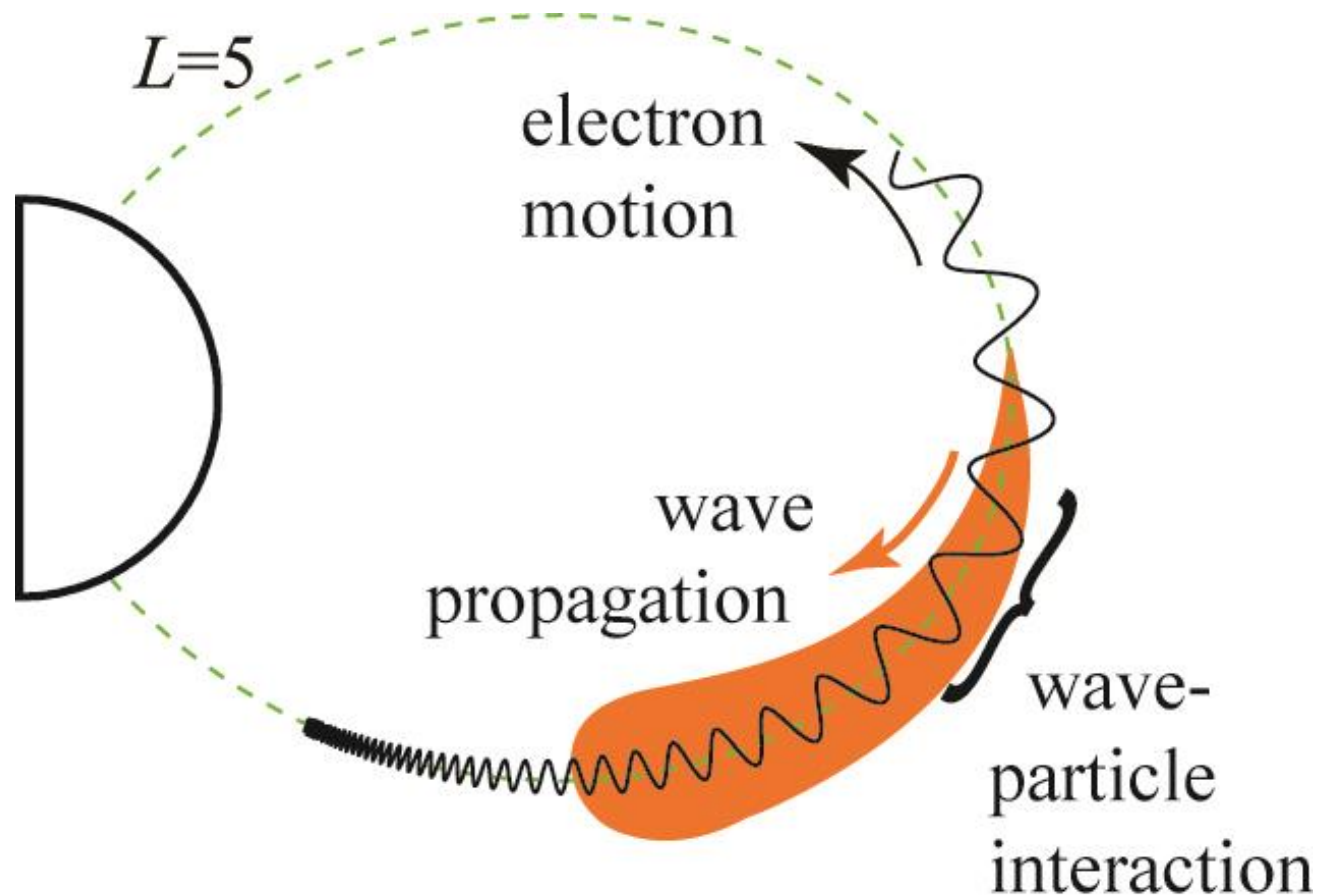


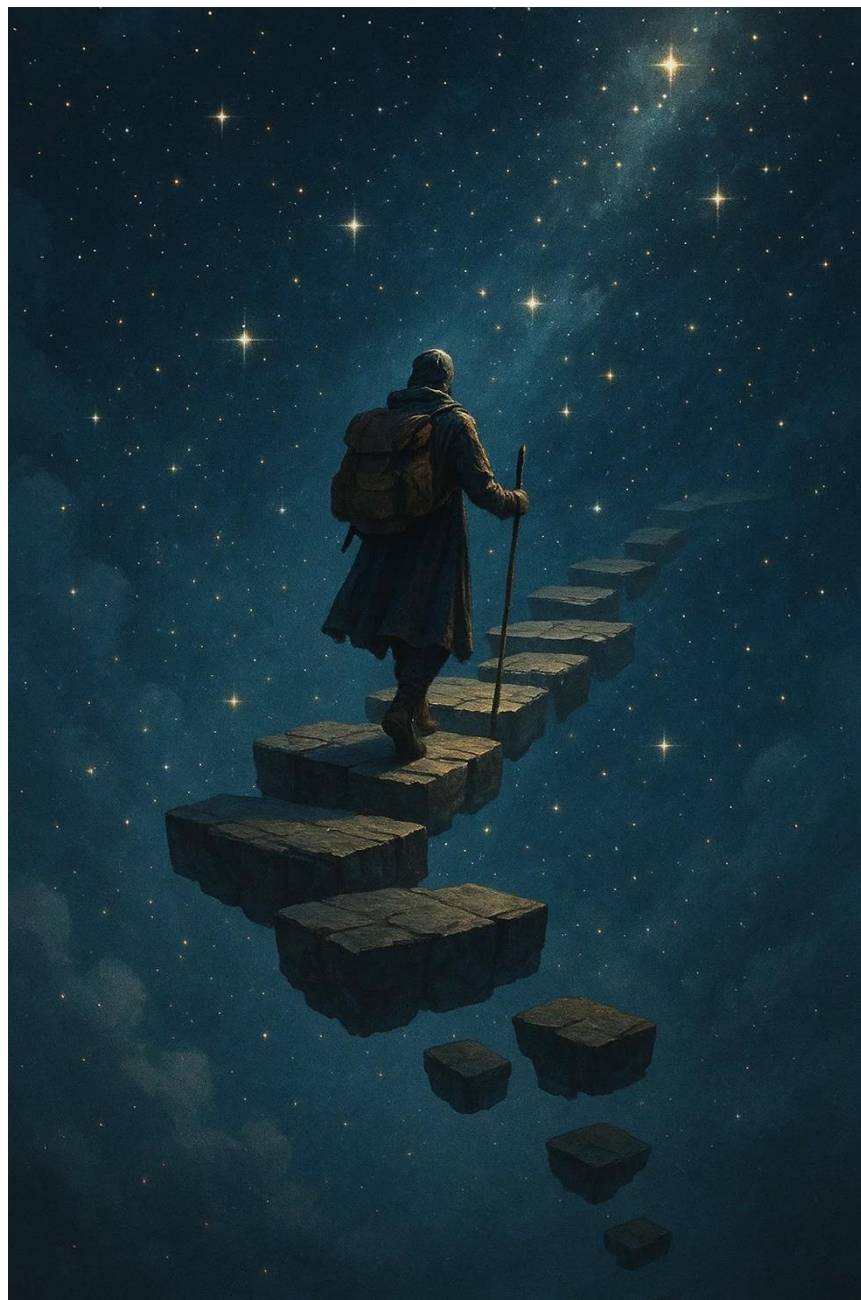
# Space Physics Master's Course

## Lecture 1





# Space Physics



Space Physics

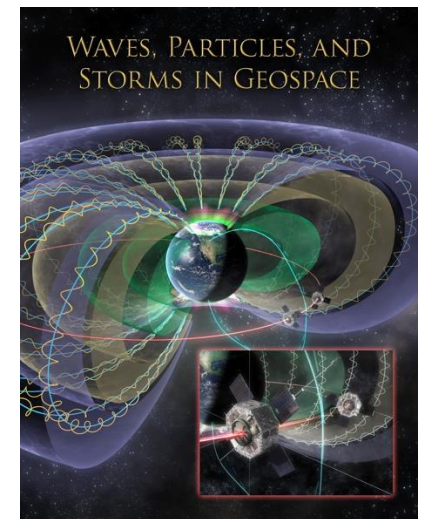
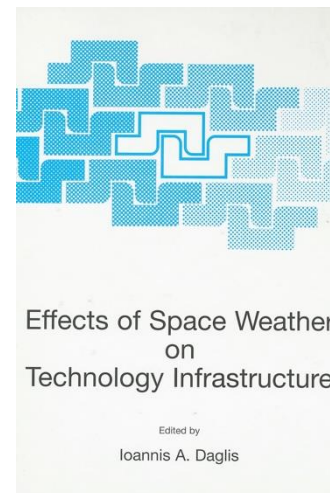
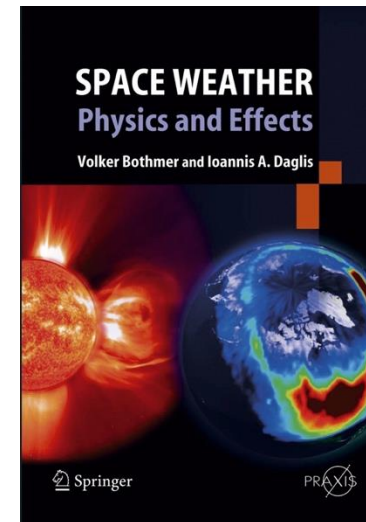
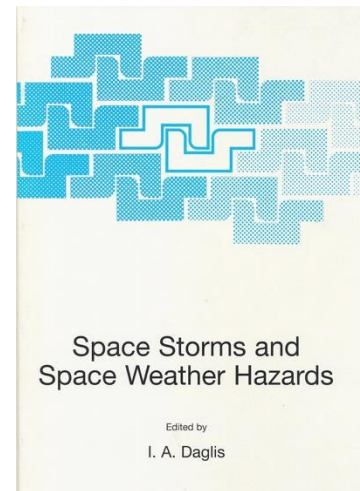
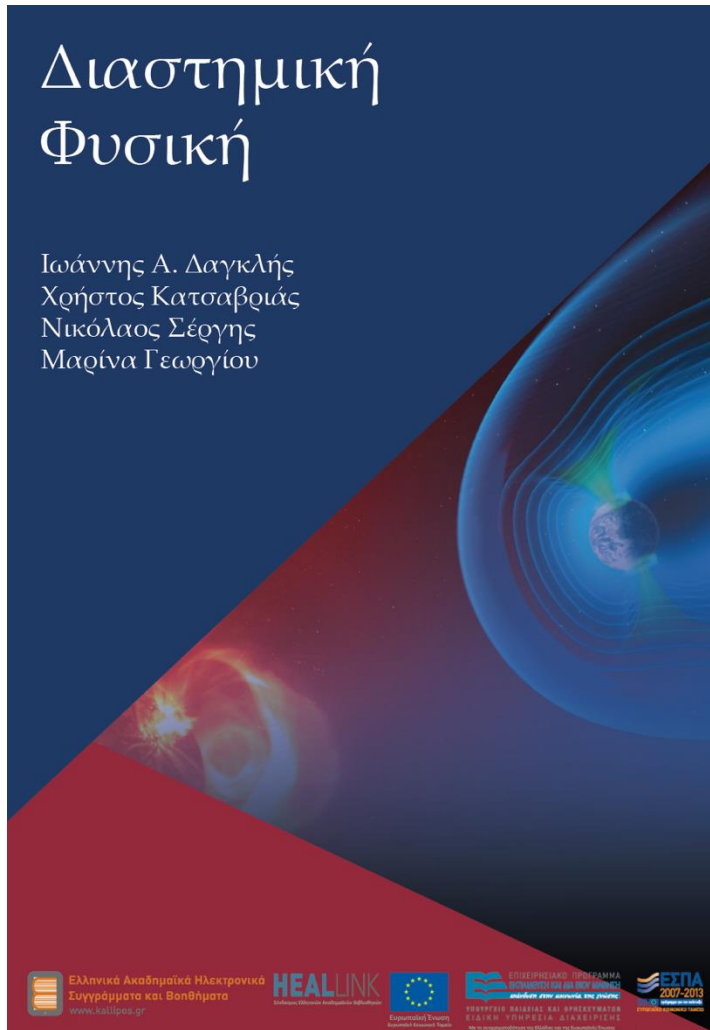
# RECOMMENDED READING

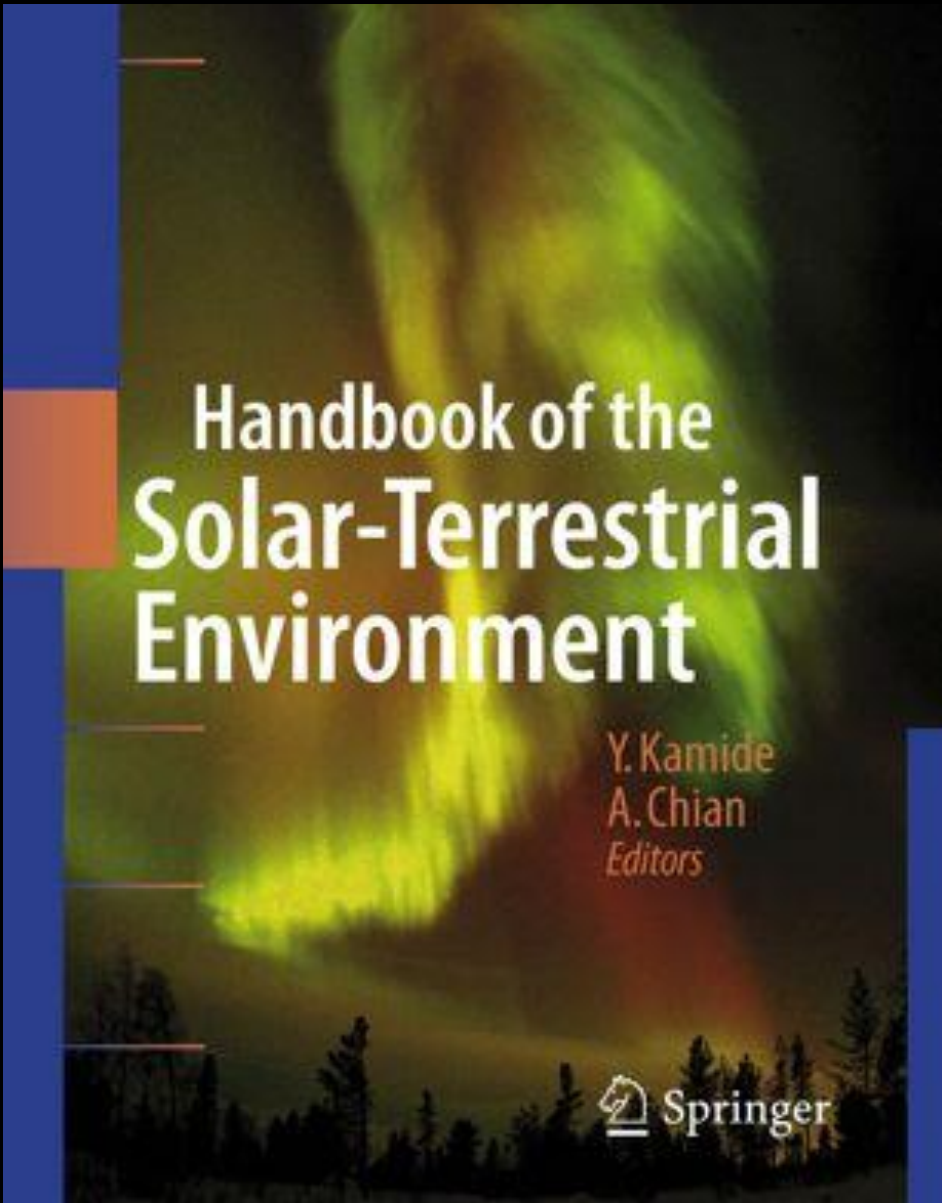
Διαστημική Φυσική, Κεφάλαιο 3

(<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/11507>)

Physics of Earth's Radiation Belts, Κεφάλαιο 2

(<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-82167-8.pdf>)





# Handbook of the Solar-Terrestrial Environment

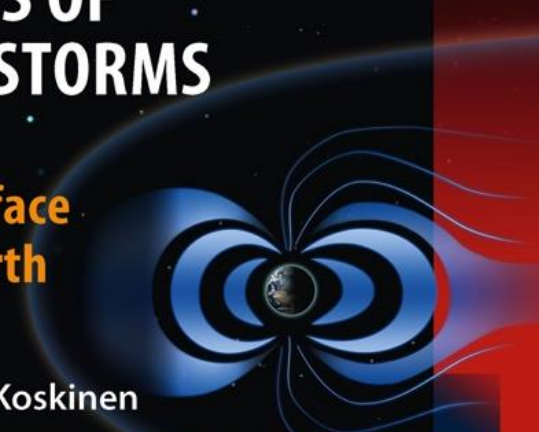
Y. Kamide  
A. Chian  
*Editors*

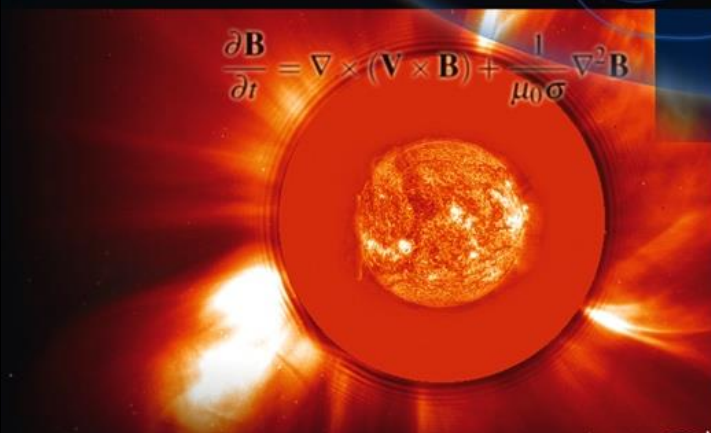
 Springer

# PHYSICS OF SPACE STORMS

From the  
Solar Surface  
to the Earth

Hannu E. J. Koskinen


$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) + \frac{1}{\mu_0 \sigma} \nabla^2 \mathbf{B}$$



 Springer

PRAXIS

<https://eudoxus.gr/StudentBookSelection>

Γενική βάση συγγραμμάτων

Αναζήτηση με “*Koskinen*”, “*Kamide*”, “*Daglis*”

# Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων

Βασικές κινήσεις φορτισμένων σωματιδίων:

- Γυροκίνηση
- Αναπήδηση ή Ανάκλαση
- Ολίσθηση

Γωνία κλίσης, κώνος διαφυγής, υετός ή  
πρόσπτωση (**precipitation**) σωματιδίων,  
διαφυγή ή απώλεια σωματιδίων

Αδιαβατικές αναλλοίωτες της κίνησης

# Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων



## Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων



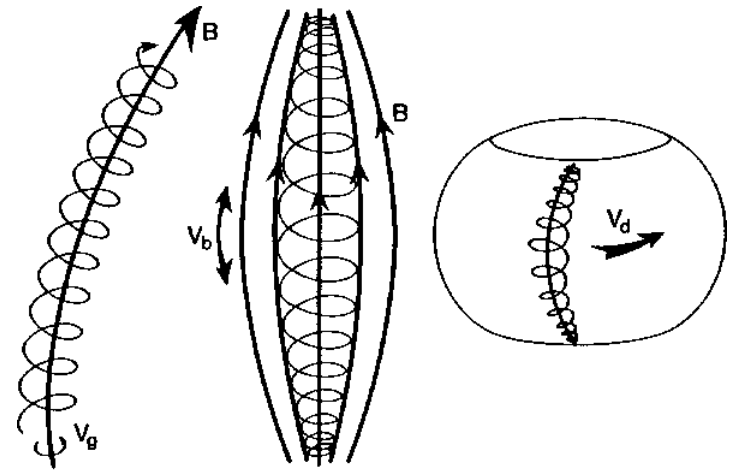




# Periodic motion

1 MeV electron,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $L = 4.5$

- Energetic particles undergo three types of periodic motion:
  - They **gyrate** around the magnetic field
  - They **bounce** between the mirror points
  - They **drift** around the Earth



gyro  
motion

bounce  
motion

drift  
motion

f

10 kHz

3 Hz

1 mHz

T

0.1 ms

0.36 s

15 min

$$\mu = \frac{p_{\perp}^2}{2mB}$$

$$J = \int_{\text{bounce}} p_{\parallel} ds$$

$$\Phi = \int_{\text{drift}} B dS$$

- Associated adiabatic invariant

# Κινήσεις Ολίσθησης (Drift)

$\vec{B}$  upward  
through the paper

Charge

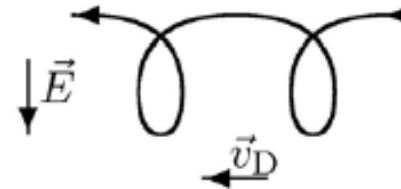
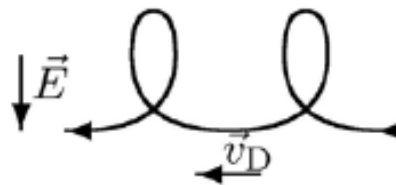
positive

negative

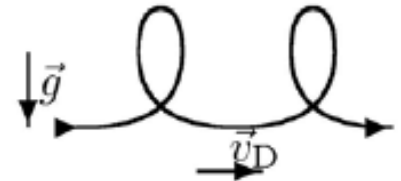
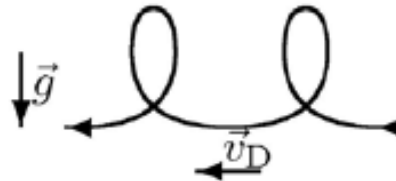
B homogenous



E homogenous

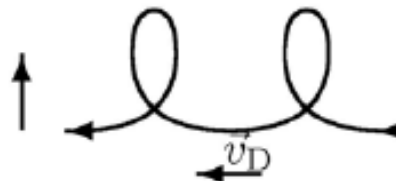


Gravitation



Inhomogeneous B

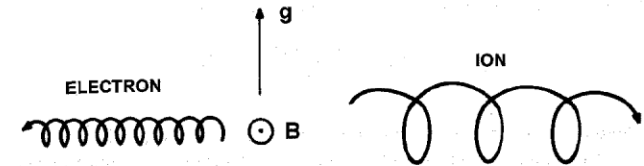
$\uparrow \text{grad } |\vec{B}|$



# Specific Particle Drifts

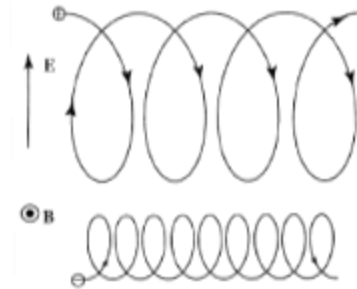
- Gravity:

$$\bar{v}_g = \frac{m\bar{g} \times \bar{B}}{qB^2}$$



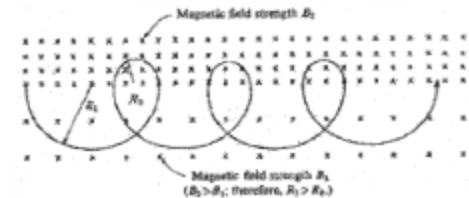
- Electric Field:

$$\bar{v}_E = \frac{\bar{E} \times \bar{B}}{B^2}$$



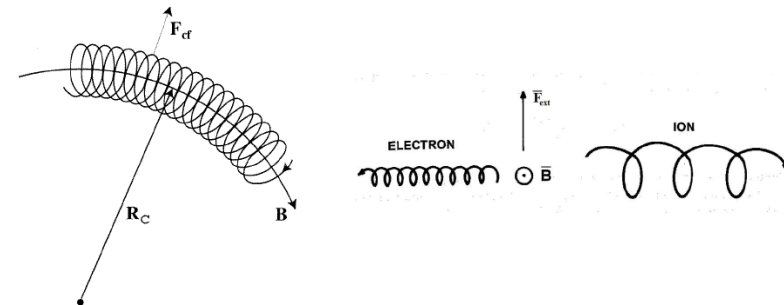
- B-Gradient:

$$\bar{v}_\nabla = \frac{mv_\perp^2 (\bar{B} \times \nabla B)}{2qB^3}$$



- B-Curvature:

$$\bar{v}_R = \frac{mv_{||}^2 (\bar{R}_C \times \bar{B})}{qR_C^2 B^2}$$



# Forces on charged particles (single particle theory)

– Electric force       $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E}$

# Forces on charged particles (single particle theory)

- Electric force  $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E}$
- Magnetic force  $\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

# Forces on charged particles (single particle theory)

- Electric force  $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E}$
- Magnetic force  $\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$
- Lorentz force  $\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

# Forces on charged particles (single particle theory)

- Electric force  $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E}$
- Magnetic force  $\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$
- Lorentz force  $\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$
- Neutral forces  $\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}$

# Single Particle Motion

Consider the Lorentz force when  $\mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$  and  $\mathbf{B}(\mathbf{x}, t)$  are specified.

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q [\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}]$$

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$$

## SI Units

mass (m) - kg

length (l) - m

time (t) - s

electric field (E) - V/m

magnetic field (B) - T

velocity (v) - m/s

$F_g$  stands for non-electromagnetic forces (e.g. gravity)

# Single Particle Motion

Consider the Lorentz force when  $\mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$  and  $\mathbf{B}(\mathbf{x}, t)$  are specified.

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q [\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}]$$

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$$

## SI Units

mass (m) - kg

length (l) - m

time (t) - s

electric field (E) - V/m

magnetic field (B) - T

velocity (v) - m/s

$F_g$  stands for non-electromagnetic forces (e.g. gravity) - **usually ignorable**.

# Βασική κίνηση φορτισμένου σωματιδίου

Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου  $q$   
σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο  
κάτω από την επίδραση της δύναμης Lorentz:

# Βασική κίνηση φορτισμένου σωματιδίου

Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου  $q$   
σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο  
κάτω από την επίδραση της δύναμης Lorentz:

$$\bar{\mathbf{F}} = m \frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = q(\bar{\mathbf{E}} + \bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{B}}) + \bar{\mathbf{F}}_{ext}$$

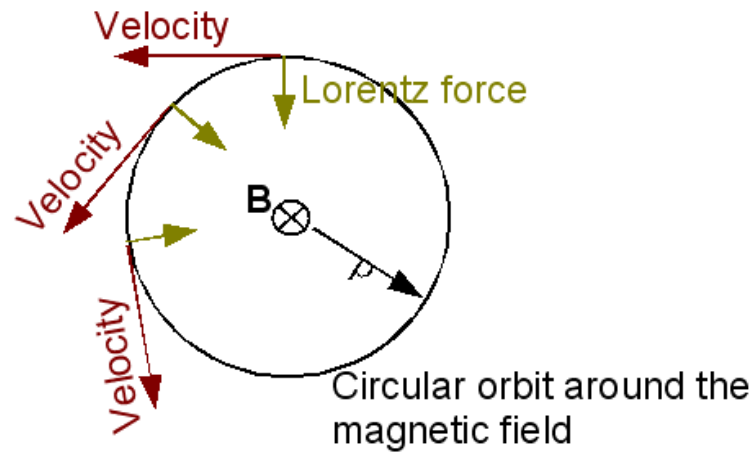
# Βασική κίνηση φορτισμένου σωματιδίου

Απλούστερη περίπτωση:

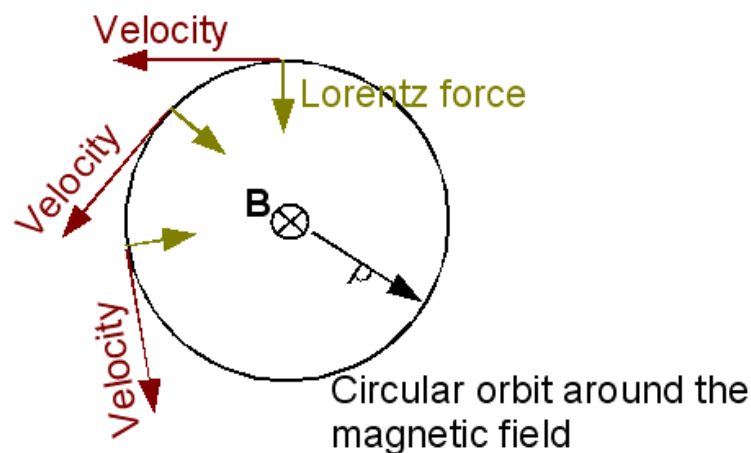
$$E = 0$$



$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

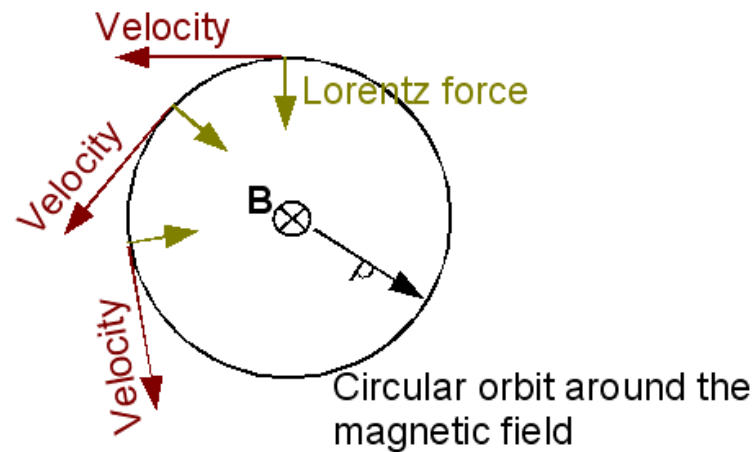


Σε στατικό, ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B$ ,  
με  $E=0$  και χωρίς άλλη δύναμη,  
το φορτισμένο σωματίδιο εκτελεί  
κυκλική κίνηση γύρω από τη δυναμική γραμμή του  $B$

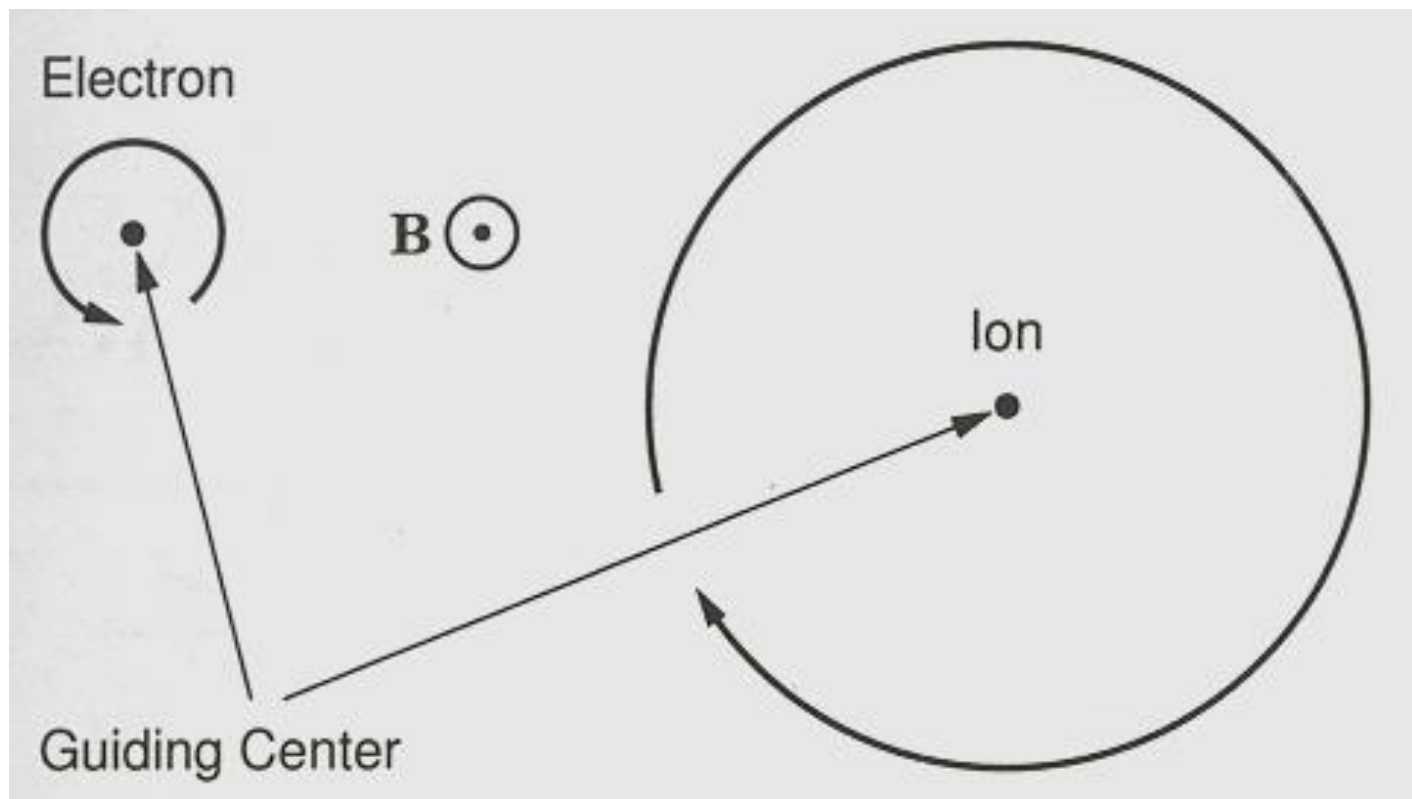


$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Σε στατικό, ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B$ ,  
με  $E=0$  και χωρίς άλλη δύναμη,  
το φορτισμένο σωματίδιο εκτελεί  
κυκλική κίνηση γύρω από τη δυναμική γραμμή του  $B$



**How Boring!**



**Uniform magnetic field, and  $\mathbf{E} = \mathbf{0}$  :**

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

It is customary (and very useful) to set  $\mathbf{v} = \mathbf{v}_{//} + \mathbf{v}_{\perp}$  (natural comp.)

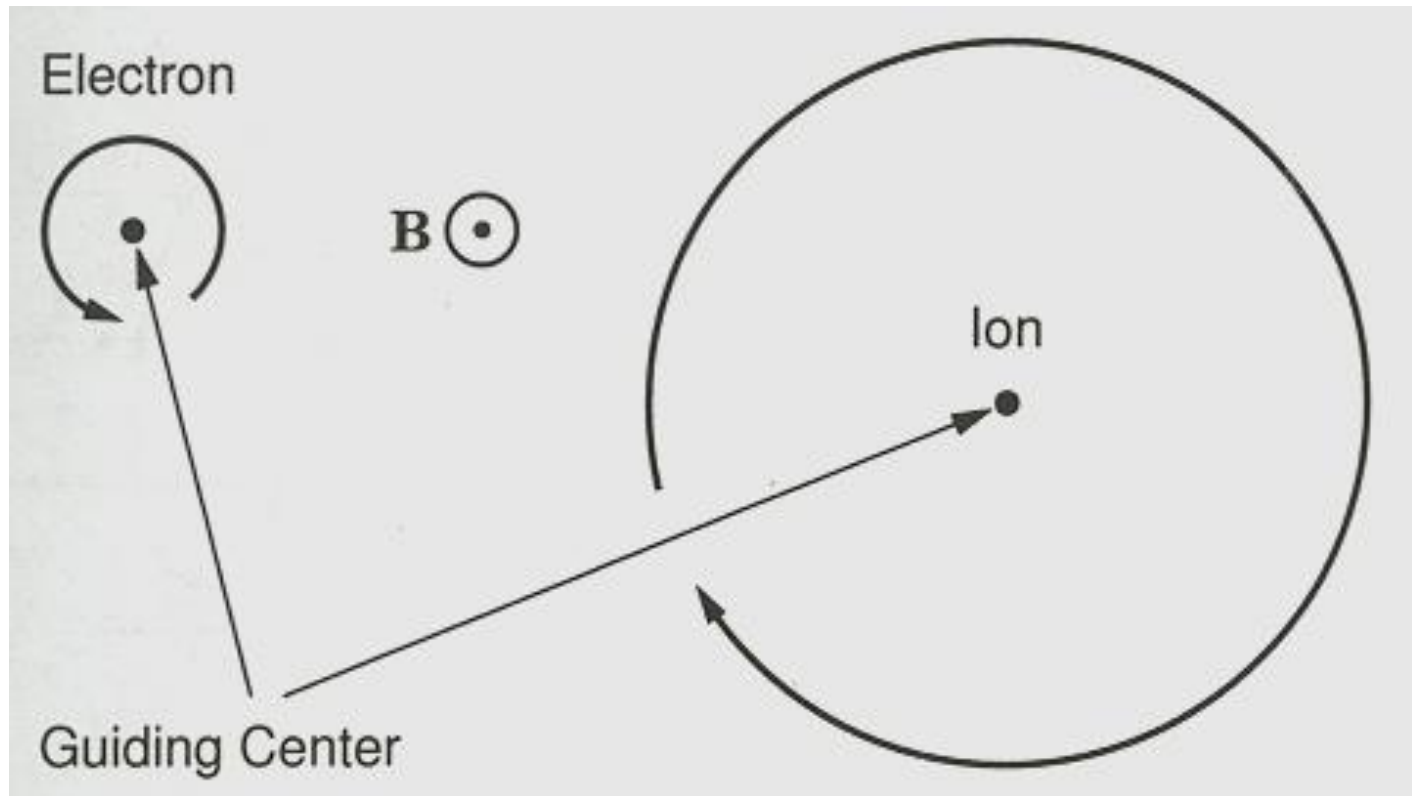
Note that  $(\mathbf{v}_{//} + \mathbf{v}_{\perp}) \times \mathbf{B} = \mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B}$ . Then

$$m \frac{d\mathbf{v}_{//}}{dt} = 0, \quad m \frac{d\mathbf{v}_{\perp}}{dt} = q\mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B} \text{ or}$$

$$\frac{d\mathbf{v}_{\perp}}{dt} = \frac{q}{m} \mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B} = \mathbf{v}_{\perp} \times \Omega \mathbf{b} \text{ with}$$

$$\Omega = \frac{qB}{m}, \quad \mathbf{b} = \frac{\mathbf{B}}{B}, \quad \Omega \text{ is the angular gyrofrequency (Lamor frequency)}$$

- If  $q$  is positive particle gyrates in left handed sense
- If  $q$  is negative particle gyrates in a right handed sense



$$r_c = \frac{mv_{\perp}}{qB}$$

$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου  
σε μαγνητικό πεδίο

Είδαμε ότι  $v_{\parallel} = \text{const}$

# Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο

Είδαμε ότι  $v_{||} = \text{const}$

$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{v} = \vec{v}_{||} + \vec{v}_{\perp}$$

$$\vec{F}_{||} = 0$$

$$\frac{dv_{||}}{dt} = 0 \Rightarrow v_{||} = \text{const}$$

**Uniform magnetic field, and  $\mathbf{E} = \mathbf{0}$  :**

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

It is customary (and very useful) to set  $\mathbf{v} = \mathbf{v}_{\parallel} + \mathbf{v}_{\perp}$  (natural comp.)

Note that  $(\mathbf{v}_{\parallel} + \mathbf{v}_{\perp}) \times \mathbf{B} = \mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B}$ . Then

$$m \frac{d\mathbf{v}_{\parallel}}{dt} = 0, \quad m \frac{d\mathbf{v}_{\perp}}{dt} = q\mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B} \text{ or}$$

$$\frac{d\mathbf{v}_{\perp}}{dt} = \frac{q}{m} \mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B} = \mathbf{v}_{\perp} \times \Omega \mathbf{b} \text{ with}$$

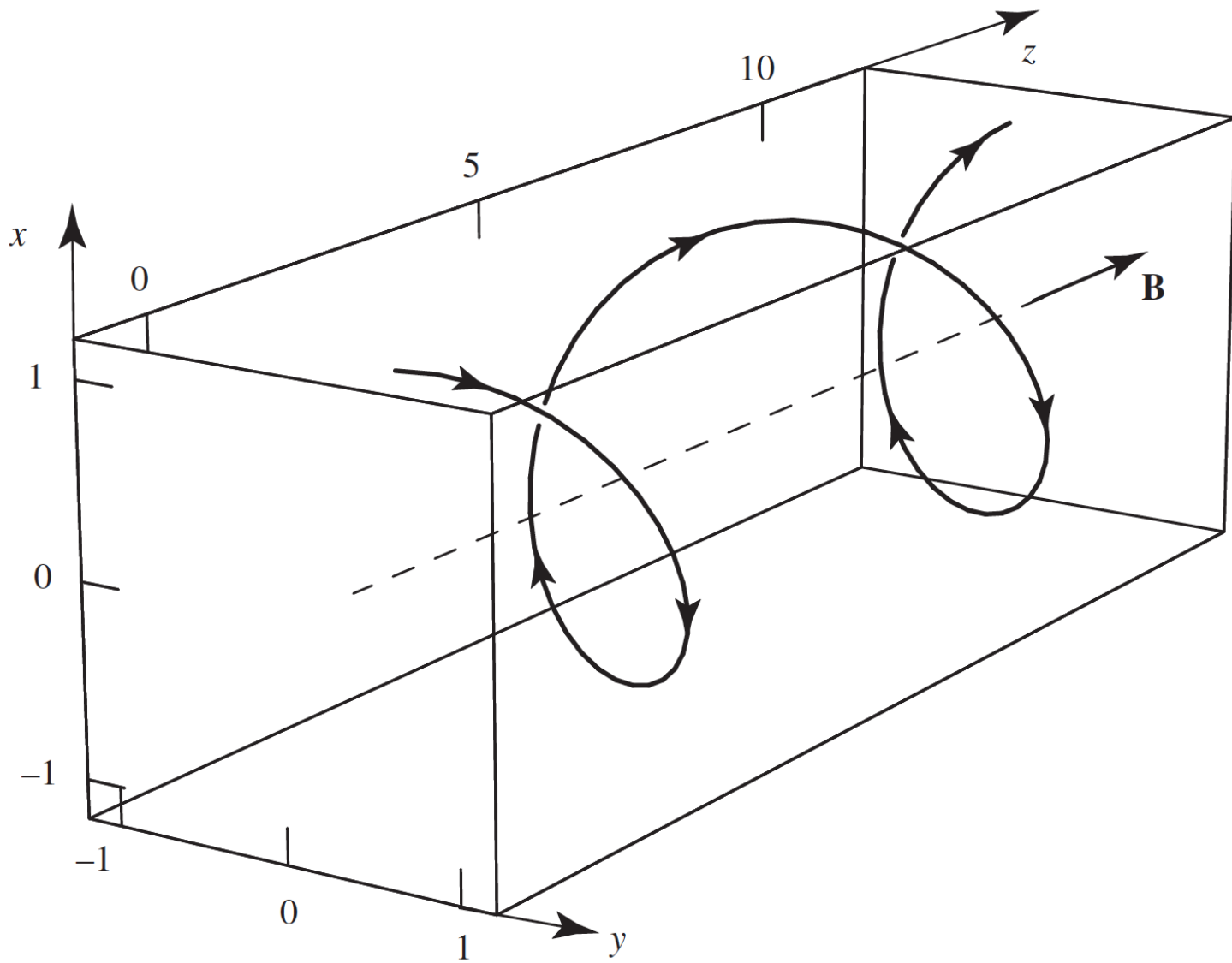
$$\Omega = \frac{qB}{m}, \quad \mathbf{b} = \frac{\mathbf{B}}{B}, \quad \Omega \text{ is the angular gyrofrequency (Lamor frequency)}$$

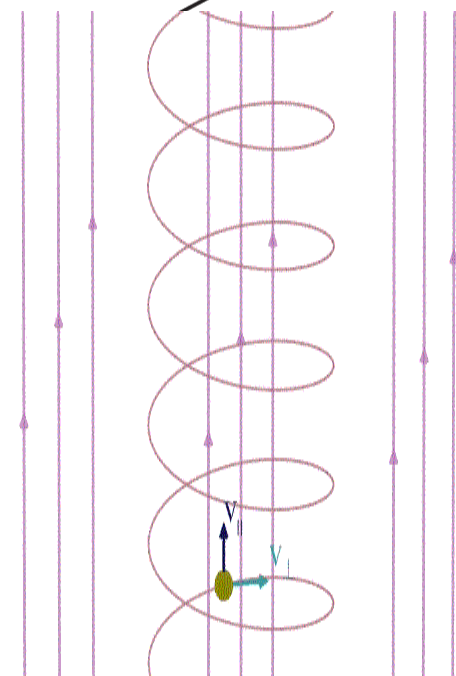
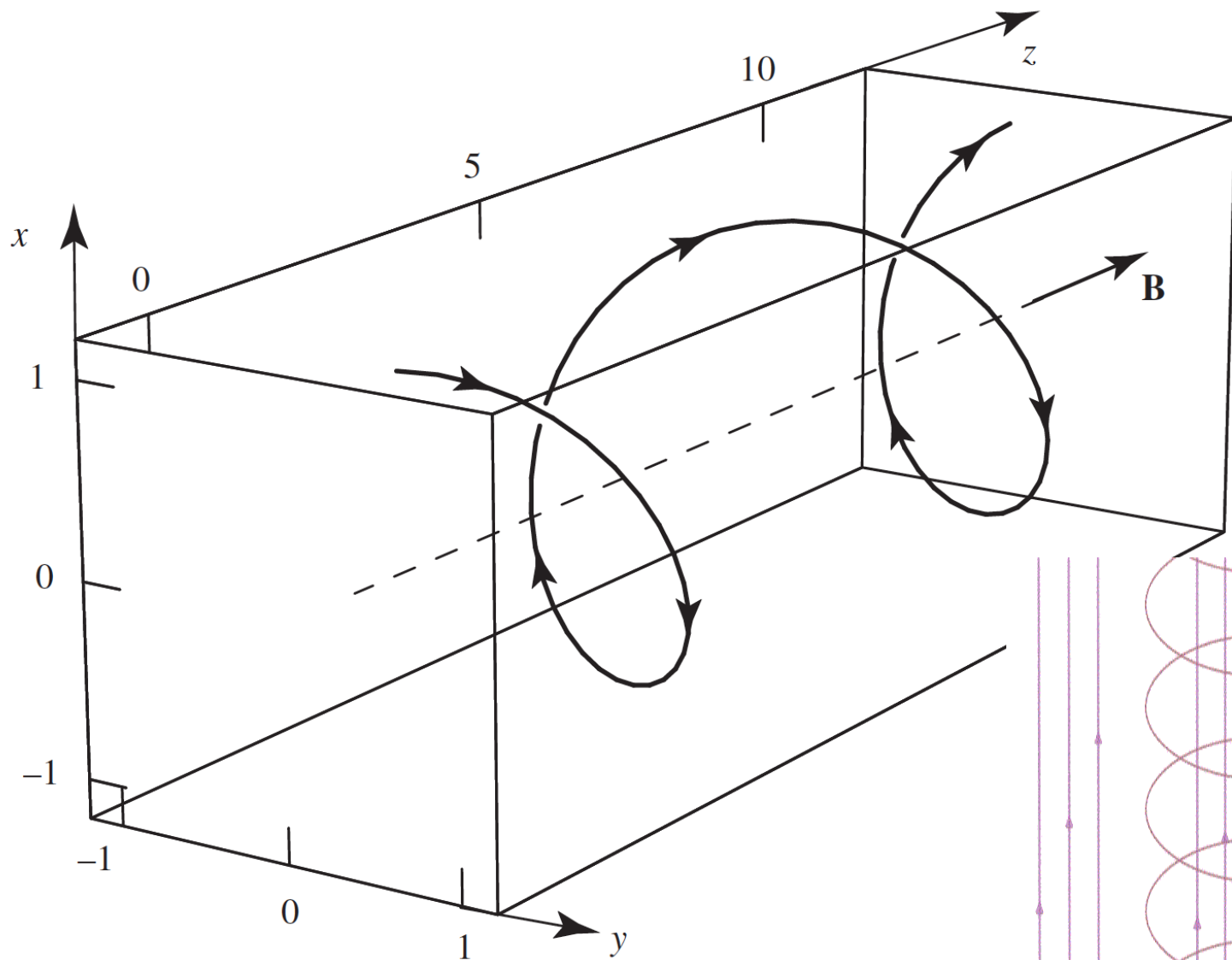
- If  $q$  is positive particle gyrates in left handed sense
- If  $q$  is negative particle gyrates in a right handed sense

# Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο

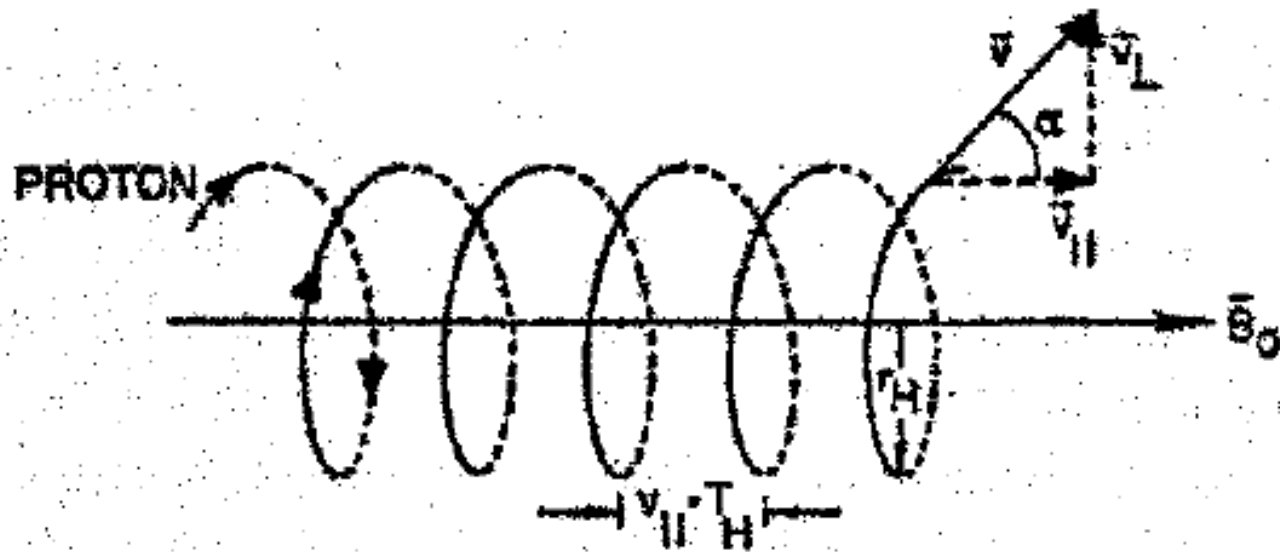
Είδαμε ότι  $v_{||} = \text{const}$

Για  $v_{||} \neq 0$ , τί κίνηση θα έχουμε;

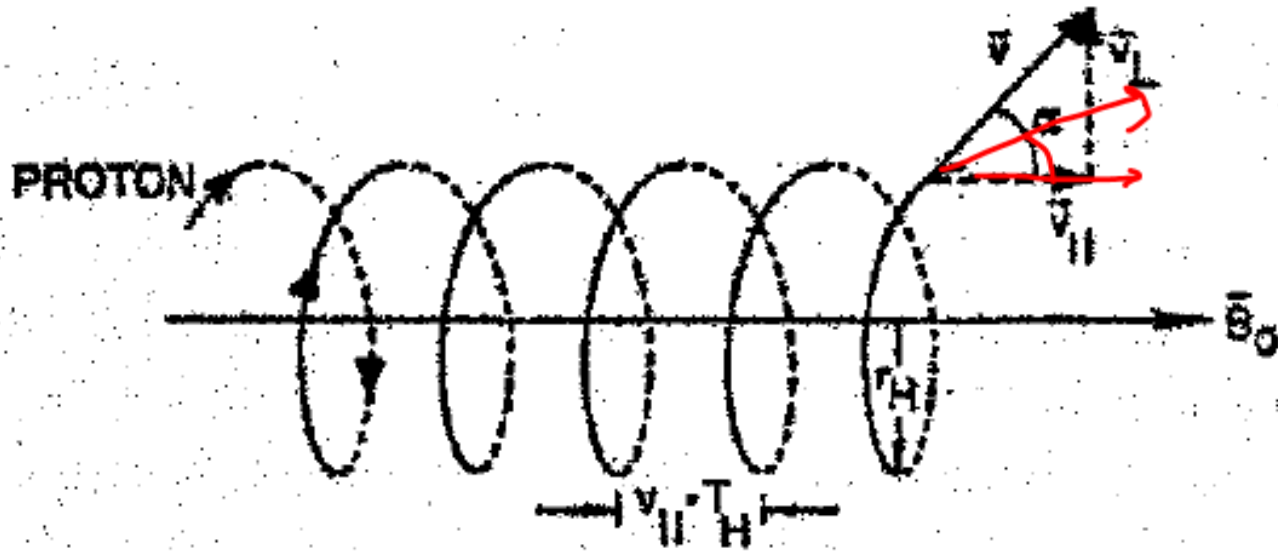




Η κίνηση με  $v_{||} \neq 0$  έχει  
το σχήμα έλικας κατά μήκος της δυναμικής  
γραμμής του μαγνητικού πεδίου



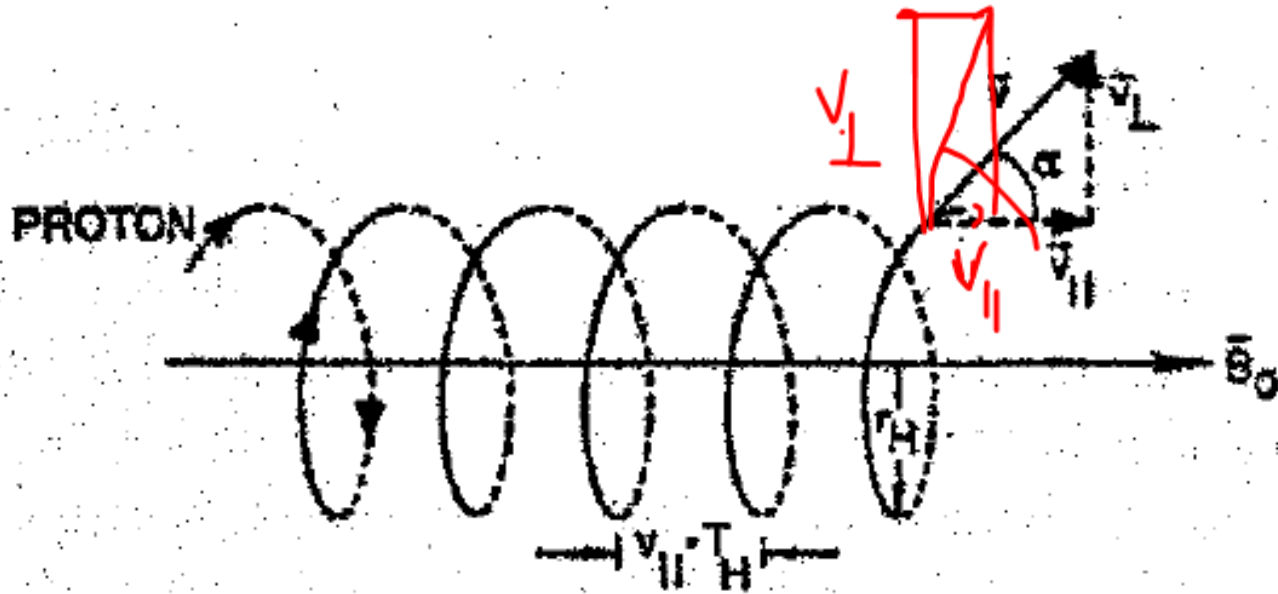
Είναι η γωνία μεταξύ του διανύσματος της ταχύτητας του σωματιδίου και του μαγνητικού πεδίου



$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{v_{\perp}}{v_{||}} \right)$$

Για σωματίδια της ίδιας ταχύτητας, μικρότερη  $\alpha$  σημαίνει ...

Είναι η γωνία μεταξύ του διανύσματος της ταχύτητας του σωματιδίου και του μαγνητικού πεδίου



$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{v_{\perp}}{v_{\parallel}} \right)$$

... ενώ μεγαλύτερη  $\alpha$  σημαίνει ...

Γωνία κλίσης  $\alpha$

