

Problema final para el curso de Introducción a la Óptica Cuántica

Basado en el paper: Lachaud et al., “Slowing Down a Coherent Superposition of Circular Rydberg States of Strontium”. Phys. Rev. Lett. 133, 123202 - arXiv 2406:01396 (2024) - del grupo de átomos de Rydberg del Laboratoire Kastler Brossel, París

Aclaración: si bien este paper involucra muchos conceptos vistos en el curso, la resolución de este trabajo puede requerir más que eso, por ejemplo un poco de Google, Wikipedia, libros de cuántica y/o papers previos. Si se usan fuentes de este tipo para resolver partes del problema, por favor indicarlas.

1. Leer el paper completo y explicar brevemente de qué se trata (uno o dos párrafos, no exagerar!).
2. La manipulación descrita en el trabajo implica el uso de campos electromagnéticos con frecuencias muy diferentes, en rangos diferentes del espectro. Enumerarlos brevemente y explicar para qué se usa cada uno (sin entrar en detalles; algunos aspectos se verán en los próximos ítems).
3. Qué niveles atómicos son importantes para el experimento? (omitir los niveles que aparecen en pasos intermedios de la preparación; son un montón, y no es esencial entender esa parte para entender este artículo).
4. Entre qué niveles atómicos es la transición que se usa para el enfriamiento Doppler? Indicar cuál es la desintonía inicial del láser Doppler (en el marco del laboratorio). Estimar a partir de la fórmula para la fuerza Doppler y los valores reportados de los parámetros el valor inicial de la aceleración debida a la fuerza de frenado Doppler para un átomo con la velocidad inicial v_i^0 calculada en el trabajo. Comparar con la estimación dada en el artículo.
5. Explicar cuál es el rol de los haces a 1092 nm, en particular por qué deben tener distintas polarizaciones y distintas frecuencias. Cuántos subniveles hay en juego?
6. Pasamos a la última parte del paper, que involucra la decoherencia de superposiciones coherentes. Explicar entre qué estados hay coherencias, y por qué decaen (otra vez, sin entrar en muchos detalles, solo las ideas principales).
7. Aquí viene la única cuenta “larga” de este problema! Considerar la secuencia de espectroscopía Ramsey que se utiliza para estimar la tasa de decoherencia:
 - (a) Asumamos que el estado inicial del electrón Rydberg es puro y que aplicamos un pulso $\pi/2$ que lleva a una superposición equiprobable de dos estados de Rydberg; podemos modelar este pulso como una rotación de $\pi/2$ en torno del eje x de la esfera de Bloch.
 - (b) Esperamos un tiempo t , durante el cual hay evolución libre.
 - (c) Aplicamos otro pulso $\pi/2$, con una fase controlable respecto del primero; esto puede modelarse como una rotación de $-\pi/2$ en torno de un eje sobre el plano horizontal de la esfera de Bloch, a un ángulo φ del eje x (cuando $\varphi = 0$ esta operación es la inversa de la primera).
 - (d) Medimos la probabilidad de que el electrón haya vuelto al nivel inicial, como función de φ , para cada tiempo t . La oscilación con φ forma las “franjas Ramsey” y su amplitud cuantifica la coherencia de la superposición.

Suponer que el efecto de la dinámica del electrón utilizado para el enfriado puede modelarse por medio de una ecuación maestra que introduce un desfase a una cierta tasa γ que actúa entre los dos pulsos, y que se suma al desfase debido a otras fuentes experimentales de decoherencia. Asumiendo que el estado inicial del electrón Rydberg es puro y que los pulsos son perfectos, resolver la evolución temporal de la matriz densidad que describe al electrón de Rydberg en el tiempo entre pulsos y relacionar la pérdida de visibilidad de las franjas Ramsey con la tasa γ y el tiempo entre pulsos Ramsey. Indicar qué tiene esto que ver con las cantidades en el experimento.