

Nuevas ecuaciones de propagación en fibras ópticas y su aplicación en tecnologías cuánticas

- Juan Bonetti,¹ Diego Grosz,¹ Santiago Hernandez¹

¹*Grupo de Comunicaciones Ópticas, Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones, GDTyPE, GAIyANN, Centro Atómico Bariloche.*

Durante los últimos años, las fibras ópticas no lineales han sido utilizadas en la realización y prueba experimental de múltiples dispositivos de tecnologías cuánticas. Un claro ejemplo de esto es la manipulación del estado cuántico de la luz, como la conversión de frecuencia de fotones individuales o single-photons, la cual ha permitido resolver la interfaz con memorias cuánticas. Por otro lado, la generación de pares de fotones entrelazados en fibras no lineales ofrece una buena oportunidad para obtener fuentes de fotones individuales o single-photon sources, indispensables para la mayoría de los sistemas de distribución cuántica de claves y computación cuántica. Sin embargo, y a pesar de la evidente relevancia de las fibras no lineales para las tecnologías cuánticas, no existen ecuaciones de propagación de complejidad accesible que permitan predecir, por ejemplo, cómo evoluciona el estado cuántico de un fotón individual en un dispositivo conversor de frecuencia. De hecho, la propagación en fibras no lineales se modela con la conocida generalized nonlinear Schrödinger equation (GNLSE), la cual se limita al estudio de pulsos de luz clásica. Por otro lado, las teorías cuánticas de las fibras no lineales no ofrecen una opción sencilla para calcular la evolución del estado cuántico de la luz, ya que requieren la cuantización del campo electromagnético y de estructura molecular que compone la fibra. En este trabajo presentamos una nueva ecuación de propagación que permite calcular la evolución del estado cuántico de la luz dentro de una fibra no lineal y que permite modelar varios experimentos relevantes en tecnologías cuánticas. Esta nueva ecuación maestra sólo requiere del conocimiento de los parámetros macroscópicos característicos de la fibra, como la atenuación, la dispersión y el coeficiente de no linealidad. Por otro lado, demostramos que esta ecuación no sólo es compatible con la GNLSE en el límite clásico sino que, también, permite una derivación alternativa de las ecuaciones estocásticas que modelan el ruido cuántico en fibras no lineales. Dentro de las aplicaciones de esta ecuación maestra destacamos la derivación de nuevas ecuaciones de propagación clásicas para fibras no lineales con coeficientes no lineales dependientes de la frecuencia. En estos tipos de fibras, la GNLSE predice resultados físicamente inconsistentes, tales como la no conservación del número de fotones o de la energía. En cambio, las ecuaciones derivadas de la ecuación maestra, que resultan ser versiones modificadas de la GNLSE, no presentan estos inconvenientes.

Finalmente, y a modo de ejemplo, mostramos resultados numéricos de la ecuación maestra que permiten analizar la eficiencia de esquemas novedosos de una single-photon source basada en silicon nanowires decorados con óxido de grafeno, los cuales resultan prometedores para el área de la fotónica integrada.