

## II.B Zase ty světla!

Netrpělivý řidič se přibližuje k semaforu, na kterém z dálky vidí svítit červenou. Nechce zastavovat, a jelikož je fyzikálně vzdělaný, napadne ho zrychlit na takovou rychlost, že místo červené uvidí zelenou. Vypočítejte rychlost, jakou by se musel pohybovat.  $\lambda_R = 700 \text{ nm}$   $\lambda_G = 550 \text{ nm}$ .

*SRACKA — Jindra přemýšlel nad slavným citátem „Two B or not two B?“*

Od semaforu se šíří světlo směrem k autu. Jelikož se auto pohybuje, vlnová délka světla se důsledkem *Dopplerova jevu* zmenšuje. Pro frekvenci  $f_e$  emitovaného světla a frekvenci  $f_p$  přijatého světla platí rovnice

$$f_e = f_s \left( 1 + \frac{v_p}{v} \right),$$

kde  $v_p$  je rychlost přijímače, tedy auta, a  $v$  je rychlost vlnění, v našem případě světla. Proto za  $v$  dosadíme rychlost světla  $c$ .

Chceme vypočítat, jakou rychlostí by se řidič musel pohybovat, tedy chceme zjistit  $v_p$ . Roznásobením závorky a úpravou se dostaneme k vztahu:

$$\frac{f_e - f_s}{f_s} = \frac{v_p}{c}.$$

frekvence můžeme obměnit za vlnové délky.

$$\frac{\lambda_e - \lambda_s}{\lambda_s} = \frac{v_p}{c}$$

Dostali jsme se k (zjednodušenému) vztahu, který se používá v astrofyzice. Levá strana rovnice se nazývá rudý/červený posuv.

Zpět však k naší úloze. Za vlnovou délku  $\lambda_e$  emitovaného světla dosadíme vlnovou délku  $\lambda_R$  červené barvy, a za vlnovou délku  $\lambda_s$  přijatého světla vlnovou délku  $\lambda_G$  zelené barvy. Rovnici už jen upravíme tak, abychom vyjádřili rychlost  $v_p$  auta.

$$v_p = c \frac{\lambda_R - \lambda_G}{\lambda_G}$$

Číselně výsledek vychází

$$v_p \approx 8,2 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výsledek vám možná nebude vycházet na číslo stejně... to ale vůbec nevadí. Při takhle velkém čísle nás výsledek zajímá pouze řádově.

Klasický Dopplerův jev platí pro vlnění, které se šíří jen v určitém prostředí (třeba vzduch nebo voda...). Avšak víme, že elektromagnetické vlny, a tedy i světlo, pro šíření žádné prostředí nepotřebují (mohou se šířit ve vakuu). Proto bychom správně měli používat *relativistický Dopplerův jev*. U elektromagnetických vln tento jev závisí pouze na relativním pohybu mezi přijímačem a vysílačem.

Platí pro něj vztah:

$$f_p = f_e \sqrt{\frac{c+v}{c-v}},$$

kde  $f_p$  je přijímaná frekvence,  $f_e$  frekvence emitovaná a  $v$  relativní rychlost. Frekvence opět obdobně nahradím za vlnové délky a rovnici postupně upravím.

$$\left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 = \frac{c+v}{c-v}$$

$$\left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 c - v = c + v$$

$$\left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 c - c = 2v$$

$$v = \frac{c}{2} \left( \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 - 1 \right)$$

???horní nebo dolní???

$$v = \frac{c}{2} \left( \frac{\lambda_p^2}{\lambda_e^2} - 1 \right)$$

Číselně je rychlost  $v$

$$v \approx 9,3 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Vidíme, že oba výsledky jsou pro tak velká čísla řádově stejná, proto v tomto případě je akceptovatelné použít i klasický Dopplerův efekt. Pro menší čísla by to však mohl být problém, proto pro světlo vždy počítejte s relativistickým Dopplerovým jevem.