

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

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

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 istjecanja κ . Korisna je znati i optičku finesu (eng. *finess*) \mathcal{F} naše šupljine koja obilježava srednji broj refleksija fotona prije nego izađe iz šupljine. Dana je s

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

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

$$(1.3) \quad Q_{opt} = \omega_{cav}\tau.$$

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 $\mathcal{F} = 100000$ 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 κ može imati dva doprinosa: Od korisnog ulaznog (izlaznog) vezanja, κ_{ex} i od unutarnjih gubitaka, κ_0 . Tako da možemo pisati

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

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[‡].

Korištenjem Heisenbergovih jednadžbi gibanja opisujemo vremensku evoluciju amplitude \hat{a} unutar šupljine. Amplituda se guši s $\frac{\kappa}{2}$. Istovremeno se fluktuacije konstantno obnavljaju kroz ulaze u šupljinu putem kvantnog šuma. Razlikujemo između dva kanala ulaznog vezanja (κ_{ex}) i ostalih gubitaka (κ_0).

$$(1.5) \quad \dot{\hat{a}} = -\frac{\kappa}{2}\hat{a} + i\Delta\hat{a} + \sqrt{\kappa_{ex}}\hat{a}_{in} + \sqrt{\kappa_0}\hat{f}_{in}$$

U klasičnom slučaju \hat{a} bi zamjenili svojstvom normalizacije kompleksne amplitude električnog polja moda šupljine koji nas zanima. Prelazak na klasični slučaj možemo dobiti usrednjavanjem tako da $\hat{a} \rightarrow \langle \hat{a} \rangle$.

[‡]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.

Popis tablica

Popis slika