

Oscilaciones de Rabi en iones de calcio atrapados

Objetivo: Determinar el estado cuántico del movimiento de un único ion atrapado mediante la observación de las oscilaciones de Rabi de una transición óptica del ion.

Introducción: Los experimentos con iones fríos atrapados son una plataforma para realizar experimentos de física cuántica que sirven para estudiar física fundamental y realizar aplicaciones. En ellos se puede, por ejemplo, controlar la dinámica de interacción entre un único átomo y un láser, entre los distintos grados de libertad de este átomo o entre átomos. Esto permite utilizarlos como piezas fundamentales en relojes atómicos, computadoras y simuladores cuánticos.

El control y medición de los iones se realiza con una secuencia de pulsos láseres temporizados y sintonizados adecuadamente seguida de una lectura de fluorescencia que determina el estado atómico al final de un experimento. Esos pulsos permiten preparar un estado, modificarlo y medirlo. Por ejemplo, un láser en resonancia generará oscilaciones coherentes entre dos niveles electrónicos sin alterar el movimiento del ion. Dichas oscilaciones se conocen como oscilaciones de Rabi. En cambio, si el láser está sintonizado a una banda lateral, acoplará el movimiento y el estado interno del ion. A su vez, la forma de estas oscilaciones depende fuertemente del estado de movimiento inicial del átomo. Esto permite utilizar este tipo de interacciones tanto para modificar de manera controlada el estado del ion como para medir su estado.

Detector:

Los pulsos láseres de control generan cambios en las poblaciones atómicas. Al final de cada experimento se debe determinar el estado atómico. Para determinarlo se realiza un último pulso láser que hará al átomo fluorescer o no dependiendo de su estado.

La fluorescencia de los iones se enfoca mediante un sistema óptico y se detecta con una cámara EMCCD. En dicha detección se define una región de interés en donde se halla el ion y se computa la cantidad de cuentas medida durante un determinado tiempo de exposición de dicha cámara. Dicha cantidad de cuentas varía en cada ciclo de medición debido a que el proceso de fluorescencia es estocástico, y debido que también hay luz de fondo y cuentas de oscuridad en el detector.

Actividades sugeridas

1. Calibrar la fluorescencia del ion mediante el estudio de mediciones de fluorescencia con dos configuraciones de láseres: una configuración en donde el ion no fluoresce, y otra en donde fluoresce.
2. Establecer un umbral de cuentas tal que se pueda considerar al ion como fluorescencia o no. Determinar el error esperado en función del umbral. Determinar un umbral óptimo. Estudiar la dependencia de dicho umbral con el tiempo de exposición de la cámara.

3. Analizar las oscilaciones de Rabi de un ion enfriado cerca de su estado fundamental. Determinar las poblaciones atómicas en función de la fluorescencia. Determinar el error estadístico de cada medida. Estimar la temperatura del ion.
4. Estudiar la diferencia en la temperatura para un ion enfriado por banda lateral (SBC) y uno por enfriamiento Doppler. Estudiar el comportamiento de las bandas laterales en ambos regímenes. Comparar los resultados de enfriado en una o varias bandas laterales.
5. Analizar la necesidad de incluir un factor de decoherencia en el modelo.
6. Evaluar la utilización de métodos alternativos a un ajuste no lineal para determinar los parámetros del modelo.
7. Discutir el resultado de la reconstrucción del estado. ¿Pueden asegurar que es térmico?

Datos:

Para la realización de esta práctica se usarán datos registrados por una cámara EMCCD en un experimento con un ion de calcio atrapado expuesto a las distintas configuraciones de láseres descritas. Los datos se encuentran en archivos .dat.

Dichos archivos se llaman rawdataEMCCD.dat y se hallan en carpetas nombradas con el número de la medición realizada. Cada medición se detalla en el archivo log_mediciones.odt.

Adicionalmente, se seleccionaron algunos de estos archivos raw y se prepararon 4 archivos simplificados para realizar unas primeras pruebas:

- Para la calibración de la fluorescencia del ion, con las mediciones 66, 67 y 72 se prepararon 3 archivos con 3 distintos tiempos de exposición de la cámara ordenados con dos columnas llamados calibracion_Xms.dat. La primera columna contiene datos del ion sometido a una configuración de láseres que no lo hace fluorescer, y la segunda a una configuración que sí.
- Para la medición de las oscilaciones de Rabi, hay preparado un archivo simplificado llamado RabiOsc_SBC_carrier.dat que tiene una medición de oscilaciones de rabi preparada con SBC y medida en la portadora, tomada de la medición 76, para hacer una primera prueba.

Para el resto de las mediciones deberán recurrir y trabajar con los archivos raw.

Bibliografía:

- [1] D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, D. Wineland, "Quantum dynamics of single trapped ions", Reviews of Modern Physics, 2003 - APS
- [2] Christian Roos, PhD Thesis: "Controlling the quantum state of trapped ions"
<https://quantumoptics.at/images/publications/dissertation/roos-diss.pdf>
- [3] Meekhof, D. M., Monroe, C., King, B. E., Itano, W. M., & Wineland, D. J., "Generation of nonclassical motional states of a trapped atom". Physical Review Letters, 76(11), 1796 (1996).