

Max Planck Institut za Gravitacijsku fiziku  
Grupa za kontrolu kvantne kvalitete  
Pregled optomehanike  
Doktorski studij

Adrian Udovičić

Hannover, 2023

## Sažetak

Key words:

# SADRŽAJ

1	Osnovna svojstva .....	1
	Osnovna svojstva optičkih rezonatora .....	1
	Ulazno-Izlazni formalizam optičke šupljine .....	2
2	Mehanički rezonatori .....	3
	Mehanički Normalni Modovi .....	3
	Mehanička disipacija .....	3

# 1 Osnovna svojstva

## 1.1 Osnovna svojstva optičkih rezonatora

Gledamo prvo klasični odziv jednostavne Fabry-Perot (FP) rezonirajuće komore. FP rezonantna šupljina sastoji se od dva visoko reflektivna zrcala udaljena  $L$  jedno od drugog, i niz rezonancija dane s kružnom frekvencijom  $\omega_{cav,m} \approx \frac{m\pi c}{L}$ . Ovdje je  $m$  cijeli broj koji označava vibracijski mod. Razmak između dva logitudinalna rezonantna moda je dan s

$$\delta\omega_{FSR} = \pi \frac{c}{L}, \quad (1.1)$$

gdje  $\delta\omega_{FSR}$  označava slobodni spektralni raspon, odnosno raspon frekvencija kojim naš rezonator ne vibrira. Konačna transparentnost zrcala i interna absorpcija ili raspršenje van rezonantne šupljine dovode do konačnog fotonske stope istjecaja  $\kappa$ . Korisna je znati i optičku finesu (eng. *finess*)  $\mathfrak{F}$  naše šupljine koja obilježava srednji broj refleksija fotona prije nego izađe iz šupljine. Dana je s

$$\mathfrak{F} = \frac{\delta\omega_{FSR}}{\kappa}. \quad (1.2)$$

Optička finesa je bitna za određivanje snage unutar komore. Također možemo uvesti faktor kvalitete za optički rezonator dan pomoću

$$\mathfrak{Q}_{opt} = \omega_{cav}\tau. \quad (1.3)$$

### Bilješka

Recimo da je snaga lasera za pumpanje komore prije ulaska u komoru 1W. Recimo da je reflektivnost visoko reflektivnih zrcala 0,99999. U komoru će ući  $(1 - 1 \cdot 0,99999)$  W snage zračenja. Ako je  $\mathfrak{F} = 100000$  snaga zračenja u komori će biti  $(1 - 1 \cdot 0,99999) \cdot 100000 = 1W$  prije nego iscijedi zračenje iz komore u vremenu  $\kappa^{-1} = \tau$ , što je u ovom primjeru isto kao i snaga ulaznog zračenja.

Općenito stopa istjecanja  $\kappa$  može imati dva doprinosa: Od korisnog ulaznog (izlaznog) vezanja ( $\kappa_{ex}$ ) i od unutar-njih gubitaka ( $\kappa_0$ ). Tako da možemo pisati

$$\kappa = \kappa_{ex} + \kappa_0. \quad (1.4)$$

## 1.2 Ulazno-Izlazni formalizam optičke šupljine

Kvantno mehanički opis rezonantne šupljine vezane za vanjsko elektromagnetsko zračenje može se dati ili koristeći tzv. *Master* jednadžbe (ako nas zanima samo unutarnja dinamika) ili, ako želimo saznati EM polje emitiranog (reflektiranog) zračenja u šupljini, pomoću ulazno-izlaznog formalizma. Taj formalizam nam dopušta modeliranje kvantnih fluktuacija iz bilo kojeg terminala vezanja (npr. ulazno zrcalo) šupljine. Također se uzima u obzir koherentno zračenje kojim "guramo" sustav<sup>‡</sup>.

---

<sup>‡</sup>Baciti oko na [1] i [2].

## 2 Mehanički rezonatori

### 2.1 Mehanički Normalni Modovi

### 2.2 Mehanička disipacija

## Literatura

- [1] C. W. Gardiner and P. Zoller, *Quantum Noise: A handbook of markovian and non-Markovian Quantum stochastic methods with applications to Quantum Optics*. Springer, 2004.
- [2] A. A. Clerk, M. H. Devoret, S. M. Girvin, F. Marquardt, and R. J. Schoelkopf, “Introduction to quantum noise, measurement, and amplification,” *Reviews of Modern Physics*, vol. 82, no. 2, p. 1155–1208, 2010.