

# Corriente de Anillo

## Departamento de Geofísica

Sergio Vidal Luengo

13 de Junio de 2013

# Temas

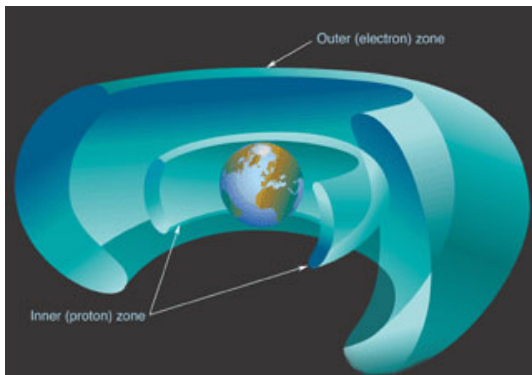
Cinturones de Radiación de Van Allen

Tipos de Movimiento

Índice Dst

## Cinturones de Radiación de Van Allen

- Fueron descubiertos en 1958 por la misión Explorer, confirmando observaciones y teorías previas.
- James Van Allen descifró el enigma de las insospechadas observaciones realizadas por Explorer I.
- Son regiones con partículas cargadas atrapadas en el campo magnético de la tierra, de energía mayor a las del medio.
- La región interior, dominada por protones, tiene un máximo a  $4R_E$  ( $1 < E_p < 5 \text{ MeV}$ ). La región exterior dominada por electrones tiene un máximo  $5R_E$  ( $E_e > 40 \text{ keV}$ ).



**Figure:** Geometría toroidal de los Cinturones de Van Allen.

# Tipos de Movimiento

- Giro: Alrededor de una línea de campo magnético.
- Rebote: Entre hemisferios.
- Deriva: Alrededor de la tierra.

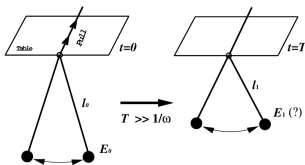
# Invariantes Adiabáticos

## Definición

Una *Invarianza Adiabática* es una propiedad conservativa de un sistema físico periódico, cuando un parámetro característico del cual depende el sistema varía mucho más lento que el periodo de movimiento natural del mismo.

$$I = \oint P dQ$$

Donde P y Q son el momento y coordenada generalizado.



# Giro

Movimiento de una partícula cargada en presencia de un campo magnético constante.

$$m\dot{\mathbf{v}} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

Podemos descomponer  $\mathbf{v} = v_{\parallel}\mathbf{b} + \mathbf{v}_{\perp}$

$$r = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} = \rho \quad (2)$$

Del MCU sabemos que,  $v_{\perp} = \omega_c \rho$ , por lo tanto,

$$\omega_c = \frac{qB}{m} \quad (3)$$

Donde  $\rho$  es el **Radio de Larmor** y  $\omega_c$  es la **frecuencia de Larmor**.

# Giro

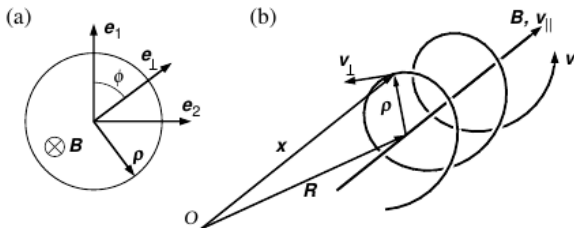


Figure: Definición del ángulo de giro (a) y centro de guía (b).



## Giro

- Momento Magnético

El movimiento periódico es el giro de Larmor,  $P$  es el momento angular  $mv_{\perp}\rho$  y el ángulo  $\phi$  es la coordenada generalizada  $Q$ . El momento magnético  $\mu = \frac{v_{\perp}^2}{2B}$  es un invariante adiabático si:

$$\left| \frac{B}{v_{\parallel} \partial B / \partial z} \right| \gg \left| \frac{B}{\partial B / \partial t} \right| \gg \left| \frac{2\pi}{qB/m} \right| \quad (4)$$

La escala de tiempo de cambio del campo magnético que siente la partícula es mucho más grande que el periodo de rotación del giro de Larmor.

Como  $\mu$  debe mantenerse y en los polos el campo se hace más intenso, la velocidad perpendicular debe incrementarse también.

$$\oint mv_{\parallel} \rho d\phi = 4\pi \frac{m^2}{q} \mu \quad (5)$$

## Rebote

Como resultado del aumento del gradiente paralelo a  $\mathbf{B}$  que hay hacia los polos, las partículas son reflejadas y quedan atrapadas entre dos puntos espejo.

$$\dot{v}_{\parallel} = -\mu \nabla_{\parallel} B \quad (6)$$

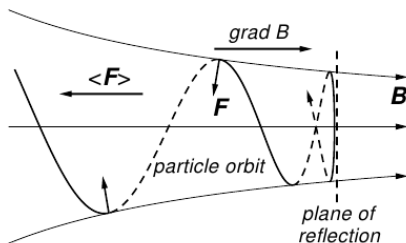


Figure: Partícula reflejada en un espejo magnético.

## Rebote

- Invariante Longitudinal

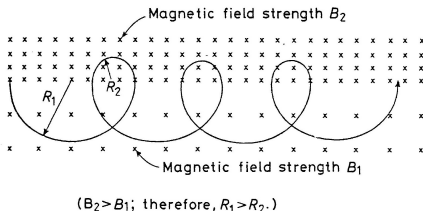
El segundo invariante adiabático, nace del primero. Como  $v_{\perp}$  aumenta hacia los polos y la energía cinética debe mantenerse constante, llega un momento en el cual  $v_{\parallel} = 0$ , en ese momento se produce el rebote de la partícula. En este caso el rebote entre ambos puntos espejo constituye un movimiento periódico, en el cual el campo varía mucho más lento que el periodo entre cada rebote.

$$J = \int m v_{\parallel} ds \quad (7)$$

## Deriva

- Drift de partícula en un campo magnético no-homogéneo.

En un campo inhomogéneo, el gradiente transversal de la intensidad del campo magnético da lugar a un drift, el cual puede ser visto fácilmente desde el punto de vista del radio de Larmor.



**Figure:** Drift longitudinal causado por un gradiente en la intensidad del campo magnético.

# Deriva

- Flujo Invariante

La tercera invariante adiabática dice que el flujo magnético total encerrado por una orbita de drift (por campos magnéticos inhomogéneos) es constante.

$$\mathbf{v}_{drift} = \mathbf{v}_R + \mathbf{v}_{\nabla B} = \frac{m}{q} \left( v_{\parallel}^2 + \frac{v_{\perp}^2}{2} \right) \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{B}}{R^2 B^2} \quad (8)$$

Produce que las partículas precesen alrededor de la tierra, los electrones hacia el este y los iones hacia el oeste. La tercera invariante obliga a que las partículas cargadas retornen a la misma linea de campo magnético luego de dar una vuelta a la tierra, pero debido a los rápidos y comunes cambios en el campo magnético, esta invariante es la menos invariantes de las tres.

$$\Phi \equiv \oint \mathbf{v}_{drift} \cdot r d\phi \quad (9)$$

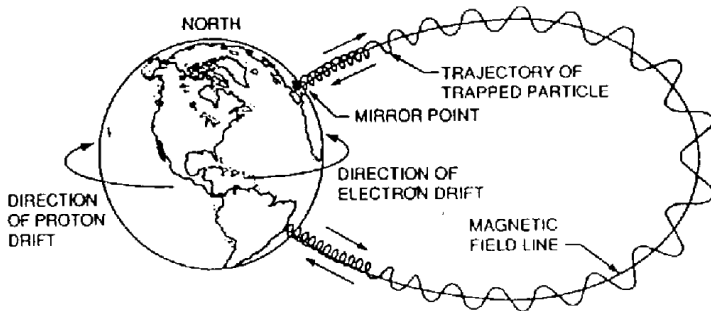


Figure: Trayectoria de las partículas atrapadas y la corriente de anillo.

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} .$$

## Índice DST, (Disturbance Storm Time)

- El índice DST es una medida de la disminución de la componente horizontal (**H**) del campo magnético cerca del ecuador.
- La disminución del índice es producida por el aumento de la magnitud del campo magnético generado por la corriente de anillo, que tiene sentido opuesto.
- El aumento en la corriente de anillo está muy relacionado con las tormentas magnéticas, como resultado de tormentas solares.
- Valores del índice DST inferiores a  $-50$  [nT], indican una alta actividad geomagnética.

### Dst 10-Day Zoom for the October / November 2003 Storm

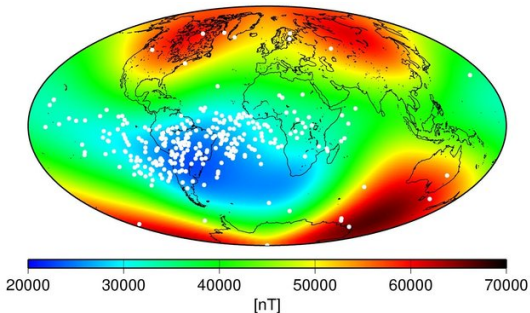
Atmospheric and Environmental Research

WDC for Geomagnetism, Kyoto



Figure: Valores del índice DST durante la tormenta de Halloween, Octubre/Noviembre de 2003.





**Figure:** La Anomalía del Atlántico Sur es un área donde la protección del campo es débil. Los puntos blancos en el mapa indican donde el equipamiento electrónico del satélite (TOPEX/Poseidon) fue afectado por la radiación.

## Referencias

- H.J de Blank, Guiding Center Motion, Transactions of Fusion Science and Technology, **49**, 2006.
- Ju Li, Notes on Adiabatic Invariants, 1998.  
<http://li.mit.edu/A/Papers/98/invariant.pdf>
- Y. Ebihara and Y. Miyoshi, Dynamic Inner Magnetosphere: A Tutorial and Recent Advances, The Dynamic Magnetosphere, IAGA Special Sopron Book Series 3, Springer Science+Business Media B.V. 2011.
- J.K Hargreaves, The Upper Atmosphere and Solar-Terrestrial Relations, Van Nostrand Reinhold Co. Ltd., 1979.