

Efecto Mössbauer

Damián Gulich*

Enrique Neyra**

Betiana Pianciola***

Martín Falabella****

Experimentos Cuánticos II (2008), Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata

Resumen

Utilizando la técnica de espectroscopía Mössbauer se trata de comparar las propiedades hiperfinas de la hematita (obtenidas ajustando su espectro con el programa "Recoil") con respecto a las del hierro.¹

1. Introducción

En un experimento de absorción por resonancia, la energía de la radiación incidente iguala exactamente la separación de energías entre los dos niveles del sistema absorbente. Por ejemplo, la radiación de un átomo de Na iguala exactamente la energía de excitación de otro átomo de Na y es, por lo tanto, efectivamente absorbida por el último. Aplicando la misma lógica a la irradiación y absorción de rayos γ provenientes de un núcleo, el cumplimiento de la misma condición resonante implica que la separación en energías del núcleo fuente es exactamente igual que la del núcleo blanco. Por lo tanto, la fuente y el núcleo deberían ser idénticos. En estas condiciones, podría esperarse una absorción efectiva y reemisión de rayos γ por núcleos idénticos, pero no es suficiente para la observación de fluorescencia nuclear resonante. Durante el proceso de emisión de rayos γ por un núcleo, una cierta cantidad de la energía de la excitación (energía de retroceso E_R) se le entrega al núcleo para conservar

el impulso. Es por ello que la energía E_γ del cuanto γ está reducida por la misma cantidad

$$E_R = \frac{p^2}{2M} = \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2} \quad (1)$$

donde p es el impulso dado al núcleo, equivalente al del rayo γ y M es la masa del núcleo emisor. La relación de conservación de la energía en este caso es

$$E_\gamma = E_0 - E_R$$

Similarmente, cuando un cuanto γ es absorbido, la energía transferida a la excitación nuclear es reducida por E_R debido a la energía de retroceso dada al núcleo absorbente. Para transiciones ópticas, la energía de retroceso es mucho menor que el ancho de la línea de absorción, haciendo posible fácilmente la fluorescencia por resonancia óptica. Sin embargo, en el caso en que la energía irradiada por el núcleo es elevada, la energía de retroceso es mucho mayor que el ancho de la línea, lo cual impide la fluorescencia resonante nuclear.

En 1958, R. L. Mössbauer descubrió que cuando el núcleo emisor y el receptor están confinados en un sólido, una cierta fracción de los rayos γ son emitidos y absorbidos con una pérdida despreciable de energía debido al retroceso. Esto puede entenderse de la siguiente manera: los núcleos se comportan como si estuvieran rígidamente vinculados al sólido, de tal forma que el retroceso es absorbido por todo el cuerpo. En este caso, la masa M en (1) es la masa de todo el sólido, haciendo E_R despreciable. Cuando esto sucede tanto para el núcleo fuente como para el receptor, se satisface la condición de absorción resonante para rayos γ .

*d_gulich@yahoo.com

**quique_neyra@hotmail.com

***betianapianciola@gmail.com

****martinfalabella@yahoo.com.ar

¹ Nota: Los cortes de palabras son generados automáticamente por el paquete Babel de L^AT_EX.

La capacidad de sintonizar la energía de la fuente para que iguale el nivel de energía en el absorbente está en el centro de la espectroscopía resonante. En el caso de fluorescencia nuclear resonante, los efectos Doppler pueden ser usados para cambiar la energía del rayo γ al hacer mover la fuente relativamente al absorbente. Así, la energía en función de la velocidad relativa v puede escribirse como

$$E(v) = E_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

La espectroscopía nuclear resonante γ resultante se denomina espectroscopía Mössbauer, y puede ser empleada para el estudio de una gran variedad de fenómenos que involucren el corrimiento o división de niveles de energía nuclear.

El estudio de las propiedades estructurales, electrónicas y magnéticas del sitio donde se encuentran una sonda Mössbauer se logra a través de las interacciones hiper finas. Su origen se debe a la interacción de la carga y los momentos nucleares con las cargas y los campos extranucleares. Debido a que los anchos de línea son extremadamente pequeños $\Gamma = 4,9 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$ para el rayo de 14.4 keV del ^{57}Fe la probabilidad de que ocurra la absorción resonante es muy sensible a cambios extraordinariamente pequeños de energía. Esos cambios en la energía de los niveles nucleares aparecen por interacción de la carga o los momentos eléctricos o magnéticos nucleares, con los propios electrones del átomo donde se encuentra el núcleo y con los campos extranucleares producidos por los átomos de la red o por campos externos. Estos cambios son realmente muy pequeños del orden de una parte de 10^{12} , pero son comparables a los anchos de línea y por lo tanto observables.

1.1. Corrimiento isomérico

Los electrones tienen muy poca probabilidad de encontrarse dentro del volumen nuclear. pero la pequeña parte de su tiempo que los electrones s pasan dentro del núcleo es suficiente para que aparezca una interacción entre la carga nuclear y la electrónica que produce un corrimiento de los niveles nucleares. Esta interacción es directamente proporcional a la densidad electrónica s del átomo.

El corrimiento isomérico no levanta la degeneración de los niveles nucleares sino que produce

un corrimiento de una línea no desdoblada con respecto al cero de velocidad. Aún en el caso de que existieran otras interacciones hiperfinas este corrimiento no desaparece, sino que desplaza el centroide del espectro desdoblado respecto del cero de velocidad en la misma cantidad que cuando actúa E_0 sola.

1.2. Interacción cuadrupolar eléctrica

La interacción cuadrupolar eléctrica tiene su origen en la interacción entre el momento cuadrupolar eléctrico del núcleo y el gradiente de campo eléctrico creado por distribuciones no simétricas de carga en la posición del núcleo. Los núcleos con spin $l < 1$ no poseen momento cuadrupolar eléctrico.

Los isótopos Mössbauer más utilizados, el ^{57}Fe y el ^{119}Sn tienen un estado fundamental con $l = \frac{1}{2}$, por lo que en su estado fundamental no sufren la interacción cuadrupolar. En el caso del estado excitado, con $l = \frac{3}{2}$, la existencia de un gradiente del campo eléctrico en la posición del núcleo desdoblará el nivel en dos subniveles, los $\pm 3/2$ y $\pm 1/2$.

1.3. Interacción dipolar magnética

La interacción dipolar magnética aparece cuando en el sitio del núcleo cuyo momento dipolar magnético nuclear μ es distinto de cero, existe un campo magnético que no fluctúa durante el tiempo de vida media del nivel excitado. Cuando existen variaciones muy rápidas su valor promedia a cero y el espectro Mössbauer no difiere del no perturbado. Para tiempos intermedios se comienza a observar una relajación en el espectro Mössbauer, hasta que para tiempos muy largos se logra la situación estática. Esta propiedad permite distinguir sustancias que se encuentren en regímenes paramagnéticos de aquellas que estén en un estado magnético ordenado, pudiéndose medir la variación del campo hiperfino con la temperatura y las temperaturas de ordenamiento del sistema.

2. Arreglo experimental

El dispositivo experimental utilizado se muestra en la figura 2 en la página siguiente. Se utilizó una fuente de ^{57}Co que decae en un isótopo de ^{57}Fe el

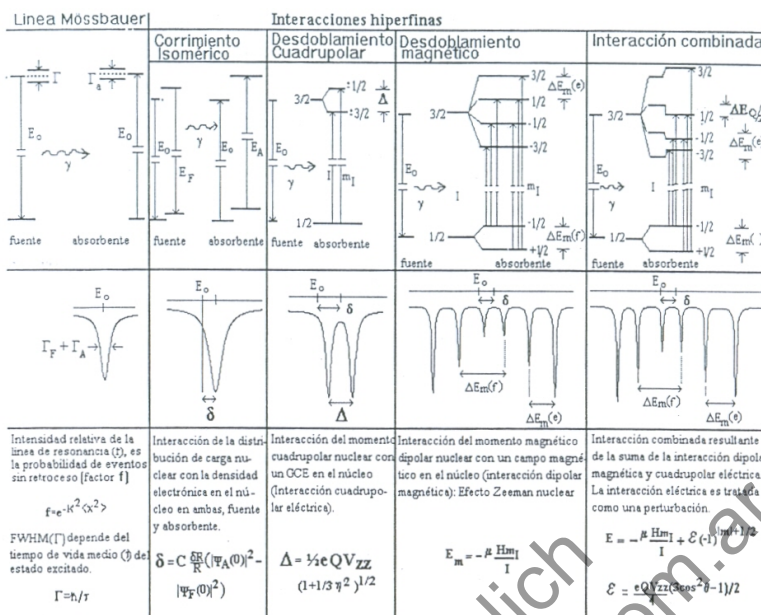


Fig. 1: Resumen de interacciones hiperfinas [4].

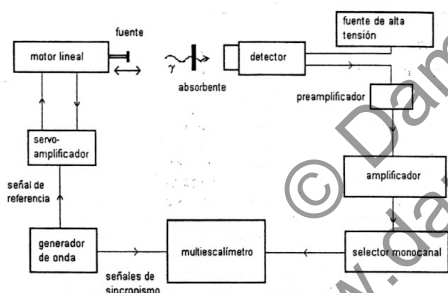


Fig. 2: Esquema de bloques de un espectrómetro Mössbauer [4].

cual tiene una vida media razonable y un ancho de línea fácilmente observable, pero lo suficientemente delgado para que las interacciones hiperfinas se puedan resolver, la energía del rayo γ del nivel más bajo es de solamente 14.4 keV lo que da una energía de retroceso y permite la observación fácil del efecto. La fuente se movió a aceleración constante, barriendo un rango de velocidades adecuado a la interacción hiperfina que se quiso observar, en este caso fue un pulso triangular que se movió entre 8 mm/s y -8mm/s. La muestra utilizada fue de

hematita molida, la cual fue puesta entre dos cintas adhesivas en forma circular de aproximadamente 2 cm de diámetro. Dicha muestra se colocó sobre el detector que en este caso era gaseoso.

3. Resultados y Análisis

El espectro experimental fue ajustado en el programa "Recoil". La comparación entre el espectro experimental y el ajuste se muestra en la figura 3 en la página siguiente. Los valores de ajuste se muestran en la tabla 1.

4. Conclusiones

Tomando como referencia al hierro puro podemos sacar conclusiones relativas a éste. Se observa que los datos logrados por el ajuste, se aproximan bien a los valores de referencia (ver tabla 1). El corrimiento isomérico para la hematita ajustado es mayor al del Fe puro, lo cual estaría indicando que tiene una menor densidad electrónica s . Para el caso del ϵ , su valor negativo estaría indicando que el momento cuadrupolar generado por el núcleo es opuesto al gradiente de campo generado por la nube

Parámetro	Primer ajuste (sextete)	Segundo ajuste (sextete)	Ref 1 [1]	Ref 2 [3]	Ref 3 Fe [1]
CS [mm/s]	0.367593	“	0.38(1)	0.36	0
ε [mm/s]	-0.1090(1)	“	-0.10(1)	-0.1	0
H [T]	51.6043	51.6035	51.4(3)	51.8	33
Área [count.mm/s]	$6.04195 \cdot 10^6$	“			
A_1/A_3	3	“			
A_2/A_3	2	“			
w_3 [mm/s]	0.14636	0.132101			
w_1/w_3	1.03905	“			
w_2/w_3	0.903796	“			

Tab. 1: Parámetros para el ajuste.

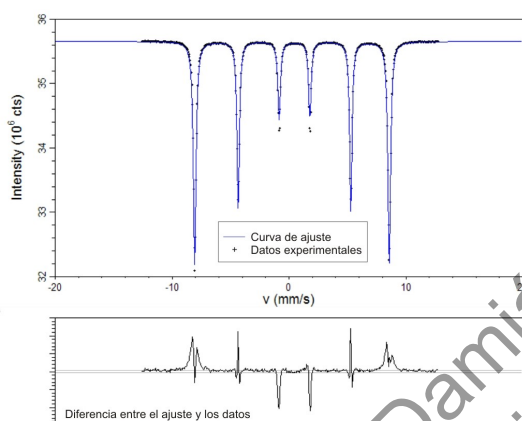


Fig. 3: Ajuste de sextete.

electrónica. El efecto Zeeman nuclear es mayor en el caso de la hematita; esto daría cuenta de la interacción del átomo sonda con momentos magnéticos y campos eléctricos de los átomos de hierro vecinos en la configuración de este compuesto; dichos campos modifican los niveles de energía del átomo sonda (ver figura 4).

Referencias

- [1] The Atomic Nucleus. Evans, Robley D. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited. 1955.
- [1] Estudio Mossbauer de Hematita molida mecánicamente. J.M. Flores, J.Mazo-Zuluaga, H.Casanova, J.Restrepo. Revista Colombiana de Física, Vol 38, N₀ 4, 2006.

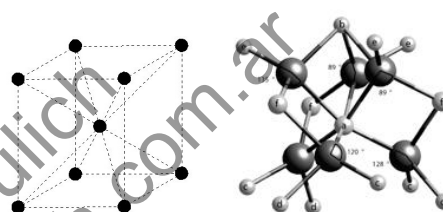


Fig. 4: A la izquierda, la estructura del hierro metálico, a la derecha, el arreglo de cationes y aniones a primeros vecinos para la estructura de la hematita.

- [3] Estudio Mineralógico de suelos agrícolas por espectroscopia Mossbauer. Cerón Loayza, Maria Luisa. Capítulo III, Magnetismo de rocas y minerales.
- [4] Fundamentos de la Espectroscopía Mossbauer. R. C. Mercader. Departamento de Física, UNLP.