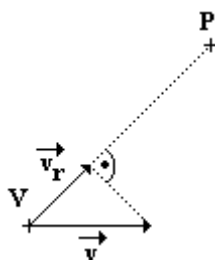


## Dopplerův jev

Tak jako dochází ke změně [frekvence](#) (resp. vlnové délky) u [mechanického vlnění](#) (např. u [zvuku](#)) díky vzájemnému [pohybu zdroje vlnění](#) a [přijímače](#) vlnění, analogicky dochází k této změně i pro [světlo](#). Uvažujme tedy [vysílač](#)  $V$  světelného vlnění, který se bude vůči přijímači  $P$  pohybovat [rychlostí](#)  $\vec{v}$ . Vzhledem k tomu, že během odvozování budeme potřebovat také tzv. radiální rychlost vysílače vůči přijímači, zavedeme tento pojem již nyní. Radiální rychlost  $\vec{v}_r$  je složka rychlosti  $\vec{v}$ , která míří ve směru spojnice vysílače a přijímače (viz obr. 26).

Označme  $\nu_V$  frekvenci světelného vlnění, které vysílá vysílač, a  $\nu_P$  frekvenci světelného vlnění, které přijímá přijímač. Situaci budeme sledovat z hlediska přijímače  $P$ .



Obr. 26

V teorii relativity bývá zvykem značit frekvenci symbolem  $\nu$  („ný“) namísto běžného  $f$ . Tato změna značení snad nebude na závadu v pochopení dalšího textu.

Vysílač  $V$  vyšle dva signály, které vyšle v časovém odstupu jedné [periody](#) světelného vlnění. Přijímač bude tyto dva signály přijímat rovněž v časovém odstupu jedné periody, která bude tentokrát měřena na přijímači.

První signál vyslaný vysílačem v čase  $t_{1V}$  přijme přijímač v čase  $t_{1P} = t_{1V} + \frac{l}{c}$ , kde  $l$  je vzdálenost vysílače a přijímače v okamžiku příjmu prvního signálu. Druhý signál vyšle vysílač v čase  $t_{2V} = t_{1V} + \Delta t_V$ , přijímač jej přijme v čase  $t_{2P} = t_{2V} + \frac{l - v_r \cdot \Delta t_V}{c}$ . (Zde předpokládáme, že se vysílač během doby  $\Delta t_V$  posune o malou vzdálenost, kterou lze vyjádřit pomocí radiální rychlosti bez přepočtu na směr jeho pohybu.) Pro časový rozdíl mezi přijetím prvního a druhého signálu přijímačem  $P$  dostáváme:  $t_{2P} - t_{1P} = t_{2V} + \frac{l - v_r \cdot \Delta t_V}{c} - t_{1V} - \frac{l}{c}$  a tedy  $\Delta t_P = \Delta t_V \left(1 - \frac{v_r}{c}\right)$ . Vzhledem k tomu, že  $\Delta t_P$  je doba mezi přijetím prvního a druhého signálu, platí  $\Delta t_P = \frac{1}{\nu_P}$ .

Dosud provedené odvození lze aplikovat i na klasickou [mechaniku](#) (např. na [zvukové vlnění](#)) - speciální teorie relativity zatím nebyla použita.

Situaci popisujeme z hlediska přijímače a víme, že vysílač se pohybuje rychlostí, jejíž velikost je srovnatelná s [velikostí rychlosti světla](#) ve [vakuu](#). Proto musíme brát v úvahu relativistické vlivy. Z hlediska přijímače  $P$  uplyne mezi vysláním prvního a druhého signálu vysílačem  $V$  doba

$$\Delta \tau_V = \Delta t_V \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{ což je převrácená hodnota frekvence vysílače, tj. } \Delta \tau_V = \frac{1}{\nu_V}.$$

Srovnáním zatím odvozených vztahů, můžeme tedy psát:

$$\frac{1}{\nu_P} = \Delta t_P = \Delta t_V \left(1 - \frac{v_r}{c}\right) = \Delta \tau_V \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \left(1 - \frac{v_r}{c}\right) = \frac{1}{\nu_V} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \left(1 - \frac{v_r}{c}\right) \text{ a tedy dostáváme vztah pro}$$

relativistický Dopplerův jev: 
$$\nu_P = \nu_V \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_r}{c}}$$

V případě, kdy se bude vysílač přibližovat k přijímači ve směru jejich spojnice, bude platit  $v_r = v$

$$\nu_P = \nu_V \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c}} = \nu_V \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} > \nu_V$$
 a dojde tedy k posunu k fialovému konci spektra.

Pokud se bude vysílač vzdalovat od přijímače ve směru jejich spojnice, dostaneme 
$$\nu_P = \nu_V \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} < \nu_V$$
.

Světlo přijaté přijímačem bude posunuto směrem k červenému okraji spektra.

Toto „rychlé odvození“ lze udělat tak, že místo  $v$  budeme psát  $-v$ , protože se vysílač pohybuje na opačnou stranu.

Zajímavý případ nastane, pokud se bude vysílač pohybovat kolmo na spojnici vysílače a přijímače. V tom případě totiž  $v_r = 0$  a z odvozeného vztahu pro [Dopplerův jev](#) dostaneme:

$$\nu_P = \nu_V \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
, což je tzv. **transverzální Dopplerův jev**. Transverzální Dopplerův jev se v klasické mechanice nevyskytuje, neboť je dán pouze [dilatací času](#).

V klasické mechanice by se jednalo o situaci, kdy se např. pohybuje [zdroj zvuku](#) ve směru kolmém na spojnici zdroje zvuku a pozorovatele. Dopplerův jev v tomto případě nenastává.

© **Encyklopedie Fyziky** (<http://fyzika.jreichl.com>); **Jaroslav Reichl, Martin Všeticka**

Licence <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/> zakazuje úpravy a komerční distribuci.