



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

**Tutor/a:** Daniel Rodríguez Rubiales

**Departamento y Área de Conocimiento:** Física Atómica, Molecular y Nuclear

**Cotutor/a:**

**Departamento y Área de Conocimiento:**

**Título del Trabajo:**

**Estudio del enfriamiento hasta el estado cero de energía de un ion de  $^{40}\text{Ca}^+$  en una trampa electromagnética**

**Tipología del Trabajo:** Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.

(Segun punto 3 de las  
Directrices del TFG  
aprobadas por Comisión  
Docente el 10/12/15)

### Breve descripción del trabajo:

Este trabajo está en el marco de los experimentos que se llevan a cabo en el Laboratorio de Trampas de Iones y Láseres de la Universidad de Granada de medidas de precisión utilizando un ion de  $^{40}\text{Ca}^+$ , enfriado por láser en una trampa electromagnética, pero ahora tratando de llegar hasta el estado cero de energía. En una trampa electromagnética, el ion se mueve en un pozo de potencial promedio donde un cuanto de energía vendría definido como el producto de la constante de Planck por la frecuencia de oscilación del ion. Para llegar al estado fundamental se utilizará el mecanismo que se conoce como *side-band cooling* [1], que consiste en líneas generales en hacer descender el ion en el pozo de potencial “cuanto a cuanto” absorbiendo fotones de un haz de luz láser sintonizado a una frecuencia ligeramente inferior a la de una transición cuadrupolar eléctrica  $4s^2S_{1/2} \rightarrow 4d^2D_{5/2}$  del ion en una cantidad igual a la frecuencia de oscilación.

### Objetivos planteados:

El objetivo de este trabajo fin de grado es sentar las bases para enfriar un ion de  $^{40}\text{Ca}^+$  hasta el estado cero de energía en una trampa de radiofrecuencia (*Paul trap*) para distintas frecuencias de oscilación del ion en la trampa. Para ello el ion se enfría hasta el límite Doppler ( $\sim 1$  mK) utilizando la transición dipolar eléctrica  $4s^2S_{1/2} \rightarrow 4s^2P_{1/2}$ , tal como se ha demostrado en la Ref. [2]. El grupo dispone de todos los recursos necesarios para la ejecución del trabajo que se desea realizar.

### Metodología:

Para conseguir el objetivo del trabajo fin de grado, es necesario:

1. Enfriar al límite Doppler el ion de  $^{40}\text{Ca}^+$ , algo que se consiguió por primera vez en marzo de 2015 en la Universidad de Granada [2] y que actualmente se lleva a cabo para otras frecuencias de oscilación utilizando un amplificador resonante a la radiofrecuencia de 1,5 MHz (comparado con el anterior funcionando a 650 kHz). Este amplificador posee una función de control y estabilización de la amplitud lo que permite mejorar considerablemente la anchura de línea, definir las frecuencias de oscilación con mayor exactitud y mantener el valor con mayor estabilidad.
2. Obtener un haz de luz láser de 729 nm ( $4s^2S_{1/2} \rightarrow 4d^2D_{5/2}$ ) con una anchura de línea de aproximadamente 10 kHz y estabilizado en frecuencia de forma muy precisa con el fin de controlar ésta con precisiones del orden de kHz. Para ello se utiliza un láser de Ti:Sa con el que se han podido medir anchuras de unos 10 kHz/rms y un peine de frecuencias adquirido recientemente. Actualmente se trabaja en la generación de la señal de error para la estabilización, a partir de una señal generada por la cavidad externa del láser y la señal de 10 MHz del GPS que sirve de referencia del peine. Estos trabajos se terminarán antes del final de 2016, sentando las bases del trabajo a realizar por el estudiante de grado. Algo parecido ya se ha hecho en la PTB de Braunschweig (Alemania). En la Ref. [3] se muestran resultados muy relevantes de un sistema en el que el láser de Ti:Sa se estabilizó a un peine de frecuencias.

El estudiante tiene dos tareas específicas:



1. Adaptar un modulador acústico óptico (AOM) para el láser de longitud de onda de 729 nm. Actualmente hay cuatro AOMs en el laboratorio montados en configuración de doble paso [4], por lo que esta parte sería reproducir uno de los sistemas y adaptarlo a la frecuencia y potencia del láser de Ti:Sa.
2. Participar junto al resto del grupo en las medidas de la probabilidad del nivel de ocupación del ion en el pozo de potencial promedio utilizando la técnica conocida como “*electron shelving*” [1] y realizar la descripción del experimento con todos los nuevos componentes. Se utilizarán las frecuencias de oscilación de 100 y 200 kHz. El estudiante analizará los resultados y obtendrá la distribución de probabilidades si los datos son los esperados, o hará un estudio identificando posibles causas de error si los resultados se desvían de lo esperado.

La distribución de probabilidades sentará las bases para poder aplicar el mecanismo de *side-band cooling* [2], que en líneas generales consiste en fijar el láser a las frecuencias determinadas, una vez conocidos los números cuánticos de ocupación.

**Bibliografía:**

- [1] D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, D. Wineland, Review in Modern Physics 75, 281 (2003)  
[2] J. M. Cornejo, M. Colombano, J. Doménech, M. Block, P. Delahaye, D. Rodríguez, Review of Scientific Instruments 86, 103104 (2015)  
[3] F. Gebert, Y. Wan, F. Wolf, C. N. Angstmann, J. C. Berengut, P.O. Schmidt, Physical Review Letters 115, 053003 (2015)  
[4] P. Escobedo “Desarrollo de un sistema de control para láseres de diodo utilizando moduladores acústico-ópticos,” Master’s thesis, Universidad de Granada, 2014.

**A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG**

Alumno/a propuesto/a: Joaquín Berrocal Sánchez

Granada, 9 de mayo 2016