

# Métodos de control de radiación láser para el estudio de plasmas

**Gabriel Pérez Callejo**

Graduado en Física por la UVa

Estudiante de doctorado, Dpto. de Física Atómica y de Láseres. Universidad de Oxford

El estudio de plasmas de hidrógeno es uno de los campos que más interés está levantando en las últimas décadas debido a su importancia tanto en investigación como en industria. Una de las técnicas de caracterización con mayor resolución espacial y temporal es la espectroscopia láser. Por esta razón, el control de la calidad de las medidas obtenidas mediante este método es de gran importancia, y en uno de estos aspectos es en lo que se centra el siguiente artículo.

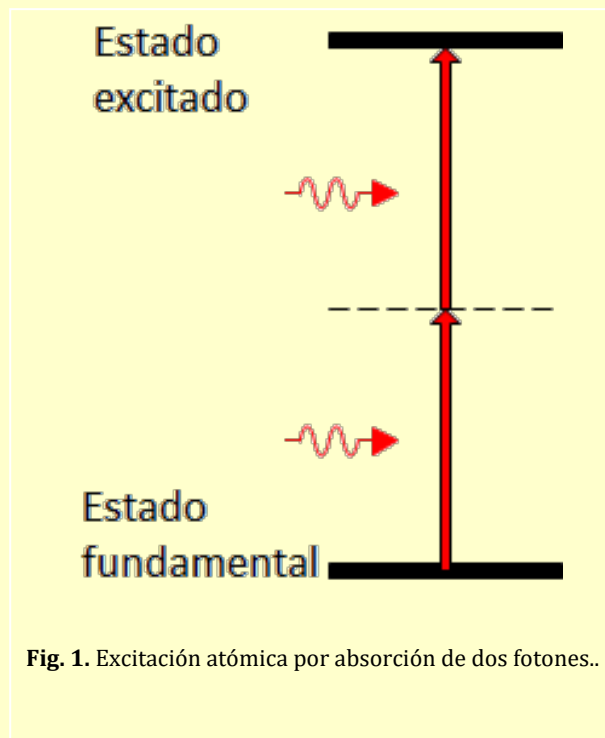
## Introducción

En la caracterización de plasmas, uno de los parámetros más importantes es la distribución del campo eléctrico en los mismos. Ésta puede estudiarse a partir del efecto Stark que dicho campo produce.

El efecto Stark implica un desplazamiento en las componentes finas de las transiciones atómicas del átomo de hidrógeno que puede medirse [1]. De esta manera, si se mide el desplazamiento de dichas componentes a lo largo de la distribución espacial del plasma es posible obtener la distribución de valores del campo eléctrico en el mismo. En el presente artículo se ha trabajado con la transición atómica 1S-2S del átomo de hidrógeno (correspondiente a una radiación con longitud de onda 121.6 nm). Sin embargo, esta transición no puede obtenerse mediante absorción de un fotón, debido a que el nivel 2S es inaccesible en este caso, y la radiación necesaria sería absorbida en el plasma. Por esta razón se ha trabajado con espectroscopia de dos fotones, que además permite obtener las transiciones atómicas a partir de longitudes de onda más accesibles (243 nm).

Ésta consiste en inducir en el átomo la absorción de dos fotones para provocar la misma transición. Además, si los dos fotones inciden en sentidos opuestos, de manera que la velocidad relativa del

átomo es nula, se consigue eliminar el ensanchamiento espectral por efecto Doppler del espectro.



**Fig. 1.** Excitación atómica por absorción de dos fotones..

## Necesidad de precisión

Se ha mencionado anteriormente que el campo eléctrico puede medirse a partir del desplazamiento Stark que éste provoca en las componentes finas de las transiciones atómicas del átomo de hidrógeno.

Sin embargo las componentes finas de la transición 1S-2S, para campos de hasta 4 kV/cm se encuentran en un intervalo de 12 GHz de frecuencia (intervalo que en la longitud de onda de trabajo corresponde a 30 pm). Por esta razón, se ha de trabajar con láseres sintonizables que permitan modificar la frecuencia de la radiación obtenida (para observar todas las componentes) [2][3].

Para garantizar la exactitud de las medidas, es necesario que la radiación cuente con un solo modo longitudinal (Single Longitudinal Mode, SLM), es decir que la longitud de onda de trabajo sea única. Debido a los múltiples elementos mecánicos implicados en el proceso de sintonización continua, es relativamente sencillo que la condición SLM se pierda, apareciendo saltos de modo. Por ello este trabajo se centra en la creación de un método que permita controlar dicha condición a lo largo de la sintonización.

### Control de la sintonización

Para comprobar que la radiación láser obtenida se encuentra en un solo modo longitudinal, se introduce en un etalón, un interferómetro de funcionamiento idéntico al de un Fabry-Perot, con la única diferencia de que entre los espejos se encuentra un vidrio en vez de aire. Si la luz se encuentra en la condición SLM la figura de interferencia obtenida será una sucesión de anillos como la que se muestra en la figura 2.

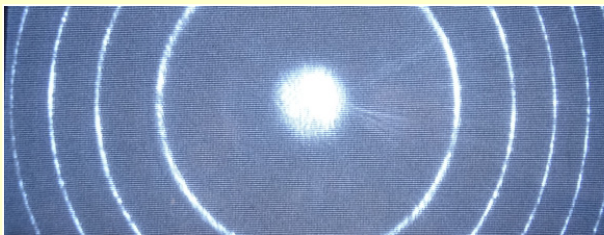


Fig. 2. Anillos de interferencia

Sin embargo, cuando la condición SLM se pierde y aparece un salto de modo, los anillos de interferencia se ven modificados debido a la pérdida de coherencia y a los saltos de frecuencia. El método que se utiliza por tanto para comprobar que la condición SLM se mantiene en el tiempo, consiste en controlar la estabilidad de los anillos a lo largo de una sintonización.

Del estudio de las interferencias de ondas múltiples en láminas de caras plano-paralelas se conoce que el ángulo de salida de la radiación de las mismas (el

ángulo para el cual la interferencia es constructiva) depende de la longitud de onda de la radiación. Esto conlleva que durante una sintonización, en la cual se varía la longitud de onda de la radiación (recuérdese para excitar las diferentes transiciones atómicas) el radio de los anillos de interferencia se verá modificado [4]. Para poder conocer este radio en cada momento ha de resolverse el problema que se indica en la figura 3, en la que aparecen todos los componentes ópticos que participan en el proceso, es decir: una lente divergente para conseguir anillos a partir de la luz láser, el etalón y un fotodiodo situado al final para recoger la señal proveniente de los anillos generados.

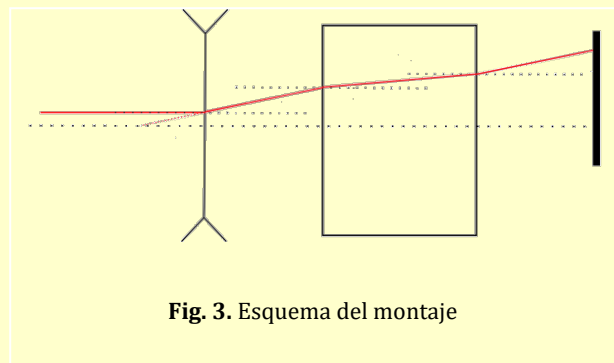


Fig. 3. Esquema del montaje

Para resolverlo, se ha creado un programa en MatLab, el cual recibe todos los datos necesarios de la configuración del experimento para proporcionar unas curvas que muestran la evolución del radio de los anillos en función de la longitud de onda de la radiación. Estas curvas tienen el aspecto indicado en la figura 4.

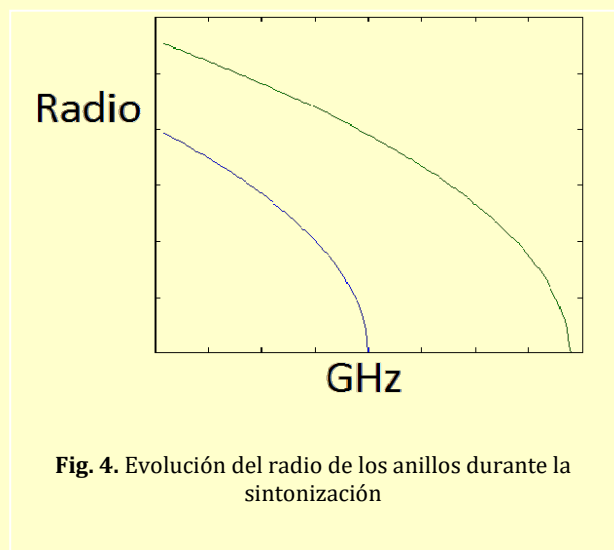


Fig. 4. Evolución del radio de los anillos durante la sintonización

En dicha figura se muestra la evolución del radio de dos anillos de interferencia a lo largo de una sintonización. Puede verse cómo al aumentar la frecuencia el radio de los anillos va disminuyendo

hasta que éstos desaparecen. El intervalo espectral entre la desaparición de un anillo y la del siguiente se conoce comúnmente como Free Spectral Range (FSR).

### Montaje experimental

Una vez conocida la expansión de los anillos durante el proceso de sintonización, queda resolver cómo controlar experimentalmente que su forma se mantiene, es decir que se cumple la condición SLM. Para ello se ha procedido a colocar una máscara sobre el fotodiodo que registra la señal de los anillos de interferencia. Dicha máscara está diseñada para dejar pasar radiación en tres momentos a lo largo de la expansión de un anillo. Los puntos en los cuales pasa radiación al fotodiodo están equiespaciados en el espacio de frecuencias (no en el espacio ordinario, figura 5) y se encuentran comprendidos en un FSR.

De esta manera, durante la sintonización se toman tres puntos de información sobre la radiación entre el nacimiento de un anillo y el nacimiento del siguiente. Representando estos puntos en el formato de la figura 4, se tiene que la máscara ha de tener orificios que permitan el paso de radiación para unos radios concretos, como se muestra en la figura 5.

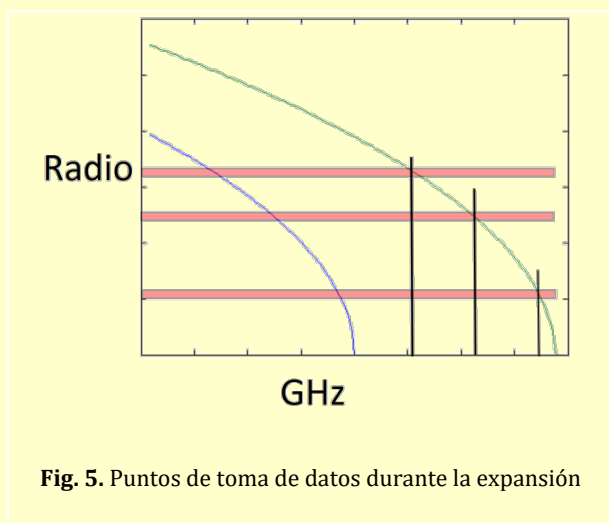


Fig. 5. Puntos de toma de datos durante la expansión

Una vez conocidos los radios se llevan a una máscara de cobre que se sitúa delante del fotodiodo como se muestra en la figura 6.

Una vez implementado este último elemento en el diseño, se tiene finalmente un método de control de la condición SLM a lo largo de una sintonización del láser.

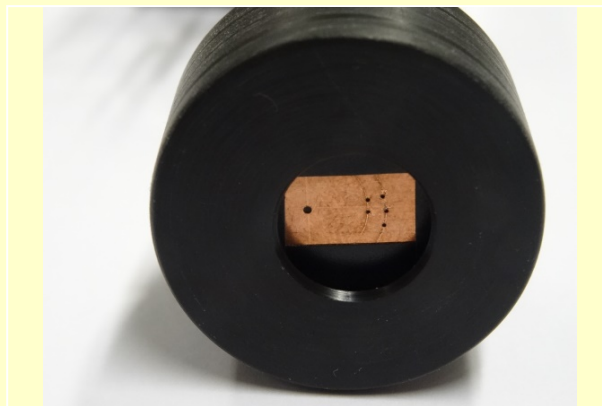


Fig. 6. Fotodiodo con máscara espacial.

### Resultados

Hasta el momento en el Laboratorio de Espectroscopia Láser de la Universidad de Valladolid se utilizaba un etalón con un fotodiodo que tomaba un único dato cada FSR. Con el sistema ahora implementado el número de puntos de señal se triplica, mejorándose así el control de la evolución de los anillos.

Se ha probado el sistema diseñado a lo largo de varias sintonizaciones, obteniéndose los siguientes resultados:

En la figura 7 se puede ver cómo la condición SLM se pierde durante la sintonización, por saltos de modo, y esto sólo se observa en la señal recibida por el nuevo sistema (señal en rojo en la imagen), mientras que en un sistema de control previo que sólo toma un dato por cada FSR (señal en azul) este fallo en la señal pasa desapercibido.

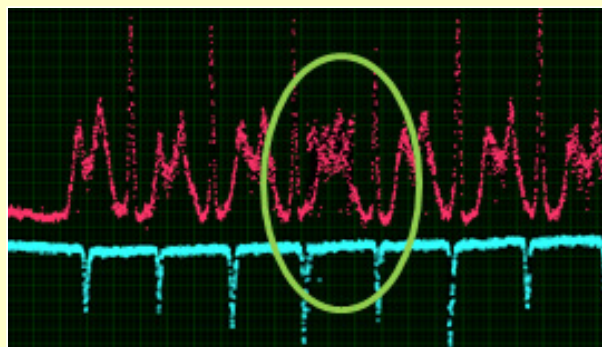


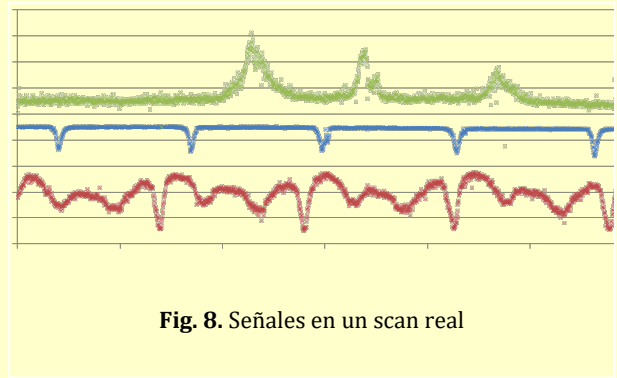
Fig. 7. Señales de control durante la sintonización. Captura del programa de adquisición de datos.

En dicha imagen puede observarse también cómo los distintos picos de señal que registra el sistema a lo largo de la expansión de los anillos no tienen igual intensidad. Esto es debido a que al expandirse los anillos la energía de los mismos se distribuye en una mayor superficie, y por tanto la densidad energética es menor. Es por ello que el punto de toma de datos más cercano al centro de los anillos presenta un pico mucho más elevado que los demás, dado que la densidad energética en él es mucho mayor.

### Uso en medidas reales

Como se explicó al principio de este artículo, el objetivo final de este experimento es tomar medidas del desplazamiento Stark en las componentes finas de la transición 1S-2S del átomo de hidrógeno. Precisamente eso es lo que se muestra en la figura 8. En ella se muestra en verde la señal obtenida en el plasma de hidrógeno al realizar la sintonización; en azul la señal del sistema de control con un punto cada FSR y en rojo la señal del nuevo sistema.

Inmediatamente se comprueba en la imagen que durante las transiciones atómicas, el sistema inicial no aporta información, mientras que el nuevo sistema está continuamente aportando información sobre la condición SLM, de manera que permite comprobar la validez de los resultados obtenidos en el plasma (dado que recuérdese que si esta condición se pierde, la calidad de la radiación no es la misma y por tanto los resultados no son válidos).



**Fig. 8.** Señales en un scan real

El contenido de este artículo se encuentra de manera más detallada en [5].

### Referencias

1. Seidel, J. "Private Communication"
2. He, G. S. y Liu, S. H., "Physics of Nonlinear Optics", World Scientific, 1999.
3. González Fernández, V. Pérez, G. Vasallo, E. Grützmacher, K. Fuentes, L. M. Pérez, C. de la Rosa, M. I., "Nonlinear crystals: Are they magic?", Óptica pura y aplicada, Revista de la Real Sociedad Española de Óptica, Vol. 48; Num 2/2015.
4. Casas, J., Universidad de Zaragoza "Óptica"
5. Pérez Callejo, Gabriel, "Espectroscopia multifotónica para el estudio de plasmas". Trabajo de fin de Grado, Universidad de Valladolid, 2016.