

**12. ročník, úloha IV. S ... F-P rezonátor a lasery (6 bodů; průměr ?; řešilo 28 studentů)**

- a) Představte si Fabry-Perotův rezonátor se vzdáleností jednotlivých odrazných ploch  $d = 3 \text{ mm}$ , vyrobený ze skla o indexu lomu  $n = 1,5$ . Pro jakou nejbližší vlnovou délku k  $500 \text{ nm}$  dojde k maximální odrazivosti rezonátoru?
- b) Uvažujte F-P rezonátor z příkladu a), na nějž dopadá světlo kolmo. Kam se bude posouvat maximum z předchozího příkladu, jestliže budeme rezonátor postupně naklánět vůči směru paprsku o malý úhel  $\alpha$ ?
- c) Jakou teoreticky maximální účinnost přeměny čerpané energie lze dosáhnout u titan-safírového laseru, který svítí na vlnové délce  $800 \text{ nm}$ , jestliže ho čerpáme argonovým laserem a použijeme čerpací vlnovou délku  $515 \text{ nm}$ .
- d) Jak daleko (ve frekvenční oblasti) jsou od sebe jednotlivé módy v argonovém laseru s laserovým rezonátorem o délce  $1,5 \text{ m}$ , resp. v polovodičovém laseru s délkou rezonátoru  $0,3 \text{ mm}$ . Většina plynů má index lomu blízký jedné, polovodiče mají index lomu poměrně velký, obvykle kolem 3.

- a) Zde vystačíme pouze s interferencí paprsků v rezonátoru. Při maximální odrazivosti rezonátoru dochází k destruktivní interferenci, pro kterou platí

$$\delta = (2k + 1) \frac{\pi}{2}.$$

Ze seriálu víme, že pro fázi platí

$$\delta = \frac{2\pi nd}{\lambda_0}.$$

Výsledný vztah pro vlnovou délku je  $\lambda_0 = 4nd/(2k + 1)$ . Nejbližší vlnové délky, při nichž dochází k maximální odrazivosti rezonátoru jsou pro  $k_1 = 17999$  a  $k_2 = 18000$ . Vlnové délky tedy jsou  $\lambda_1 = 500,014 \text{ nm}$  a  $\lambda_2 = 499,986 \text{ nm}$ .

- b) V případě šikmého dopadu je rozdíl fází paprsků vystupujících z rezonátoru (viz obr. 1)

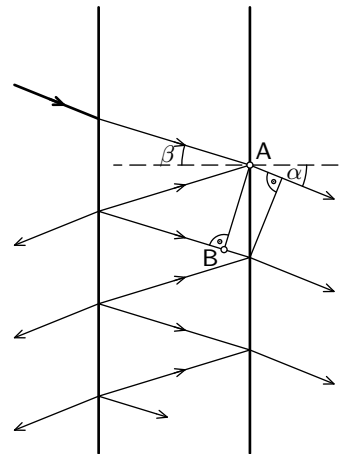
$$\delta = \frac{2\pi nd \cos \beta}{\lambda_0}.$$

Musíme vzít rozdíl fází mezi místy A a B, které se nacházejí na jedné vlnoploše. Jednoduchý postup, jak určit rozdíl optické dráhy  $\Delta$  je na obr. 2.

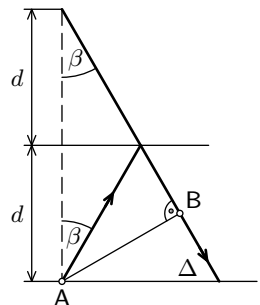
$$\Delta = 2h \cos \beta.$$

Ze Snellova zákona dosadíme za  $\cos \beta$ . Výsledný vztah pro maximum odrazivosti

$$\lambda_0 = \frac{4nd \cos \beta}{2k + 1} = \frac{4d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{2k + 1}.$$



Obr. 1



Obr. 2

- c) Z jednoho čerpacího fotonu může vzniknout maximálně jeden foton výstupní. Účinnost tedy vypočítáme jako poměr energií obu fotonů

$$\eta = \frac{E_{\text{výstupní}}}{E_{\text{čerpací}}} = \frac{\frac{hc}{\lambda_{\text{výstupní}}}}{\frac{hc}{\lambda_{\text{čerpací}}}} = \frac{\lambda_{\text{čerpací}}}{\lambda_{\text{výstupní}}} \doteq 0,64.$$

Maximální teoretická účinnost čerpání laseru je 64%. Tak vysoká účinnost se však nikde nedosahuje, protože v laseru probíhá mnoho procesů, které brání tomu, aby se všechny čerpací fotony proměnily ve fotony využitelné na výstupu laseru.

- d) Ze vztahu (6) z předminulého dílu seriálu známe podmínky pro maximum. Pro dvě nejbližší maxima platí

$$\lambda_1 = \frac{2nd}{k}, \quad \lambda_2 = \frac{2nd}{k+1}.$$

Stačí jen dosadit do vztahu mezi frekvencí a vlnovou délkou  $f = c/\lambda$  a dostáváme

$$\Delta f = f_1 - f_2 = c \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = \frac{c}{2nd}.$$

Pro argonový laser je  $\Delta f = 100$  MHz a pro polovodičový laser je rozdíl frekvencí modů asi  $\Delta f = 170$  GHz. Pro porovnání, frekvence světla s vlnovou délkou  $\lambda = 800$  nm je  $3,75 \cdot 10^{14}$  Hz. Tedy jednotlivé mody mají vzájemný frekvenční rozdíl přibližně 100 000-krát menší, než je hlavní frekvence.

*Ondřej Pejchal & Jan Hradil*