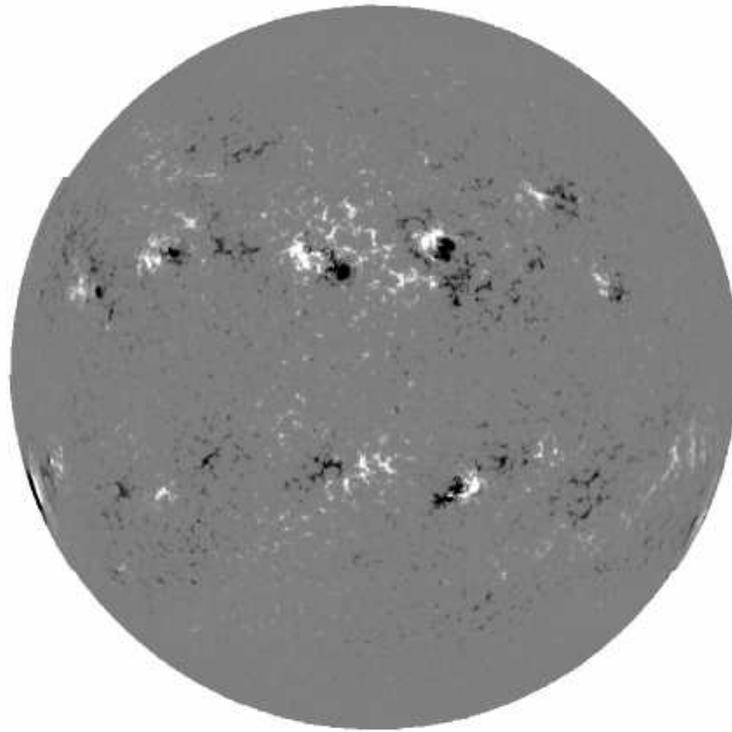


# 8 Dinamos



Una magnetograma solar tomado en el 11 de mayo, 2000. Negro (blanco) indica una polaridad negativa (positiva).

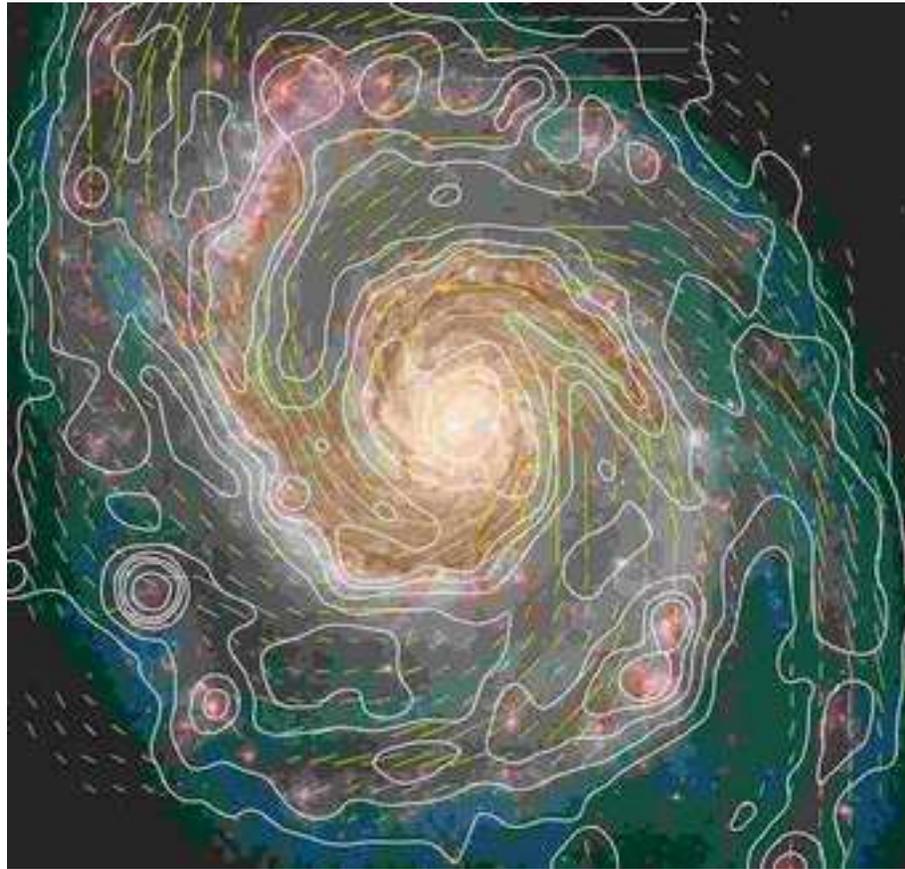
# 8.1 Una dinamo que se auto-excita

- Una dinamo es un aparato que convierte energía cinética a energía electromagnética.
- Dinamos usan el movimiento de un conductor eléctrico por un campo magnético para inducir corrientes eléctricas.
- Estas corrientes inducen campos magnéticos secundarios que se sostienen mientras que la energía cinética esta suministra.
- Para una dinamo que se auto-excita, ningún campos externos o corrientes están requeridos para sostener la dinamo, aparte de un campo suave y temporario para iniciar el proceso (un campo de semilla).
- Entonces, una dinamo que se auto-excita se sostiene en el tiempo.

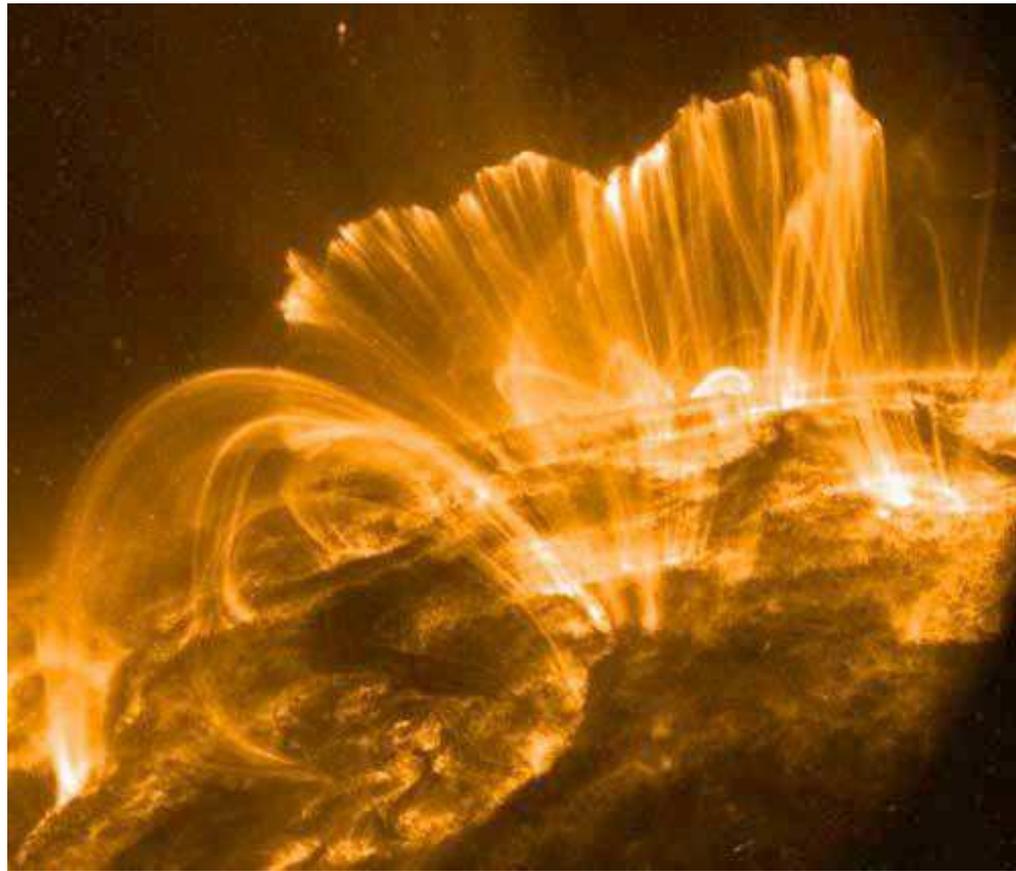
# 8.1 Una dinamo que se auto-excita

- Para generar y sostener un campo magnético, dinamos que se auto-excitan requieren:
  1. Un campo suave e inicial (un campo 'semilla'), que se puede remover mas tarde.
  2. Una orientación apropiada para los movimientos del conductor eléctrico, los caminos de corriente y los campos magnéticos resultantes.
  3. Una fuente continua de energía que mueve el conductor eléctrico suficientemente rápido para hacer posible auto-excitación.
- Muchos campos magnéticos naturales están considerados los productos de mecanismos de dinamos que se auto-excitan. Por ejemplo, campos de galaxias, el campo solar, y el campo terrestre.

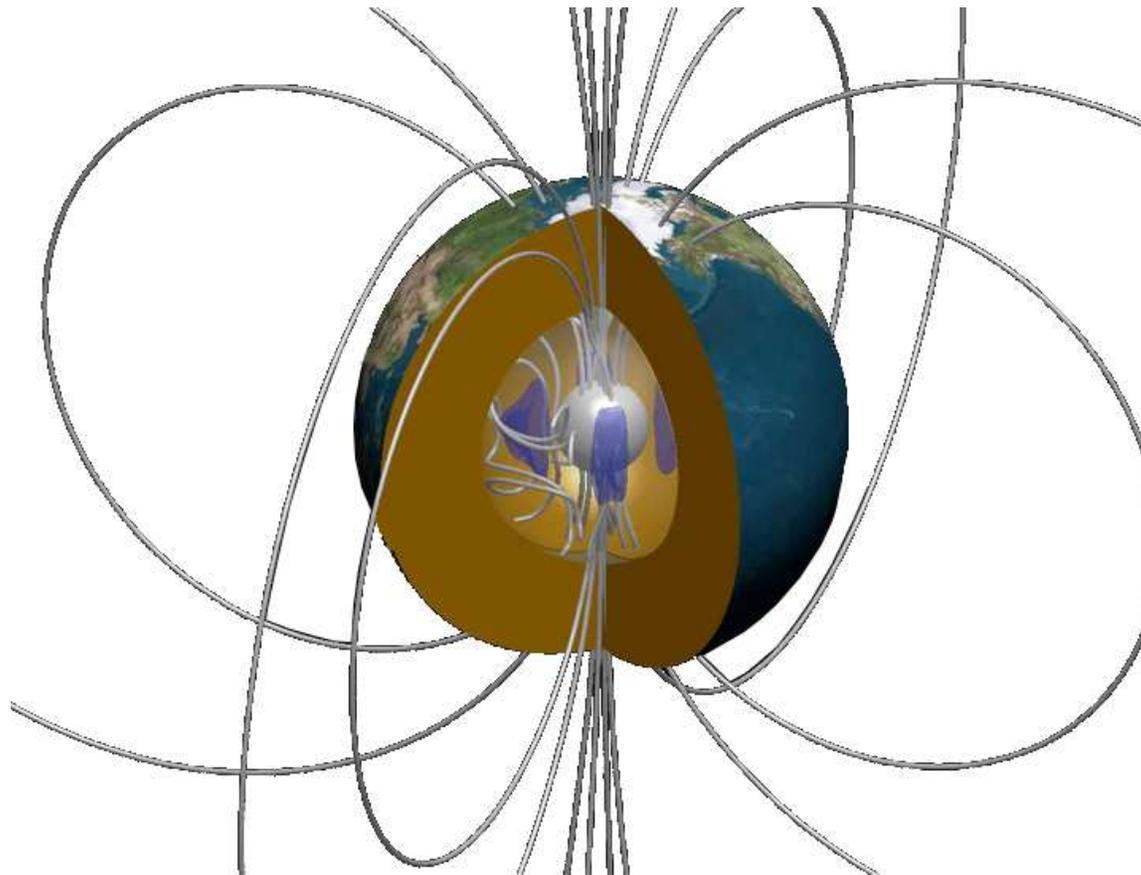
## 8.2.1 Campo magnético de una galaxia



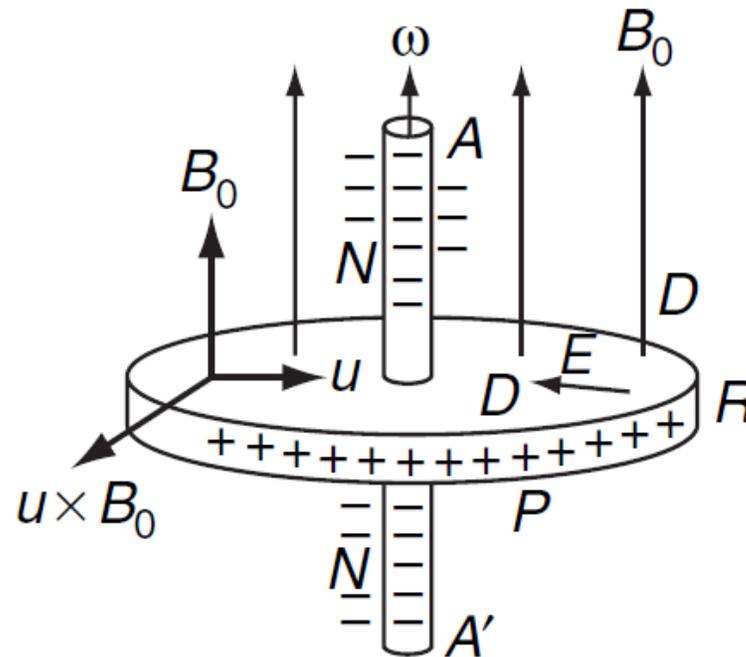
## 8.2.2 Campo magnético del Sol



## 8.2.3 Campo magnético de la Tierra

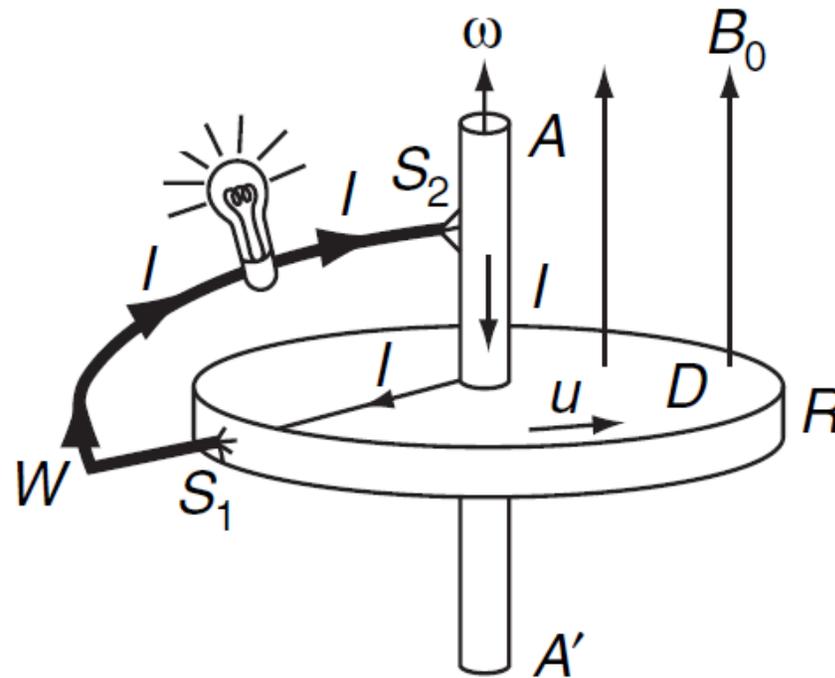


## 8.3 La dinamo de un disco



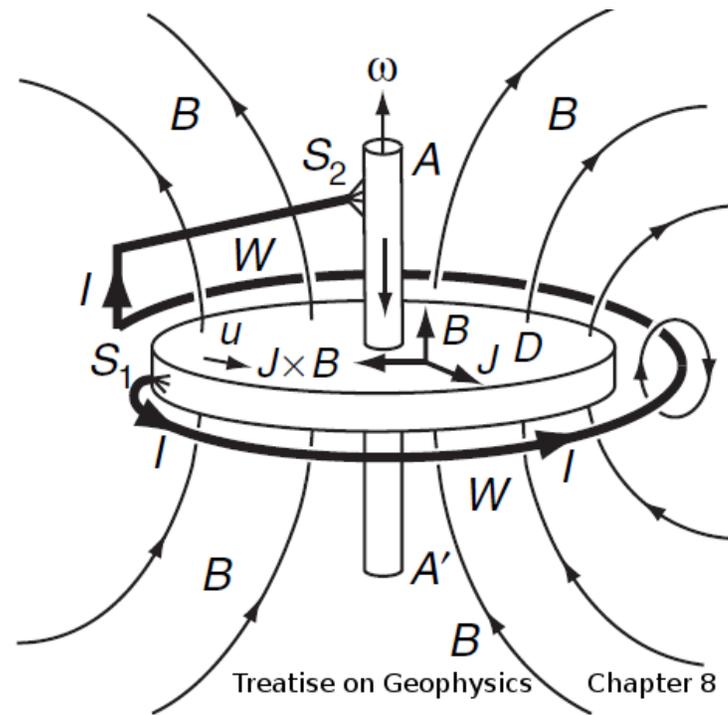
- El disco está girando en un campo magnético aplicado, que causa un voltaje inducido entre el centro del disco y su exterior, pero sin el flujo de una corriente todavía.

## 8.3 La dinamo de un disco



- Ahora si conectamos un alambre con alta  $\sigma$  entre  $S_1$  y  $S_2$ , con un contacto deslizante, tenemos una corriente dentro de él. Noten que en esta situación la corriente  $I$  no refuerza  $B_0$ .

## 8.3 La dinamo de un disco



- Finalmente, si ponemos este alambre alrededor del disco, el campo  $B$  inducido por la corriente ahora refuerza el campo inicial  $B_0$  en el plano del disco. Si la tasa de rotación es mayor que un valor crítico, es posible eliminar  $B_0$  y tener una dinamo que se auto-excita.

## 8.4.1 La ecuación de inducción magnética

- Recuerden que en un medio que conduce con una conductividad  $\sigma$  y que mueve con un campo de velocidad  $\mathbf{u}$ , la ley de Ohm esta escrita como:

$$\mathbf{J} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

- Combinando esta ecuación con las ecuaciones de Maxwell nos da la ecuación de inducción magnética

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \nabla^2 \mathbf{B} \quad (2)$$

- Entonces, cambios en el campo magnético están inducidos por el movimiento del fluido, o por disipación (difusión) debido a una conductividad finita.

## 8.4.2 La evolución de la energía magnética

- Tomando el producto escalar de  $\frac{\mathbf{B}}{\mu_0}$  con (2), y haciendo una integración sobre el volumen que contiene el conductor,  $V$ , obtenemos:

$$\frac{dE_m}{dt} = \int_V \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} dV = \int_V \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} \right) dV$$

$$\begin{aligned} W_u &= \int_V \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \cdot [\nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B})] dV = \frac{1}{\mu_0} \int_V \mathbf{B} \cdot [(\mathbf{B} \cdot \nabla)\mathbf{u} - (\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{B}] dV \\ &= \frac{1}{\mu_0} \int_V \mathbf{B} \cdot (\mathbf{B} \cdot \nabla)\mathbf{u} dV - \frac{1}{\mu_0} \int_S \mathbf{B}^2 \mathbf{u} \cdot d\mathbf{S} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_J &= \int_V \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \cdot (\eta \nabla^2 \mathbf{B}) dV = \frac{1}{\mu_0^2 \sigma} \int_V -(\nabla \times \mathbf{B})^2 + \nabla \cdot [(\mathbf{B} \times (\nabla \times \mathbf{B}))] dV \\ &= - \int_V \frac{\mathbf{J}^2}{\sigma} dV - \int_S \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{\mu_0 \sigma} \cdot d\mathbf{S} \end{aligned}$$

## 8.4.2 La evolución de la energía magnética

- Los términos asociados con las integrales de superficie pueden ser ignorados si la superficie es rígida (no hay flujo a través de la superficie), y si no hay corrientes eléctricas que fluyen encima la superficie. En este caso:

$$\left( \int_V \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\mathbf{B}^2}{2\mu_0} \right) dV \right) = \left( \frac{1}{\mu_0} \int_V \mathbf{B} \cdot (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{u} dV \right) + \left( - \int_V \frac{\mathbf{J}^2}{\sigma} dV \right) \quad (3)$$

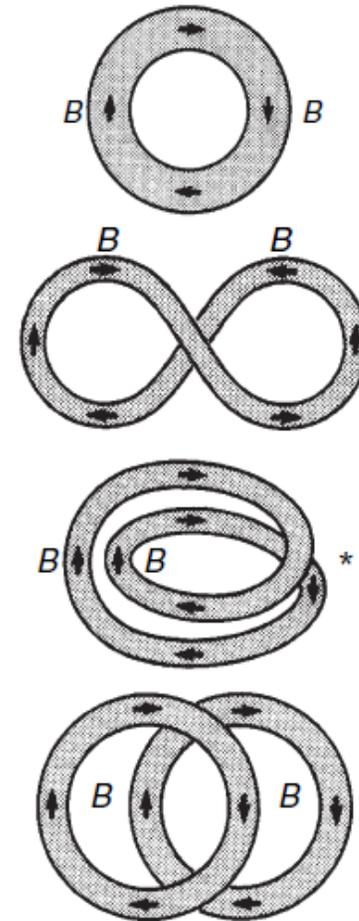
- La ecuación (3) puede ser escrito en la forma de los términos físicos que representa:

$$\underbrace{\frac{dE_m}{dt}}_{\text{Cambio en energía magnética}} = \underbrace{\int_V \mathbf{B} \cdot (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{u} dV}_{\text{Trabajo hecho por el flujo en el campo magnético}} + \underbrace{\int_V \frac{\mathbf{J}^2}{\sigma} dV}_{\text{Disipación óhmica (siempre negativa)}} \quad (4)$$

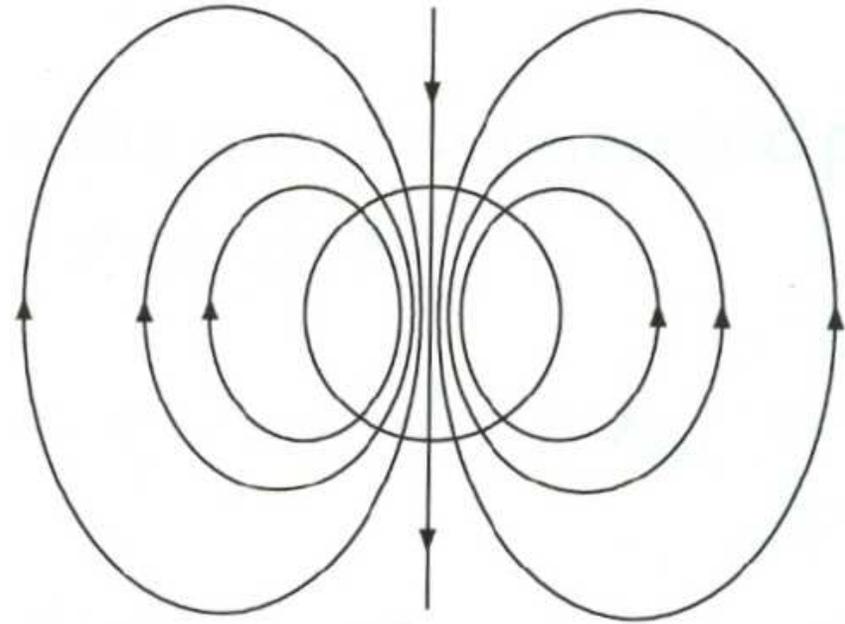
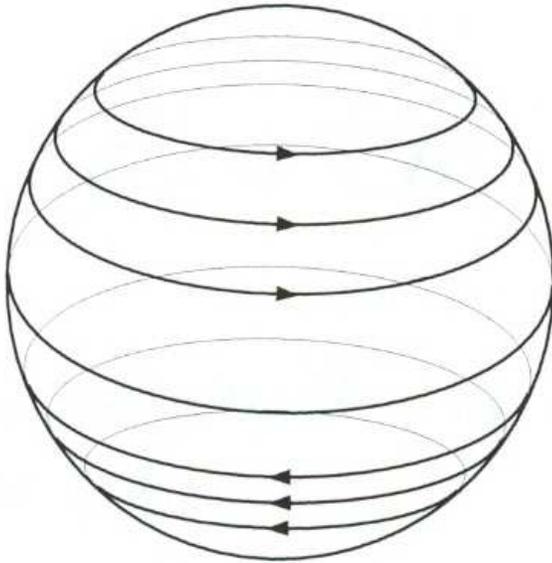
- Entonces, para que crece la energía magnética, el trabajo hecho por el flujo del conductor en el campo magnético debe superar la disipación óhmica.

## 8.5 La dinamo de extensión, retorsión y doblación

- Algunas configuraciones especiales de conductores moviéndose pueden generar un dinamo que se auto-excita.
- Consideremos un caso de un fluido moviéndose, la dinamo hipotética de 'Stretch-Twist-Fold':
  - El flujo del liquido extiende el tubo del flujo magnético a doble su longitud.
  - El flujo del liquido retuerce el tubo en una figura-8.
  - El flujo del liquido dobla los anillos del flujo magnético uno encima el otro, para obtener dos anillos enlazados.
  - Los anillos del flujo magnético tienen un sentido de helicidad, y un desequilibrio en la simetría del patrón.
  - Difusión magnética ocurre al punto \* inicialmente, y la reconexión genera dos tubos del flujo magnético similares al original. El proceso se puede repetir varias veces.

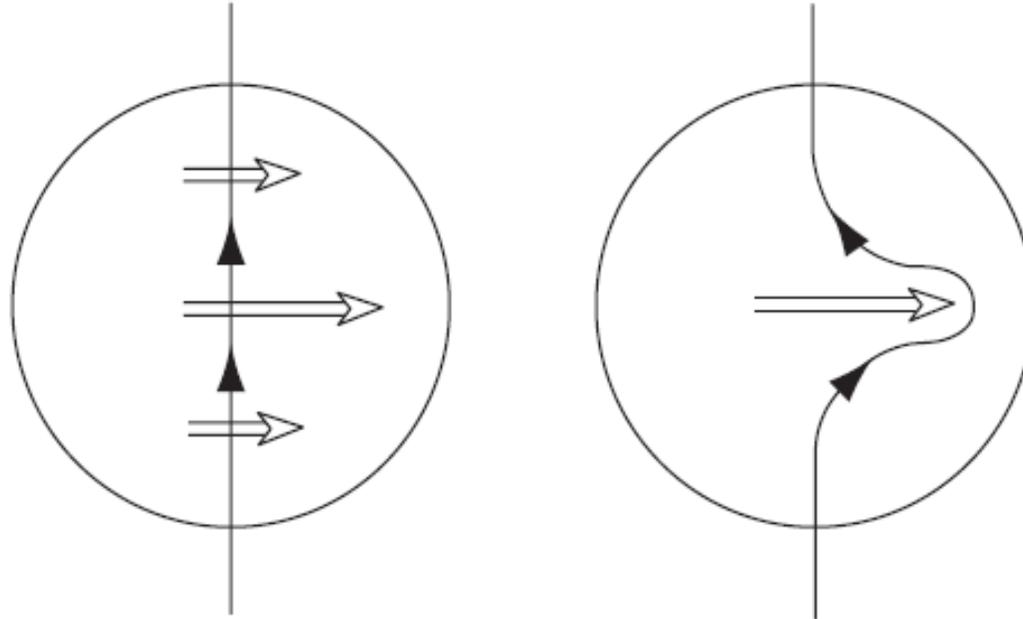


## 8.6.1 Campos toroidales y poloidales



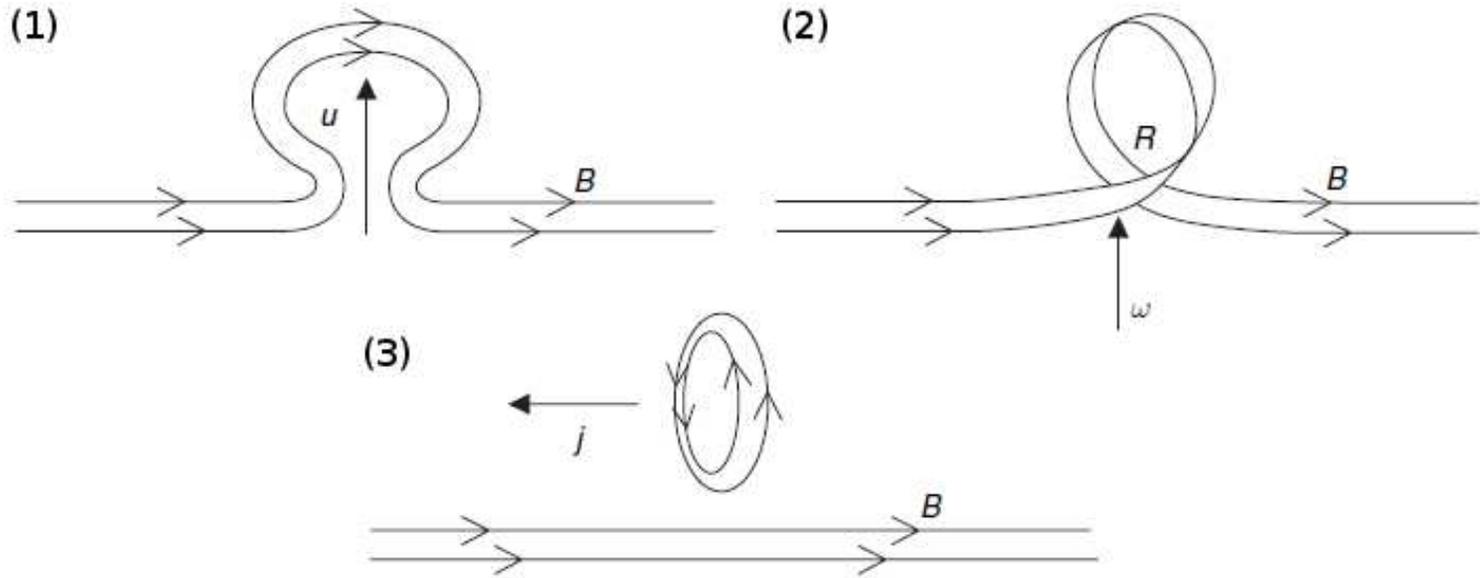
- Campos (o flujos) toroidales se forman sobre superficies esféricas.
- Campos (o flujos) poloidales cruceen superficies esféricas.

## 8.6.2 El efecto Omega



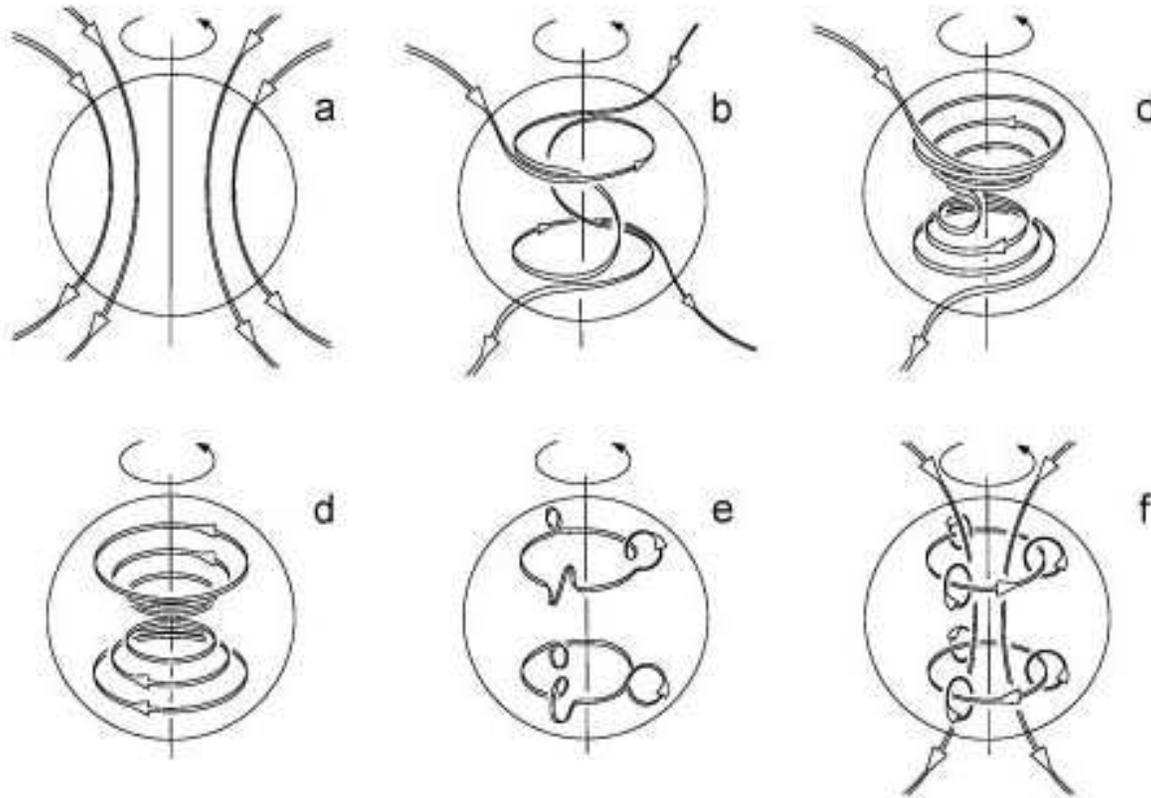
- Una conversión de un campo poloidal a un campo toroidal.
- La causa de este efecto es una rotación diferencial (cizalle) de flujos toroidales.

## 8.6.2 El efecto Alpha



- Una conversión de un campo toroidal a un campo poloidal.
- La causa de este efecto es un afloramiento de un flujo poloidal con una cierta vorticidad.

## 8.6.3 La dinamo Alpha-Omega



Love, J. J., 1999. *Astronomy & Geophysics*, 40, 6.14-6.19.

## 8.6.3 La dinamo Alpha-Omega

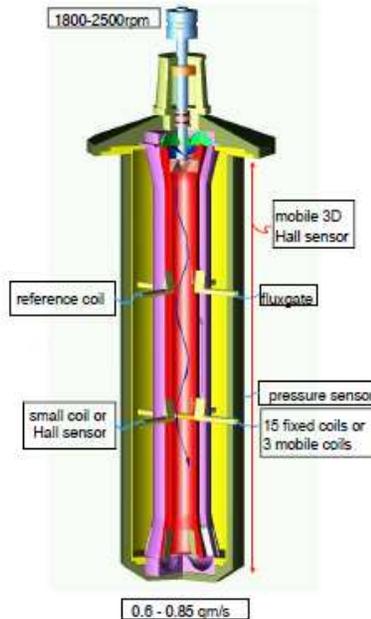
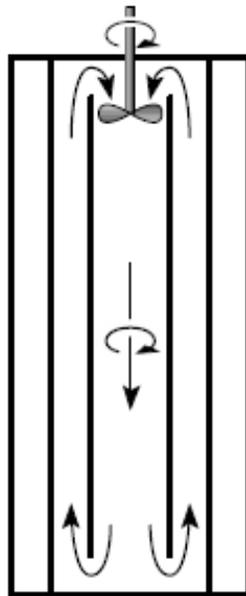
- Esta dinamo es bastante simple, pero muestra que con una fuente de energía y un flujo específico en el núcleo es posible tener una acción de un dinamo.
- El campo inicial cambia debido al flujo del conductor, y el campo resultante refuerza el campo inicial.
- Suponemos que el campo magnético inicial tiene una componente radial (poloidal), y hay un campo de velocidades toroidal.
- Hay una interacción que produce la generación de un campo magnético toroidal. Esto es el efecto- $\omega$ .
- Con un otro campo de velocidades poloidal, el campo magnético toroidal puede volver a tener una componente poloidal. Esto es el efecto- $\alpha$ .
- Debido al flujo, hay reforzamiento del campo inicial.

## 8.7.1 Dinamos experimentales



[http://complex.umd.edu/research/MHD\\_dynamos/3m.php](http://complex.umd.edu/research/MHD_dynamos/3m.php)

## 8.7.2 La Dinamo de Riga



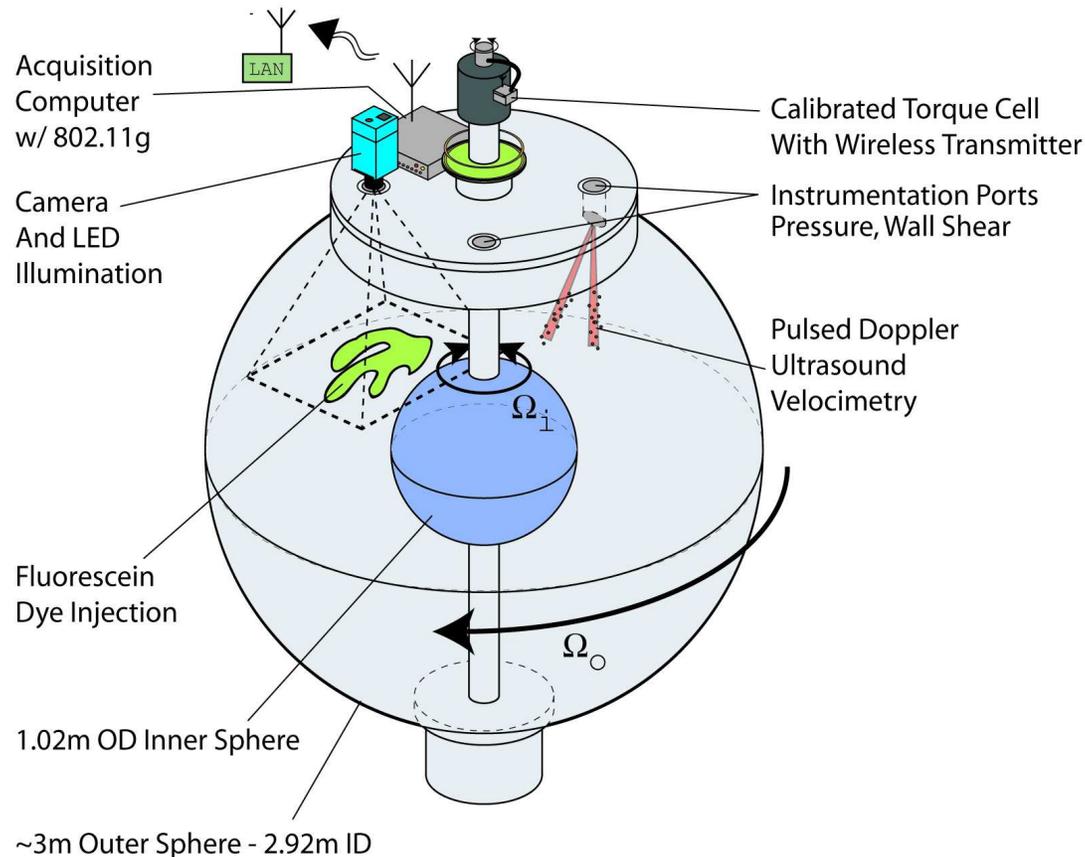
- Tres cilindros de acero de un largo de 3 metros. Sodio líquido es forzado hacia abajo por hélices, causando un flujo helicoidal, y retorna a la parte superior en un flujo vertical.
- El aparato generó una dinamo (oscilatoria) que se auto-excita en 2000 para  $R_m \sim 20$ .

## 8.7.3 El experimento de sodio Von-Karman



- Un cilindro que contiene 100 litros de sodio líquido mezclado por hélices. Envuelto por un otro cilindro de sodio líquido estacionario.
- Generó una dinamo que se auto-excita en 2006 para  $R_m \sim 33$ .
- Dependiendo en las tasas de rotación de las hélices, muchas sistemas dinámicas son posibles que incluyen campos con inversiones.

## 8.7.4 El experimento de 3 metros de Maryland



Una esfera de 3 metros de diámetro, con el flujo generado por una esfera interna, que puede producir  $R_m \sim 700$ . Unos resultados preliminares y publicaciones en su sitio web.