

12. ročník, úloha V. S ... synchronizace módů (mode-locking) (6 bodů; průměr ?; řešilo 24 studentů)

Předpokládejme modově synchronizovaný laser s optickou délkou rezonátoru $l = 1,8$ m, pracujícího na střední vlnové délce $\lambda = 800$ nm se středním výkonem 1 W.

- S jakou frekvencí laser produkuje jednotlivé pulsy? Jaká je mezi nimi prostorová vzdálenost?
 - Jak je prostorově dlouhý puls o délce 70 fs?
 - Kolik fotonů je v jednom pulsu?
 - Jaký je špičkový výkon v pulsu?
 - Kolik módů potřebujeme k dosažení pulsů o délce 70 fs? V jaké oblasti vlnových délek musí zesilovat aktivní prostředí? Předpokládejte stejnou amplitudu všech módů, které se účastní tvorby pulsu.
- V laseru obíhá jeden velký puls, ze kterého se pokaždé, když přijde k výstupnímu zrcadlu, část odštěpí a vyjde ven. Vzdálenost pulsů odpovídá dvojnásobné délce rezonátoru $2l$, jejich frekvence je $f = 1/T = c/2l \doteq 83$ MHz.
 - Puls urazí za dobu 70 fs dráhu $ct = 21$ μ m, stejně tak daleko je od sebe čelo a konec pulsu, tj. i puls má tuto délku.
 - Celková energie v jednom pulsu je rovna součtu energií jednotlivých fotonů $E_{\text{puls}} = nh\nu = = nhc/\lambda$, nebo také je to podíl energie vyzářené za 1 s a počtu pulsů za 1 s (frekvence f) $E_{\text{puls}} = P/f = P \cdot 2l/c$. Dosazením dostaneme celkový počet fotonů v jednom pulsu $n = = 2P\lambda l/hc^2 = 4,9 \cdot 10^9$ fotonů.
 - Předpokládejme přibližně obdélníkový tvar pulsů. Energie je obsažena v pulsech, které trvají v jedné sekundě dohromady $f\Delta t = 5,8 \cdot 10^{-6}$ s. Špičkový výkon je poměr energie vyzářené za 1 s a doby, po kterou trvají pulsy, $P_{\text{špičk.}} = P/f\Delta t = 2Pl/c\Delta t = 172$ kW.
 - Z předchozího dílu seriálu víme, že puls je dlouhý $\Delta t = 2l/Mc$, kde M je počet módů, které se účastní synchronizace módů. Pro náš puls potřebujeme přibližně $M = 2l/\Delta tc = = 171\,000$ módů. Vzdálenost jednotlivých módů od sebe je $\Delta\nu = c/2l$ a střední frekvence laseru je $\nu_0 = c/\lambda$, od níž potřebujeme na obě strany mít zesílení pro $M/2$ módů, tedy laser musí zesilovat mezi frekvencemi $\nu_{\text{min,max}} = \nu_0 \pm \Delta\nu M/2 = c/\lambda \pm 1/2\Delta t$, což ve vlnových délkách znamená zesílení mezi $\lambda_{\text{min}} = 785$ nm a $\lambda_{\text{max}} = 816$ nm.
- Všimněme si, že pro dosažení časově krátkého pulsu potřebujeme relativně spektrálně široké zesílení prostředí.

Jan Hradil