

# Large dynamic light-matter entanglement from driving neither too fast nor too slow

Álvaro José González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física  
Universidad de los Andes

Seminario Óptica Cuántica, 2017

- 1 **Introducción**
  - Modelo de Dicke (DM)
  - Medidas de entanglement entre dos sistemas
- 2 **Nuevo régimen de comportamiento dinámico de radiación-materia**
  - Evolución temporal del sistema
  - Persistencia de los resultados
- 3 **Gas súper fluido en una cavidad óptica**
- 4 **Conclusiones**

## 1 Introducción

- Modelo de Dicke (DM)
- Medidas de entanglement entre dos sistemas

## 2 Nuevo régimen de comportamiento dinámico de radiación-materia

- Evolución temporal del sistema
- Persistencia de los resultados

## 3 Gas súper fluido en una cavidad óptica

## 4 Conclusiones

# Hamiltoniano DM

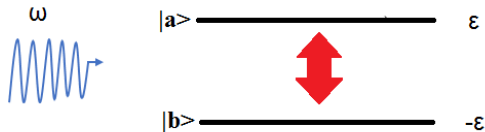
Describe el comportamiento de un sistema compuesto por N qubits de materia interactuando con un único modo de radiación (Luz) siguiendo el siguiente hamiltoniano

$$\hat{H} = \epsilon \hat{J}_z + \omega \hat{a}^\dagger \hat{a} + 2 \frac{\lambda(t)}{\sqrt{N}} \hat{J}_x (\hat{a}^\dagger + \hat{a})$$

Donde el operador

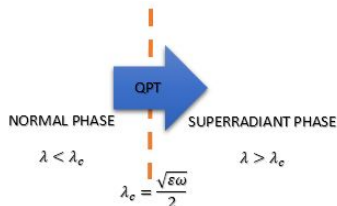
$$\hat{J}_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \hat{\sigma}_i^{(j)}$$

denota los operadores colectivos de los N qubits. y  $\lambda(t)$  representa la fuerza de interacción radiación-materia en un tiempo t



# QFT en el DM

En el límite termodinámico  $N \rightarrow \infty$  el hamiltoniano del DM puede presentar una transición de fase



lo que implica un cambio significativo en el estado base del DM. En la fase superradiante

$$\langle \hat{N}_{rad} \rangle = \langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle \neq 0$$

$$\langle \hat{N}_Q \rangle = \langle J_z + \frac{N}{2} \rangle \neq 0$$

## 1 Introducción

- Modelo de Dicke (DM)
- Medidas de entanglement entre dos sistemas

## 2 Nuevo régimen de comportamiento dinámico de radiación-materia

- Evolución temporal del sistema
- Persistencia de los resultados

## 3 Gas súper fluido en una cavidad óptica

## 4 Conclusiones

# Entropía de von Neumann $S_N$

Dado un sistema compuesto (A,B), la entropía de von Neumen se define para el subsistema A como:

$$S_N = -tr\{\hat{\rho}_A \ln(\hat{\rho}_A)\}, \hat{\rho}_A = tr_B\{|\psi\rangle\langle\psi|\}$$

y su valor representa el intercambio irreversible de información entre los subsistemas, de tal manera que:

$$S_N = 0 \Rightarrow |\psi\rangle = |\psi\rangle_Q \otimes |\psi\rangle_{rad}$$

Si el sistema ahora esta abierto

$$|\psi\rangle \rightarrow \hat{\rho}$$

$S_N$  ya no es un buen testigo de entanglement y se debe definir la negatividad cuantica como:

$$N_-(\hat{\rho}) = \frac{\|\hat{\rho}^{\Gamma_q}\| - 1}{2}$$

donde, para estados entangled se tiene que

$$N_-(\hat{\rho}) \neq 0$$



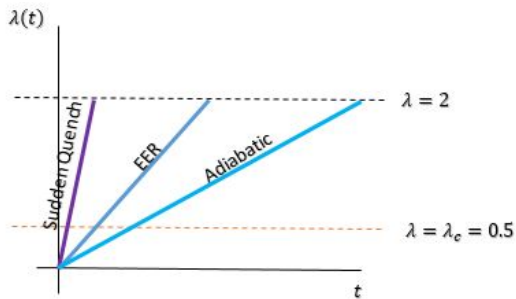
# Outline

- 1 **Introducción**
  - Modelo de Dicke (DM)
  - Medidas de entanglement entre dos sistemas
- 2 **Nuevo régimen de comportamiento dinámico de radiación-materia**
  - **Evolución temporal del sistema**
  - Persistencia de los resultados
- 3 **Gas súper fluido en una cavidad óptica**
- 4 **Conclusiones**

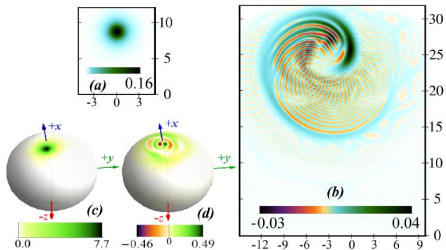
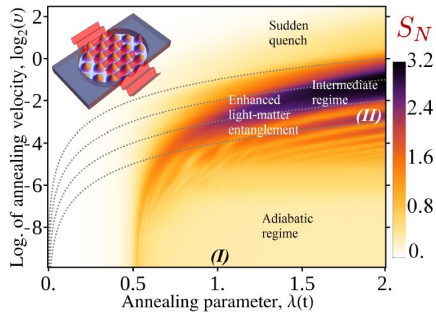
# Annealing parameter

El Annealing parameter, representa el grado de interacción existen de entra la radiación y la materia en el tiempo.

- $\lambda(t) = vt$
- $\omega = \epsilon$
- $\lambda_c = 0.5$

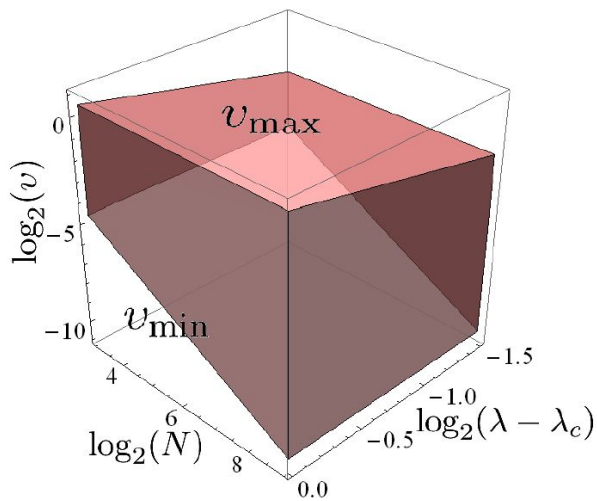


# Estado puro



- 1 **Introducción**
  - Modelo de Dicke (DM)
  - Medidas de entanglement entre dos sistemas
- 2 **Nuevo régimen de comportamiento dinámico de radiación-materia**
  - Evolución temporal del sistema
  - **Persistencia de los resultados**
- 3 **Gas súper fluido en una cavidad óptica**
- 4 **Conclusiones**

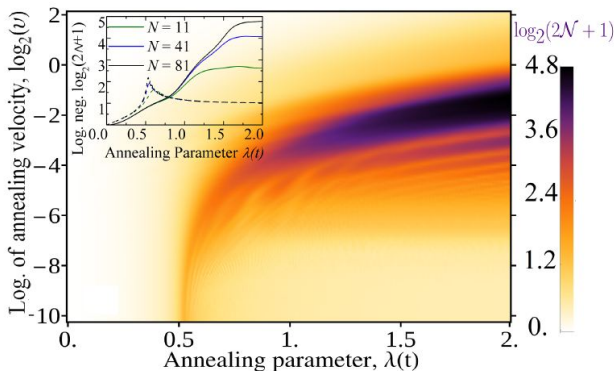
# Dependencia del Annealing velocity con $N$

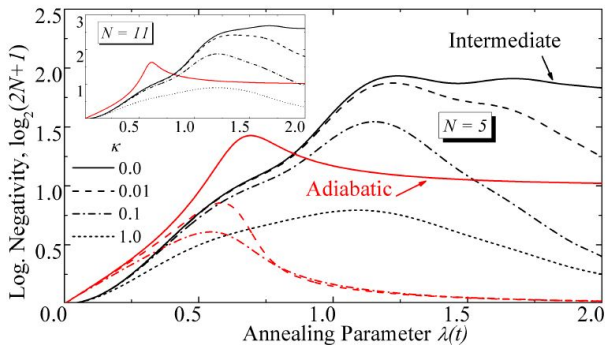


# Sistema cuántico abierto

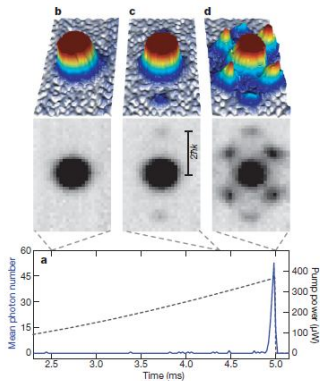
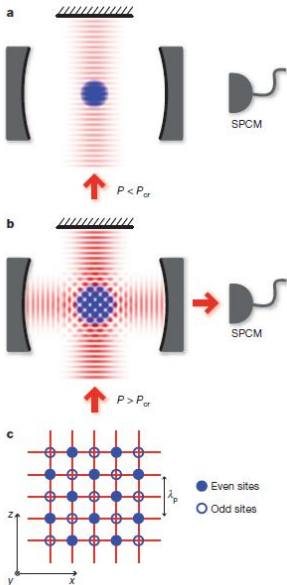
La evolución temporal para la matriz densidad del sistema, se puede modelar por una ecuación maestra en forma de Linblad:

$$\frac{d}{dt}\hat{\rho} = -i[\hat{H}, \hat{\rho}] + 2\kappa(\bar{n} + 1)\mathcal{D}(\hat{\rho}; \hat{a}) + 2\kappa\bar{n}\mathcal{D}(\hat{\rho}; \hat{a}^\dagger)$$





# BEC en una cavidad





- Se descubrió un régimen dinámico donde el entanglement radiación-materia se logra para velocidades intermedias
- Se argumentó, que los resultados persisten bajo condiciones mas realistas, correspondientes a  $N$  muy grandes y a la presencia de factores de disipación

- Acevedo, O. L., Quiroga, L., Rodríguez, F. J., Johnson, N. F. (2015). Large dynamic light-matter entanglement from driving neither too fast nor too slow. *Physical Review A*, 92(3), 032330.
- Baumann, K., Guerlin, C., Brennecke, F., Esslinger, T. (2010). Dicke quantum phase transition with a superfluid gas in an optical cavity. *Nature*, 464(7293), 1301-1306.
- Emary, C., Brandes, T. (2003). Chaos and the quantum phase transition in the Dicke model. *Physical Review E*, 67(6), 066203.
- Gómez-Ruiz, F. J., Acevedo, O. L., Quiroga, L., Rodríguez, F. J., Johnson, N. F. (2016). Quantum Hysteresis in Coupled Light-Matter Systems. *Entropy*, 18(9), 319.
- Acevedo, O. L., Quiroga, L., Rodríguez, F. J., Johnson, N. F. (2015). Robust quantum correlations in out-of-equilibrium matter-light systems. *New Journal of Physics*, 17(9), 093005.
- Amico, L., Fazio, R., Osterloh, A., Vedral, V. (2008). Entanglement in many-body systems. *Reviews of Modern Physics*, 80(2), 517.