

Étude des résonances dans un micro-résonateur optique

Zoïs MOITIER, IRMAR, Université de Rennes 1

S. BALAC, E. DARRIGRAND, M. DAUGE, F. MAHÉ, Y. LAFRANCHE,
IRMAR, Université de Rennes 1

Un micro-résonateur optique à modes de galerie est un dispositif constitué d'une cavité diélectrique, généralement de forme cylindrique ou sphérique (dont la taille varie habituellement entre un et quelques centaines de μm) et de guides d'onde ou de fibres optiques servant à insérer la lumière dans la cavité et à l'en extraire. Les applications potentielles des micro-résonateurs sont nombreuses dans des domaines aussi différents que l'optoélectronique, la métrologie ou la physique fondamentale. Le travail présenté s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre l'IRMAR et le laboratoire FOTON (UMR CNRS 6082, Lannion), pôle d'excellence académique en photonique pour les technologies de l'information, dont le but est l'étude théorique des micro-résonateurs optiques. Plus précisément, il concerne l'un des aspects de la collaboration visant à calculer numériquement les résonances et modes de galerie de micro-cavités. Cela conduit à résoudre un problème aux valeurs propres pour l'équation de Helmholtz dans \mathbb{R}^n (vectorielle dans le cas tridimensionnel $n = 3$, scalaire dans le cas bidimensionnel $n = 2$) avec des conditions d'interface à la frontière de la cavité portant sur le saut de la dérivée normale de l'inconnue (différentes selon qu'il s'agisse de modes TE ou TM) et des conditions d'ondes sortantes à l'infini. L'approche retenue pour le calcul des résonances consiste à utiliser la méthode des éléments finis en raison de la souplesse qu'elle offre pour prendre en compte les géométries courbes, en 2D comme en 3D avec de fortes anisotropies géométriques. Le domaine de calcul est borné par l'utilisation de *couches absorbantes parfaitement adaptées* (PML) en adéquation avec la condition d'onde sortante.

Dans cette communication, nous présenterons des résultats mathématiques et numériques obtenus sur le modèle simplifié uni-dimensionnel suivant qui permettent de mieux appréhender les particularités du calcul de ces résonances optiques : trouver $(u, k) \in \mathbb{H}_{\text{loc}}^1(\mathbb{R}^+) \times \mathbb{C}$ tel que

$$\begin{cases} -u'' - k^2 n^2 u = 0 & \text{sur } \mathbb{R}^+ \\ [u] = 0 \quad \text{et} \quad [n u'] = 0 & \text{en } x_a \text{ et } x_b \\ u'(0) = 0 & \text{et condition de radiation en } +\infty \end{cases}$$

où n est une fonction constante par morceaux sur $[0, x_a[$, $]x_a, x_b[$ et $]x_b, +\infty[$ représentant l'indice optique des milieux. La condition de radiation en $+\infty$ choisie impose $\Im(k) \leq 0$. Nous verrons en particulier comment l'utilisation de PML adéquates [2] a pour effet de transformer les résonances recherchées pour ce problème en valeurs propres d'un autre problème dont le spectre n'est pas uniquement composé de ces résonances. L'enjeu est alors de correctement localiser les résonances dans le spectre calculé. Nous illustrerons l'approche numérique retenue en présentant des résultats de simulation obtenus en utilisant la bibliothèque d'éléments finis XLiFE++ (voir <http://uma.ensta-paristech.fr/soft/XLiFE++>) et comparerons une mise en œuvre de la h -version et de la p -version. Nous détaillerons en particulier l'influence des différents paramètres définissant la PML sur le spectre du problème en domaine borné et proposerons une méthode permettant de localiser les résonances. Nous indiquerons également comment ces résultats, obtenus sur un modèle simplifié uni-dimensionnel, peuvent être utilisés pour mieux appréhender le problème physique en dimension supérieure.

Références

- [1] A. CHIASERA et al., *Spherical whispering-gallery-mode microresonators*, Laser & Photonics Rev., 4:457–482, 2010.
- [2] S. KIM, J. E. PASCIAK, *The computation of resonances in open systems using a Perfectly Matched Layer*, Mathematics of computation, 78(267):1375-1398, 2009.