

Física 3: Electricidad y Magnetismo

Pablo Dmitruk

Clase 15b

Campo magnético de una espira pequeña o muy lejos de la espira

Lo hacemos con el potencial vector $\vec{\mathbf{A}}(\vec{\mathbf{r}}) = \oint_C \frac{\kappa I' \vec{\mathbf{d}}\mathbf{l}}{|\vec{\mathbf{r}} - \vec{\mathbf{r}}'|}$

para $r \gg r'$ $|\vec{\mathbf{r}} - \vec{\mathbf{r}}'|^{-1} \approx r^{-1} \left(1 + \frac{\vec{\mathbf{r}} \cdot \vec{\mathbf{r}}'}{r^2} \right)$

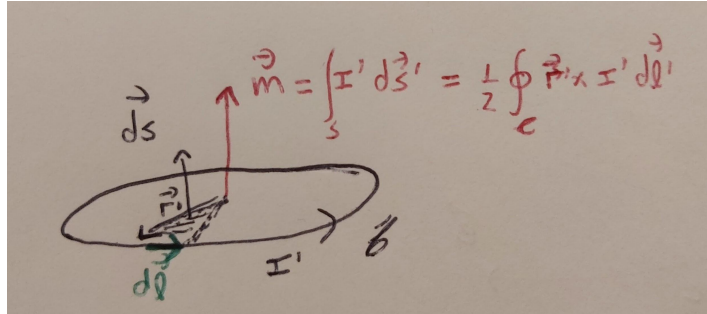
$$\Rightarrow \vec{\mathbf{A}} \approx \kappa I' \left[\frac{1}{r} \oint_C \vec{\mathbf{d}}\mathbf{l} + \frac{1}{r^3} \oint_C \vec{\mathbf{d}}\mathbf{l} (\vec{\mathbf{r}} \cdot \vec{\mathbf{r}}') \right]$$

$\oint_C \vec{\mathbf{d}}\mathbf{l} = 0$ → No hay término monopolar en el desarrollo → no hay monopolos magnéticos

$$\oint_C \vec{\mathbf{d}}\mathbf{l} (\vec{\mathbf{r}} \cdot \vec{\mathbf{r}}') = \int_{S(C)} \vec{\mathbf{d}}\mathbf{S} \times \vec{\nabla}' (\vec{\mathbf{r}} \cdot \vec{\mathbf{r}}') = \int_{S(C)} \vec{\mathbf{d}}\mathbf{S} \times \vec{\mathbf{r}}$$

En donde empleamos una [generalización del teo. de Stokes](#)

$$\Rightarrow \vec{\mathbf{A}}(\vec{\mathbf{r}}) = \frac{\kappa I'}{r^3} \int_{S(C)} \vec{\mathbf{dS}} \times \vec{\mathbf{r}} = \kappa \frac{\vec{\mathbf{m}} \times \vec{\mathbf{r}}}{r^3} \quad \text{con} \quad \vec{\mathbf{m}} = \int_{S(C)} I' \vec{\mathbf{dS}} = \frac{1}{2} \oint_C \vec{\mathbf{r}}' \times I' \vec{\mathbf{dl}}'$$



el momento dipolar magnético de la espira

en volumen sería
$$\vec{\mathbf{m}} = \frac{1}{2} \int \vec{\mathbf{r}}' \times \vec{\mathbf{j}}(\vec{\mathbf{r}}') dV'$$

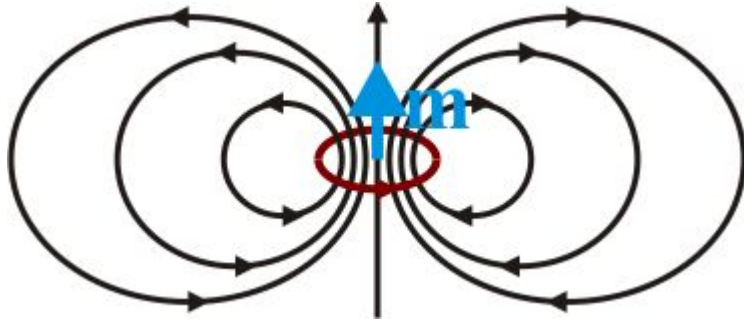
Para obtener el campo magnético nos falta tomar el rotor,

$$\vec{\mathbf{B}} = \vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{A}} = \kappa \vec{\nabla} \times \left(\frac{\vec{\mathbf{m}} \times \vec{\mathbf{r}}}{r^3} \right) = \kappa \left[\vec{\mathbf{m}} (\vec{\nabla} \cdot \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r^3}) - (\vec{\mathbf{m}} \cdot \vec{\nabla}) \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r^3} \right]$$

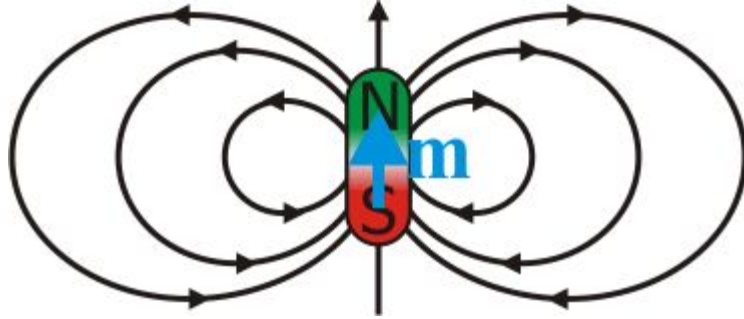
$$(\vec{\mathbf{m}} \cdot \vec{\nabla}) \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r^3} = \frac{\vec{\mathbf{m}}}{r^3} - \frac{3(\vec{\mathbf{m}} \cdot \vec{\mathbf{r}})}{r^5} \vec{\mathbf{r}} \quad \text{y} \quad \vec{\nabla} \cdot \frac{\vec{\mathbf{r}}}{r^3} = 0$$

$$\Rightarrow \vec{\mathbf{B}} = \frac{\kappa}{r^3} \left[\frac{3(\vec{\mathbf{m}} \cdot \vec{\mathbf{r}})}{r^2} \vec{\mathbf{r}} - \vec{\mathbf{m}} \right]$$

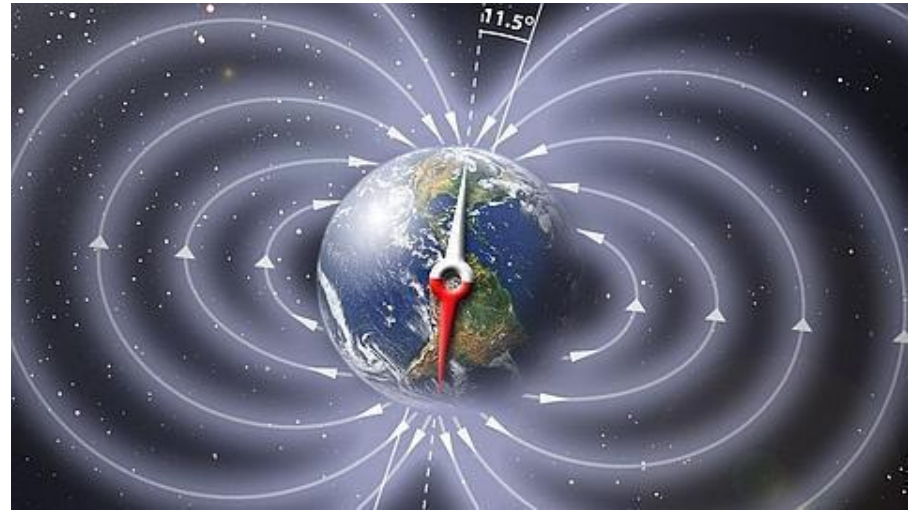
Es idéntico al campo eléctrico de un dipolo, si hacemos $\vec{\mathbf{m}} \rightarrow \vec{\mathbf{p}}$, $\kappa \rightarrow k$



campo magnético de un dipolo magnético \vec{m}



campo magnético de un imán



campo magnético terrestre !

Cuál es el origen del [campo magnético terrestre](#) ?

Possible origin of Earth's magnetic field

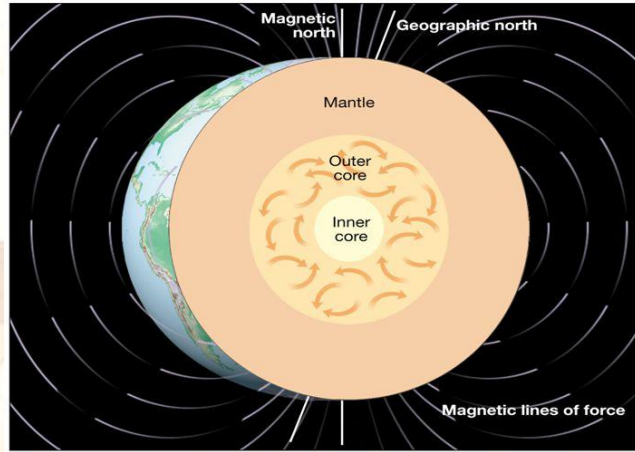
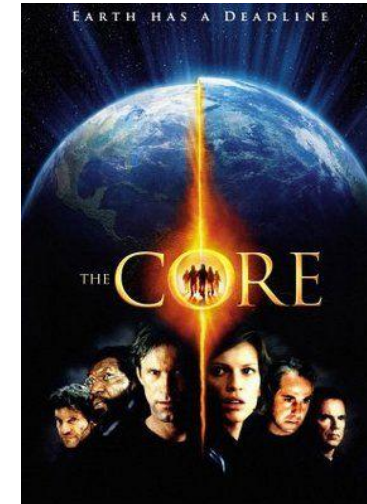
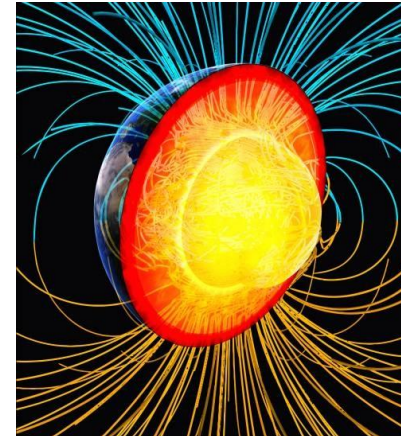
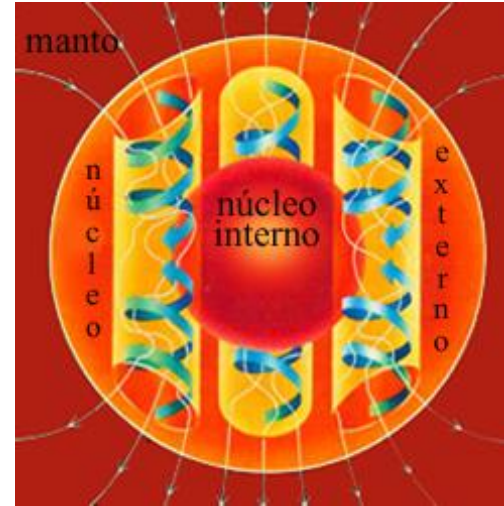


Figure 12.C

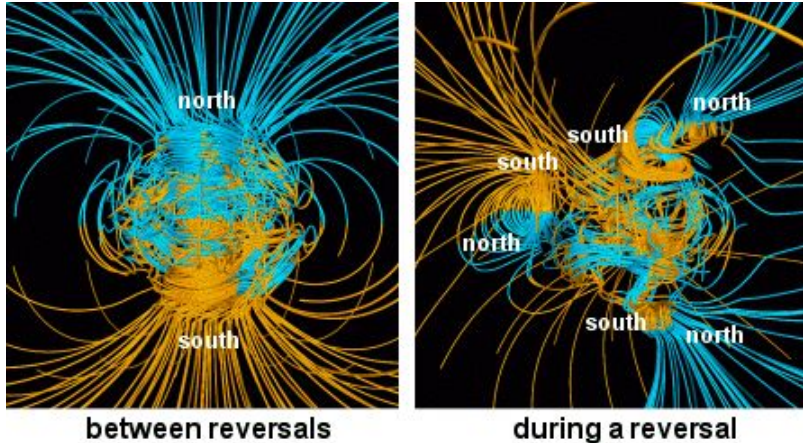


magnetofluido → metal líquido en movimiento, con cargas libres
→ **ecuaciones magnetohidrodinámicas** → **dínamo**

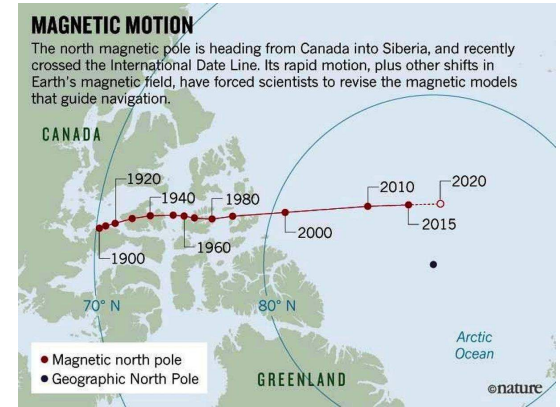
El campo magnético terrestre es dinámico y va cambiando en el tiempo.

Los [polos magnéticos de hecho se están moviendo](#).

y en escalas de tiempo grandes pueden ocurrir [reversiones](#) de la polaridad magnética



Un [video](#) un poco más sensacionalista....

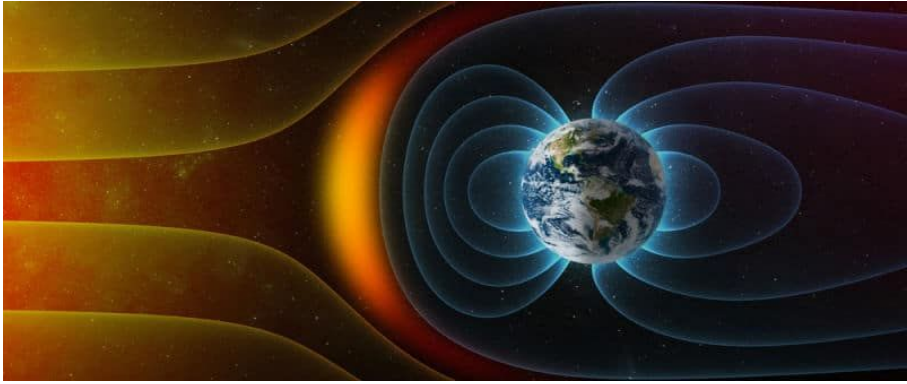


Simulación numérica de una [reversión magnética terrestre](#).

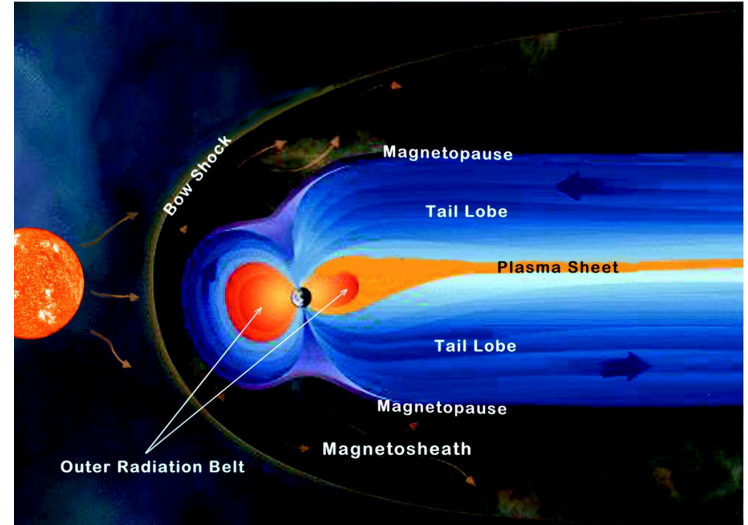
y una película...



El campo magnético terrestre además se ve fuertemente influenciado por el **Sol** y el **viento solar**.



magnetósfera terrestre



magnetósfera: simulaciones