

IMÁGENES SELECTIVAS RÁPIDAS POR RESONANCIA CUADRUPOLEAR NUCLEAR

E. Danielli, A. Majtey, J. Perlo, F. Casanova y D. Pusiol

Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba
Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba, Argentina
casanova@mail.famaf.unc.edu.ar

En este trabajo se presenta un nuevo método rápido de imágenes por resonancia cuadrupolar nuclear. Esta nueva técnica permite obtener en forma correlacionada la distribución espacial de los núcleos cuadrupolares presentes en el objeto y su correspondiente información espectroscópica en un tiempo, al menos, un orden de magnitud menor al necesario con la técnica convencional. Esta disminución en el tiempo de adquisición de la información permite el monitoreo de parámetros físicos como presión y temperatura que influyen la línea de resonancia cuadrupolar. Para comprobar la factibilidad del método se propuso una distribución de temperatura variable sobre un objeto conocido y utilizando esta técnica se muestra su evolución temporal.

In this work, a new rapid nuclear quadrupole resonance imaging method is presented. This new technique provides in a correlated form the positional and the spectroscopic information. It takes a time at least one order of magnitude lower than the needed in the conventional experiments enabling the repetition of the experiment in small intervals. In this way a continuous mapping of physical parameters that influence the resonance line, like pressure or temperature, could be performed. In order to test the here proposed method we apply a controlled time dependent temperature distribution in a simple object and tried to follow it.

I. INTRODUCCIÓN

Recientemente se demostró que la distribución estática de temperatura en un objeto sólido conteniendo un compuesto activo para la Resonancia Cuadrupolar Nuclear (RCN) puede ser obtenida utilizando la técnica de imágenes en el sistema rotante (ρ -NQR) ⁽¹⁾. Este método de espectroscopia espacialmente resuelta ⁽²⁾ correlaciona la información contenida en el espectro de resonancia (información espectroscópica) con la espacial permitiendo obtener la distribución espacial de parámetros físicos locales que modifican el espectro de RCN.

La información espacial codifica mediante la utilización de campos de radiofrecuencia (RF) con gradiente, es decir, la variación de la amplitud del campo de RF a través de la muestra codifica la localización espacial de acuerdo a su posición a lo largo de la dirección del gradiente de RF. Esta técnica de localización espacial basada en el uso de gradientes de RF ⁽³⁾ involucra un experimento bidimensional que proporciona la proyección unidimensional de la densidad de núcleos a lo largo del gradiente. Se utilizan dos periodos temporales: el primero es la duración del pulso de excitación de RF (t_1) y el segundo es el tiempo de evolución libre de la señal de los núcleos cuadrupolares a campo cero (t).

Se construye una matriz bidimensional $S(t, t_1)$ por medio de un conjunto de señales de evolución libre, incrementando paramétricamente la duración t_1 del pulso de RF de un experimento al siguiente. Después de esto la matriz se convierte al dominio de frecuencias $S(\omega, \omega_1)$, aplicando transformada de Fourier en la dimensión t y un procedimiento de deconvolución llamado Método de Máxima Entropía (MEM) en la dimensión t_1 .

Debido a la fuerte dependencia de la frecuencia de resonancia cuadrupolar con la temperatura (≈ 2.5 kHz

por grado en el paradichlorobenceno), la posición de la línea de resonancia en la dimensión espectroscópica (ω) permite determinar la temperatura en cada "slice" a lo largo de la coordenada espacial.

La adquisición completa del conjunto de señales necesario requiere un tiempo de alrededor de un minuto, restringiendo la utilización del método en sistemas que evolucionan relativamente rápido tales como distribuciones de temperatura dependientes del tiempo o transiciones de fase.

El procedimiento descrito toma un tiempo de adquisición largo debido esencialmente al tiempo de espera o recuperación necesario después de cada adquisición, el cual permite al sistema de espines alcanzar el equilibrio térmico, antes de ser reexcitado para obtener un nuevo conjunto de datos.

Recientemente propusimos una técnica unidimensional ⁽³⁾ la cual permite obtener la imagen de un objeto a lo largo de la dirección del gradiente de RF, en un tiempo comparable al necesario para adquirir la señal para un dado ancho de pulso en el experimento bidimensional mencionado arriba. Esta nueva técnica permite reducir el tiempo necesario para obtener la distribución espacial de los núcleos en un factor 50. Este método rápido se basa en el muestreo de la magnetización durante el curso de la nutación producida por el campo de RF. Para esto, se aplica un tren de pulsos de RF de duración Δt_1 , separados por cortos intervalos de adquisición τ (debido a que el transmisor debe estar apagado durante la adquisición). De esta forma se adquiere, durante un único disparo, la dependencia de la amplitud de la magnetización con el pseudo-tiempo t_1 . Esta señal $S(t_1)$ llamada señal de nutación o pseudo-FID proporciona, una vez transformada al dominio de

frecuencias, la distribución espacial de los núcleos cuadrupolares presentes en el objeto. El precio pagado para incrementar la rapidez del experimento es la pérdida de la información espectroscópica. Esto impide obtener, además de la ubicación espacial, la información brindada por el valor de la frecuencia de la línea de RCN.

En el presente trabajo se informa un método unidimensional rápido que permite, además de disminuir el tiempo de adquisición, recuperar la información contenida en el espectro de resonancia. Aplicamos este nuevo método para seguir la evolución de la distribución de temperatura en un objeto sólido apropiado para la RCN.

II. MÉTODO

Evaluando la región del espectro irradiada por el tren de pulsos de RF se obtiene que esta irradiación es realmente selectiva en frecuencia, excitando solo a los núcleos cuya frecuencia de resonancia es cercana a la frecuencia de irradiación. Este ancho de banda de irradiación es de alrededor de 2 kHz para una separación entre los pulsos de RF del tren de 40 microsegundos.

El método que se presenta en este trabajo se basa tanto en la selectividad en frecuencia del tren de pulsos de RF como en la fuerte dependencia de la frecuencia de resonancia con la temperatura. El experimento consiste en la aplicación sucesiva de una serie de trenes de RF separados por un tiempo corto comparado con la duración del tren. Variando la frecuencia de irradiación entre un tren y el siguiente se consigue adquirir un conjunto de pseudo-FIDs cada una de las cuales corresponde a los núcleos cuya frecuencia de resonancia coincide con la frecuencia de irradiación.

Una vez calibrado el corrimiento de la frecuencia de resonancia con la temperatura se determina el paso en frecuencia correspondiente al paso en temperatura deseado, teniendo en cuenta que el paso mínimo está acotado por la selectividad en frecuencia.

De esta forma se adquiere el conjunto de pseudo-FIDs en un tiempo de alrededor de 10 ms, y proporciona las proyecciones o distribuciones de núcleos cuadrupolares a distintas temperaturas.

Repetiendo esta secuencia a intervalos de 2 o 3 segundos es posible monitorear la evolución de la distribución de temperatura presente en el objeto.

III. EXPERIMENTO

Para mostrar la factibilidad del método se montó un arreglo experimental (fig.1) que nos permitió introducir variaciones en la distribución de temperatura de forma controlada en un objeto de geometría conocida. El objeto, compuesto por dos cilindros de 12 mm de diámetro, 3 mm de espesor y separados por 3 mm, fue colocado en la zona de gradiente de RF aproximadamente lineal producido por una bobina superficial de 20 mm de diámetro. Uno de los cilindros se puso en contacto térmico con un flujo de aire de temperatura controlada, permitiendo incrementar la temperatura en uno de los cilindros manteniendo la temperatura de la segunda aproximadamente constante.

Se aplicaron dos trenes consecutivos, siendo la

frecuencia de irradiación en el primero $f_1 = 34.289$ Mhz la frecuencia de resonancia a temperatura ambiente y en el segundo $f_2 = 34.284$ Mhz la correspondiente para una temperatura 2 grados superior a la ambiente.

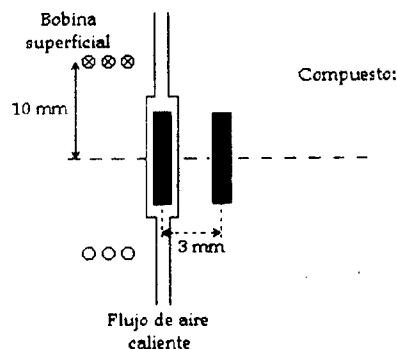


Figura 1: Esquema experimental utilizado para controlar la evolución de temperatura en el objeto.

Se repitió la aplicación de la secuencia con un tiempo de espera entre uno y otro de 200 ms promediando 5 adquisiciones consecutivas para incrementar la relación señal ruido obtenida y se dejó evolucionar el sistema 1 segundo hasta la nueva aplicación de las 5 secuencias. Dado que estas cinco acumulaciones toman alrededor de un segundo uno puede considerar que el delta de tiempo entre un paso de adquisición y el siguiente es de dos segundos.

Se comenzó el experimento con la temperatura de ambos cilindros igual a la temperatura ambiente y se calentó en forma continua uno de los cilindros. En la figura 2 - a) se observa la pseudo señal adquirida con cada tren de pulsos al comenzar el experimento; y en la 2 - b) la pseudo señal 40 segundos, tiempo para el cual se observa que la temperatura de uno de los cilindros se mantuvo constante y la del otro aumentó.

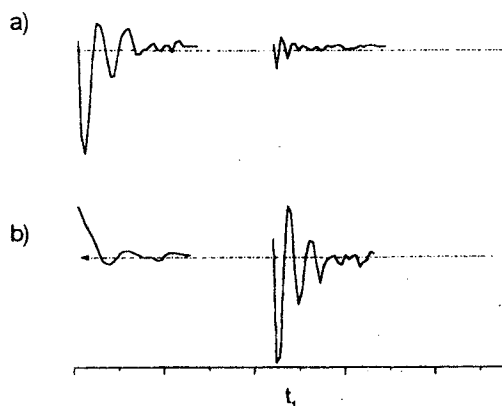


Figura 2: a) Pseudo-fids obtenidas para $t=0$ a ambas frecuencias de irradiación. Inicialmente la temperatura en ambos discos era la ambiente observándose señal solo a la frecuencia correspondiente a esa temperatura. b) Pseudo-fids obtenidas después de 20 segundos de iniciado el calentamiento. Se observa la señal de cada disco por separado.

Se puede ver como inicialmente solo se observa señal en el primer tren correspondiente a ambos cilindros a temperatura ambiente y después del proceso de calentamiento se observa señal tanto en el primer tren como en el segundo.

En la Figura 3 se muestra la evolución completa de la distribución de temperatura en el objeto durante un intervalo de 60 segundos.

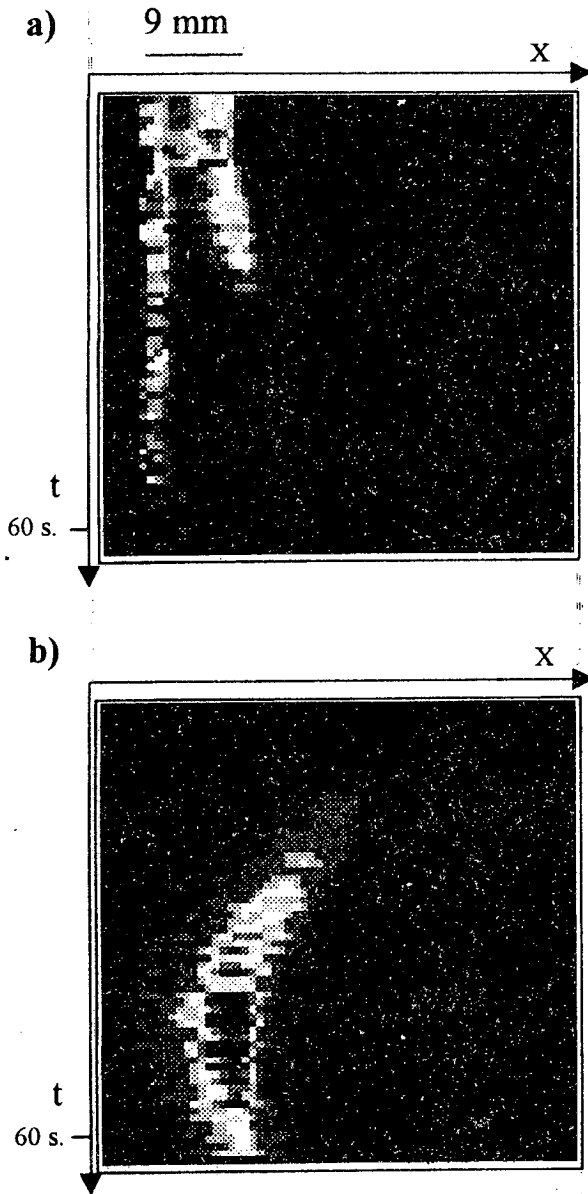


Figura 3: a) Evolución temporal de la distribución de núcleos cuadrupolares presentes a una temperatura de 21 grados centígrados. b) Simil de la figura a correspondiente a una temperatura de 23 grados.

Se aplicaron 30 secuencias a ambas frecuencias observándose en la figura 3-a) los núcleos a temperatura ambiente (21 grados) y en la 3-b) los núcleos presentes a la temperatura de 23 grados centígrados, correspondiente a la segunda frecuencia. Inicialmente se puede observar en la figura 3-a) que la distribución de los núcleos

corresponde a la de los dos discos mientras que al transcurrir el tiempo y cambiar la temperatura de una de ellas esta desaparece para contribuir a la segunda frecuencia. Esto muestra que el método es capaz de monitorear la evolución de temperatura en un objeto sólido.

IV. CONCLUSIONES

El experimento realizado muestra que el método es capaz de monitorear la evolución temporal de una distribución de temperatura en un objeto sólido. Como siguiente paso se prevé incluir resolución espacial en una segunda dimensión permitiendo obtener distribuciones de temperatura planares

V. REFERENCIAS

- 1- E. Rommel, D. Pusiol, P. Nickel, and R. Kimmich, *Meas. Sci. Technol.* **2**, 866 (1991).
- 2- E. Rommel, P. Nickel, R. Kimmich, and D. Pusiol, *J. Magn. Reson.* **91**, 630 (1991).
- 3- D.I. Hoult, *J. Magn. Reson.* **33**, 183 (1979).
- 4- H. Robert, A. Minuzzi, and D. Pusiol, *J. Magn. Reson.* **A107**, 40 (1996).

CEILAP
CITEFA - CONICET
ZUFRIATEGUI Y VARELA
1603 - VILLA MARTELLI
REPUBLICA ARGENTINA