

APLICACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS A LA RECUPERACIÓN DE LESIONES

Problema 1. Una aplicación actual del uso de campos magnéticos en medicina es conseguir una aceleración del metabolismo en la recuperación de ciertas lesiones, pues logran interaccionar con las moléculas que intervienen en las reacciones metabólicas, al tratarse de estas de iones disueltos que hay en nuestro organismo. Por ejemplo, el ion Calcio (Ca^{2+}) interviene en reacciones enzimáticas para regular la contracción muscular, la coagulación, la síntesis de hormonas, la transmisión del impulso nervioso o la osificación.

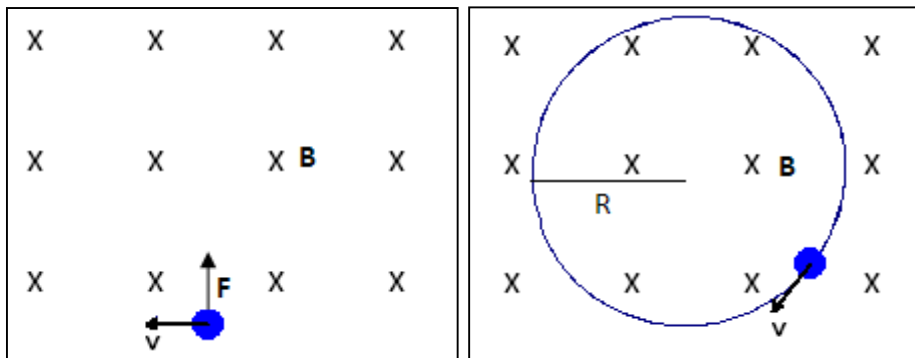


a) Deducid una expresión que calcule la frecuencia de giro de una partícula con masa m y carga q en el seno de un campo magnético B .

b) Los iones que principalmente intervienen en la reparación de tejidos y su relación carga masa se recogen en la tabla adjunta. Calculad cuál debería de ser la frecuencia del campo magnético para estimular el metabolismo de cada uno de ellos si se emplea como valor de B el del campo terrestre ($50\mu T$). [Dato: La absorción de energía por parte de la partícula es máxima cuando la frecuencia de giro del ion coincide con la del campo aplicado sobre el paciente (resonancia)].

ión	$m (10^{-26} kg)$	$q (10^{-19} C)$
Ca^{2+}	6.6578	3.2036
$(PO_4)^{3-}$	13.887	4.8054
OH^-	2.8238	1.6018

Respuesta: La situación inicial más sencilla que podemos considerar es suponer que la partícula cargada tiene una velocidad v de partida perpendicular al campo magnético B . La fuerza magnética es perpendicular a ambos vectores (Dibujo de la izquierda) y resulta una trayectoria resulta circular de radio R que la partícula recorre con movimiento uniforme (Dibujo de la derecha). Como durante todo el trayecto el ángulo entre v y B es 90° , igualando el módulo de la fuerza de Lorentz al producto de masa por aceleración, tenemos:



$$F = q \cdot v \cdot B = m \cdot a_n \quad (1)$$

La aceleración es normal y se puede relacionar o bien la con la velocidad lineal o bien con la angular, pues ambas cumplen:

$$v = R \cdot \omega \quad (2)$$

De manera que, con la relación (2) la aceleración normal se puede expresar como:

$$a_n = v^2/R \quad (3)$$

Eligiendo cualquiera se llega al mismo resultado. Se continúa en este caso eligiendo la expresión de (3) que contiene la velocidad lineal y se sustituye en (1):

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R} \rightarrow q \cdot B = m \cdot \frac{v}{R} \rightarrow q \cdot B = m \cdot \omega \quad (4)$$

Conocida la expresión para la frecuencia angular:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f \quad (5)$$

Sustituyéndola en la expresión (4) se tiene:

$$q \cdot B = m \cdot \omega = m \cdot 2\pi \cdot f \quad (6)$$

De esta manera se puede despejar de (6) la frecuencia, obteniéndose la siguiente expresión:

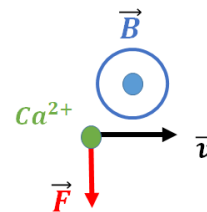
$$q \cdot B = m \cdot 2\pi \cdot f \rightarrow f = \frac{1}{2\pi} B \frac{q}{m} \quad (7)$$

b) Utilizando la expresión (7), obtenida en el apartado anterior, se obtienen los siguientes resultados de la frecuencia a aplicar:

Para el caso del Calcio:

$$f = \frac{1}{2\pi} B \frac{q}{m} = \frac{1}{2\pi} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \left[\frac{kg}{C \cdot s} \right] \cdot \frac{3.2036 \cdot 10^{-19} C}{6.6578 \cdot 10^{-26} kg} = 38.3 \text{ Hz}$$

De esta manera, al aplicar un campo magnético B de frecuencia 38.3 Hz se logra estimular el metabolismo de este ion, pues se le proporciona energía para atravesar las membranas celulares.



Para el fosfato:

$$f = \frac{1}{2\pi} B \frac{q}{m} = \frac{1}{2\pi} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \left[\frac{kg}{C \cdot s} \right] \cdot \frac{4.8054 \cdot 10^{-19} C}{13.887 \cdot 10^{-26} kg} = 27.5 \text{ Hz}$$

Para el grupo hidroxilo:

$$f = \frac{1}{2\pi} B \frac{q}{m} = \frac{1}{2\pi} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \left[\frac{kg}{C \cdot s} \right] \cdot \frac{1.6018 \cdot 10^{-19} C}{2.8238 \cdot 10^{-26} kg} = 45.1 \text{ Hz}$$

Ampliación: Se conocen numerosas aplicaciones de los campos magnéticos en el campo de la Biofísica [1] [2]. Generalmente los campos terapéuticos tienen frecuencias bajas, de entre 1 y 100 Hz. Algunos de los efectos que logran en el organismo son:

- Desviación de partículas cargadas en movimiento (como son los iones que hay disueltos en nuestro cuerpo)
- Producción de corrientes inducidas

- Estimulación general del metabolismo celular gracias al incremento de flujo de iones a través de los canales de la membrana [3]. Esto se emplea, por ejemplo, para lograr la reparación y crecimiento óseo mediante la estimulación del metabolismo del Calcio, uno de los iones del problema. Lo que ocurre cuando una carga mecánica se aplica al hueso es que, debido al gradiente de tensiones generado, se produce un flujo intersticial a través de las membranas de los osteocitos y hay "movimiento de Calcio". La aplicación de un campo electromagnético trata de simular este efecto. Esta técnica se lleva a cabo reproduciendo sobre la zona afectada el campo magnético terrestre, lo cual le hace una técnica inocua. Generalmente se emplean dos campos superpuestos: uno continuo que orienta todos los momentos magnéticos de los iones y a continuación uno alterno con la frecuencia de resonancia del ión. Estos se logran haciendo circular corrientes eléctricas, continuas o alternas, por solenoides colocados cerca de la lesión.

- Normalización de potenciales de membrana que se hayan visto alterados.

Es un tema en el que se ha trabajado mucho y en la bibliografía hay libros muy completos que explican todos los mecanismos fisiológicos en los que interviene el bio-magnetismo, y cómo pueden conocerse y modificarse desde el exterior [4].

Otra aplicación interesante de la Fuerza de Lorentz es que es el fundamento del funcionamiento de los espectrómetros de masas. Estos dispositivos permiten conocer la composición de una sustancia al aplicar un campo magnético conocido y separar sus elementos según su relación carga-masa. Esto se debe a que cada uno de los iones adquiere un movimiento orbital circular con un radio diferente. En el campo de la Biofísica esta técnica se emplea, entre otras aplicaciones, en deducir la estructura molecular de sustancias de vital importancia, como por ejemplo las proteínas [5] o la datación de muestras debido a la cantidad de algunos isótopos presentes en ellas [6].

[1] "Utilización terapéutica de los campos magnéticos. I: Fundamentos del bio-magnetismo." Antonio Madroñero de la Cal. CSIC, Madrid (2004)

[2] "Aplicaciones Clínicas del Bio-magnetismo" Antonio Madroñero de la Cal. CSIC, Madrid (2003)

[3] "Interaction between weak low frequency magnetic fields and cell membranes" C.L.M. Baureus Koch, M. Sommarin, B.R.R. Persson, L.G. Salford and J.L. Eberhardt. Bioelectromagnetics Vol 24(6) pp:395-402 (2003)

[4] "Applied Bioelectricity. From Electrical Stimulation to Electropathology" J. Patrick Reilly (2015)

[5] "Direct analysis of protein complexes using mass spectrometry" Andrew J. Link, Jimmy Eng, David M. Schieltz, Edwin Carmack¹, Gregory J. Mize, David R. Morris, Barbara M. Garvik, and John R. Yates, III. Nature Biotechnology Vol 17 pp: 676–682 (1999)

[6] "Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K–Ar dating" Tetsumaru Itaya, Keisuke Nagao, Kensaku Inoue, Yoshiki Honjou, Toshinori Okada, Atsumi Ogata. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences Vol 15(5) pp: 203-221 (1991)

Silvia Ronda Peñacoba

[Problemas de Física de Materiales y de Física Biomédica para Bachillerato](#)