

Física Teórica 2

Primer Cuatrimestre 2021

Guía 8: Ejercicio a entregar

Fecha límite entrega por Campus: Jueves 24 de Junio 17:00

Fecha límite evaluación optativa entre alumnos por Campus: Sabado 26 de Junio, 17:00

Poner una dirección de gmail en el pdf para recibir su evaluación por parte de un docente

P1 **Generación de entrelazamiento multipartito en CQED.** En el siguiente problema veremos cómo generar entrelazamiento entre más de dos grados de libertad usando la interacción entre átomos y cavidades. Dados tres subsistemas de dimensión 2, se define el estado W como

$$|W\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle + |010\rangle + |100\rangle),$$

que es notable por varias de sus propiedades. A continuación veremos distintas formas de construir este estado usando las interacciones del modelo de Jaynes–Cummings.

- (a) En primer lugar, veremos cómo generar el estado W entre tres cavidades. Supongamos que tenemos tres cavidades C_1, C_2, C_3 y un átomo de dos niveles A que atraviesa secuencialmente cada una de las cavidades. Consideraremos además que las tres cavidades están todas en resonancia con el átomo. Inicialmente, cada cavidad está en el estado de vacío, mientras que el átomo se encuentra en el estado excitado. Luego, el átomo atraviesa C_1, C_2 y C_3 en ese orden y se eligen los tiempos T_i ($i = 1, 2, 3$) que el átomo transcurre dentro de la i -ésima cavidad de forma tal que

$$\tan\left(\frac{\Omega T_1}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \frac{\Omega T_2}{2} = \frac{\pi}{4}, \quad \frac{\Omega T_3}{2} = \frac{\pi}{2}.$$

Muestre que el estado de las tres cavidades al final de este proceso es un estado W .

Ayuda: recuerde que $\cos(\arctan(x)) = 1/\sqrt{1+x^2}$ y $\sin(\arctan(x)) = x/\sqrt{1+x^2}$.

- (b) En segundo lugar, veremos cómo construir el estado W entre tres átomos. Para ello, supongamos que tenemos una cavidad C y tres átomos A_1, A_2, A_3 , que hacemos pasar uno por uno por la cavidad. Consideraremos además que los tres átomos son idénticos y la cavidad está en resonancia con la transición $|g\rangle \rightarrow |e\rangle$. Inicialmente la cavidad se encuentra vacía (sin fotones), mientras que el átomo A_1 inicialmente se encuentra en el estado e , mientras que los átomos A_2 y A_3 en el estado g . Los átomos se hacen pasar secuencialmente uno por uno por la cavidad y se eligen los tiempos de interacción T_i ($i = 1, 2, 3$) de cada átomo dentro de la cavidad (¿cómo puede controlar esto?) de forma tal que

$$\tan\left(\frac{\Omega T_1}{2}\right) = \sqrt{2}, \quad \frac{\Omega T_2}{2} = \frac{5\pi}{4}, \quad \frac{\Omega T_3}{2} = \frac{\pi}{2}.$$

Muestre entonces que el estado final de los tres átomos es el estado W .

- (c) Para un estado $|W\rangle$ genérico, muestre que el estado es invariante ante permutaciones de las partículas, y calcule la matriz densidad reducida de 1 y de 2 partículas. Concluya que el estado efectivamente es entrelazado. Más aún, se puede mostrar que todo par de partículas está entrelazado entre sí.