



Akustika a optika

Fyzika 1. ročník

Vzdělávání pro konkurenceschopnost
Inovace výuky oboru Informační technologie

Mgr. Petr Kučera



Obsah témat v kapitole Akustika a optika



Kmitavý pohyb

Postupné vlnění

Šíření vlnění

Odraz a ohyb vlnění

Vznik a druhy zvuku

Šíření zvuku

Vlastnosti zvuku

Infrazvuk a ultrazvuk

Elektromagnetické vlnění

Vlastnosti světla

Odraz a lom světla

Zrcadla

Čočky

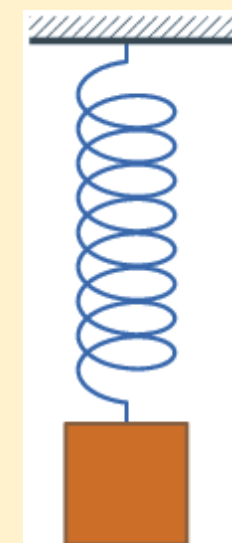
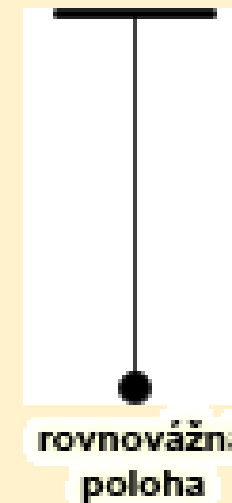
Zdroje světla



Kmitavý pohyb

Mechanické kmitání je pohyb, při němž se těleso vrací do tzv. rovnovážné polohy. Jestliže těleso tento pohyb koná pravidelně, označujeme ho jako pohyb **periodický**. Periodické pohyby konají např. části chvějící se struny na kytare, písty spalovacího motoru, kyvadlo nástěnných hodin, srdce při pravidelné srdeční činnosti, závaží na pružině apod.

Zařízení, které volně kmitá bez vnějšího působení se nazývá **mechanický oscilátor**. Příkladem mechanického oscilátoru je kulička zavěšená na niti, která představuje kyvadlo. Volně zavěšené kyvadlo je v **rovnovážné poloze**. Kyvadlo se po vychýlení vrací do rovnovážné polohy, kde má největší rychlost a pokračuje dál v pohybu, až dosáhne největší výchylky. Tam se zastaví a vrací se zpět. Odtud je zřejmé, že kmitavý pohyb patří mezi pohyby nerovnoměrné. Jestliže kyvadlo prošlo všemi naznačenými polohami, říkáme, že vykonalo jeden **kmit**.





Popis kmitavého pohybu

Závislost okamžité polohy kmitajícího tělesa na čase zobrazuje časový diagram,

kde na vodorovné ose je čas a na svislé ose je okamžitá výchylka tělesa.

Průběh kmitů můžeme sledovat osciloskopem.

Rovnice harmonického pohybu:

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

(Úhel ωt nazýváme fáze harmonického pohybu a veličinu ω úhlová frekvence.)



Periodický pohyb je charakterizován pravidelným opakováním určitého pohybu. Nejkratší doba, za kterou dojde k opakování stejného pohybu, je perioda T . Perioda nezávisí na rozkmitu. Počet opakování stejného pohybu za časovou jednotku je frekvence nebo-li kmitočet f . Vztah mezi oběma veličinami:

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

Jednotkou periody je **sekunda**. Jednotkou frekvence je **hertz** (Hz). Jeden hertz je frekvence periodického pohybu, jehož perioda trvá jednu sekundu. V praxi se častěji používají násobky – kilohertz kHz, megahertz MHz, gigahertz GHz.

Postupné vlnění



Zdroj:
www.freedigitalphotos.net.
Free picture.

Jako **vlnění** označujeme šíření **kmitavého rozruchu** prostředím. Vlněním se přenáší energie, částice kmitají, ale nepřemísťují se, kmitají kolem své rovnovážné polohy.

Místo, z něhož se rozruch šíří, se nazývá zdroj vlnění.

Příčinou mechanického vlnění je existence vazeb mezi částicemi (atomy, molekulami) prostředí, kterým se vlnění šíří. Kmitání jedné částice se vzájemnou vazbou přenáší na další částici. Současně se na tuto částici přenáší energie kmitavého pohybu. Říkáme, že se prostředím šíří **postupné vlnění**. Pro zjednodušení popisujeme vlnění, které se šíří jen v jednom směru. Jednotlivé částice si představíme jako řadu bodů vzájemně vázaných pružnými silami. Při postupném vlnění se pohybují všechny částice prostředí. Každá z nich dosahuje postupně amplitudy výchylky a pak je zase v určitém okamžiku v klidu.

Vlnění příčné



Vlnění podélné





Popis vlnění

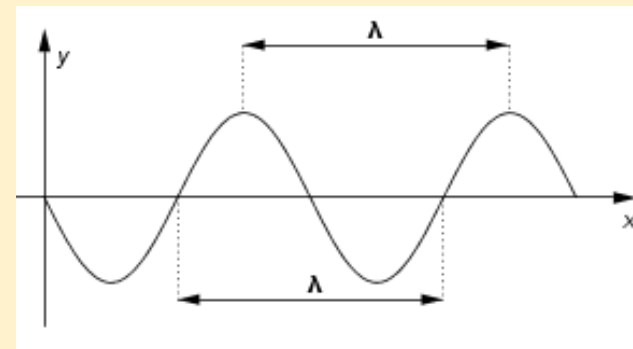
Mechanické vlnění se šíří jen **pružným prostředím** a jeho rychlost závisí na druhu prostředí. Dráhu, kterou vlnění proběhne za jednu periodu, nazveme **vlnová délka**. Vlnová délka je obecně vzdálenost kterýchkoli dvou nejbližších bodů, které kmitají se stejnou fází. Body ve vzdálenosti poloviny vlnové délky kmitají s opačnou fází. Pro vlnovou délku platí obdoba vztahu pro dráhu rovnoměrného přímočarého pohybu $s = v \cdot t$.

$$\lambda = v \cdot t$$

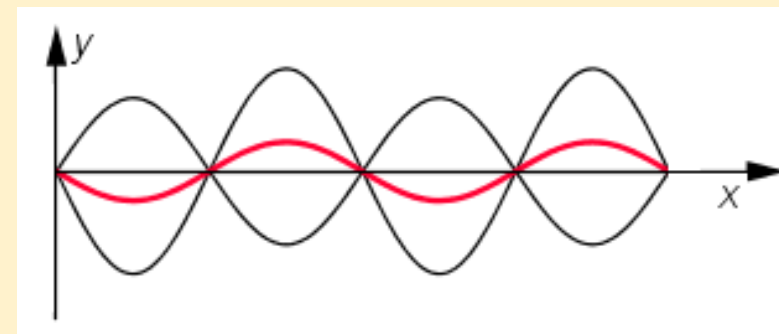
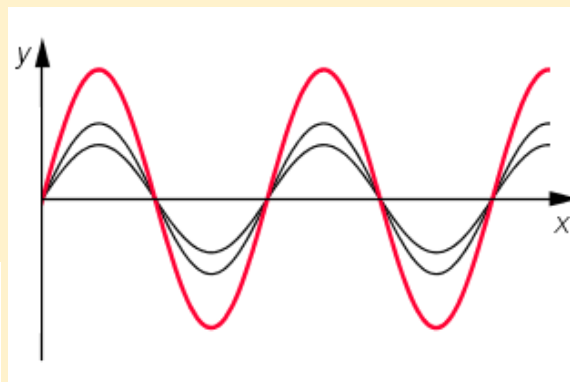
nebo

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

kde f je frekvence vlnění, což je frekvence kmitání jak počátečního bodu řady, tak všech ostatních bodů řady, k nimž kmitavý rozruch dospěje, λ vlnová délka a v rychlost šíření.



Pokud se do jednoho místa dostane současně vlnění z většího počtu zdrojů, dojde ke skládání vlnění. Tento jev nazýváme **interference** a může při něm dojít jak k zesílení, tak k zeslabení či vyrušení vlnění.



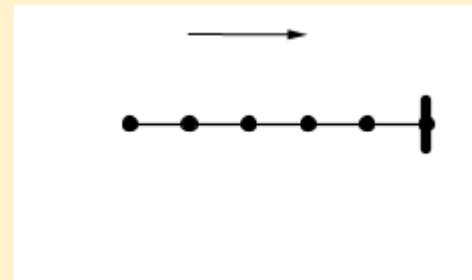


Stojaté vlnění

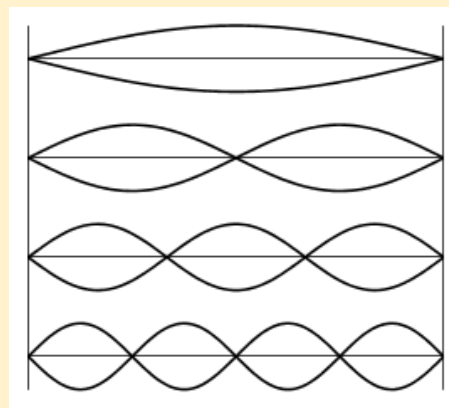
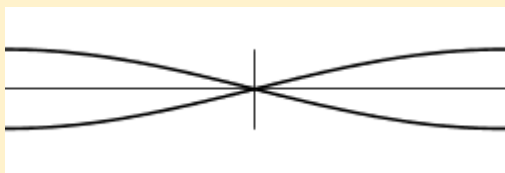
Velmi důležitý a zajímavý jev nastane, dorazí-li vlna na konec prostředí, např. na konec gumové hadice. Dojde k odrazu a vlna postupuje opačným směrem zpět. Jestliže k **pevnému** konci dospěl nejdříve vrch vlny a po něm důl, pak po odrazu je situace opačná. Nejdříve postupuje důl odražené vlny a teprve pak její vrch. Můžeme říct, že **fáze odražené vlny je opačná**.

Jiný průběh má odraz vlnění v případě, že vlna dorazí na **neupevněný** konec.

Na rozdíl od předchozího případu odraz probíhá tak, že fáze odražené vlny je **stejná jako fáze vlny před odrazem**.



Jestliže jeden konec pružného vlákna trvale harmonicky kmitá, postupuje vlnění ke druhému konci, tam se odráží a postupuje opačným směrem, ke zdroji vlnění. Nastává zajímavý a velmi důležitý případ, kdy interferují dvě stejná vlnění – přímé a odražené, která postupují stejnou rychlostí opačnými směry. Vznikne **vlnění stojaté** – chvění.

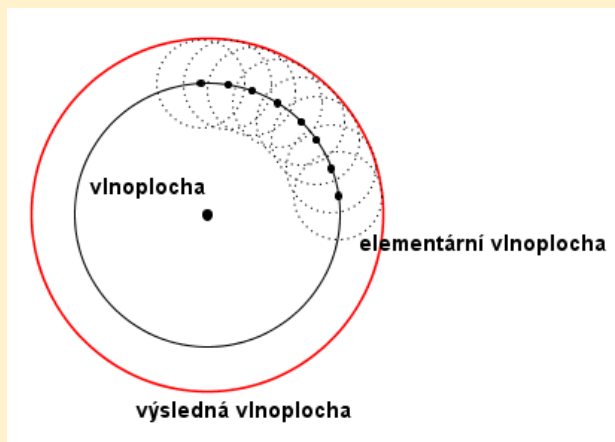
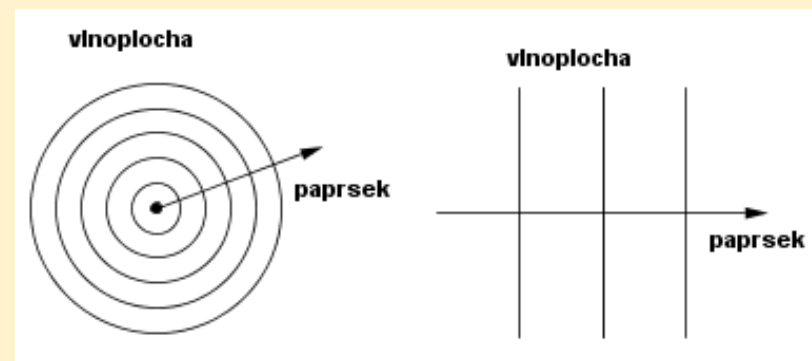


Chvění je charakteristické pro zdroje zvuku jako např. struny, tenké tyče, vzduchové sloupce, ale i pro lidské hlasivky. Chvění samozřejmě nepozorujeme jen u jednorozměrných předmětů. Důležitou roli hraje studium chvění desek, blan a jiných podobných objektů pro konstrukci různých elektroakustických zařízení (membrány reproduktoru, sluchátka, mikrofony apod.), u nichž požadujeme vysokou kvalitu přenosu zvukových signálů.



Šíření vlnění

Rychlost, kterou se vlnění šíří, závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí (pružnosti a hustotě). Stane-li se určitý bod prostředí, zdrojem kmitavého rozruchu, postupuje vlnění ze zdroje všemi směry. Všechny body, do nichž dospěje vlnění z bodového zdroje za stejnou dobu, leží na kulové ploše, kterou nazýváme **vlnoplocha**. Všechny body stejné vlnoplochy kmitají se stejnou fází. Směr šíření vlnění určuje přímka, která vychází ze zdroje vlnění kolmo na vlnoplochu a nazývá se paprsek. V blízkosti bodového zdroje vlnění se vytvářejí kulové vlnoplochy. Ve větších vzdálenostech od zdroje je však zakřivení kulových vlnoploch tak malé, že můžeme jejich části nahradit vlnoplochami rovinnými.

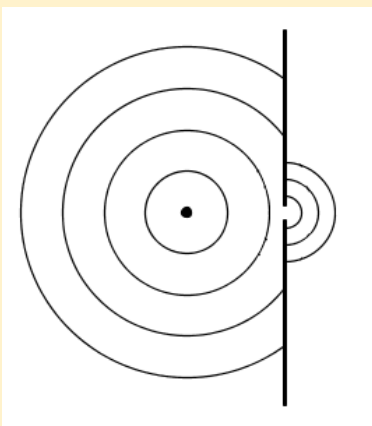


Pro šíření vlnění v libovolném pružném prostředí platí tzv. **Huygensův princip**. Každý bod vlnoplochy, do něhož dospěje vlnění v určitém okamžiku, se stává zdrojem nového, tzv. elementárního vlnění, které se šíří z tohoto zdroje v elementárních vlnoplochách. Vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch tvoří výslednou vlnoplochu v dalším časovém okamžiku.

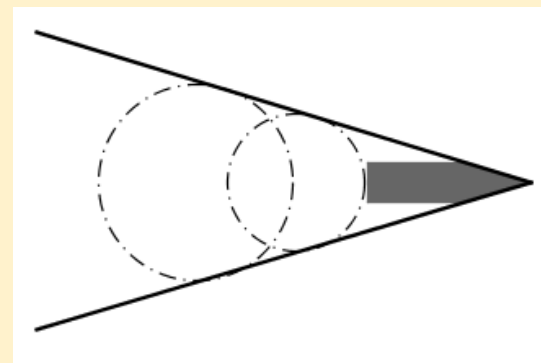


Pomocí Huygensova principu můžeme konstruovat vlnoplochy v každém dalším okamžiku šíření vlnění, známe-li polohu některé vlnoplochy v okamžiku předcházejícím, a to i tehdy, jestliže neznáme polohu zdroje vlnění.

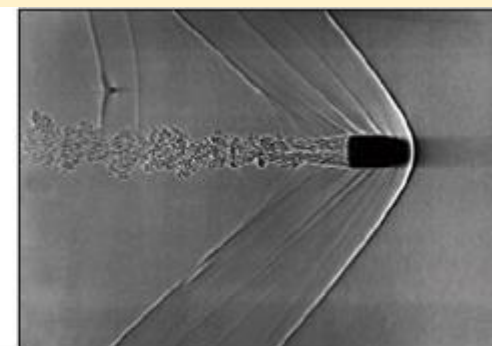
Příkladem může být šíření mechanického vlnění na vodní hladině. Jestliže použijeme překážku s malým otvorem, pak se za otvorem vytvářejí nové vlny tak, jako kdyby byl otvor zdrojem vlnění.



Na základě Huygensova principu můžeme vysvětlit, proč za lodí vzniká rozšiřující se brázda. Oba přímé okraje brázdy jsou obálkou kruhových vlnoploch s poloměry rostoucími úměrně s časem, a tedy i se vzdáleností od rovnoměrně plující lodi. [video akustický třesk](#)



Při pohybu tělesa rychlostí větší než jakou se šíří vlny **vzniká rázová vlna**. Při překonávání tlakové bariéry dochází k vyrovnání velmi rozdílných tlaků před a za tělesem, provázeném zvukovými efekty značné intenzity. Tento zvuk označujeme jako akustický třesk. Vznik akustického třesku doprovází například pohyb letadla překonávajícího rychlost zvuku, či pohyb střely.

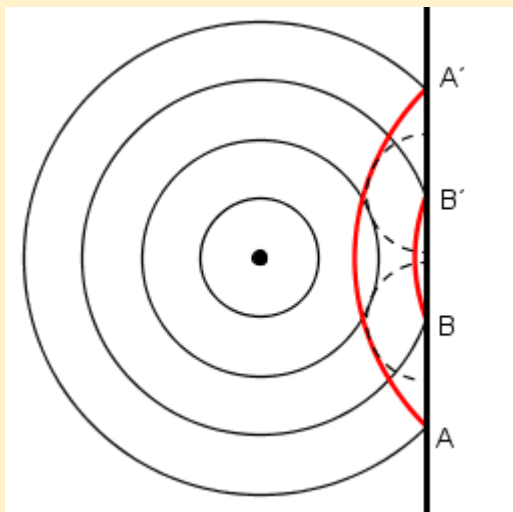


*Letadlo a střela pohybující se nadzvukovou rychlostí.
Zdroj: www.nasa.gov.*

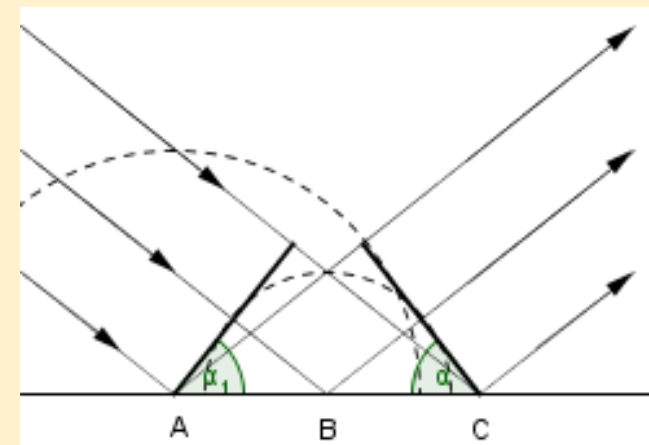


Odraz a ohyb vlnění

Jestliže vložíme vlnění do cesty překážku mohou nastat podle rozměrů překážky dva základní případy. Jestliže je překážka větší oproti vlnové délce, dochází k odrazu vlnění. Princip odrazu vlnění můžeme vysvětlit pomocí Huygensova principu. Sledujeme vlnoplochu, která postupuje ze zdroje k rovinné překážce. K ní vlnění dospívá postupně v bodech A, A', B, B'. V době, ve které vlnění dorazilo do bodu A a A', vznikly již kolem bodů B, B' elementární vlnoplochy. Jejich vnější obalová plocha tvoří výsledný tvar vlnoplochy odražené.



Podobným způsobem sestojíme tvar odražené vlnoplochy v případě odrazu vlnoplochy rovinné. Sledujeme rovinnou vlnoplochu, která svírá s rovinou překážky úhel dopadu α . Vlnění dospívá k překážce postupně v bodech A, B, C. V době, kdy vlnění dorazilo do bodu C, vznikla kolem bodu A a B elementární vlnoplocha. Vnější obálka obou elementárních vlnoploch dává vlnoplochu odraženou, která je rovinná a svírá s překážkou úhel odrazu α' . Úhel odrazu vlnění se rovná úhlu jeho dopadu na překážku = zákon odrazu vlnění.





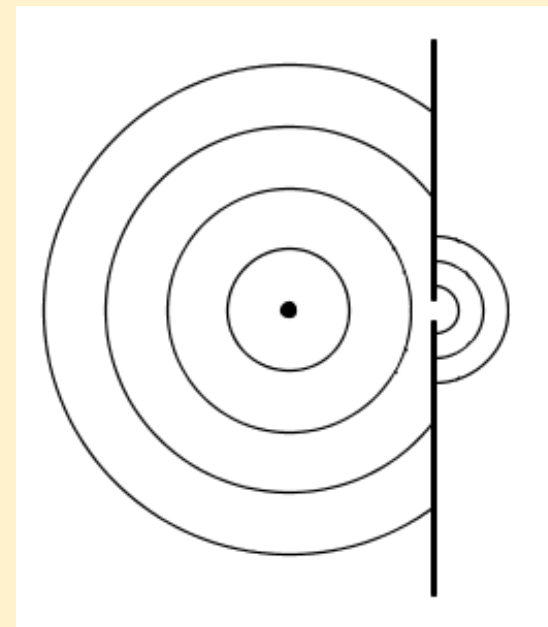
Jestliže je překážka menší oproti vlnové délce, dochází k ohybu vlnění. Princip ohybu vlnění můžeme také vysvětlit pomocí Huygensova principu. Okraje překážky, k nimž vlnění dospěje, se stávají zdrojem elementárních vlnění, která se v případě blízkých okrajů, tj. malých rozměrů překážky, za překážkou spojují, čímž vytvoří souvislou výslednou vlnoplochu. Podobný jev nastává, je-li v překážce velkých rozměrů malý otvor. Pozorujeme, že za překážkou se vlnění šíří všemi směry, ačkoliv bychom očekávali, že po průchodu otvorem bude vlnění postupovat jen původním směrem, kterým se šířila rovinná vlna. Pokus je důkazem, že nastal ohyb vlnění. Oba jevy mají velký význam v oblasti šíření světla, zvuku a rozhlasových vln.

Dopplerův jev

Obecně lze **Dopplerův princip** vyjádřit takto:

Jestliže se zdroj vlnění a pozorovatel pohybují, pak při vzájemném přibližování je frekvence přijímaného vlnění vyšší a při vzájemném vzdalování naopak nižší.

Tento jev pozorujeme v případech, kdy se zdroj vlnění, nejčastěji zvuku, kolem nás pohybuje.





Vznik a druhy zvuku

Zdrojem zvuku může být každé chvějící se těleso, tj. těleso, ve kterém vzniklo stojaté vlnění. Mohou to být hudební nástroje, ladičky, hlasivky, ale i jiná chvějící se tělesa, např. součástky strojů, motory apod. U hudebních nástrojů se jako zdroje zvuku používají struny, tyče, desky, membrány, píšťaly.

Struny jsou napjatá pevná vlákna, upevněné na obou koncích. Struny se rozechvívají smyčcem (housle), drnkáním (kytara) nebo nárazem (klavír). Po rozechvění struny se z místa rozruchu šíří oběma směry **postupné příčné vlnění** k oběma pevným koncům struny, kde se odráží s opačnou fází. Původní a odražené vlnění interferuje a vzniká **příčné stojaté vlnění – chvění**. Kromě běžného způsobu rozkmitání struny, vznikají i tóny třecí, jestliže kolem struny proudí vzduch. Vzniká tak svištění, fičení, hvízdání větru, jehož frekvence se mění podle rychlosti proudícího vzduchu. Stejně tóny vznikají při švihnutí bičem, při letu projektilů, v parní píšťale lokomotivy apod.

Chvění **desek** jako zdrojů zvuku lze zviditelnit, vznikají tak [Chladniho obrazce](#). Tenké, malé desky se mohou chvět rozmanitým způsobem, jsou proto schopny reprodukovat jiné zvuky s velkou přesností, což se využívá u **telefonu, reproduktorů** a apod. Naopak velmi velké tlusté desky mají zvuk přiměřeně vysoký, čehož se využívá u **zvonů**.

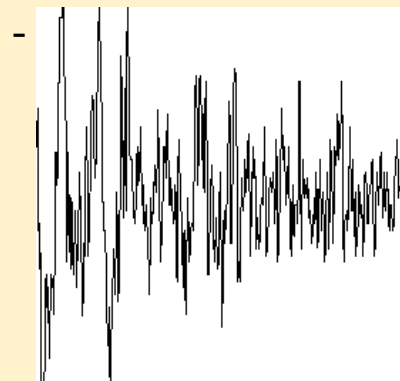
Ušní bubínek je rovněž tvořen blánou, která má v uchu funkci přijímače zvuku.



Píšťaly jsou trubice, v nichž se zvuková vlna odráží na jejích koncích. Takový odraz vzniká, i když jsou konce trubice otevřené, ale pak není odraz tak dokonalý jako u konce uzavřeného. Pokud délka vlny odpovídá délce trubice, vznikne složením proti sobě běžících vln vlna stojatá. Její vlnová délka musí odpovídat vlastní frekvenci trubice. Stojaté vlny mohou dlouho kmitat s velkou amplitudou, rozechvívají okolní vzduch a opět vzniká dobře slyšitelný tón. Takto vytváří zvuk např. varhaník. Mnoho dalších vlastností stojatých zvukových vln je podobných vlnám na struně: uzavřený konec trubice odpovídá upevněnému konci struny, ve kterém se nachází uzel. Vzduchový sloupec se uvádí do podélného chvění foukáním proti ostré hraně zvané ret nebo chvěním pružného jazýčku. Ret nebo jazýček mají funkci zdroje kmitů a vzduchový sloupec rezonátoru a zesilovače zvuku. Retné píšťaly jsou např. flétny, pikoly nebo píšťaly varhan. Ostatní dechové nástroje jsou píšťaly jazýčkové. Nástroje ze dřeva (hoboj, anglický roh, fagot) mají vrtání kuželové a dvojitý jazýček, klarinet a basový klarinet mají vrtání válcové a jednoduchý jazýček. Plechové dechové nástroje jsou také jazýčkové, ale jazýček je nahrazen sevřenými rty u nátrubku (roh, trubky, pozouny).

Podle povahy zvukového vjemu rozlišujeme zvuky:

- **nehudební** (neperiodické), které se nazývají také hluk nebo šum, jsou způsobeny nepravidelnými mechanickými rozruchy a vnímáme je jako praskání, šramot, vrzání, bouchnutí (viz obrázek) nebo jako některé souhlásky.
- **hudební** (periodické) zvuky neboli tóny jsou způsobeny periodickým chvěním. Patří mezi ně nejen zvuky hudebních nástrojů, ale i samohlásek. Nejjednodušší hudební zvuk, který má sinusový průběh nazýváme jednoduchý tón.



Nehudební zvuk - hluk

[Pokusy se zvukem](#)

[Co umí zvuk](#)



Hudební zvuk



Šíření zvuku

Ze zdroje zvuku se šíří zvukové vlnění do okolního prostředí. V kapalinách a plynech se šíří jako postupné vlnění podélné, v pevných látkách jako postupné vlnění podélné i příčné. Nutnou podmínkou pro šíření zvuku je **pružné prostředí**.

V nepružném prostředí (vlna, korek, plst' apod.) se zvuk šíří špatně. Takové látky používáme jako zvukové izolátory, ve vzduchoprázdnu se zvuk nešíří.

Zvukové vlnění má všechny vlastnosti vlnění v prostoru. Pro vlnovou délku λ platí vztahy :

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

kde T je perioda a f frekvence vlnění. Vlnové délky zvuku jsou od **21 m** pro frekvenci **16 Hz** do **21 mm** pro frekvenci **16 kHz**.

Rychlost zvuku závisí na druhu, hustotě a teplotě prostředí.

Pro vzduch obvykle počítáme s hodnotou **340 m s⁻¹**,

která odpovídá teplotě vzduchu asi 15 °C.

Příklady rychlosti šíření zvuku v dalších látkách:

Prostředí	Rychlost (m/s)	Prostředí	Rychlost (m/s)
Voda	1 440	Dřevo	4 000
Beton	1 700	Ocel	5 000
Led	3 200	Sklo	5 200



Př. 1. Lidské srdce vykoná 75 tepů za minutu. Určete periodu a frekvenci srdeční činnosti.

Př. 2. Zvuk se ve vzduchu šíří rychlostí 340 ms^{-1} a ve vodě rychlostí $1\,400 \text{ ms}^{-1}$. Vypočtete vlnovou délku příslušnou tónu a^1 (komorní a) o frekvenci 440 Hz v obou prostředích.

Př. 3. Pokusem bylo zjištěno, že při frekvenci $2,5 \text{ kHz}$ vzniká v mosazné tyči zvukové vlnění o vlnové délce $1,36 \text{ m}$. Určete rychlost šíření zvuku v mosazi.



Vlastnosti zvuku

Ozvěna a dozvuk

Odraz zvukových vln můžeme pozorovat na velké překážce, např. na skalní stěně, velké budově apod. Sluchem můžeme rozlišit dva krátké zvuky následující po sobě tehdy, je-li mezi nimi časový interval alespoň 0,1 s. Při rychlosti zvuku 340 m/s musí být stěna od nás vzdálena minimálně 17 m. V tomto případě vznikne **ozvěna** jednoslabičná. Při vzdálenosti $17n$ vznikne ozvěna n -slabičná.

Je-li odrážející stěna blíže ke zdroji zvuku než 17 m, ozvěna nevzniká, ale prodlužuje se trvání zvuku původního – vzniká dozvuk. V malých místnostech slouží k zesílení sluchového vjemu.

Výška zvuku

Výšku jednoduchého tónu udává jeho **frekvence**. Čím vyšší je frekvence tónu, tím má větší výšku. Slyšitelné zvukové vlnění má frekvenci od **16 Hz do 16 kHz**. U jednoduchého tónu určuje frekvence absolutní výšku tónu. U složeného zvuku, který obsahuje složky různých frekvencí, je výška dána základní tj. nejnižší frekvencí.

Vzhledem k tomu, že absolutní výšku tónu většinou nedokážeme přímo určit sluchem, zavádíme relativní výšku tónu. Je dána poměrem frekvence daného tónu k frekvenci tónu základního. Jako základní tón byl v hudební akustice mezinárodní dohodou stanoven tón o frekvenci 440 Hz. Je označován jako komorní *a*. V technické praxi se jako základní tón používá tón o frekvenci 1 kHz a označuje se jako referenční tón.



Barva zvuku

Barva zvuku umožňuje subjektivně rozlišit tóny stejné výšky, které vydávají různé zdroje, např. hudební nástroje. Říkáme, že zvuky hudebních nástrojů i lidské hlasy mají různé zabarvení. Barvu tónu u jednotlivých hudebních nástrojů můžeme ovlivňovat tvarem a materiálem rezonanční skřínky. Tím se zesilují nebo zeslabují určité vyšší harmonické tóny.



Intenzita zvuku

práh slyšení	0 dB
tíkot náramkových hodinek u ucha ševelení listů	10 dB
šepot	30 dB
hlasitý hovor na 1 m	50 dB
pouliční hluk při silném provozu	80 dB
Motocykl	90 dB
sbíječka a velmi silná hudba	100 dB
rockový koncert	110 dB
práh bolesti	120 dB
proudový motor	130 dB

K porovnávání zvuků, které vnímáme, se užívá fyzikální veličina **intenzita zvuku**. Ta je dána průměrnou energií vlnění, která projde za jednotku času (výkon zvukové vlny) jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření. Jednotkou **hladiny intenzity** zvuku je **decibell (dB)**. Hladina intenzity zvuku se zvýší o 1 dB, když se intenzita zvuku zvýší asi o čtvrtinu. 1 dB je zhruba nejmenší rozdíl v hlasitosti, který sluchem ještě postřehneme. Práh bolesti lidského ucha je 120 dB.



Infrazvuk a ultrazvuk

Infrazvuk

Člověk vnímá sluchem zvukové vlnění o frekvenci přibližně od 16 Hz do 16 000 Hz. Zvuk o frekvenci nižší než 16 Hz se nazývá **infrazvuk**, zvuk o frekvenci větší než 16 kHz se nazývá **ultrazvuk**. Některá zvířata vnímají zvuky až do 100 000 Hz.

Do infrazvuku řadíme především otřesy a záchvěvy půdy, kmity budov vyvolané těžkými dopravními prostředky, zemětřesení.

Vzhledem k tomu, že frekvence vlastních kmitů budov a jejich částí leží často v oblasti frekvence infrazvukových vln, mohou tyto kmity vyvolat nebezpečné rezonanční jevy. K registraci infrazvukových vln se dají využít seismografy (přístroje na měření seismických vln vznikajících při zemětřeseních).

Sloni používají infrazvuk k vzájemnému dorozumívání. Mohou se tak slyšet až na vzdálenosti několika kilometrů. Medúzy vnímají infrazvuk pocházející z vln na hladině. Při blížící se bouři mohou reagovat a vzdálit se od pobřeží.

Infrazvuk může nepříznivě působit na člověka. Frekvence 7 Hz odpovídá frekvenci alfa rytmů mozkových, které odpovídají stavu duševního klidu a pohody. Je-li člověk vystaven frekvencím blízkým, pak se nemůže uvést do klidu a soustředit se. Dokonce se uvažovalo o použití infrazvuku jako biologické zbraně. Nevýhodou však je, že působí i na obsluhu zdroje zvuku.

Ochrana před infrazvukem je obtížná, protože jeho útlum v různých materiálech je nepatrný, nedochází téměř k žádné absorpci. Jedinou možností je ho akusticky zamaskovat, tj. překrýt jiným slyšitelným zvukem.



Ultrazvuk

Ultrazvuk má velmi malou vlnovou délku a frekvenci větší než 16 kHz. Při jeho šíření vznikají zvukové stíny. Ultrazvukové vlny se mohou šířit ve tvaru úzkých paprsků, které se podobají paprskům světelným. Mohou se odrážet, lámat a zaostřovat, při čemž platí zákony analogické zákonům optiky. Zdrojem ultrazvuku mohou být magnetostrikce nebo piezoelektrický jev. Jako magnetostrikce se označuje vlastnost některých feromagnetických látek, které se vlivem zmagnetování při průchodu střídavého proudu pravidelně smršťují a roztahují. Piezoelektricky se ultrazvuk vytváří pomocí křemenné destičky napojené na proměnné elektrické napětí. Destička se v rytmu napětí smršťuje a roztahuje a tak kmitá.

Ultrazvukovými vlnami, které se díky své krátké vlnové délce málo ohýbají se dá zkoumat např. mořské dno, poloha ledovce, tah ryb apod. Ultrazvuková **defektoskopie** využívá ultrazvuk k vyhledávání skrytých vad materiálu. Je založena na odrazu ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí (pevné těleso – vzduch). Je-li v materiálu nějaká vada, Ultrazvuková vlna se na ní odrazí a je zachycena zpět přijímačem. Ze vzdálenosti záznamů vyslaného a odraženého impulsu lze určit hloubku vady pod povrchem.

Na stejném principu pracuje i **lékařská ultrazvuková diagnostika**.



miminko ve 13. týdnu těhotenství (asi kluk)



Elektromagnetické vlnění

Zdrojem vlnění nemusí být jen mechanické kmitání, podobně se chová i „kmitání“ elektrické. Kdykoli se mění elektrické pole, tvoří se magnetické pole. Kdykoli se mění magnetické pole, vzniká elektrické pole. Takto periodicky se střídající elektrické a magnetické pole je jedno fyzikální pole, tzv. elektromagnetické pole. Elektromagnetické pole, podobně jako jiná pole, má energii, která se může šířit prostorem v podobě vlnění. Ve stejnorodém prostředí mají elektromagnetické vlny kulový tvar a šíří se přímočaře jako paprsky. Na rozdíl od mechanického vlnění nepotřebuje **elektromagnetické vlnění** ke svému šíření žádné látkové prostředí a šíří se tedy i vakuem.

V roce 1893 Hertz dokázal, že se elektromagnetické vlny ve vakuu šíří rychlostí světla $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

[elmg. vlnění](#)

Vlnovou délku λ a frekvenci f elektromagnetického vlnění počítáme podle vztahů:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Elektromagnetické vlny se **odráží i lámou**.

Jednotlivé druhy elektromagnetického záření se liší vlnovou délkou a tvoří **spektrum** elektromagnetického záření.

Elektromagnetické záření	Vlnová délka ve vzduchu	Frekvence (Hz)
rádiové záření	30 km – 1 m	$10^4 - 3 \cdot 10^8$
mikrovlny	1 m – 0,03 mm	$3 \cdot 10^8 - 10^{13}$
infračervené záření	0,3 mm – 790 nm	$10^{12} - 3,8 \cdot 10^{14}$
světlo	790 nm – 390 nm	$3,8 \cdot 10^{14} - 7,7 \cdot 10^{14}$
ultrafialové záření	400 nm – 10 nm	$7,7 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$
rentgenové záření	10 nm – 1 pm	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$
záření gama	< 300 pm	$> 10^{18}$



Vlastnosti světla

Světlo je **elektromagnetické vlnění**, které má vlnovou délku od **390 nm** do **790 nm**. Toto vlnění je kvantováno na **fotony** (částice světla). Světlo se šíří rovnoměrně přímočaře, o tom svědčí např. vznik stínu za překážkou. Jestliže zdroj světla není bodový, pak kolem vrženého **úplného stínu** vzniká i **polostín**. Stínové úkazy nejvelkolepěji představuje příroda v podobě zatmění Slunce a Měsíce.

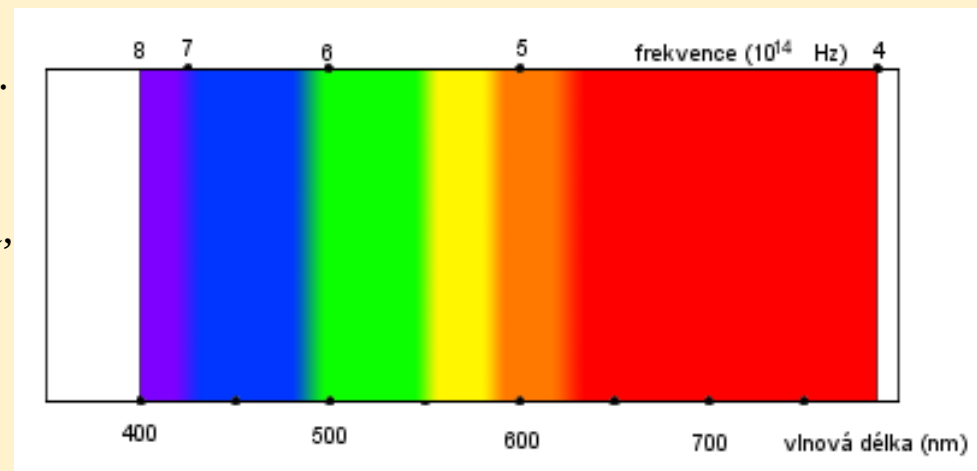
Zákon záměnnosti chodu paprsků: Šíří-li se světlo z bodu A do bodu B po jisté trajektorii, pak by se šířilo z bodu B do bodu A po téže trajektorii.

Princip nezávislosti chodu světelných paprsků: paprsky, které vycházejí z jednoho zdroje světla se navzájem protínají, přitom se však neovlivňují a postupují prostředím nezávisle jeden na druhém. Fermatův princip: Světlo se v každém prostředí šíří po nejkratší dráze.

Jestliže necháme světlo procházet skleněným hranolem, rozložíme je na jednobarevná (monochromatická) světla, celý svazek se nazývá spojité spektrum.

Ve spektru rozlišujeme sedm jednoduchých barev, jejichž pořadí je vždy stejné. V pořadí od nejmenší frekvence k největší jsou to barvy: červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, indigová, fialová.

Rozklad bílého světla na jednotlivé barvy pozorujeme v přírodě jako **duhu**. Dochází k rozkladu světla na vodních kapkách.





Optickým prostředím je každé prostředí, kterým se šíří světlo. Pokud má optické prostředí kdekoli ve svém objemu stejné vlastnosti, označujeme ho jako **homogenní** neboli stejnorodé, v opačném případě se nazývá nehomogenní. Jestliže rychlost šíření světla v optickém prostředí je ve všech směrech stejná, nazýváme toto prostředí **izotropní** (např. sklo), v opačném případě se nazývá anizotropní (např. krystaly). Optická prostředí můžeme také rozdělit podle vlivu na intenzitu dopadajícího světla na:

průhledné (vidíme obrysy a detaily předmětů), **průsvitné** (vidíme jen obrysy, ne detaily) a **neprůhledné** (předměty nevidíme).

Základní charakteristickou prostředí je rychlost šíření světla v tomto prostředí. Rychlost světla ve vakuu se uvádí jako hodnota $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s. Často se používá přibližná hodnota **$3 \cdot 10^8$ m/s**. Tuto rychlost označujeme jako **c** . Zároveň je to i **nejvyšší možná** rychlost, jakou se může šířit jakýkoli signál. Podle speciální teorie relativity se větší rychlostí, než je rychlost c , nemůže pohybovat žádné těleso. Mnoha pokusy bylo zjištěno, že světlo se v látkách šíří rychlostí menší než ve vakuu. Pomocí velikosti rychlosti světla v látce určíme veličinu, kterou nazýváme **index lomu** látky a značíme ji **n** . Je-li c rychlost světla ve vakuu a v rychlost světla v látce,

definujeme **index lomu** látky vztahem:

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

Látka	Index lomu	Látka	Index lomu
vakuum	1	led	1,31
voda	1,33	olej	1,47 – 1,50
sklo	1,52	diamant	2,42
aceton	1,36	ethylalkohol	1,36
roztok cukru (30 %)	1,38	tavený křemen	1,46
roztok cukru (80 %)	1,49	chlorid sodný	1,54
polystyren	1,55	těžké flintové sklo	1,65
safír	1,77	nejtěžší flintové sklo	1,89

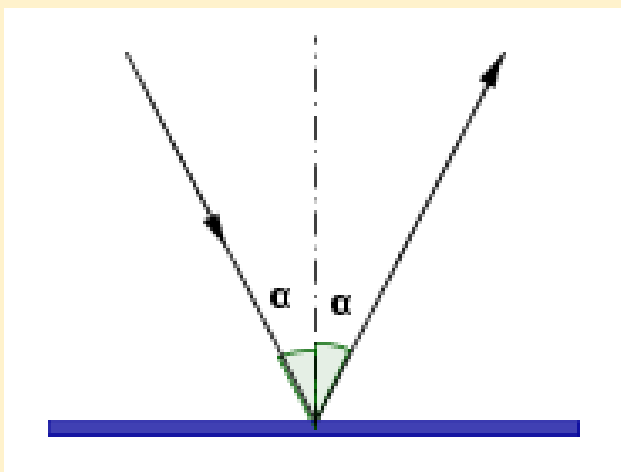


Odraz a lom světla

Při šíření světla často nastane případ, kdy světlo dopadá na **rozhraní dvou optických prostředí**. Příkladem může být sluneční světlo dopadající na hladinu jezera. Světlo se na hladině odráží, ale také proniká do vody. Říkáme, že na rozhraní dvou prostředí dochází k **odrazu a lomu světla**.

Odraz světla

V místě dopadu světla na rozhraní vztyčíme kolmici, kterou nazýváme kolmice dopadu. Úhel α , který svírá paprsek dopadajícího světla s kolmicí dopadu, je **úhel dopadu**; úhel α' , který svírá paprsek odraženého světla s kolmicí dopadu, je **úhel odrazu**.



Pro odraz světla platí zákon odrazu:

Velikost úhlu odrazu α' se rovná velikosti úhlu dopadu α . Úhel odrazu nezávisí na frekvenci světla. Pro daný úhel dopadu se světlo odráží pod stejným úhlem pro všechny frekvence. Při odrazu se také nemění rychlost světla, neboť celý děj probíhá v jednom prostředí.

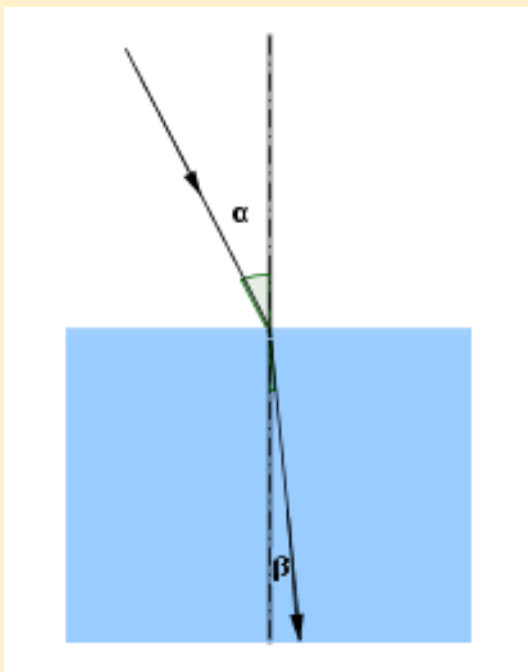
Podmínka $\alpha = \alpha'$ souvisí právě se stejnou rychlostí světla před odrazem i po odrazu.

Při kolmém dopadu je dopadající paprsek sám kolmicí dopadu a je vlastně i odraženým paprskem. Platí tedy $\alpha = \alpha' = 0^\circ$.



Lom světla

K lomu světla dochází na rozhraní dvou prostředí, proniká-li světlo z jednoho prostředí do prostředí druhého. Úhel dopadu označíme α , úhel β , který svírá lomený paprsek s kolmicí dopadu, je úhel lomu.



Pro lom světla platí Snellův zákon lomu:

Poměr sinu úhlu dopadu a sinu úhlu lomu je pro danou dvojici prostředí stálá veličina, která je určena podílem rychlostí světla v obou prostředích,

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

kde v_1 je rychlost světla v prvním prostředí a v_2 rychlost světla v druhém prostředí. Zákon lomu můžeme s pomocí vztahu pro index lomu přepsat:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Je-li $n_1 < n_2$ ($v_1 > v_2$), pak jde o přechod světla z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího. Ze Snellova zákona vyplývá $\sin \alpha > \sin \beta$ a z vlastností funkce sinus také $\alpha > \beta$. Úhel lomu β je menší než úhel dopadu α , říkáme, že nastal **lom ke kolmici**.

Je-li $n_1 > n_2$ ($v_1 < v_2$), pak jde o přechod světla z prostředí opticky hustšího do opticky řidšího. Ze Snellova zákona vyplývá $\sin \alpha < \sin \beta$ a z vlastností funkce sinus také $\alpha < \beta$. Úhel lomu β je větší než úhel dopadu α , říkáme, že nastal **lom od kolmice**. Experimentálně bylo zjištěno, že při kolmém dopadu ($\alpha = 0^\circ$) se světlo neláme ($\beta = 0^\circ$).



Zrcadla

Jako zrcadlo může sloužit rovné **rozhraní materiálů** s různým indexem lomu. Dochází na něm k odrazu světla. První zrcadla, vyráběná člověkem, tvořila obvykle deska z leštěného kovu, často ze stříbra. Současná zrcadla jsou tvořena často tenkou vrstvou hliníku nanesenou na zadní stranu skleněné tabule. Protože vrstva je nanesena zezadu, je zrcadlo trvanlivější, za cenu o málo nižší kvality obrazu. Tento typ zrcadla odráží asi 95% dopadajícího světla. Zadní strana je často natřena ochrannou vrstvou proti korozi a poškození kovu.

Podle tvaru rozlišujeme:

Rovinné zrcadlo



neskutečný, stejně velký a stranově převrácený obraz
využití v domácnosti, kosmetice

Duté (konkávní)



obraz může být podle vzdálenosti předmětu skutečný a zvětšený
Využití např. v dalekohledech či zubním lékařství

Kulová zrcadla

Vypuklé (konvexní)



obraz je přímý a zmenšený, přínosem je zvětšení zorného úhlu
využití např. jako zrcadla v dopravě



Rovinné zrcadlo

Světelný paprsek dopadá na rovinné zrcadlo v bodě dopadu. Paprsky dopadající na rovinné zrcadlo se řídí zákonem odrazu. Odražený paprsek proto leží v rovině dopadu. Na obrázku je bod A' zdánlivým obrazem bodu A. V rovinném zrcadle vzniká přímý, stranově převrácený, nezmenšený, neskutečný (zdánlivý) obraz. Rovinná zrcadla jsou součástí periskopů nebo fotoaparátů - zrcadlovek. Výhodně se používají k měření malých úhlů.





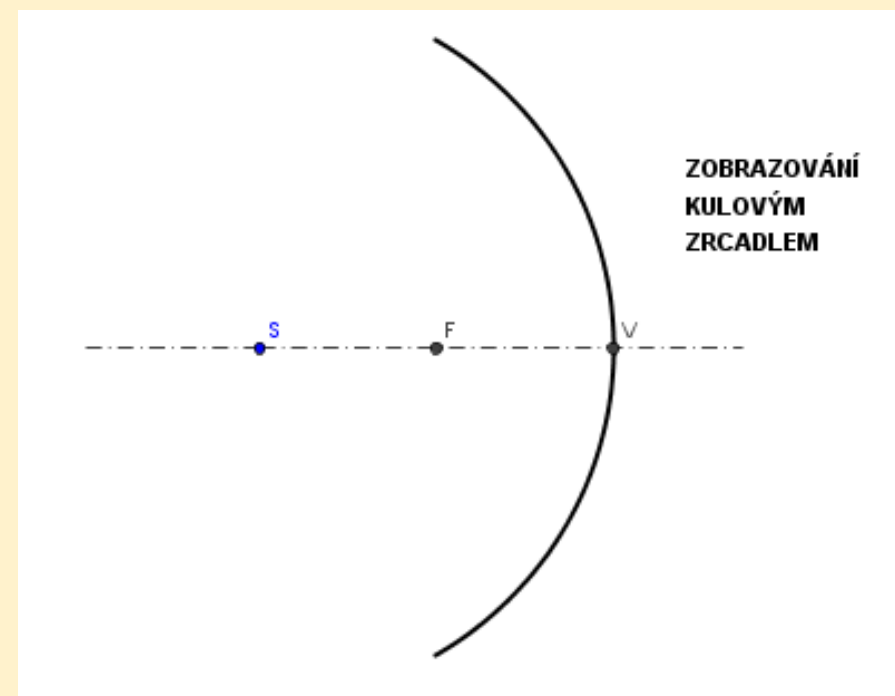
Kulová zrcadla

V **dutém** zrcadle o poloměru r se paprsky rovnoběžné s optickou osou po odrazu sbíhají do jednoho bodu, tzv. **ohniska** F . Střed kulové plochy, jejíž částí je zrcadlo, označujeme jako střed křivosti zrcadla S . Ohniskem a středem křivosti zrcadla prochází optická osa zrcadla. Průsečík optické osy zrcadla se zrcadlem je vrchol zrcadla V . Vzdálenost ohniska od vrcholu zrcadla je ohnisková vzdálenost f . Ohnisková vzdálenost je rovna polovině poloměru příslušné kulové plochy zrcadla.

Do ohniska se odrážejí všechny paprsky rovnoběžné s optickou osou, tedy všechny paprsky vycházející z velmi vzdáleného zdroje světla (Slunce). Rovnoběžné sluneční paprsky se po odrazu od dutého zrcadla soustředí v ohnisku, kde vlastně vzniká obraz Slunce. Zde se také soustředí energie, kterou přenáší sluneční záření. Když umístíme do ohniska hlavičku zápalky, zápalka se vznítí. Tento jev dal ohnisku název.

Paprsky ze zdroje umístěného v ohnisku dutého zrcadla jsou po odrazu od zrcadla rovnoběžné. Toho se využívá např. v osvětlovací technice, kde je však výhodné používat dutá zrcadla ve tvaru paraboloidu. Takto jsou konstruovány např. reflektory automobilů.

Vypuklé zrcadlo má odrazovou vrstvu na vnější straně. Paprsky se po odrazu od vypuklého zrcadla rozptylují. Paprsky rovnoběžné s optickou osou vypuklého zrcadla se odrážejí tak, jako by vycházely z ohniska za zrcadlem. Obraz předmětu vytvořený vypuklým zrcadlem je vždy neskutečný.



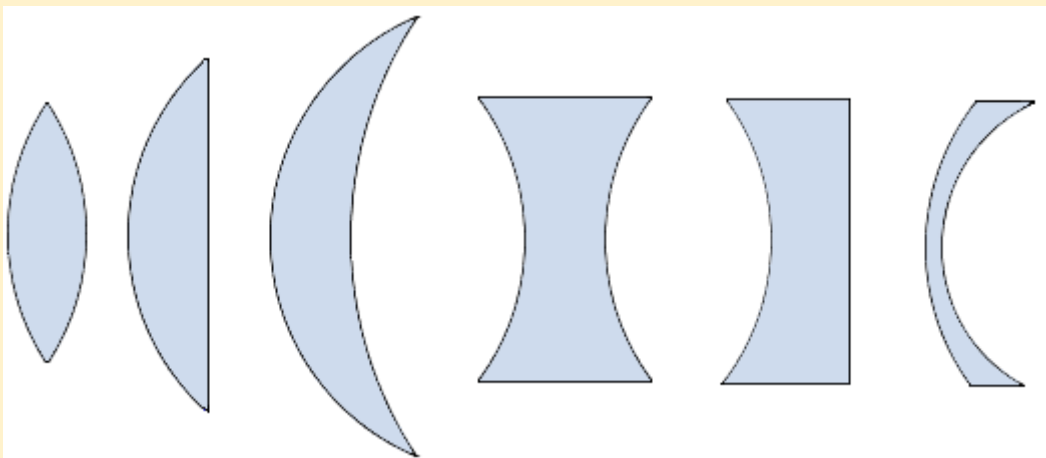


Čočky

Čočky se zhotovují ze skla nebo z plastické hmoty, které mají větší index lomu než okolní prostředí. Povrch čočky tvoří v nejjednodušším případě dvě kulové plochy. Podle uspořádání ploch rozlišujeme:

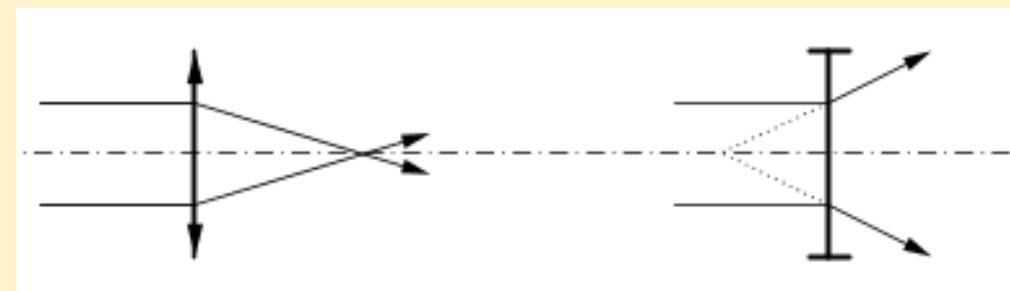
spojky uprostřed jsou tlustší než u okrajů, soustřeďují paprsky rovnoběžné s optickou osou do ohniska

rozptylky uprostřed jsou nejtenčí, rozptylují světlo tak, jako by vycházelo z ohniska před čočkou



Spojky

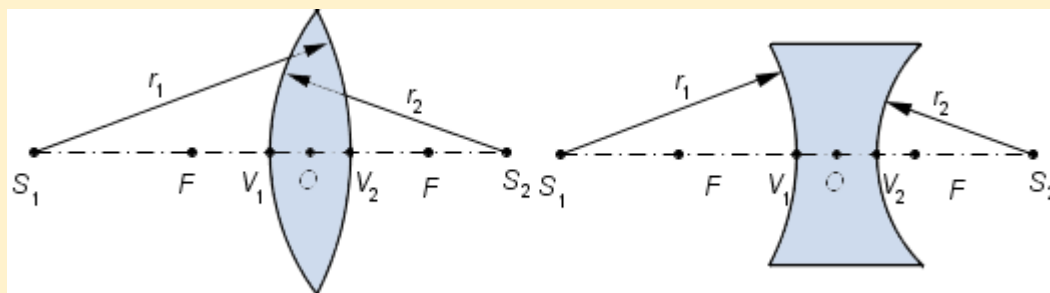
Rozptylky



Na obrázku jsou čočky: dvojevypuklá – bikonvexní, ploskovypuklá – plankonvexní, dutovypuklá – konkavkonvexní, dvojdutá – bikonkávní, ploskodutá – plankonkávní, vypuklodutá – konvexkonkávní. Toto označení platí za předpokladu, že čočka je umístěna v prostředí o menším indexu lomu (vzduch). Pokud by byla umístěna v prostředí o větším indexu lomu (diamant), pak by se spojka chovala jako rozptylka a rozptylka by se chovala jako spojka.



Zobrazení čočkami

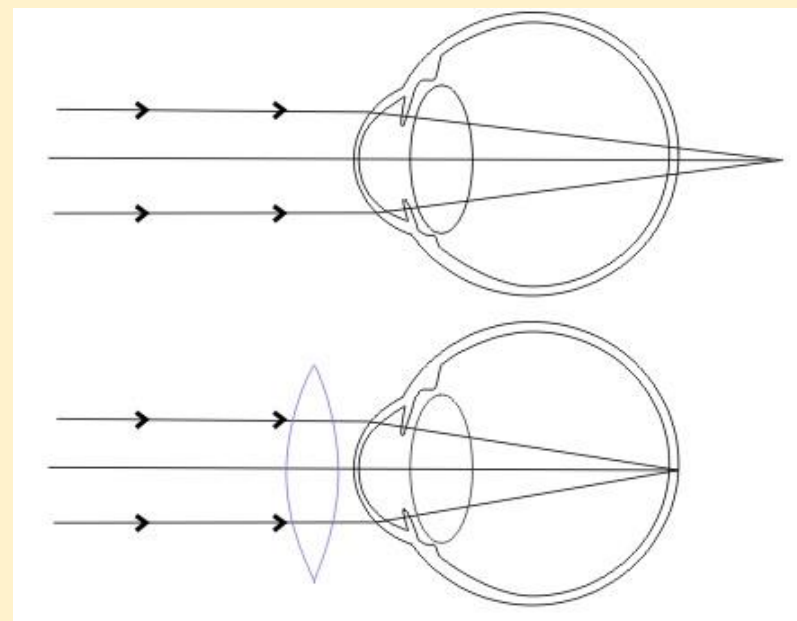


Vzdálenost ohniska od optického středu čočky je ohnisková vzdálenost čočky. Převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti čočky je její **optická mohutnost**. Jednotkou optické mohutnosti je m^{-1} , nebo-li **dioptrie**.

Obraz vytvořený **spojnou čočkou** závisí na poloze předmětu vůči ohnisku a vlastnosti obrazu můžeme shrnout v tabulce:

Poloha		Charakteristika obrazu
předmětu	Obrazu	
$a > 2f$	$f < a' < 2f$	skutečný, zmenšený, převrácený
$2f > a > f$	$a' > 2f$	skutečný, zvětšený, převrácený
$a < f$	v předmětovém prostoru	zdánlivý, zvětšený, vzpřímený

Významným použitím je zvětšování obrazu spojkou s malou ohniskovou vzdáleností – **lupa** a korekce vady oka – **dalekozrakosti**.

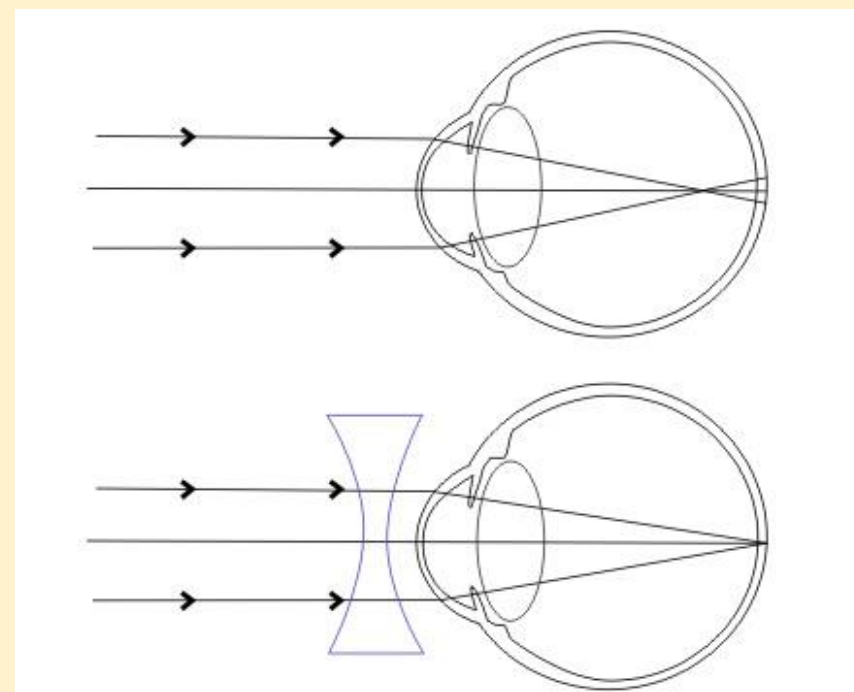




Zobrazení čočkami

Při zobrazování **rozptylkou** vzniká při libovolné poloze předmětu vždy **zdánlivý**, vzpřímený a **zmenšený** obraz. Jeho velikost závisí na vzdálenosti předmětu od čočky. Čím je tato vzdálenost větší, tím menší je obraz. V případě zdánlivého obrazu jsou paprsky po průchodu čočkou rozbíhavé, nemůžeme je zachytit na stínítku. Zdánlivý obraz však můžeme vidět okem, protože v oku je spojná čočka, která změni směr chodu paprsků a vytvoří na sítnici oka skutečný obraz.

Rozptylka se používá ke korekci vady lidského oka – **krátkozrakosti**





Zdroje světla

Barva ve skutečnosti není jednou z vlastností objektů kolem nás, ale je pouhým výplodem našeho mozku. Jakou barvu vidíme závisí nejen na objektu samotném, ale i na spoustě dalších faktorů – barvě světla, na okolním prostředí, únavě oka, atd. Barvy dělíme podle sytosti a pestrosti na barvy syté (neobsahují bílou složku, např. spektrální barvy) a nesyté; na barvy pestré (jsou to jednoduché barvy a jejich kombinace, např. červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, indigová, modrofialová) a nepestré (bílá, šedá a černá barva).

Aditivní míchání barev

Aditivní míchání barev spočívá v tom, že k jednomu barevnému světlu připojíme další barevné světlo, takže výsledné světlo má bohatší spektrální složení než dílčí světla. Aditivním smícháním všech jednoduchých barev (červené, oranžové, žluté, zelené, modré, indigové a fialové) ve stejných poměrech vznikne světlo bílé.

Subtraktivní míchání barev

Při subtraktivním míchání barev se ze spektra dané složené barvy odebírají některé jeho spektrální složky a výsledná barva má tudíž chudší spektrální složení. Jako příklad může sloužit zdroj bílého světla, před který je zařazen modrý a žlutý filtr. Modrý filtr z původně bílého světla propustí jen složky modrého světla a žlutý propustí jen složky žlutého světla. Z prošlého světla převládne zelená barva. Kdybychom použili dva filtry, jejichž spektrální složky nemají žádnou společnou část, bude tato kombinace filtrů zcela neprůhledná. Subtraktivní míchání barev můžeme realizovat pomocí akvarelových barev, které mícháme na paletě. Výsledná barva je vždy tmavší než barvy původní.



Světelné zdroje

Denní osvětlení je vhodnější než osvětlení **umělé**. Jeho zdrojem je Slunce a předměty kolem nás, které sluneční světlo odráží.

Původním zdrojem umělého světla byl oheň. Následovaly pryskyřičné louče a pochodně, olejové lampy, lojové, stearínové a parafínové svíčky, lampy na svítiplyn; petrolejové lampy; nebo obloukové lampy z počátku 19. století.

Prehistorie **žárovky** sahá až do roku 1820, kdy vznikl nápadem zatavit platinový drátek do skleněného válce a zavést do něj elektrický proud. Tato primitivní žárovka chvíli svítila. Až za padesát let, roku 1872 přišel další zdařilý pokus o sestrojení žárovky od Alexandra Nikolajeviče Lodygina, která svítila 800 hodin. Na něj navázal v roce 1878 Thomas Alva Edison a použil vlákno uhlíkové. Carl Auer von Welsbach v roce 1898 použil osmiové vlákno, Werner von Bolton v roce 1906 tantalové, A. Just a F. Hanaman v letech 1903 až 1906 wolframové. V roce 1911 byla dána wolframová vlákna na trh a roku 1913 obklopena netečným plynem. Zprvu se z práškového wolframu nedařilo vyrobit trvanlivé vlákno. Až teprve W. D. Coolidge v roce 1913 vytvořil pevný a ohebný drátek. Roku 1934 bylo dosaženo vyššího světelného toku tím, že byl drátek vinut ve dvojité spirále. Žárovky jsou zdrojem světla, které je vydáváno vláknem žhaveným elektrickým proudem. Je téměř bodovým zdrojem, barva světla připomíná světlo přírodní, nevýhodou je nízká účinnost, z příkonu žárovek se na viditelné světlo promění pouze 3 – 6 %. Jasy žárovek jsou značné, proto jsou oslňujícími zdroji.

Normou je doba životnosti žárovky stanovena na 1000 hodin. Nejčastěji dojde k přetržení vlákna otřesem, velkým počátečním proudem při zapnutí (vláknem projde až 10krát větší proud než obvykle, díky kterému vznikne silné magnetické pole, které vlákno přetrhne).





Světelné zdroje

Dalším typem jsou **halogenové žárovky** s příměsí jódu, bromu nebo fluoru. Atomy wolframu se v blízkosti vlákna slučují např. s jódem na jodid wolframu, ten zůstává v plynné formě v baňce. Po vypnutí žárovky jodid wolframu kondenzuje na rychle se ochlazujícím vlákně a při dalším rozsvícení se jodid rozkládá. Wolfram se tak vrací na povrch vlákna a jód je k dispozici pro další slučování. Halogenové žárovky vynikají velkým světelným tokem, delší životností a vhodnější barvou světla.

Zdrojem světla **zářivky** není samotný elektrický výboj v trubici. Při něm vzniká ultrafialové záření, které je pro oko neviditelné. Vnitřní stěna trubice je pokryta luminiscenční vrstvou, která se působením ultrafialového záření rozsvítí.

Životnost zářivek je podstatně lepší, než životnost žárovek. Podle druhu luminoforu a náplně je možné vyrobit zářivky, jejichž světlo se dá využít nejen k osvětlení ale i k jiným účelům: zářivky germicidní (pro ničení mikroorganismů, bakterií, plísní, kvasinek a virů), erytemální (pro použití v soláriích), "černé zářivky" tj. uv zářivky pro buzení fluorescence a luminiscence (ty znají dobře návštěvníci diskoték a v bankách se používají pro kontrolu bankovek).

Sodíkové **výbojky** dávají monochromatické žluté světlo, ve kterém je vyloučeno barevné vidění, výhodou je lepší viditelnost v mlze nebo kouři. Používají se tam, kde není třeba rozeznávat barvy, např. v dolech, venkovních prostorech apod. Rovněž rtuťové výbojky je možno používat na pracovištích, kde není nutno rozeznávat barvy.

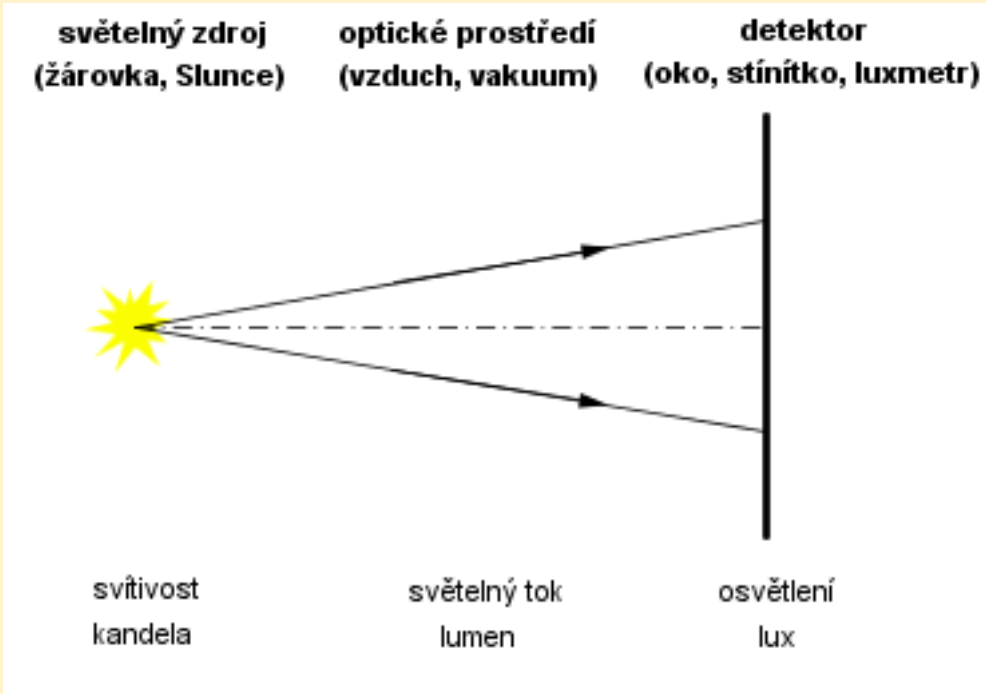
Velmi perspektivním zdrojem světla se v současnosti jeví rovněž polovodičové **LED žárovky**.





Světelné zdroje – veličiny

Záření vysílané světelným bodovým zdrojem přenáší do prostoru zářivou energii. Podíl zářivé energie W , procházející zvolenou plochou S za čas t se nazývá **zářivý tok**, jeho jednotkou je watt. Zářivý tok vystupující z plochy zdroje o obsahu 1 m^2 se označuje jako **intenzita vyzařování**, její jednotkou je W m^{-2} . Tyto veličiny popisují zdroj světla pomocí celkové zářivé energie vysílané zdrojem.



Zdroje světla porovnáváme podle jejich **svítivosti I** . Jednotkou svítivosti je **kandela**, značka cd (z lat. *candelam* – svíčka), kterou známe jako základní jednotku SI. Svítivost přibližně 1 cd má vánoční svíčka, žárovka s příkonem 100 W má asi 140 cd nebo Slunce asi $2 \cdot 10^{28}\text{ cd}$.

Světelný tok má jednotku **lumen (lm)**. Jeden lumen je hodnota světelného toku, který vysílá bodový zdroj o svítivosti 1 cd do jednotkového prostorového úhlu.

Jednotkou **osvětlení** je **lux**, značka lx . Osvětlení měříme luxmetrem, jehož čidlem bývá fotorezistor.

Prostor	E [lx]	Prostor	E [lx]
rtg. ošetřovny	1	Sklep, půda, schodiště	30
promítání diapozitivů, filmů	10	předsín, prádelna, toaleta	60
toalety, kina	60	ložnice, koupelna	120
hlediště divadel, žatny, umývárny	120	dětský pokoj, obývací pokoj	150
Tělocvičny	200	kuchyň, jídelna	250
konferenční místnosti, knihovny	250	místo pro zrakově náročné práce	500
posluchárny, studovny, účtárny	500	operační stoly	5000
rýsovný, výzkumné laboratoře	1000	operační pole	25000
přímé sluneční osvětlení v poledne v létě	10^3	přímé sluneční osvětlení v poledne v zimě	10^4



Zdroje

Knihy:

Lepil, Bednařík a Hýblová. *Fyzika pro střední školy I* Praha: Prometheus,
1993 ISBN 80-7196-184-1

Lepil, Bednařík a Hýblová. *Fyzika pro střední školy II* Praha: Prometheus,
2002 ISBN 80-7196-185-X

Elektronické zdroje:

www.google.com

www.edunet.souepl.cz

www.newsroom.intel.com

www.fyzika.jreichl.com

www.cez.cz

www.didaktik.cz/fyzika

www.techmania.cz

KONEC