

DEMO 191

Levitación diamagnética del grafito



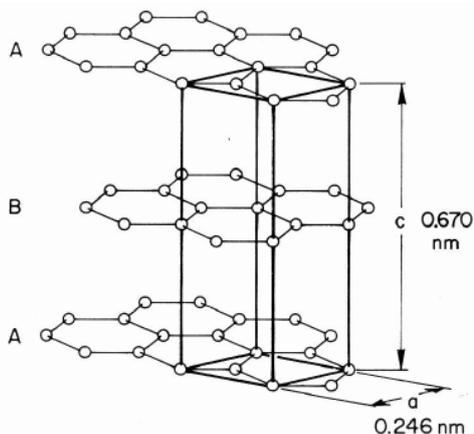
<b>Autora de la ficha</b>	Ana Cros
<b>Palabras clave</b>	Magnetismo. Diamagnetismo. Imanes permanentes. Grafito pirolítico
<b>Objetivo</b>	Observar la levitación del grafito pirolítico (material diamagnético) sobre imanes de neodimio-hierro-boro
<b>Material</b>	Lámina fina de grafito pirolítico. Imanes de neodimio. Imán de nevera para sujetar. Soporte
<b>Tiempo de Montaje</b>	Sólo requiere eliminar con cuidado la sujeción de la lámina de grafito. Si se cae la lámina, volverla a colocar utilizando un folio para recolocar la lámina sobre los imanes.

**Descripción**

- 1- El experimentador comienza abriendo el estuche. A su tapa están adheridos cuatro imanes de neodimio-hierro-boro, en configuración alterna. Sobre ellos, sujeta con el imán de nevera, se encuentra la placa de grafito pirolítico.
- 2- Despegar con cuidado el imán de nevera para que la placa levite. Pegar el imán de nevera en uno de los laterales de los imanes para que no se pierda. Si el grafito se cae, levantarlo con cuidado utilizando el trozo de papel y volverlo a depositar sobre los imanes.
- 3- Mover un poco la base para hacer ver que la placa está levitando. Introducir el papel entre los imanes y la placa para hacer ver que levita.

**Explicación**

El grafito pirolítico es un material sintético que se aproxima al grafito ideal. Se obtiene mediante la descomposición de un gas (hidrocarburo) a muy altas temperaturas y en vacío. El proceso permite que el grafito cristalice capa a capa en una estructura muy ordenada, similar a la que se muestra en la figura y que caracteriza al grafito ideal. Tiene estructura hexagonal, con cuatro átomos de carbono por celda unidad hexagonal. Los parámetros de red ( $a$  y  $c$ ) se indican en la figura. Cada una de las capas de carbono que se apilan a lo largo del eje  $c$  constituye, de forma aislada, una capa de grafeno. Por lo tanto, la estructura del grafito puede describirse como un apilamiento de capas de grafeno a lo largo del eje  $c$ , desplazadas en el plano perpendicular a  $c$  según el patrón ABABAB, como se muestra en la figura.



se apilan a lo largo del eje  $c$  constituye, de forma aislada, una capa de grafeno. Por lo tanto, la estructura del grafito puede describirse como un apilamiento de capas de grafeno a lo largo del eje  $c$ , desplazadas en el plano perpendicular a  $c$  según el patrón ABABAB, como se muestra en la figura.

El grafito pirolítico se caracteriza por una susceptibilidad magnética negativa (es decir, diamagnética) muy alta a lo largo del eje  $c$ :  $\chi = -4 \times 10^{-4}$  (a temperatura ambiente). La magnitud de la susceptibilidad es mucho mayor que la de las componentes perpendiculares a  $c$  (5 veces mayor). Se trata por lo tanto un material diamagnético, con permeabilidad magnética relativa  $\mu_r = 1 - \chi = 0.9996$  a lo largo del eje  $c$ .

En presencia de un campo magnético externo los materiales diamagnéticos adquieren una magnetización que se opone al campo:  $\vec{M} = \chi \vec{H}$ , es decir, repelen el campo, independientemente de la orientación de este. La fuerza producida por un campo externo  $\vec{B}$  sobre un material con imanación  $\vec{M}$  puede escribirse como [3]:

$$\vec{F} = \iiint \vec{\nabla}(\vec{B} \cdot \vec{M}) dV$$

Suponiendo que el gradiente de  $\vec{B} \cdot \vec{M}$  es uniforme en el volumen  $V$  de la muestra, y teniendo en cuenta que  $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_r \mu_0}$ , obtenemos  $\vec{F} = \frac{\chi V}{\mu_r \mu_0} \vec{\nabla} \cdot B^2$ . La fuerza será esencialmente vertical, puesto que es en esa dirección donde la susceptibilidad tiene un valor mayor. Además, como la susceptibilidad es negativa, se dirigirá en la dirección contraria al aumento del campo (es decir, hacia arriba).

Para desarrollar una levitación vertical la fuerza magnética debe igualar la fuerza gravitacional:  $mg = \frac{\chi V}{\mu_r \mu_0} (\vec{\nabla} \cdot B^2)_z$ . Además, las fuerzas laterales deben devolver el grafito al centro (mínimo local de energía). Como consecuencia del teorema de Earnshaw, los materiales diamagnéticos pueden utilizarse para crear un mínimo local en la energía magnética que establezca las fuerzas magnéticas. Como consecuencia, con un campo lo suficientemente intenso y una susceptibilidad negativa de suficiente magnitud, el material puede levitar.

Desde el descubrimiento del diamagnetismo tuvieron que transcurrir unos 160 años para la primera demostración de levitación.

Datos curiosos: Sir Andre Geim es famoso por dos cosas: i) Recibió el premio Nobel en 2010 por sus trabajos sobre grafeno; y ii) recibió el premio Ig Nobel en el año 2000 por hacer levitar una rana en un campo magnético (el agua es un diamagnético débil). Podéis ver la rana levitando en el siguiente vídeo: <https://sciphile.org/lessons/diamagnetism-levitating-graphite-and-frogs>

### Sugerencias

El grafito pirolítico es frágil. Manipularlo utilizando el papel.

### Referencias

- [1] El kit puede obtenerse de <https://www.imagesco.com/magnetism/graphite-levitation-kit.html>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=Vy9uWXgbKy0> Accedido el 2/3/2024. Curiosidades sobre la levitación
- [3] Patrick Pinot\* and Zaccaria Silvestri Int. J. Metrol. Qual. Eng. **Volume** 10, art. 72019. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2019008>
- [4] Estructura cristalina obtenida de “The Development and Characterization of Novel Adsorbent Carbons”. T. D. Burchell y F. S. Baker. 2001. CRADA ORNL-97-0483 Final Report