XXX Encontro Anual de Iniciação Científica
VII Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior
eaic 2021

# ESTUDO DE CAVIDADES OPTOMECÂNICAS

Bruno Piveta Schnepper (PIBIC/UEPG), Fabiano Manoel de Andrade (Orientador), fmandrade@uepg.br.

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Matemática e Estatística.

**Física/Física Geral**

Palavras-Chave: *Estados não clássicos, emaranhamento, espelho móvel*

## Resumo

Neste trabalho estudamos a dinâmica e as propriedades de sistemas optomecânicos. Um sistema optomecânico é composto por uma cavidade óptica interagindo com um espelho móvel. Os fótons da cavidade geram uma pressão de radiação sobre espelho, essa pressão pode dar origem à uma vasta classe de estados não clássicos do campo da cavidade, incluindo estados emaranhados entre modos de cavidade e estados de superposição.

## Introdução

Estamos interessados nos sistemas optomecânicos os quais são formados por uma cavidade ótica e um espelho móvel. Esses dois últimos podem ser descritos como osciladores harmônicos acoplados [1]. Então, podemos escrever o Hamiltoniano do sistema como [2]

$$H = \hbar\omega_0 a^\dagger a + \hbar\omega_m b^\dagger b - \hbar g a^\dagger a(b + b^\dagger), \qquad (1)$$

onde $\hbar$ é a constante de Planck, $a$ e $a^\dagger$ ($b$ e $b^\dagger$) são os operadores associados à cavidade (ao espelho) de frequência $\omega_0$ ($\omega_m$). O último termo em (1) representa a interação entre a cavidade e o espelho, com intensidade $g$, e leva ao aparecimento de estados não clássicos, os quais incluem estados comprimidos e emaranhados.

## Material e Métodos

Este trabalho baseia-se no estudo de conceitos fundamentais de mecânica quântica e óptica quântica e usamos como materiais exclusivamente literatura estrangeira dentre as quais estão incluídas as referências [1,2].

## Resultados e Discussão

De modo a estudar o estado evoluído do sistema, usamos o Hamiltoniano (1) para obter o operador de evolução temporal, $U(t) = e^{-iHt/\hbar}$. O estado inicial é dado pelo produto tensorial entre dois estados coerentes, um associado à cavidade, e outro associado ao espelho, $|\Psi(0)\rangle = |\alpha\rangle_c \otimes |\beta\rangle_m$. Os estados coerentes representam estados do oscilador harmônico quântico (OHQ) com incerteza mínima. Com o propagador e o estado inicial podemos obter a dinâmica do sistema. Assim, o estado evoluído é dado por

$$|\Psi(t)\rangle = e^{-\frac{|\alpha|^2}{2}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha^n}{\sqrt{n!}} e^{ik^2n^2(t-\operatorname{sen} t)} |n\rangle_c \otimes |\phi_n(t)\rangle_m,$$

onde $|\phi_n(t)\rangle_m = e^{ikn\beta \operatorname{sen} t}|\beta e^{-it} + kn(1 - e^{-it})\rangle$ e $n$ é o número de fótons na cavidade. Com o estado evoluído somos capazes de analisar a presença de emaranhamento através da entropia linear, a qual é dada por $S(\rho_m(t)) = 1 - \mathrm{Tr}(\rho_m(t)^2)$, onde $\rho_m(t)$ é a matriz densidade reduzida do espelho. Podemos calcular o emaranhamento em função da intensidade do parâmetro de acoplamento $k = g/\omega_0$ (ver Figura 1). Além disso, utilizando a função de Wigner, a qual é uma distribuição de quasi-probabilidades no espaço de fase, podemos observar a formação de estados do tipo gato de Schrödinger da cavidade através da forma da distribuição e então, determiná-los analiticamente. O estado gato de Schrödinger é um estado de superposição entre dois estados, no caso da cavidade o que obtemos é a superposição entre estados de oscilação diferentes. Esse método de caracterização de estados não clássicos é vantajoso uma vez que são conhecidas formas de reconstruir a função de Wigner experimentalmente.

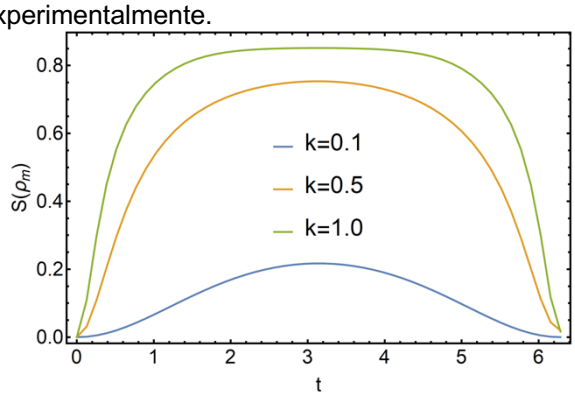



**Figura 1.** Entropia linear do estado reduzido do sistema.

## Conclusão

Nesse trabalho realizamos um estudo introdutório dos princípios da mecânica quântica através do OHQ e dos estados coerentes. Além disso vimos a versatilidade dos sistemas optomecânicos, os quais possuem grande potencial, tanto teórico quanto experimental, e possuem várias aplicações como, por exemplo, em interferometria e no estudo de gravidade quântica, visto que há o aparecimento de estados não clássicos em um objeto macroscópico, o espelho.

## Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio financeiro da UEPG (Bolsa de IC), do CNPq (Projetos n.º 434134/2018-0 e 314594/2020-5) e do INCT- IQ.

[1] S. Bose, K. Jacobs, and P. L. Knight, Phys. Rev. A **56**, 4175 (1997).

[2] M. Aspelmeyer, T. J. Kippenberg, and F. Marquardt, Rev. Mod. Phys. **86**, 1391 (2014).