

Estudio de las Funciones de Coherencia de la Luz en un Sistema Jaynes-Cummings no Lineal

Study of the Coherence Functions of Light in a Jaynes-Cummings non-linear System

Yurimar Ruiz ^{a*}
Julio González ^{b*}
Pablo Villamil ^{c*}

Fecha de Recepción: 08.11.2018

Fecha de Aceptación: 27.12.2018

DOI: <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n1.2019.8098>

Resumen

En este trabajo se consideró un punto cuántico de dos niveles dentro de una cavidad con un medio no lineal tipo Kerr y un solo modo del campo electromagnético cuantizado. Se construyó la ecuación maestra considerando procesos disipativos, el término no lineal Kerr y se solucionó numéricamente para el estado estacionario teniendo en cuenta la temperatura. A partir de estos resultados se analizó la influencia que tiene el medio no lineal en la evolución temporal del número medio de fotones, la inversión de población, el espectro de fotoluminiscencia y se determinaron las características cuánticas-clásicas del estado de la luz mediante el cálculo de las funciones de coherencia de fotones de segundo orden.

Palabras clave: óptica no lineal, punto cuántico (QD), microcavidad, fotoluminiscencia (PL), ecuación maestra, funciones de correlación, Medio Kerr, estados cuánticos de luz.

Abstract

In this work, a two-level quantum dot inside of a cavity with a non-linear Kerr-type medium and a single mode of the electromagnetic field quantized was considered. The master equation was constructed taking into account dissipative processes, with the non-linear Kerr term, and it was numerically solved for the stationary state, taking into account the temperature. On the basis of these results, observable aspects of the state of the light were calculated, such as the average number of photons and the spectrum of photoluminescence, and the quantum-classical characteristics of the state of the light were determined by means of the calculation of the coherence functions of the second-order photons.

Key words: Nonlinear optics, quantum dot (QD), microcavity, photoluminescence (PL), master equation, Kerr medium, Quantum states of light..

a Departamento de Física, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

* Autor de correspondencia: Yurimar86@gmail.com

b Departamento de Física, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

* juliocg@ifi.unicamp.br

c Departamento de Física, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

* pabloe1954@yahoo.es

1. INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista teórico el problema más simple a considerar es un átomo aproximado a un sistema de dos niveles interactuando con un campo electromagnético cuantizado de un solo modo. El modelo de Jaynes-Cummings (MJC) es uno de los pocos modelos cuánticos exactamente solubles; este modelo ha atraído la atención de investigadores por más de 20 años y ha servido como un campo de pruebas para los modelos básicos de la interacción radiación-materia [1, 2]. Este modelo es generalizado en muchas direcciones, ya que predice muchos efectos cuánticos novedosos que pueden ser verificados en experimentos de la física moderna [3–5]. La introducción del medio Kerr (material que al interactuar con radiación electromagnética presenta un comportamiento no lineal) en el Hamiltoniano del sistema crea efectos no lineales. Una de las muchas aplicaciones de estos efectos no lineales es producir estados entrelazados, que se aplica ampliamente en información y comunicación cuántica [6–10]. En el trabajo de Joshi *et. al.*, [11] se estudió el efecto de un medio Kerr en los fenómenos de colapso y reavivamiento en la inversión de población para un sistema de dos niveles. Wei *et. al.* [12], investigaron el papel que juega el término no lineal en la modulación y preparación de estados cuánticos, proponiendo éste como un parámetro controlable en las investigaciones experimentales de este campo. E. del Valle *et. al.* [13], estudiaron las correlaciones entre N fotones usando la teoría de frecuencia filtrada y tiempo resuelto. Presentando un método para calcular de manera eficiente las correlaciones entre un número arbitrario de fotones de frecuencias dadas y retardos de tiempo. Por otra parte, investigaron la emisión de estados desde el punto de vista de las correlaciones de dos fotones resueltos en frecuencia. Esto lo derivaron de un filtrado espectral, que se puede lograr mediante el uso de una cavidad o mediante la colocación de una serie de filtros de interferencia antes de los detectores. También estudiaron los llamados “procesos de salto” donde el sistema experimenta una transición directa de dos fotones [14]. El objetivo de este trabajo es estudiar el estado cuántico de la luz en un sistema Jaynes-

Cummings no lineal y disipativo modelado con una aproximación markoviana usando funciones de coherencia de segundo orden. En los procesos disipativos es importante considerar los efectos de la temperatura, ya que, estos inciden en los diferentes procesos cuánticos del sistema [15–18]. Para calcular estas funciones de coherencia de segundo orden es necesario el cálculo de la función de correlación de primer y segundo orden.

2. HAMILTONIANO DEL SISTEMA Y ECUACIÓN MAESTRA

El modelo bajo consideración consta de un solo punto cuántico (QD) de dos niveles en un campo electromagnético cuantizado de un solo modo, rodeado por un medio Kerr (ver figura 1).

El Hamiltoniano que describe este sistema viene dado por [7] :

$$\hat{H}_K = \frac{1}{2}\hbar\omega_a\hat{\sigma}_z + \hbar\omega\hat{a}^\dagger\hat{a} + \hbar g(\hat{\sigma}_+\hat{a} + \hat{a}^\dagger\hat{\sigma}_-) + \chi\hat{a}^{\dagger 2}\hat{a}^2, \quad (1)$$

donde el primer término del Hamiltoniano \hat{H}_K está asociado al QD libre, el segundo término hace referencia al modo cuantizado de la cavidad, el tercero a la interacción Jaynes-Cummings del QD con el modo cuantizado de la cavidad y el cuarto término a la interacción del medio Kerr con el modo cuantizado de la cavidad. $\hat{\sigma}_z$ es el operador de Pauli en la dirección z , $\hat{\sigma}_+$, $\hat{\sigma}_-$ son los operadores de transición atómica de Pauli representados en una base $|g\rangle$ y $|e\rangle$ por matrices de Pauli, \hat{a} y \hat{a}^\dagger son los operadores aniquilación y creación del modo del campo de la cavidad, ω_a y ω son las frecuencias del QD y del modo de la cavidad respectivamente y g es la constante de acoplamiento Jaynes-Cummings. χ da cuenta de la dispersión de la no linealidad del medio Kerr. El medio Kerr se describe considerando a la cavidad como dos átomos de Rydberg, uno de ellos se comporta como un átomo de dos niveles que realiza una transición de dos fotones y el otro como un oscilador anármonico de frecuencia ω_a [11].

Los estados propios de \hat{H}_K son los estados vestidos que cumplen [19, 20] :

