitoly z fyziky pro studenty OVP.

Byly použity materiály z <http://www.musilek.eu/fyzika> , které vycházejí z učebnice

Ivan Štoll: Fyzika pro netechnické obory SOŠ a SOU, Prometheus, Praha 2001