

Materiál byl vytvořen v rámci projektu
Nové výzvy, nové příležitosti, nová škola

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

●●●● **KMITÁNÍ A VLNĚNÍ**

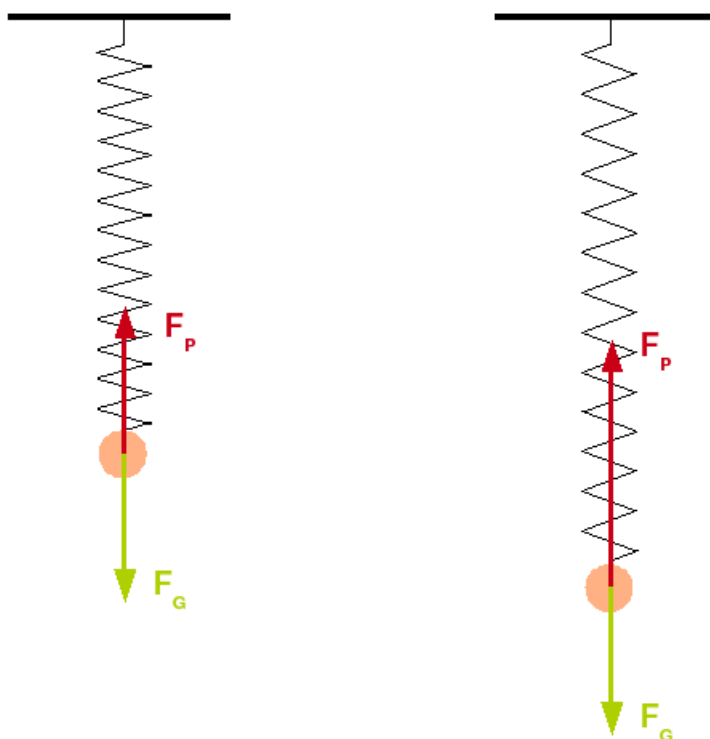


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

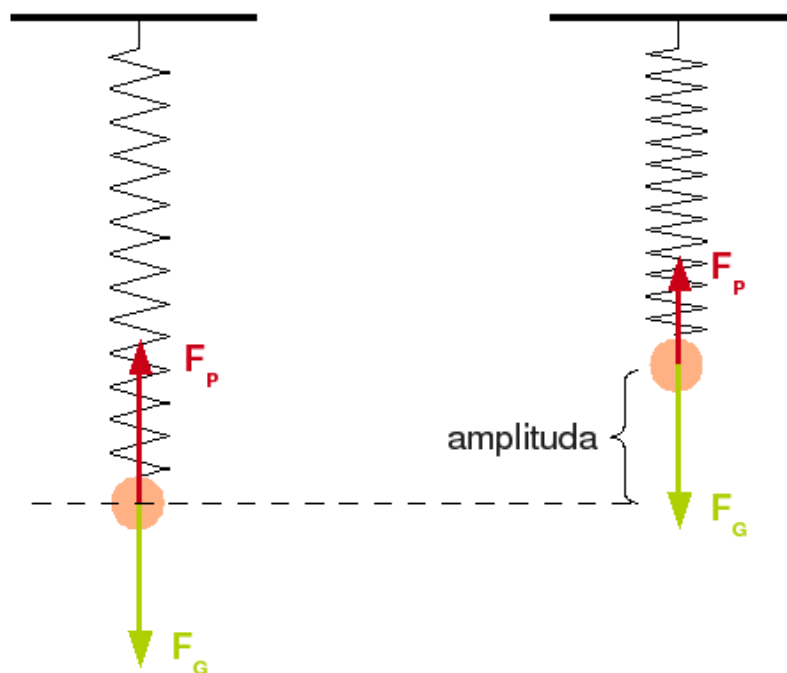
Přestože si to mnohdy neuvědomujeme, s kmitáním a vlněním se setkáváme prakticky neustále. Kmitavý pohyb vykonává kyvadlo hodin nebo píst auta, vlnění pozorujeme na vodní hladině, zvukové vlny nám umožňují slyšet a světelné vidět, díky rádiovým vlnám si můžeme poslechnout rozhlas nebo televizi. V následující kapitole se pokusíme vysvětlit základní principy, na kterých výše uvedené jevy fungují.

Kmitavý pohyb

Pro kmitavý pohyb je charakteristické, že těleso se při něm vrací vždy do tzv. rovnovážné polohy. Zařízení, které vykonává kmitavý pohyb se nazývá **oscilátor**. Příkladem oscilátoru je závaží zavěšené na pružině nebo kyvadlo. Příčinou vzniku kmitavého pohybu na oscilátoru je vzájemné působení dvou sil. Jako příklad použijeme závaží na pružině. Na závaží působí směrem dolů tíhová síla Země F_G a směrem nahoru síla pružnosti pružiny. Pokud je těleso v rovnovážné poloze, jsou velikosti obou sil stejné, jak můžeme vidět na prvním obrázku. Výsledná síla je v takovém případě nulová.



Situace se ale změní, jestliže vychýlíme kuličku z rovnovážné polohy (druhý obrázek). Zatímco tíhová síla se nezmění, síla pružnosti bude tentokrát větší. Výsledná síla bude směřovat nahoru a po uvolnění se oscilátor začne pohybovat. V průběhu tohoto pohybu se ale pružina smršťuje a síla pružnosti klesá. Po průchodu rovnovážnou polohou začíná být tíhová síla větší a kulička nakonec zastavuje. Její vzdálenost od rovnovážné polohy je v tomto okamžiku maximální a nazývá se **amplituda**. Tento okamžik je zachycen na dalším obrázku



Od tohoto okamžiku se opět začne pohybovat směrem dolů. Úsek kmitavého pohybu, při kterém oscilátor vyjde z rovnovážné polohy, projde oběma krajními polohami a opět se vrátí do rovnovážné polohy, se nazývá **kmit**. V průběhu každého kmitu se rychlost oscilátoru mění a platí zákon zachování mechanické energie. V krajní poloze oscilátor zastavuje a má tedy nulovou rychlost. Jeho kinetická energie je tedy také nulová. Má pouze potenciální (polohovou) energii vzhledem k rovnovážné poloze plynoucí z natažení pružiny. Při smršťování pružiny roste rychlost oscilátoru a tedy i jeho kinetická energie. V rovnovážné poloze je rychlost maximální a potenciální energie nulová – potenciální energie se u oscilátoru neustále mění v kinetickou a naopak. Celou situaci si můžete prohlédnout na animaci [zde](#).

Kromě amplitudy patří k důležitým charakteristikám kmitavého pohybu doba kmitu a frekvence. Dobu kmitu značíme T a její základní jednotkou je sekunda. Frekvence udává počet kmitů za jednu sekundu. Značka frekvence je f a její jednotkou je hertz Hz . Pro výpočet frekvence platí: $f = \frac{1}{T}$. Chceme – li popsat určitý kmitavý pohyb, vybíráme k popisu frekvenci zejména v případech, že doba kmitu je příliš malá.

Př. Kmitnutí křídel čmeláka trvá přibližně $4,5\text{ ms}$. Jakou frekvencí se křídla pohybují?

V zápisu uvedeme jedinou veličinu, kterou známe, tedy dobu kmitu, a převedeme ji na základní jednotky.

$$T = 4,5\text{ ms} = 0,0045\text{ s}$$

Dosadíme do vztahu pro výpočet frekvence.

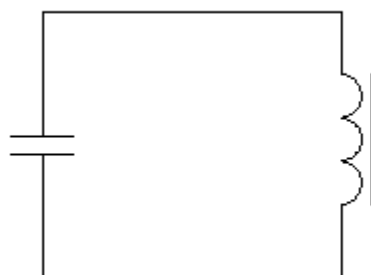
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0045}\text{ Hz} \doteq 222\text{ Hz}$$

Frekvence kmitání křídel čmeláka je přibližně 220 Hz .

Vidíme, že v tomto případě je názornější udávat frekvenci. Podobně je tomu v elektrické síti, kde se napětí mění s frekvencí 50 Hz. Tato frekvence odpovídá otáčkám generátoru v elektrárně.

Významným oscilátorem, který sehrál důležitou roli v měření času, je kyvadlo. Dobu kmitu kyvadla můžeme jednoduše nastavit změnou délky kyvadla (s délkou roste doba kmitu). Z vlastní zkušenosti ale víme, že jakýkoli oscilátor (pružina, kyvadlo) nemůže konat kmitavý pohyb neomezeně dlouho bez vnějšího zásahu. Část potenciální energie, kterou oscilátor získá natažením se totiž vždy ztrácí při deformaci pružných částí, odporem prostředí apod. Kmitání nakonec v důsledku těchto odporových vlivů ustává a říkáme, že jde o kmitání **tlumené**. Ukázkou tlumeného kmitání si můžete prohlédnout [zde](#). Pokud chceme, aby kmitání utlumené nebylo, musíme dodávat oscilátoru energii z vnějšku. U výše uvedených kyvadlových hodin plní tuto funkci závaží, u malého dítěte na houpačce obětavý rodič, u většího dítěte změna těžiště. V takovém případě hovoříme o kmitání **nuceném**. Z příkladu s houpáním dítěte je přitom jasné, že nestačí pouze dodávat z vnějšku určité množství energie, ale také dodávat tuto energii ve správném časovém okamžiku. Pokud je dodávání energie oscilátoru dokonale sladeno s průběhem jeho kmitavého pohybu, hovoříme o tzv. **rezonanci**. Při rezonanci pak můžeme dosáhnout velké amplitudy kmitů i při přenosu poměrně malé energie. Takovýmto způsobem lze pak například rozhoupat těžký zvon. Na druhé straně je velmi nebezpečné rezonanční kmitání mostů a výškových budov vznikající větrem nebo zemětřesením. Ukázkou si můžete prohlédnout [zde](#). Důležitou roli hraje rezonance také u hudebních nástrojů, kde struna rezonuje s tělem kytary apod. Z uvedených případů je patrné, že často kmitání naopak utlumit potřebujeme. Tuto funkci plní například tlumiče v automobilu.

Doposud jsme se zabývali pouze tzv. mechanickým kmitáním. S kmitáním se ale můžeme setkat i u elektrického obvodu. Jako příklad nám může posloužit jednoduchý obvod složený z kondenzátoru a cívky.

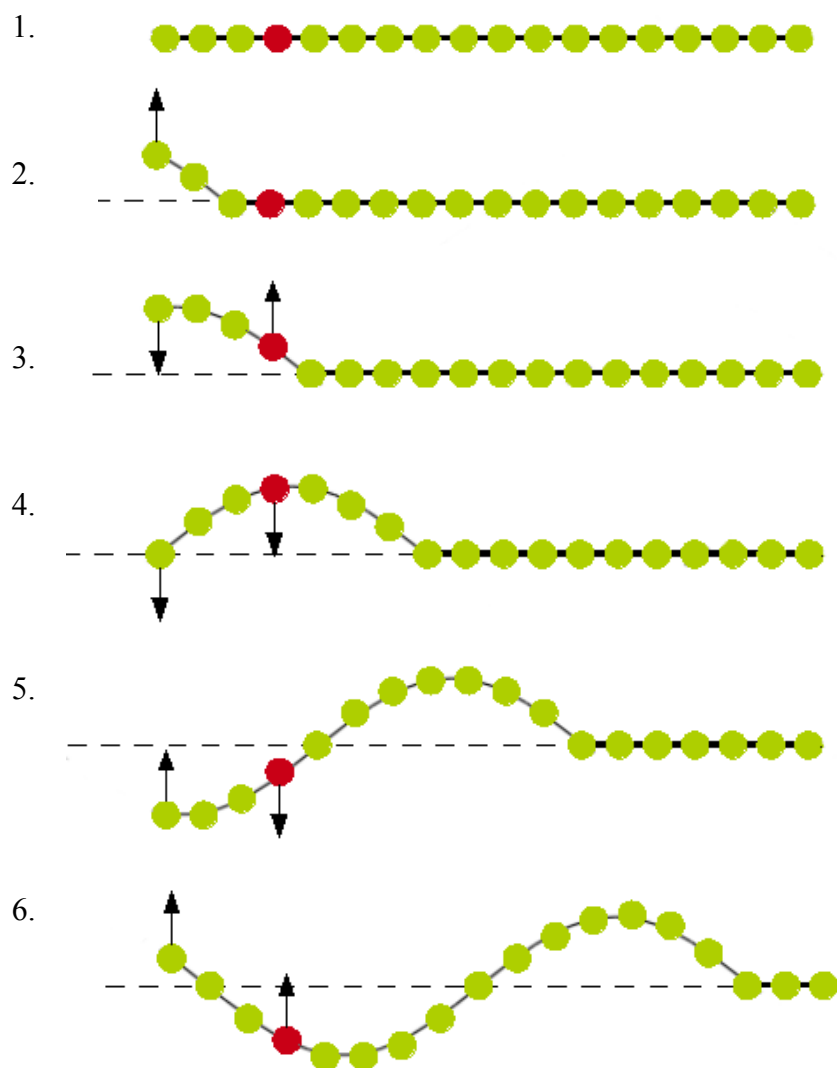


Celý děj začíná nabitím kondenzátoru. Kondenzátor se tak stává zdrojem elektrického proudu v obvodu. Proud procházející cívkou kolem ní vytváří magnetické pole. Energie elektrického pole kondenzátoru se postupně zmenšuje a přeměňuje se na energii magnetického pole cívky. (Podobně se u mechanického oscilátoru měnila energie potenciální na kinetickou.) V okamžiku, kdy je kondenzátor vybit, klesá v obvodu proud. Změna proudu vytvoří na cívce napětí, které opět nabije kondenzátor a celý proces se může opakovat. Protože v tomto případě dochází k přeměně elektrické energie na magnetickou, nazýváme takto vzniklé **kmitání elektromagnetické**.

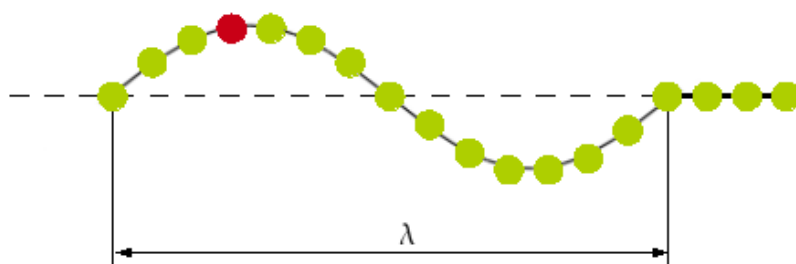
Vlnění

Vlnění je jev, při kterém se kmitavý rozruch šíří do okolí. Vlnění může vzniknout například při dopadu kamene na vodní hladinu.

Celou situaci si můžeme prohlédnout na spodním obrázku nebo na animaci [zde](#).



Místo, odkud se kmitání šíří do okolí se nazývá zdroj vlnění. Vznik vlnění přitom umožňuje **vazba** mezi částicemi (atomy, molekuly) prostředí. Na obr. 1 si pro jednoduchost částice představujeme jako řadu kuliček a vazbu mezi nimi znázorňujeme čárkou. Rozkmitáme – li první částici v řadě, vazbou se kmitáním přenesou na částici sousední, jak vidíme na obr. 2. Prostřednictvím dalších vazeb se postupně rozkmitávají následující částice, a to vždy s určitým zpožděním (obr. 3-6). Při vlnění se přitom sice šíří energie do okolí, ale jednotlivé částice kmitají na místě a nepřesouvají se. Názorně to vidíme na červeně označené částici, která může symbolizovat například list na vodní hladině. K důležitým veličinám, které používáme k popisu vlnění patří doba kmitu a frekvence, která je u všech částic stejná, a dále tzv. vlnová délka, která určuje vzdálenost, do které se vlnění dostane za dobu jednoho kmitu. Vlnovou délku značíme λ a její jednotkou je metr m .



Rychlost šíření vlnění závisí na prostředí, ve kterém se vlnění šíří. Pro její výpočet můžeme použít

vztah $v = \frac{\lambda}{T}$ resp. $v = \lambda \cdot f$.

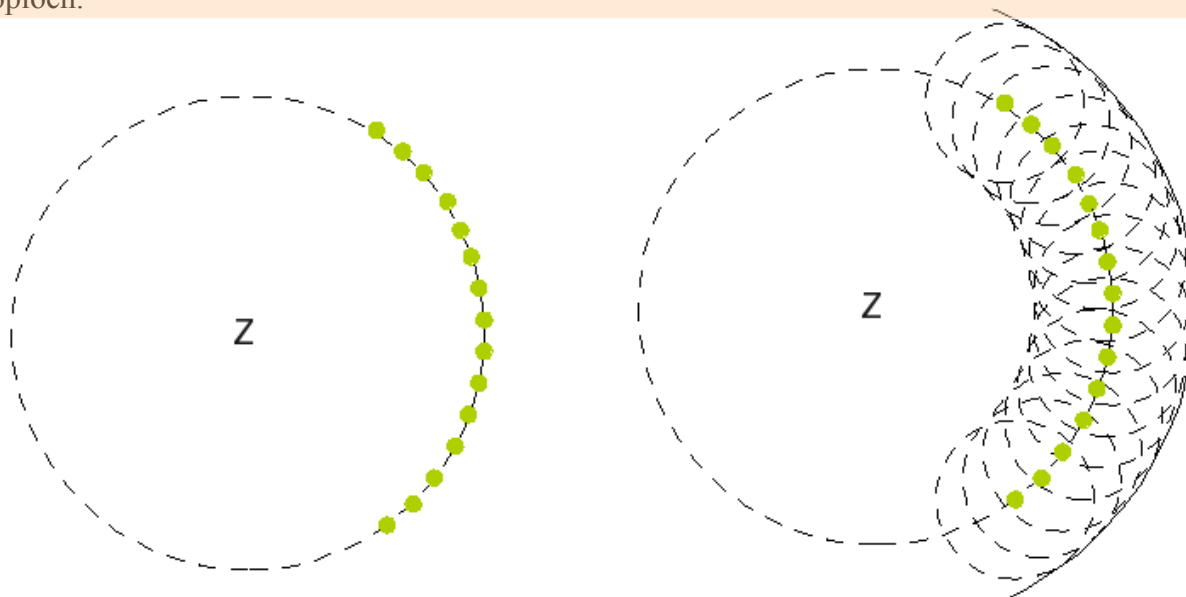
V úvodu odstavce jsme si jako příklad vlnění uvedli vlnky na vodní hladině. Z vlastní zkušenosti víme, že vlnky na vodní hladině vytvářejí soustředné kruhy.



zdroj: Wikipedia

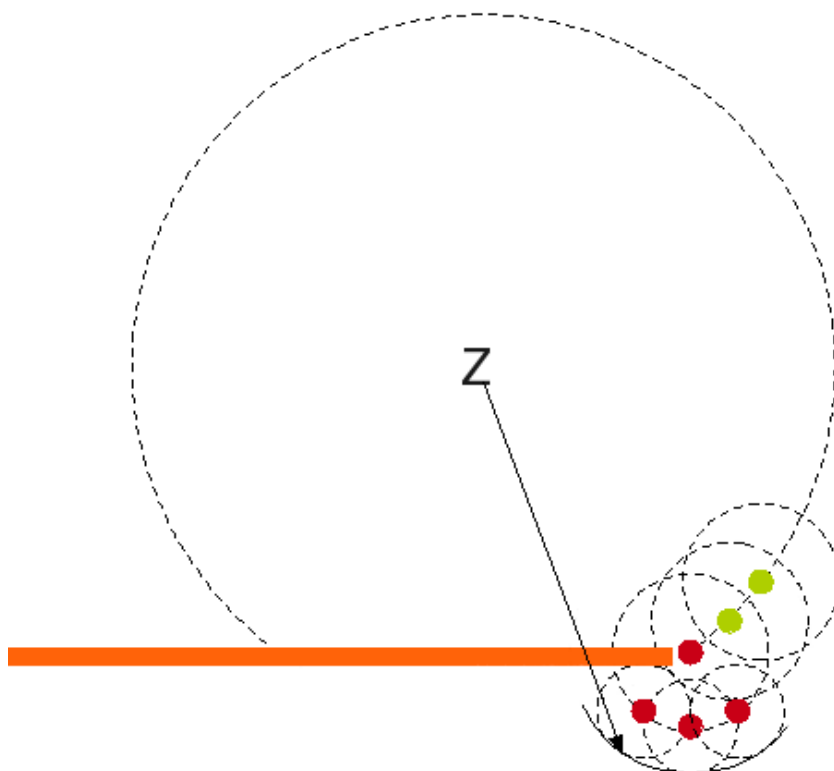
Obecně platí, že vlnění se ze zdroje šíří v tzv. vlnoplochách. **Vlnoplocha** je místo, do kterého vlnění dospěje v určitém okamžiku. Pokud jsou fyzikální vlastnosti prostředí ve všech směrech šíření stejné, tvoří vlnoplochu kulová plocha. U vodní hladiny tomu tak není. Zatímco na úrovni hladiny se vlnění šíří poměrně dobře, směrem do kapaliny dochází k rychlému utlumení. Obecně pro šíření vlnění platí tzv. Huyghensův (Huyghensův) **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. Výsledná vlnoplocha v následujícím časovém okamžiku je pak obalovou plochou elementárních vlnoploch.

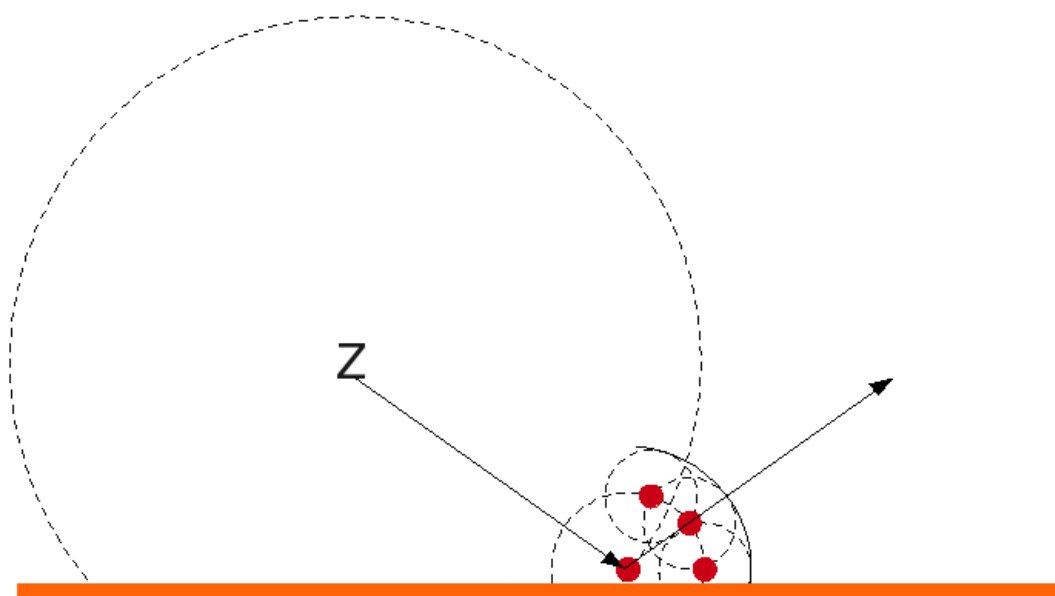


S využitím Huyghensova principu můžeme vysvětlit některé jevy, se kterými se u vlnění setkáváme.

Ohyb vlnění: Je jev, při kterém vlnění naráží na překážku. Za okrajem překážky pak postupuje do míst, ve kterých by se zdánlivě nacházet nemělo. Říkáme, že došlo k ohybu vlnění za překážku. Jeve můžeme vysvětlit pomocí Huyghensova principu. Podle něj se zdrojem vlnění stává každá částice vlnoplochy, tedy i částice na okraji překážky (červeně označená). Vlnění vytvořené touto částicí se ale opět šíří všemi směry, tedy i za překážku. Situaci si můžete prohlédnout na spodním obrázku nebo v pohybu [zde](#).

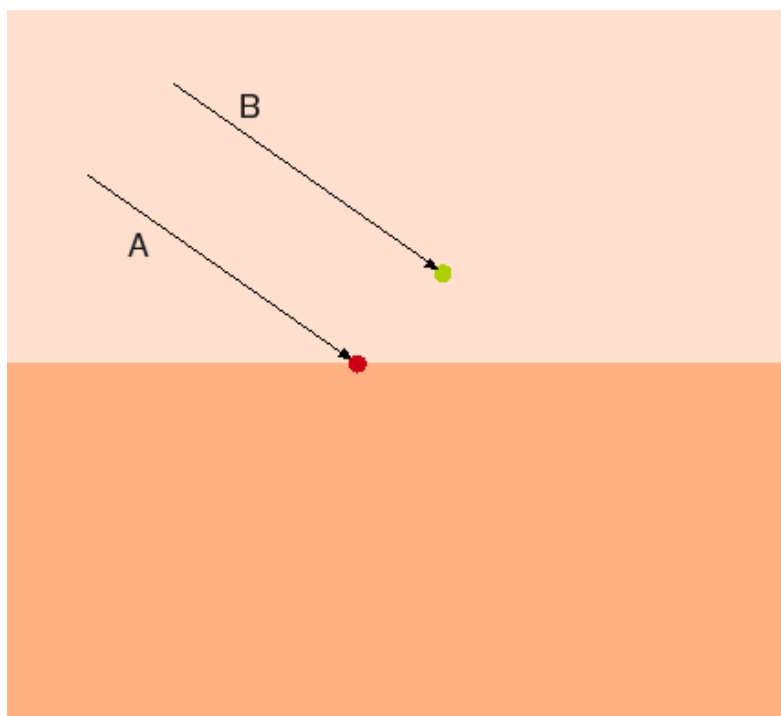


Odraz vlnění: Dochází k němu při dopadu vlnění na neprostupnou překážku. Vlnění se nemůže šířit za ni, šíří se tedy ve směru, ve kterém je mu to umožněno.

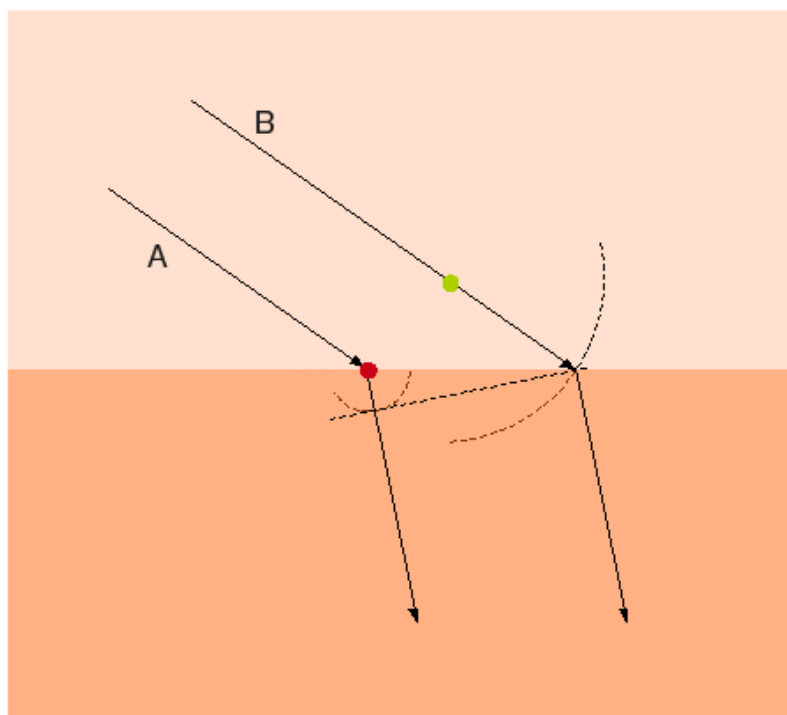


Na předchozím obrázku jsme ke zjednodušenému znázornění směru vlnění použili tzv. **paprsek**. Je to nejkratší spojnice zdroje s vlnoplochou. Při odrazu vlnění od překážky platí **zákon odrazu**, který říká, že úhel dopadu je stejný jako úhel odrazu. Nejnázorněji tuto skutečnost vidíme právě na paprsku.

Lom vlnění: Z dřívějšího výkladu víme, že rychlost vlnění závisí na prostředí, ve kterém se vlnění šíří. K lomu vlnění dochází, když vlnění proniká z jednoho prostředí do druhého pod určitým úhlem. Na prvním obrázku vidíme dva rovnoběžné paprsky A,B ze vzdáleného zdroje dopadající na rozhraní dvou prostředí. Předpokládejme například, že ve druhém prostředí bude rychlost šíření vlnění nižší. Situace je zachycena v okamžiku, kdy paprsek A již proniká do druhého prostředí, zatímco paprsek B ještě musí urazit určitou dráhu.



Na druhém obrázku je zachycen okamžik, kdy na rozhraní dopadá paprsek B. Paprsek A zatím pronikl do druhého prostředí. Protože je však pomalejší, urazil menší dráhu než paprsek B.



V důsledku toho dochází ke změně směru paprsků a říkáme, že průchodem do jiného prostředí došlo k lomu vlnění.

Zvuk

Zvuk je mechanické vlnění, které je schopno vnímat lidské ucho. V praxi to znamená rozsah frekvencí od 16 Hz do 16000 Hz. Zvuk se šíří zejména v pružném prostředí. Látky jako vlna, korek, vata apod. zvuk tlumí, ve vakuu se zvuk nešíří vůbec. Rychlost zvuku závisí na prostředí, ve kterém se šíří. Ve vzduchu, který je pro poslech nejpřirozenějším prostředím, počítáme při 15⁰ C přibližně s rychlostí 340 m/s . V následující tabulce si můžeme pro srovnání prohlédnout rychlosti zvuku v různých prostředích:

voda	1 440 m/s
beton	1 700 m/s
led	3 200 m/s
dřevo	4 000 m/s
ocel	5 000 m/s
sklo	5 200 m/s

Př. Pomocí prodlevy mezi bleskem a hromem můžeme určit vzdálenost bouřky od našeho stanoviště. Navrhněte jednoduchý výpočet, pomocí kterého tuto vzdálenost určíme.

Před výpočtem provedeme zápis, ve kterém budeme předpokládat, že známe časovou prodlevu.

$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$t = n \text{ s}$$

$$s = ?$$

Vydeme ze vztahu pro výpočet rychlosti, ze kterého vyjádříme s .

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow s = v \cdot t = 340 t$$

Pokud bychom chtěli vzdálenost určit v metrech, násobíme čas 340. Pozn.: Pro výpočet vzdálenosti v km postačí přibližně vydělit počet sekund třemi, protože $\frac{1}{3} \text{ km} \doteq 0,333 \text{ km}$.

U zvuku můžeme dobře pozorovat jeho ohyb a odraz. Důkazem ohybu zvuku je, že slyšíme kamaráda volat i za rohem. S odrazem zvuku se pak setkáváme u jevů jako **ozvěna** případně **dozvuk**. Lidské ucho je schopno rozlišit dva oddělené zvukové impulzy v rozmezí alespoň 0,1 s. Zvoláme – li tedy směrem k překážce, která je od nás vzdálena nejméně 17 m, odražené zvukové vlny vnímáme jako další zvukový vjem. Tomuto jevu říkáme ozvěna. Je – li vzdálenost překážky menší než 17 m, prodlužuje trvání původního zvukového vjemu a může jej zesilovat. Pak hovoříme o dozvuku. Odražený zvuk může také splýnout se zvukem následujícím. Tím se prodlužují konce slov a řeč se stává méně srozumitelnou. Tento jev známe např. z nádražních hal. S dozvukem je třeba počítat při projektování konferenčních a hudebních sálů, rozhlasových studií, továrních hal apod.

K popisu zvuku používáme několik charakteristik. Patří mezi ně zejména **výška**. Výška tónu souvisí s jeho frekvencí a udává se jako poměr frekvence tónu k frekvenci tónu základního. V hudební praxi je základním tónem tzv. komorní a o frekvenci 440 Hz. Dále hovoříme v souvislosti se zvukem také o jeho barvě. Ta souvisí s přítomností tzv. vyšších harmonických tónů, tedy přirozených frekvenčních násobků tónu původního. K porovnávání intenzity různých zvuků

slouží tzv. **hladina intenzity** udávaná v decibelech *dB*. U tónu frekvence 1000 *Hz* odpovídá 1 *dB* prahu slyšitelnosti zvuku. Naproti tomu 130 *dB* vymezuje práh bolesti, při kterém již vzniká v uchu bolestivý vjem. Hodnoty hladiny intenzity různých zvuků najdete ve spodní tabulce.

Šum listí	20 <i>dB</i>
Klidná zahrada	20 <i>dB</i>
Šepot, velmi tichý byt	30 <i>dB</i>
Tlumený hovor	40 <i>dB</i>
Televizor	55 <i>dB</i>
Kvákání žáby	64 <i>dB</i>
Klapání psacího stroje	70 <i>dB</i>
Hostinec	70 <i>dB</i>
Křik	80 <i>dB</i>
Kohoutí kokrhání	85 <i>dB</i>
Motorová vozidla	90 <i>dB</i>
Přádelna, sbíječka	100 <i>dB</i>
Diskotéka	110 <i>dB</i>
Startující letadlo	120 <i>dB</i>
Petardy	170 <i>dB</i>

Hodnoty uvedené v tabulce slouží k hrubému srovnání a závisí také na vzdálenosti od zdroje.

Mechanické vlnění o nižších frekvencích než 16 *Hz* se nazývá **infrazvuk**. S infrazvukem se můžeme setkat při zemětřesení nebo při rozkmitání půdy a budov těžkými dopravními prostředky. Infrazvuk může být pro člověka nebezpečný. Frekvence mozkových α vln 7 *Hz* totiž odpovídá stavu duševního klidu. Infrazvuk o blízké frekvenci může člověku zabraňovat, aby se zklidnil nebo soustředil. Mechanické vlnění o vyšších než 16000 *Hz* nazýváme **ultrazvuk**. Přestože ultrazvuk neslyšíme, má na živé organismy výrazný vliv. Ultrazvuk trhá vlákna řas, drtí živočišné buňky, rozrušuje krvinky. V jeho důsledku vzrůstá tělesná teplota pokusných zvířat. Drobné vodní živočichy je možné ultrazvukem i zabít. Řada živočichů jej ale využívá k vlastnímu prospěchu. Pomocí odrazu ultrazvukových vln od překážek se orientují například netopýři a delfini. Ultrazvuk se pro své potřeby naučil využívat i člověk. Ultrazvuk využíváme například k průzkumu mořského dna, odhalování skrytých vad materiálů, čištění brýlí, lékařské diagnostice apod.

Elektromagnetické vlnění

Zdrojem elektromagnetického vlnění může být již dříve zmiňovaný elektromagnetický oscilační obvod s kondenzátorem a cívkou. Pokud je frekvence zdroje vysoká, může se elektromagnetické vlnění šířit prostřednictvím dvou rovnoběžných vodičů. Jestliže vhodně upravíme konce vodičů, vznikne tzv. anténa, která nám umožní vysílat elektromagnetické vlnění do okolí. Na druhé straně může anténa sloužit také k příjmu elektromagnetického signálu. Elektromagnetické vlnění na rozdíl od zvuku nepotřebuje k šíření pružné prostředí a šíří se i vakuem. Rychlost elektromagnetického vlnění ve vakuu je přitom $c = 3 \cdot 10^8$ *m/s* a je to nejvyšší rychlost dosažitelná v našem vesmíru. Elektromagnetické vlny dělíme podle rostoucí frekvence na:

a) rádiové vlny – patří mezi ně dlouhé vlny, střední vlny, krátké vlny, velmi krátké vlny a mikrovlny. Dlouhé až velmi krátké vlny se používají zejména k šíření rozhlasového a televizního signálu. Díky jejich odrazu od tzv. ionosféry, tzn. horní vrstvy atmosféry se mohou dostat i do míst, která nejsou přímo viditelná z vysílače. U delších vln navíc dochází k jejich ohybu, díky kterému se dostanou za terénní nerovnosti. Mikrovlny používáme například v mikrovlnné troubě. Vlny s vlnovou délkou přibližně 12 *cm* jsou schopny rezonovat s molekulami vody, které se tak zahřívají. Výhodou mikrovlnné trouby je tím pádem také to, že nezahřívá keramické a plastové nádoby. Mikrovlny používají i zařízení Wi-Fi sloužící k připojení k internetu.

b) infračervené záření – je považováno za tepelné záření, což platí zejména u objektů s pokojovou teplotou. Obecně předměty vyzařují i pohlcují více druhů záření. Infračervené záření mohou využívat prostředky pro noční vidění, televizní ovladače a mobilní telefony. Některé plyny v atmosféře infračervené záření absorbují a vysílají je zpátky k zemi, čímž vzniká tzv. skleníkový efekt, který udržuje oblast v okolí zemského povrchu teplejší, než by tomu bylo bez jejich přítomnosti.

c) světlo – je elektromagnetické vlnění o vlnových délkách 400 nm až 750 nm. Tyto frekvence je člověk schopen vnímat pomocí zraku. Změnu vlnové délky člověk vnímá jako změnu barvy světla. Ve světelném spektru rozlišujeme sedm základních barev – červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou, indigovou a fialovou. Největší vlnovou délku má barva červená, nejmenší fialová.



Zatímco na zvuku se dal dobře demonstrovat ohyb a odraz, u světla lze názorně ukázat jeho lom. Z vlastní zkušenosti víme, že předměty pod vodní hladinou pozorované z místa nad ní mají zdánlivě jinou polohu, než bychom očekávali. Vidí – li naše oko bílé světlo, znamená to, že v něm jsou obsaženy všechny barevné složky, jejichž složením vzniká bílá barva. Každá z těchto složek má ale jinou vlnovou délku a tedy také jinou schopnost lomu. Bílé světlo pak lze rozložit na barevné složky lomem například na skleněném hranolu. Ke stejnému jevu může dojít na kapkách vody v atmosféře. Tento úkaz známe jako duhu.



zdroj: T.K.

Světlo se jako vlnění také odráží. Předměty registrujeme zrakem díky světlu, které se od nich odráží do lidského oka. Pokud má předmět určitou barvu, znamená to, že tuto barvu jeho povrch odráží a ostatní složky pohlcuje. Černé předměty absorbují všechny barevné složky světla a z tohoto důvodu se také při dopadu světelných paprsků lépe zahřívají. Naproti tomu bílá barva všechny barevné

složky odráží a zahřívá se mnohem méně.

d) ultrafialové záření – Má frekvence o něco vyšší než je tomu u viditelného světla. Dopadá jako součást světelného záření na zemskou atmosféru. Rozdělujeme je na složky A,B,C. Zatímco složka A není prokazatelně škodlivá, složky B a C mohou člověku způsobit zdravotní problémy. Část ultrafialového záření je pohlcena ozónovou vrstvou, která chrání zemský povrch před škodlivými složkami. Díky ultrafialovému záření se opalujeme.

e) rentgenové záření – Má vlnové délky 10 nm až 0,1 nm. Využívá se k lékařské diagnostice a vyhledávání vad materiálů.

f) gama záření – Má frekvence vyšší než záření rentgenové. Využívá se například ke sterilizaci lékařských nástrojů.

Pokud jste dané učivo pochopili, měli byste umět odpovědět na následující otázky.

Vysvětlete vznik kmitavého pohybu oscilátoru na základě vzájemného působení dvou sil a popište zákon zachování energie v průběhu kmitání.

Vysvětlete pojmy doba kmitu, frekvence a amplituda a uveďte značky a jednotky těchto veličin.

Popište vznik vlnění a vysvětlete pojem vlnová délka.

Formulujte Huyghensův princip.

Vysvětlete ohyb, odraz a lom vlnění.

Vysvětlete pojmy zvuk, ozvěna, infrazvuk, ultrazvuk.

Jmenujte druhy elektromagnetického vlnění a uveďte příklady jejich využití.

Hodně úspěchů při studiu.

