

Simulazioni numeriche di cavità fotoniche accoppiate in prossimità dell'*exceptional point*

Candidato: Matteo Ciardi (matteo.ciardi@unifi.it)

Relatore: Prof. Massimo Gurioli (massimo.gurioli@unifi.it)

Ogni sistema fotonico è intrinsecamente aperto: non esistono materiali in grado di confinare perfettamente la luce. Nonostante questo, una parte importante della ricerca in fotonica è rivolta proprio alla realizzazione di risuonatori ottici con piccole perdite, in grado di trattenere la luce al loro interno per il tempo più lungo possibile.

In particolare, negli ultimi decenni, lo sviluppo della classe di materiali artificiali noti come *cristalli fotonici* ha consentito la realizzazione di *cavità fotoniche*, che permettono di raggiungere tassi di confinamento anche molto elevati. Questi risuonatori ottici determinano la presenza di un insieme di modi risonanti, caratterizzati da frequenze complesse, che corrispondono a una serie di lorentziane nello spettro della densità degli stati locale del campo elettromagnetico (*LDOS*) e ad un alto confinamento spaziale del campo stesso.

Fra le applicazioni vi è lo studio delle cosiddette *molecole fotoniche*: sistemi di due cavità fotoniche accoppiate, i cui modi risonanti sono delocalizzati in entrambe. Generalmente, le frequenze e le distribuzioni spaziali del campo dei modi accoppiati sono predette con un semplice modello analitico, basato sulla scrittura di una matrice simile a quella di un sistema di due oscillatori armonici accoppiati, la cui efficacia è stata ampiamente testata per sistemi con piccole perdite rispetto all'accoppiamento (ovvero nel regime detto di *accoppiamento forte*). La *LDOS* risultante è ben descritta da una somma di due lorentziane centrate alle frequenze dei modi di cavità accoppiate.

In questo scenario, negli ultimi anni ha suscitato interesse lo studio di cavità accoppiate soggette a perdite consistenti in regimi che si allontanano da quello di accoppiamento forte, in particolare l'*accoppiamento debole* e il punto di transizione fra i due, denominato *exceptional point* (EP), una singolarità caratteristica degli operatori non hermitiani. Recenti risultati teorici basati sulla risoluzione diretta delle equazioni di Maxwell mostrano che in prossimità di un EP la densità degli stati assume forme spettrali manifestamente non lorentziane.

In questa tesi ci siamo posti il problema di verificare se il semplice modello analitico, utilizzato con successo in regime di accoppiamento forte, sia ancora valido vicino a un EP, se preveda la corretta forma di riga della *LDOS* e quale sia l'interpretazione fisica che ne risulta. Nello specifico abbiamo calcolato con metodi numerici lo spettro di emissione di un dipolo oscillante in un sistema di cavità a cristallo fotonico accoppiate, studiando i diversi regimi di accoppiamento attraverso una variazione delle perdite. È stato compiuto uno studio sistematico di varie configurazioni in prossimità dell'EP osservando le predette forme non-lorentziane. Il confronto con le predizioni del modello analitico dimostra la validità di quest'ultimo nel prevedere le corrette forme di riga.

Il modello non si limita però a descrivere adeguatamente la *LDOS* anche intorno all'*exceptional point*: ne suggerisce altresì un'interpretazione fisica, legata all'interferenza tra modi che interviene nel processo di emissione del dipolo elettrico. Secondo questa interpretazione, le forme di riga non lorentziane non derivano dall'interferenza tra i modi di singola cavità, il che le renderebbe conseguenza dell'accoppiamento. Al contrario, l'interferenza ha luogo tra i modi accoppiati, e la *LDOS* osservata è conseguenza della sovrapposizione in frequenza tra i modi quasi normali della struttura completa.