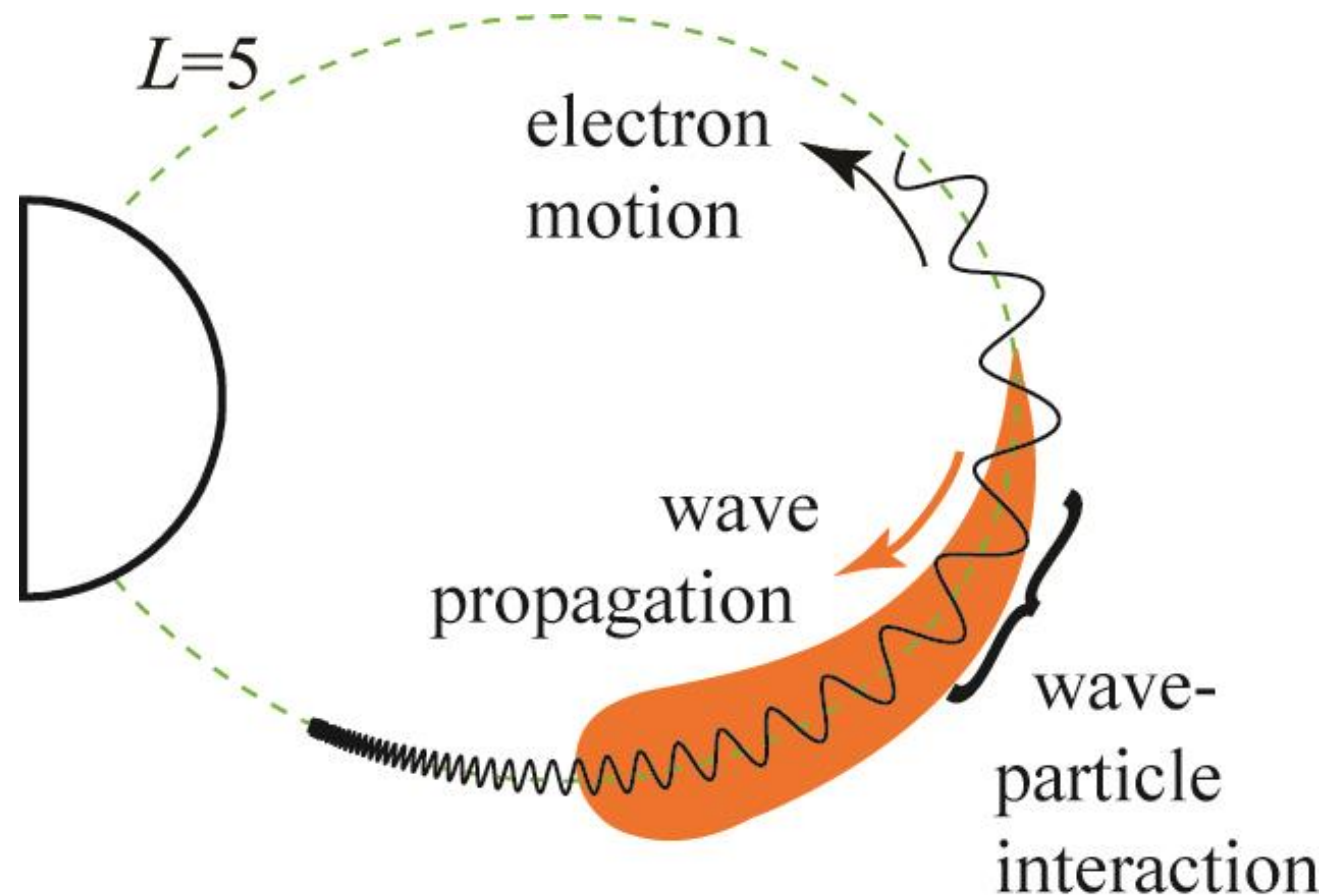


Space Physics Master's Course

Lecture 3



ΜΟΥΣΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ

Keith Jarrett

The Köln concert (όλος ο δίσκος)

https://youtu.be/Pd_Kti6jvy8?si=XYwr8XiTTsOsuA_I

KEITH JARRETT
THE KÖLN CONCERT



ΜΟΥΣΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ

Keith Jarrett

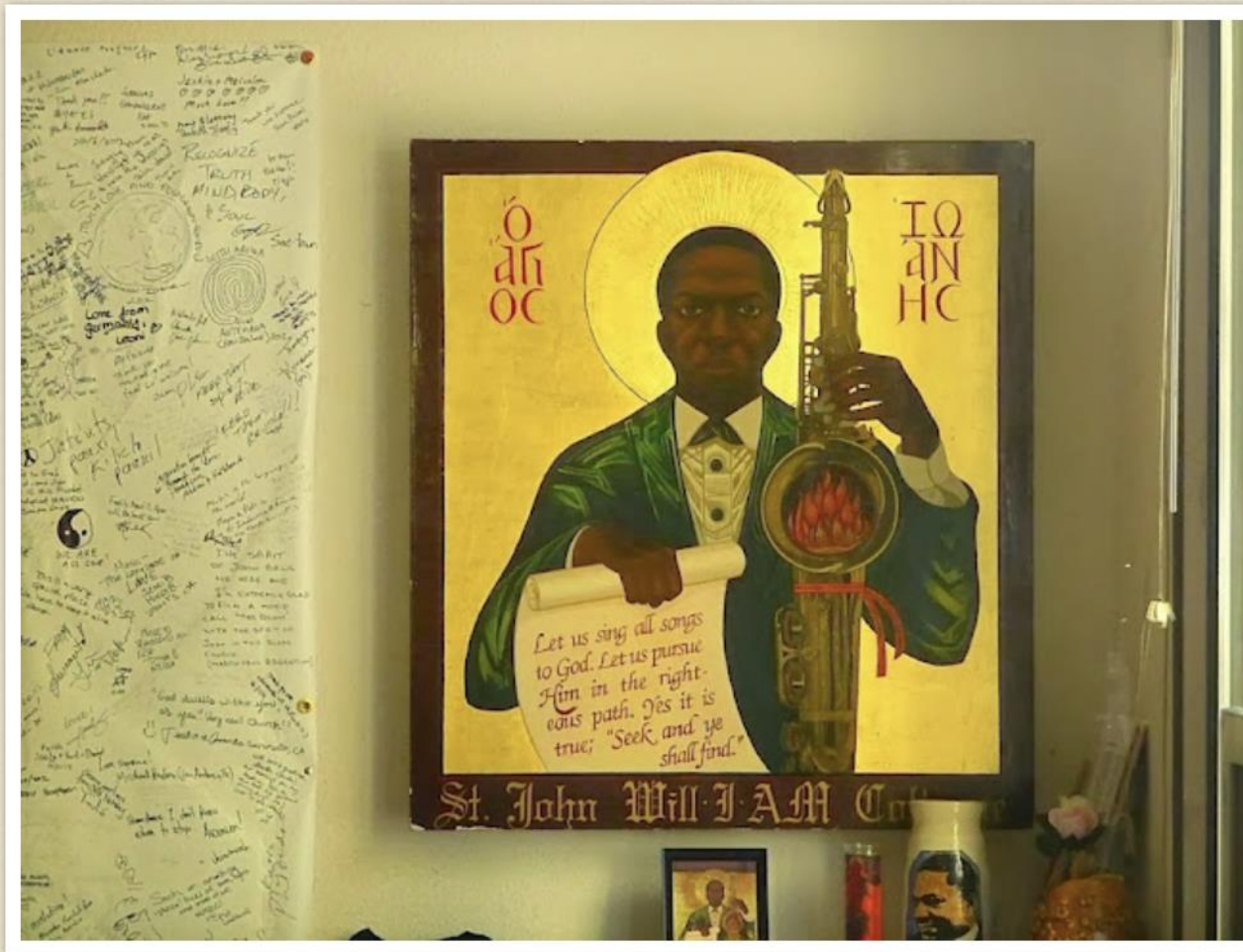
Encore from Tokyo

(από Sun Bear Concerts)

**[https://youtu.be/LTVjFQ8ghC8?
si=ICew3tJ6k4n07MLg](https://youtu.be/LTVjFQ8ghC8?si=ICew3tJ6k4n07MLg)**



Σπίτι χωρίς Γιάννη προκοπή δεν κάνει



John Coltrane

<https://iconsandmoments.blogspot.com/2023/01/blog-post.html>

Αναμφισβήτητα οι Γιώργηδες είναι πολύ περισσότεροι, αλλά όπως λέει ο σοφός λαός, "σπίτι χωρίς Γιάννη προκοπή δεν κάνει".

Παραθέτω 44 Γιάννηδες διότι ο 45ος θα μας πάει αναπόφευκτα σε άλλη σοφή λαϊκή

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>)

Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων

Γυροκίνηση →

1^η αδιαβατική αναλλοίωτη →

Κίνηση ανάκλασης (bounce motion) →

2^η αδιαβατική αναλλοίωτη →

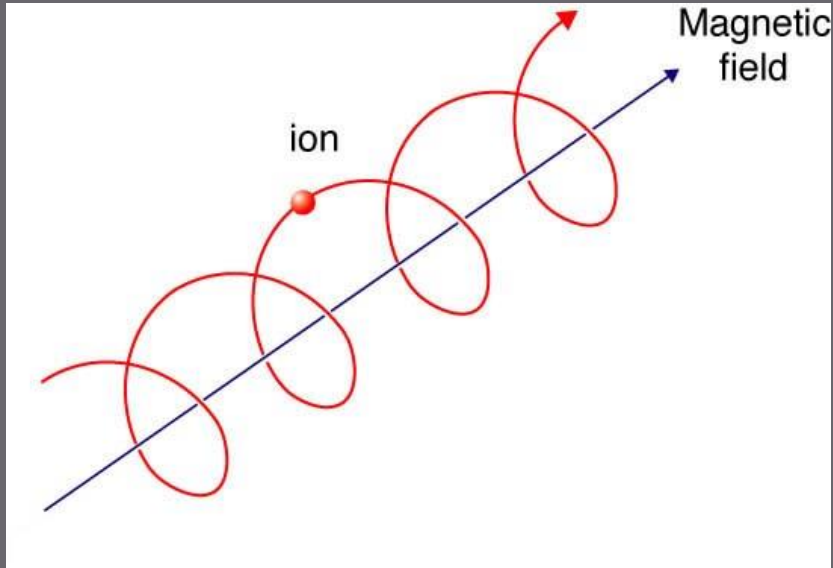
Ολίσθηση →

3^η αδιαβατική αναλλοίωτη

Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

$$\mathbf{J} = \int \mathbf{p}_{\perp} d\mathbf{l} = \text{const.}$$

1^η αδιαβατική αναλλοίωτη



$$\omega_c = qB/m.$$

Gyro-frequency or cyclotron frequency

$$\rho_L = v/\omega_c.$$

Gyro-radius or Larmor radius

Poincaré Invariants:

$$\mathcal{I} = \oint_{C(t)} \mathbf{p} \cdot d\mathbf{q},$$

There is an adiabatic invariant associated with every periodic motion of a charged particle in an electromagnetic field i.e. gyration around the magnetic field

$$\mu = \frac{mv_{\perp}^2}{2B}$$

conservation of magnetic moment
(1st invariant)

Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

Μαγνητική ροπή:

$$\mu \propto \frac{1}{2} \frac{m v_{\perp}^2}{B}$$

Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

Μαγνητική ροπή:

$$\mu \propto \frac{1}{2} \frac{m v_{\perp}^2}{B}$$

Αναλλοίωτη - για ποιες συνθήκες;

Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

Μαγνητική ροπή:

$$\mu \propto \frac{1}{2} \frac{mv_{\perp}^2}{B}$$

$$\frac{\sin^2(\alpha_1)}{B_1} = \frac{\sin^2(\alpha_2)}{B_2}$$

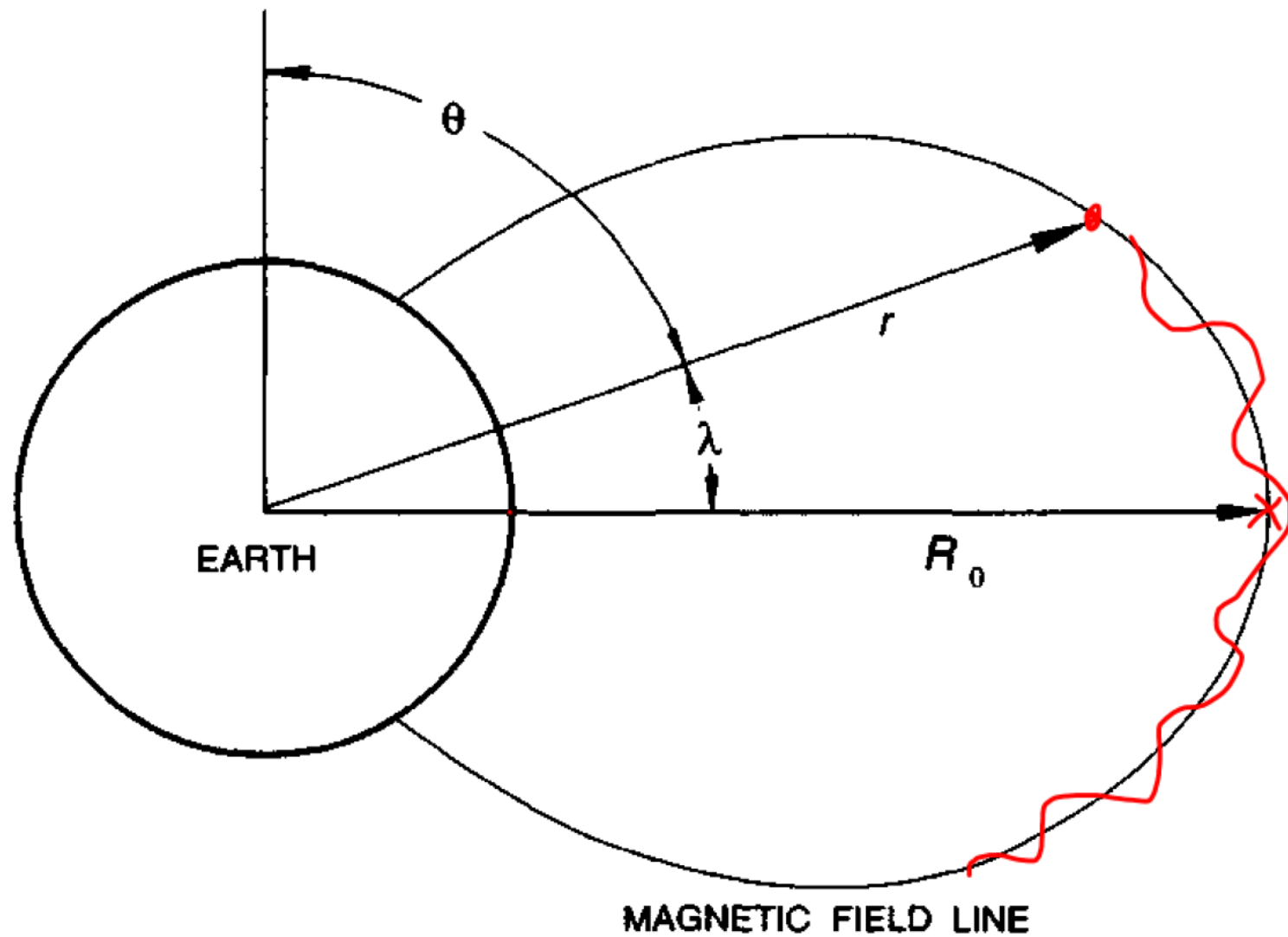
Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

$$\frac{\sin^2(\alpha_1)}{B_1} = \frac{\sin^2(\alpha_2)}{B_2}$$

Συνέπειες της διατήρησης
για την κίνηση του σωματιδίου;

**Όσο μεγαλώνει το B ,
μεγαλώνει και το $\sin(a)$.**

**Όσο μεγαλώνει το B ,
μεγαλώνει και το $\sin(a)$.
Πότε/γιατί μεγαλώνει το B ;**



$$B = \sqrt{(B_r^2 + B_\theta^2)} = B_0 \left(\frac{R_E}{r} \right)^3 \sqrt{(1 + 3 \cos^2 \theta)}$$

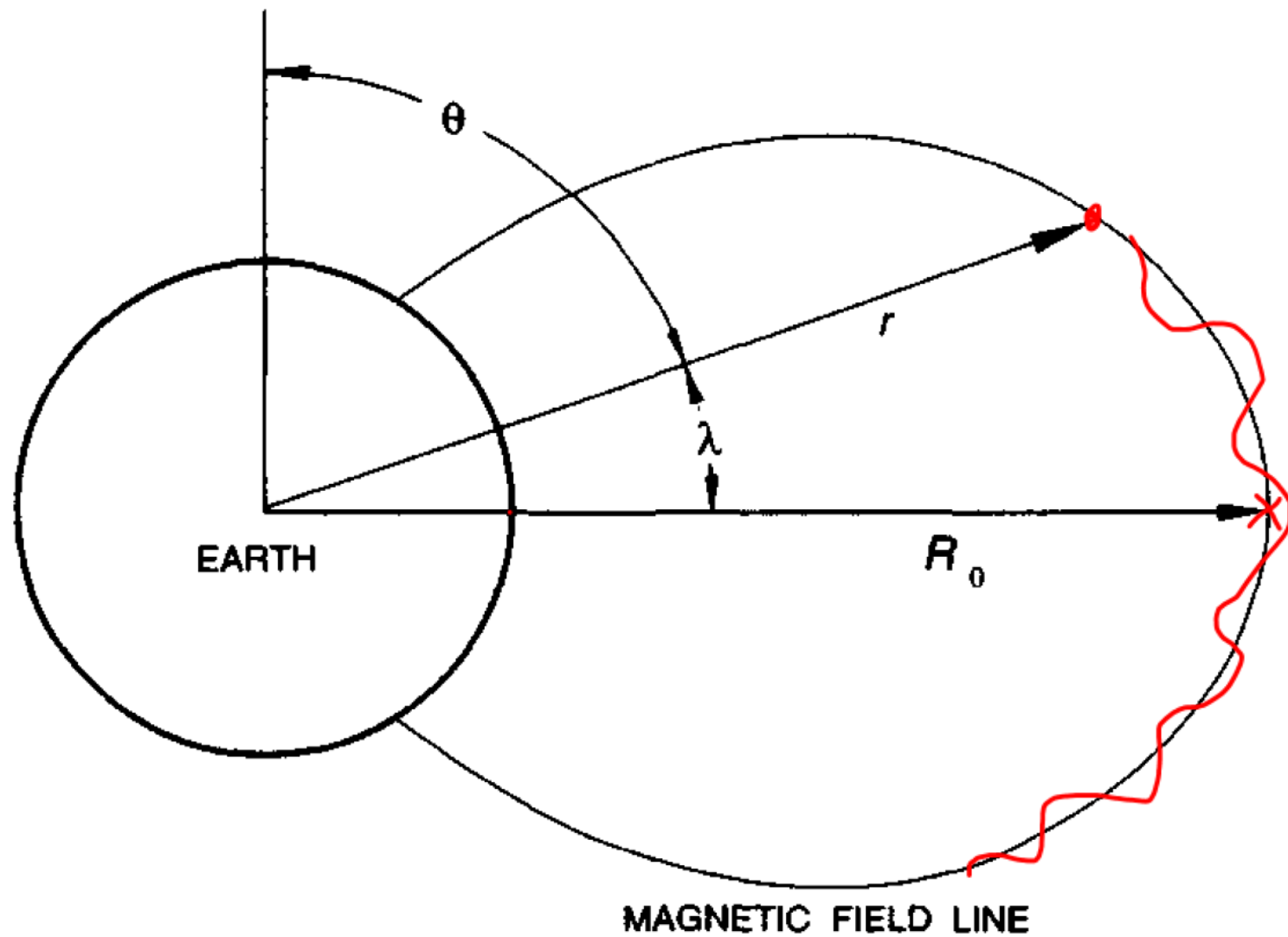
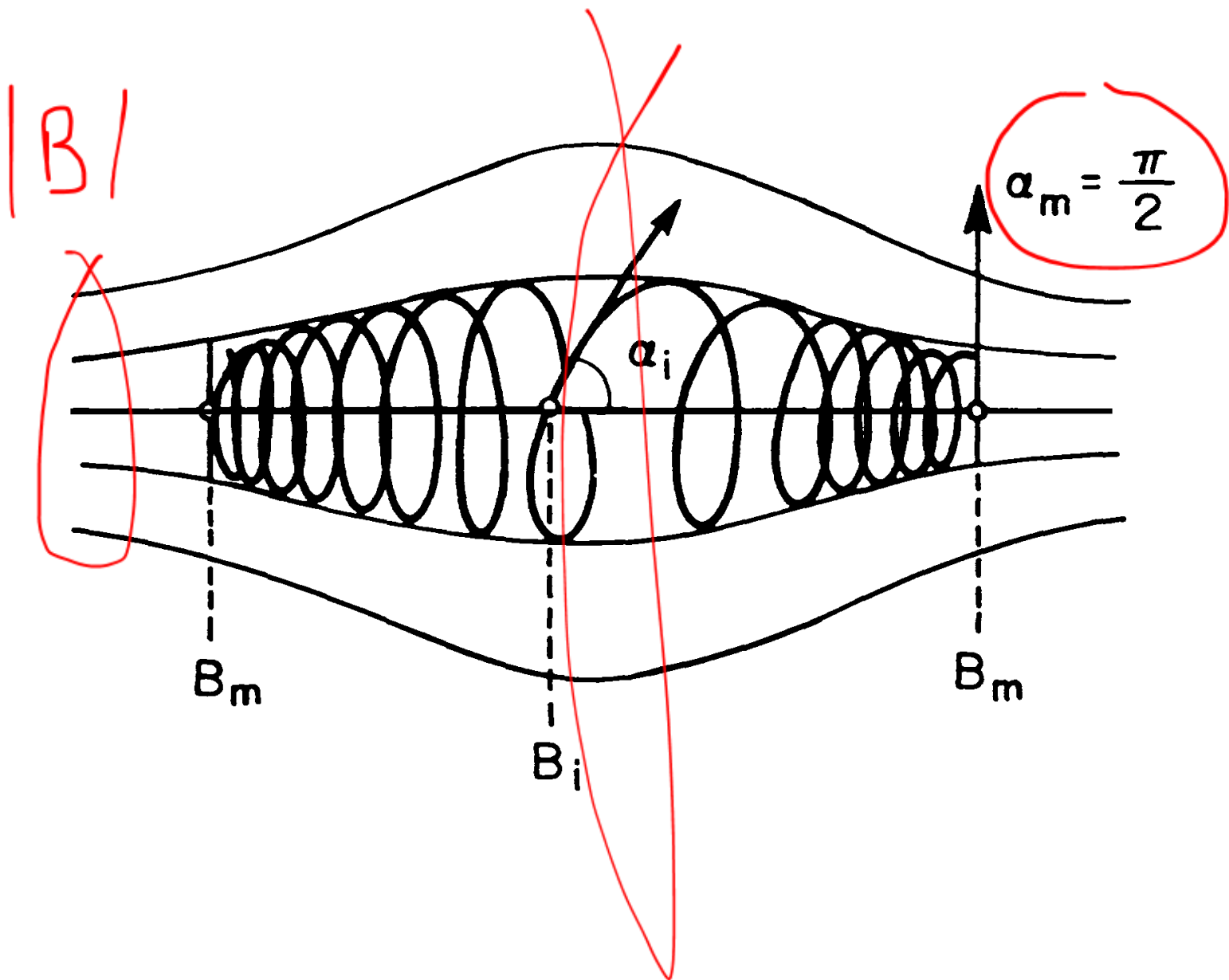
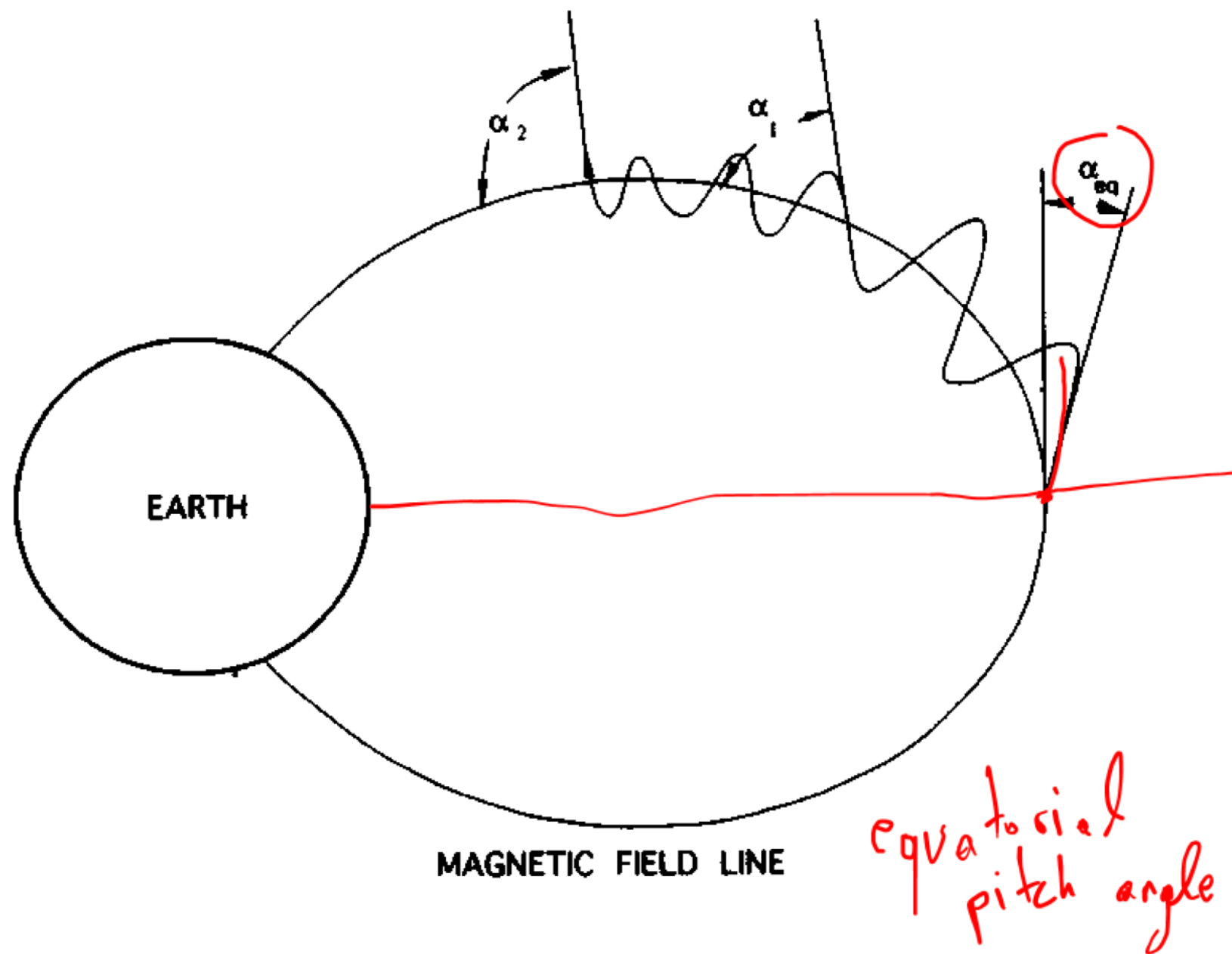


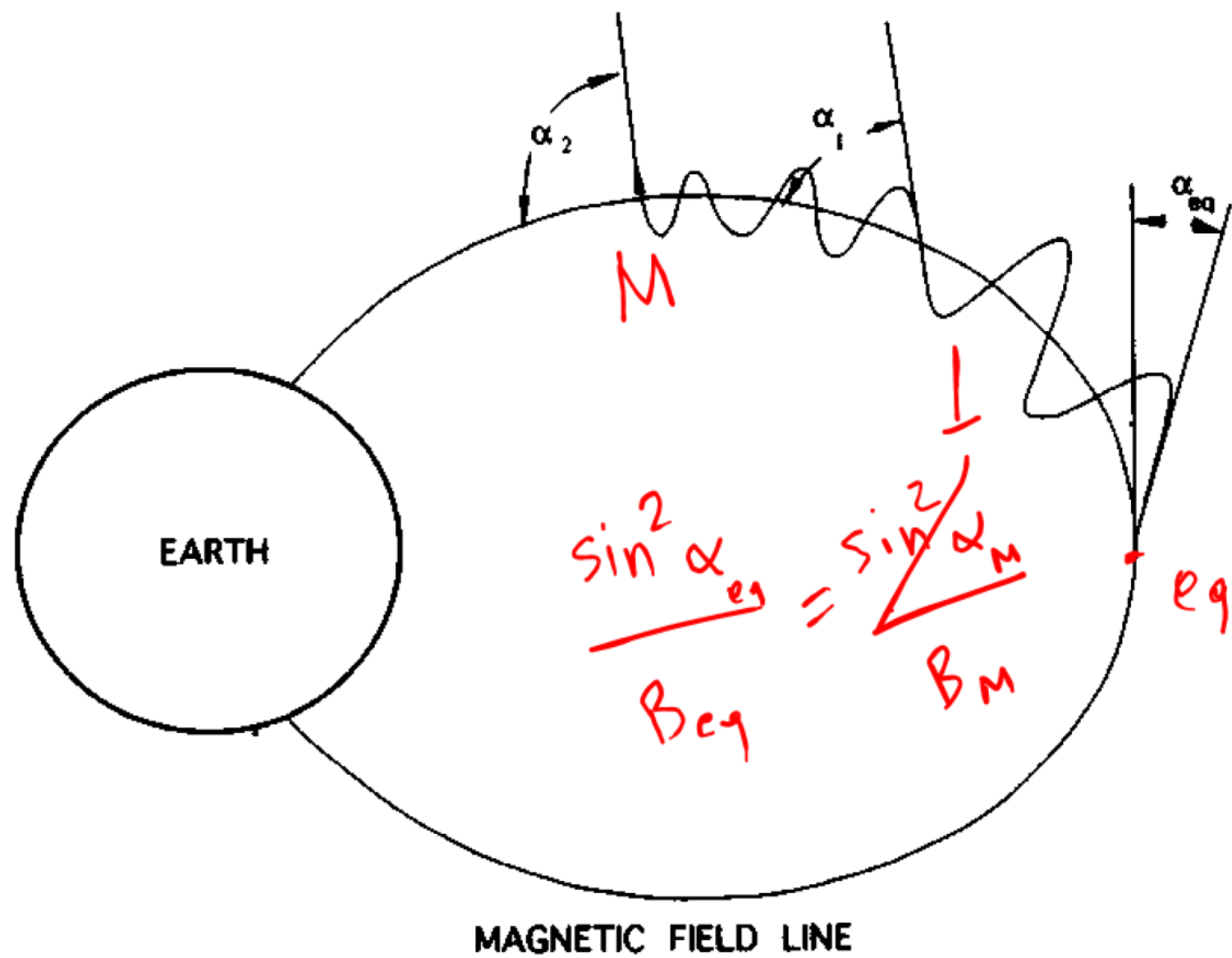
Figure 3.1. Dipole field coordinate system.

$$B = B_0 / R \left(1 + 3 \sin^2 \lambda \right)$$

**Όσο μεγαλώνει το B ,
μεγαλώνει και το $\sin(a)$.
Μέχρι πότε;
Μέχρι να γίνει 90 μοίρες.**







Τί άλλο παρατηρούμε ότι γίνεται;

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

$$= m v \sin \alpha / qB$$

Προς τη Γη (χαμηλότερο ύψος)

η γυροακτίνα μικραίνει

Τα σωματίδια ανακλώνται εκεί που
 $\alpha=90^\circ$

Άρα ανακλώνται εκεί όπου:

$$B/B_{eq} = 1/\sin^2(\alpha_{eq})$$

$$\frac{\sin^2 \alpha_{eq}}{B_{eq}} = \frac{\sin^2 \alpha_m}{B_m}$$

$$B_m = B_{eq} / \sin^2 \alpha_{eq}$$

Άρα για το σημείο ανάκλασης ισχύει:

$$B_M = B_{eq} / \sin^2(\alpha_{eq})$$

Άρα για το σημείο ανάκλασης ισχύει:

$$B_M = B_{eq} / \sin^2(\alpha_{eq})$$

που σημαίνει ότι
αν η γωνία κλίσης α_{eq} στον ισημερινό
είναι πολύ μικρή,
το σωματίδιο δεν ανακλάται

γιατί δεν ανακλάται;

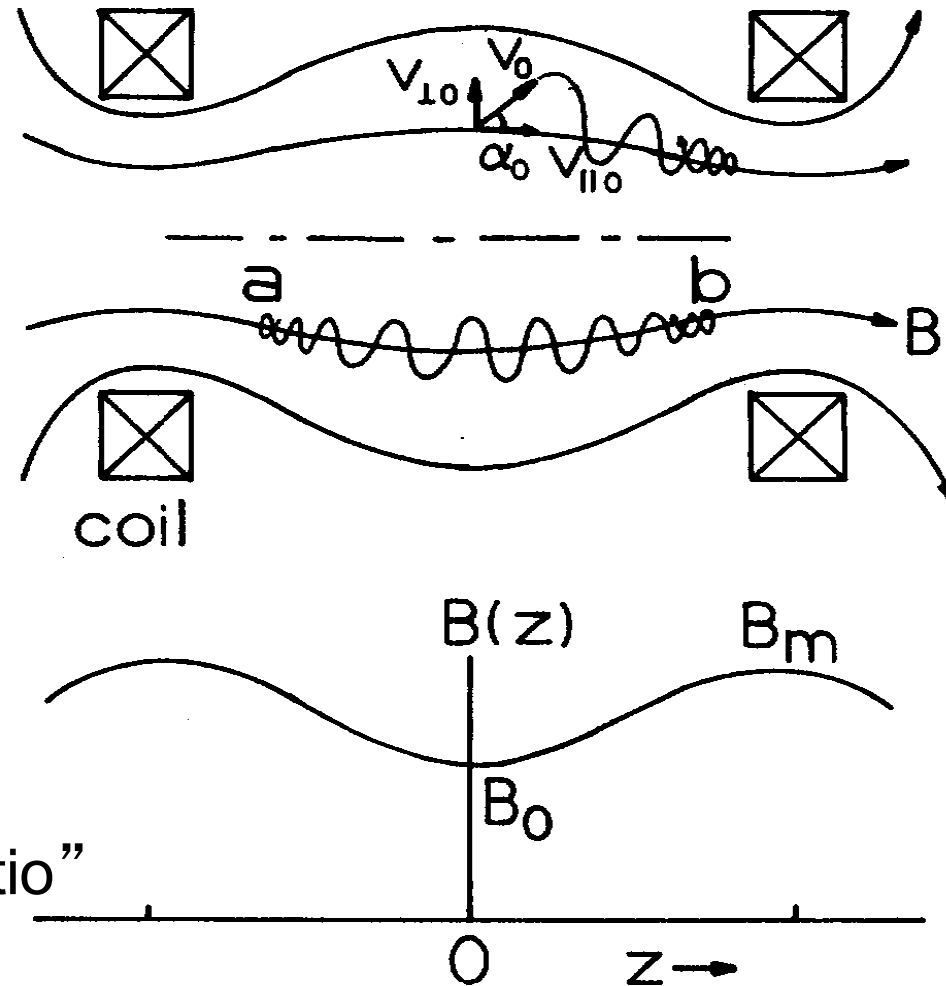
γιατί δεν ανακλάται;

Διότι το B_M τείνει στο άπειρο

Μαγνητικοί καθρέφτες

Τα φορτισμένα σωματίδια
ανακλώνται εκεί που
 $B/B_0 = 1/\sin^2\alpha_0$.
Αν η α_0 είναι πολύ μικρή,
το σωματίδιο δεν ανακλάται!
Δηλ. διαφεύγει.

$\sin\alpha_m = (B_0/B_m)^{1/2}$
 α_m = “loss cone angle”.
 B_m/B_0 = “magnetic mirror ratio”

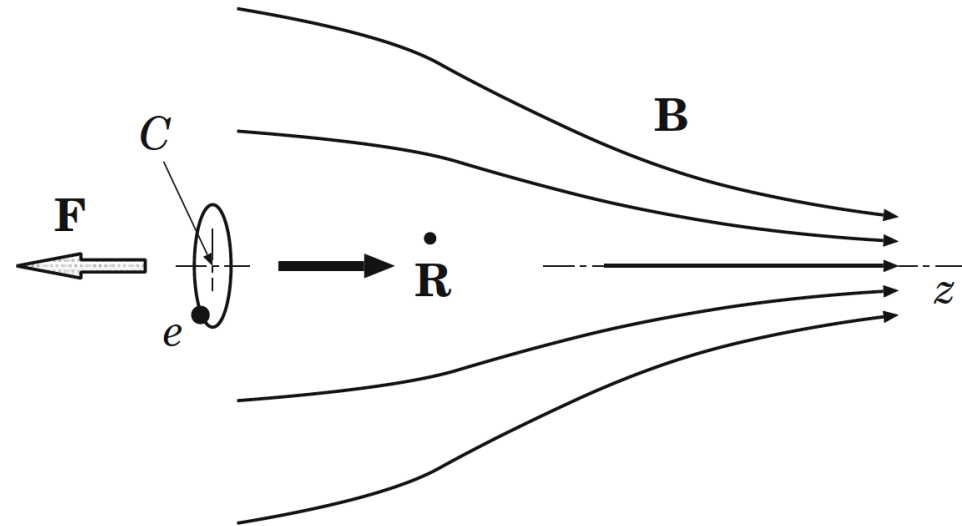


Γιατί ανακλώνται τα σωματίδια

Γιατί ανακλώνται τα σωματίδια

Λόγω της διαμαγνητικής δύναμης
παράλληλα στο μαγνητικό πεδίο με
φορά αντίθετη από τη βαθμίδα του

Fig. 5.7 The *diamagnetic force* acts on the guiding center moving along the symmetry axis of a magnetic mirror configuration



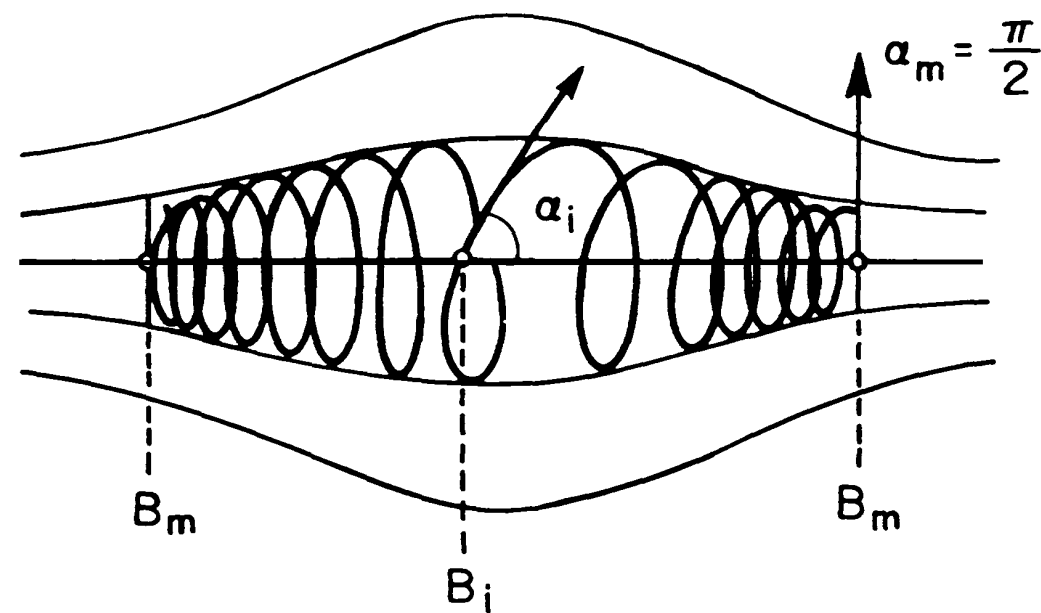
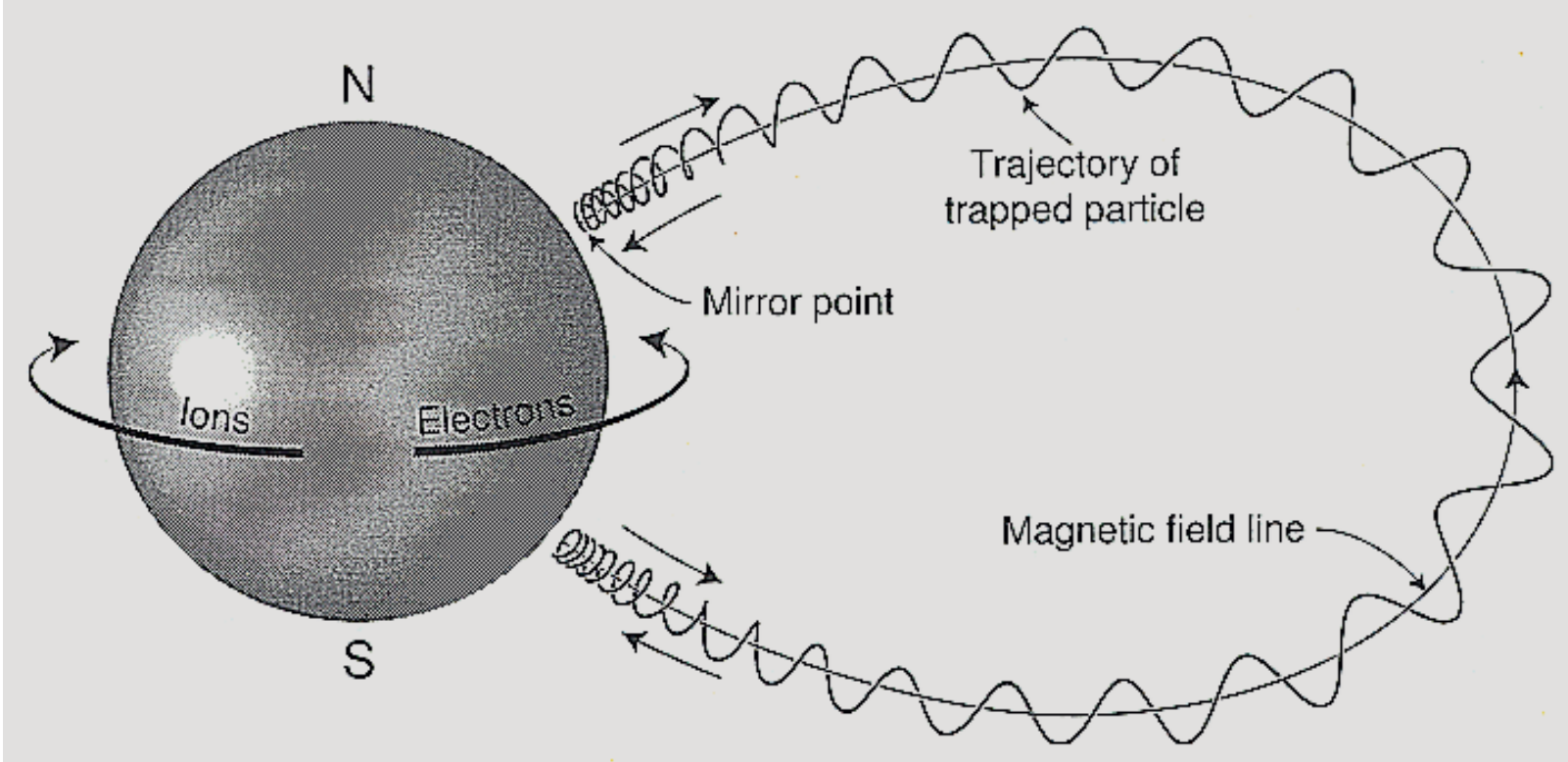
1^η αδιαβατική αναλλοίωτη

$$\frac{\sin^2(\alpha_1)}{B_1} = \frac{\sin^2(\alpha_2)}{B_2}$$

Συνέπεια της **μη-διατήρησης**
για την κίνηση του σωματιδίου;

Συνέπεια της διατήρησης της 1^{ης} α.α.:

η κίνηση αναπήδησης

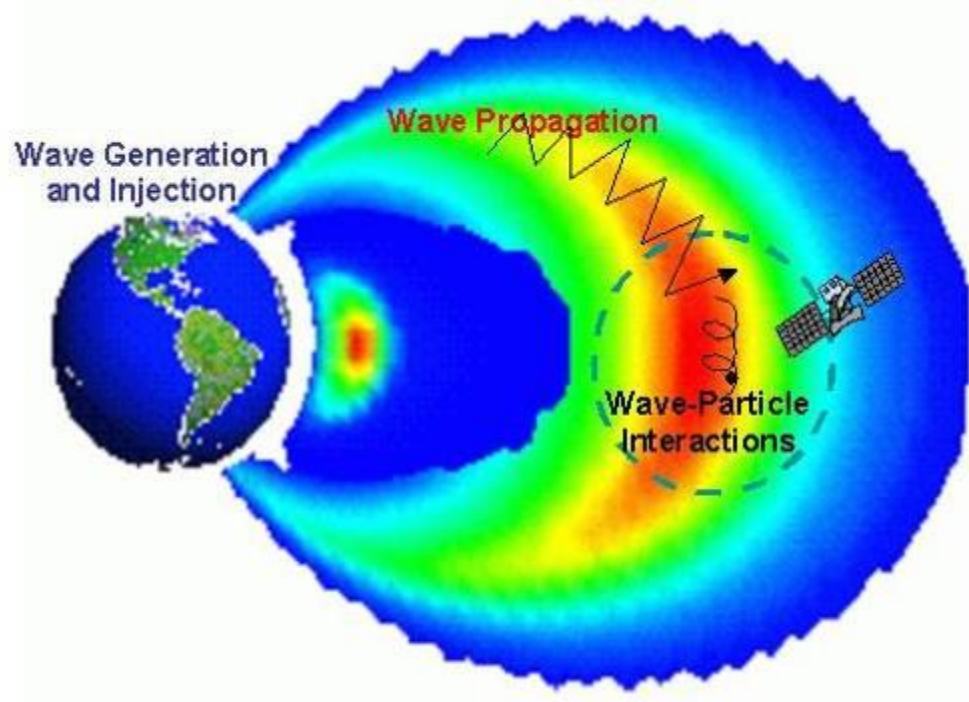


1^η αδιαβατική αναλλοίωτη

$$\frac{\sin^2(\alpha_1)}{B_1} = \frac{\sin^2(\alpha_2)}{B_2}$$

Συνέπειες της **μη-διατήρησης**
για την κίνηση του σωματιδίου;

Η τέχνη της κατάρριψης ηλεκτρονίων ή: How to shoot down nasty electrons



Οριακή γωνία α_{LC} κώνου απώλειας

$$\sin^2 \alpha_{LC} = (4L^6 - 3L^5)^{-1/2}$$

Οριακή γωνία α_0 κώνου διαφυγής

$$\sin^2 \alpha_{LC} = (4L^6 - 3L^5)^{-1/2}$$

Η οριακή γωνία γίνεται
μεγαλύτερη ή μικρότερη σε χαμηλότερα ύψη;

Οριακή γωνία α_0 κώνου διαφυγής

$$\sin^2 \alpha_{LC} = (4L^6 - 3L^5)^{-1/2}$$

Χαρακτηριστικές τιμές:

$$L = 6.6 \Rightarrow \alpha_0 = 2.5^\circ$$

$$L = 4 \Rightarrow \alpha_0 = 4.3^\circ$$

$$L = 2 \Rightarrow \alpha_0 = 16^\circ$$

$$L = 1.5 \Rightarrow \alpha_0 = 27^\circ$$

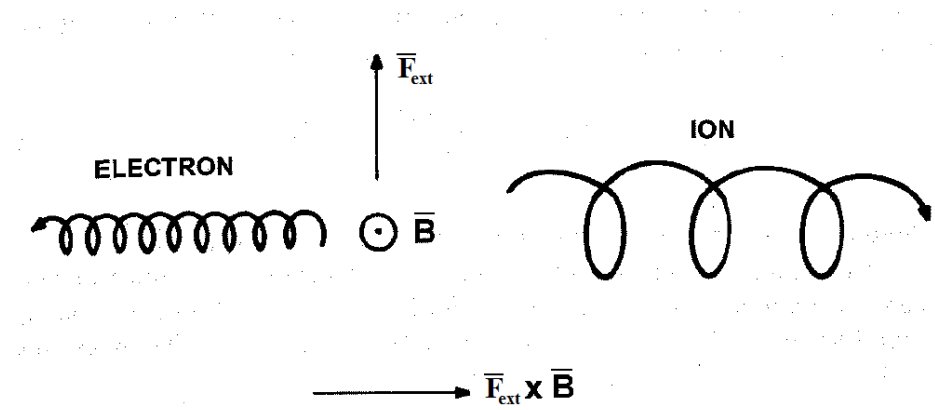
Ολίσθηση (drift)



Ολίσθηση (drift)

Η εφαρμογή μιας επιπλέον εξωτερικής δύναμης
αναγκάζει το σωματίδιο να «ολισθήσει»

Ας δούμε πώς



Η νέα δύναμη μεταβάλλει τη γυροακτίνα

$$\bar{v}_D = \frac{\bar{F}_{ext} \times \bar{B}}{qB^2}$$

Ολίσθηση (drift)

Η εφαρμογή μιας επιπλέον εξωτερικής δύναμης αναγκάζει το σωματίδιο να ολισθήσει κάθετα στο $\vec{B}$ και στη νέα δύναμη:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{v} \times \vec{B} + \vec{F}_{ext} \begin{cases} \nearrow m \frac{dv_{||}}{dt} = F_{ext||} \longrightarrow v_{||}(t) = \frac{F_{ext||}}{m} t + v_{||}(0) \\ \searrow m \frac{d\vec{v}_{\perp}}{dt} = q\vec{v}_{\perp} \times \vec{B} + \vec{F}_{ext\perp} \longrightarrow \vec{v}_{\perp}(t) = \vec{v}_m(t) + \vec{v}_D \end{cases}$$

$$\vec{v}_m(t) = \text{Γυροκίνηση (αμετάβλητη)}$$

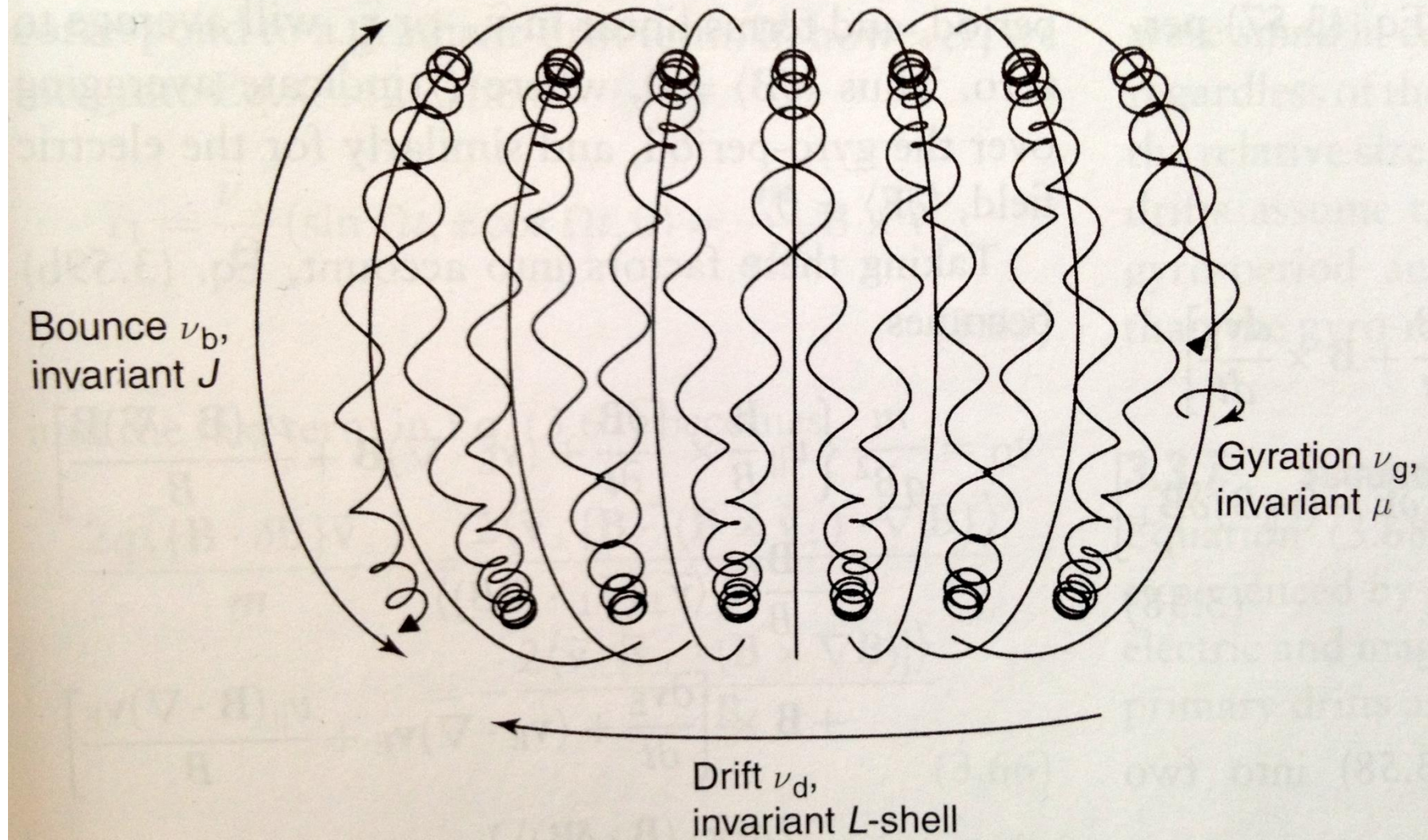
$$\vec{v}_D = \frac{\vec{F}_{ext} \square \vec{B}}{qB^2} = \text{Ταχύτητα ολίσθησης}$$

$$m \mathbf{v} = q \mathbf{E}$$

$$\mathbf{v}_D = q \mathbf{E} \times \mathbf{B} / qB^2 = \mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$$

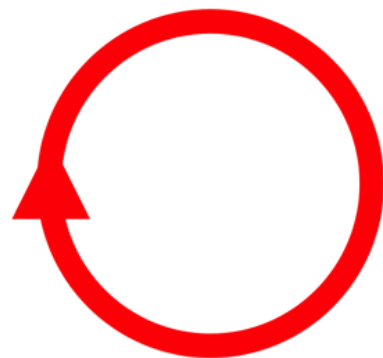
Αυτή είναι η

$\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ drift

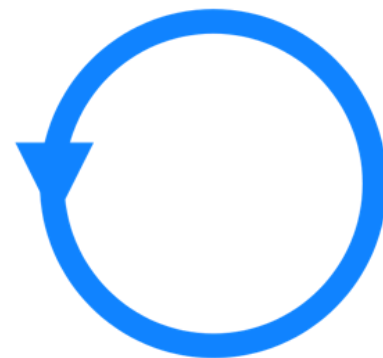


owards through paper 

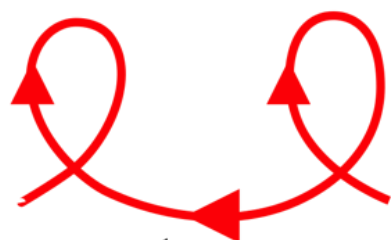
Positives
+



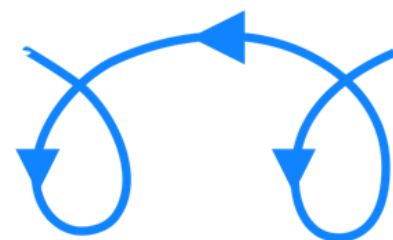
Negatives
-



A

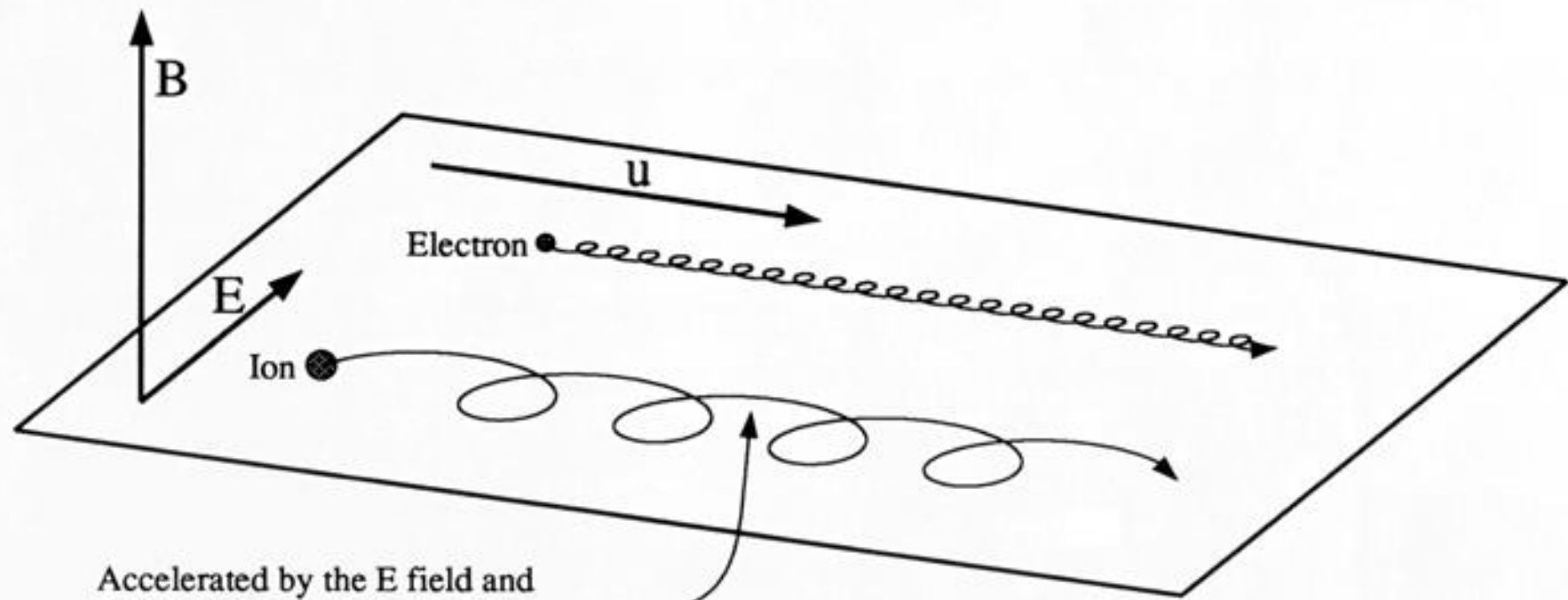


DRIFT

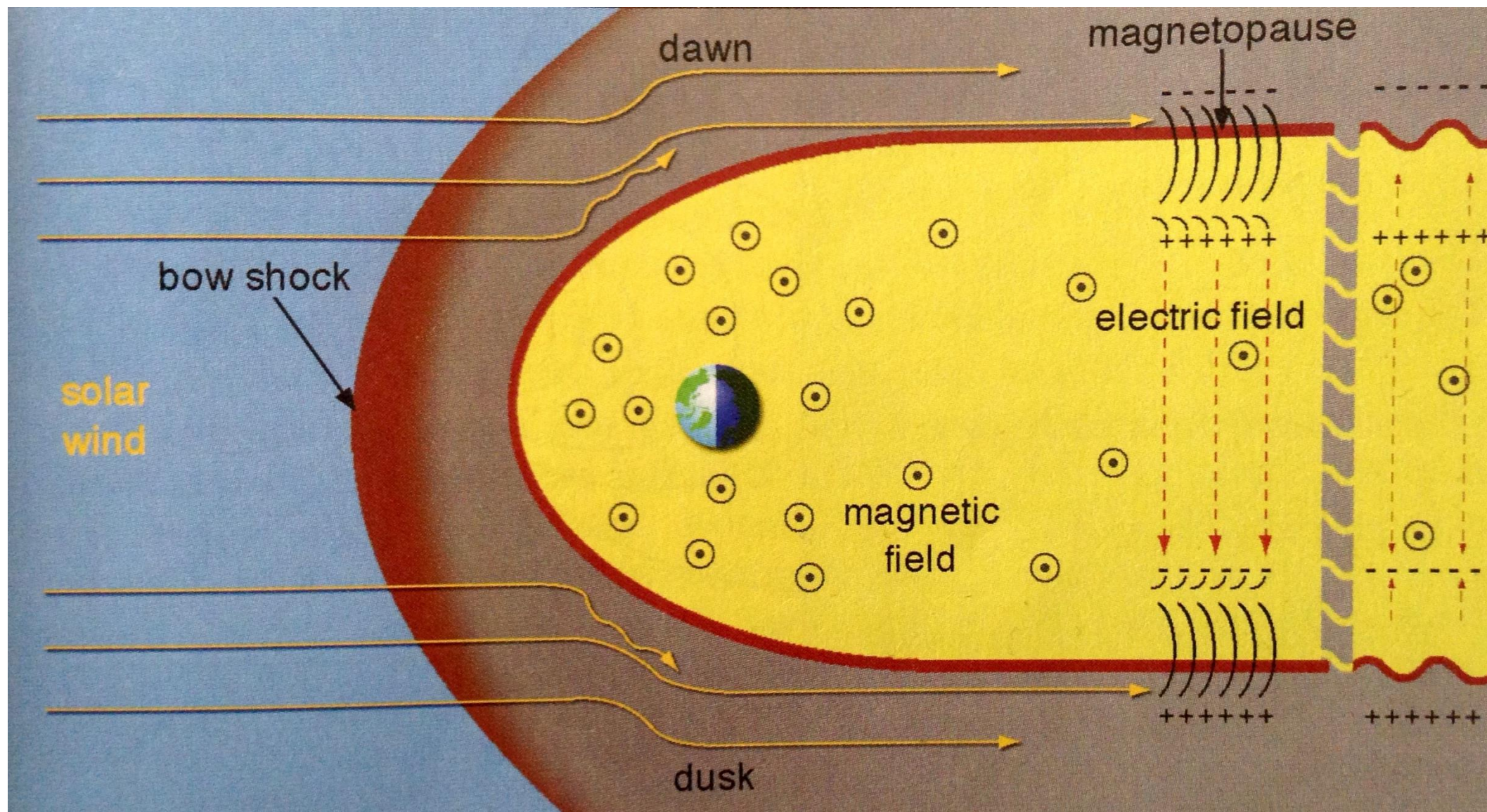


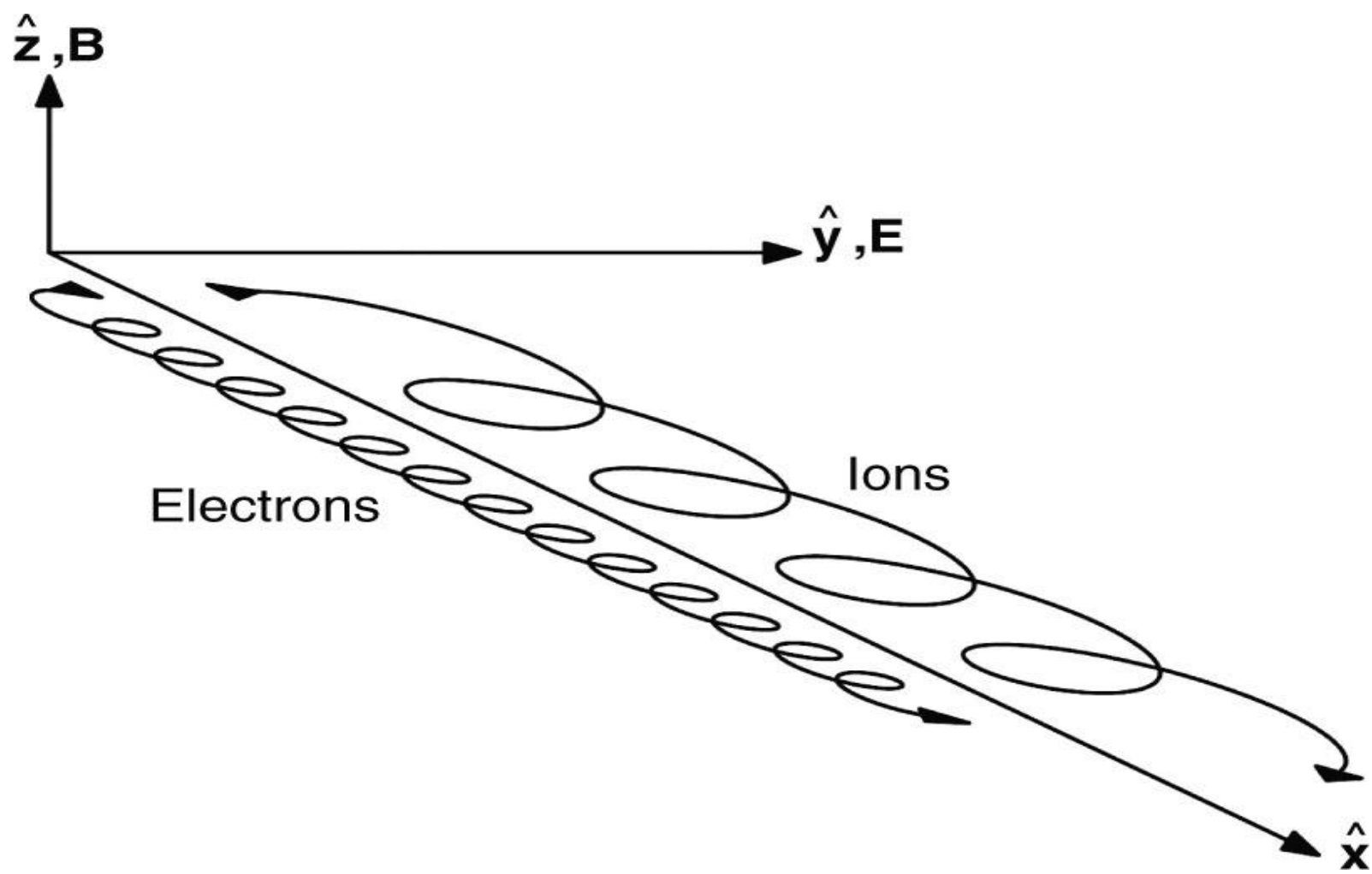
DRIFT

B



Accelerated by the E field and
thus the gyroradius is larger on
this part of the orbit





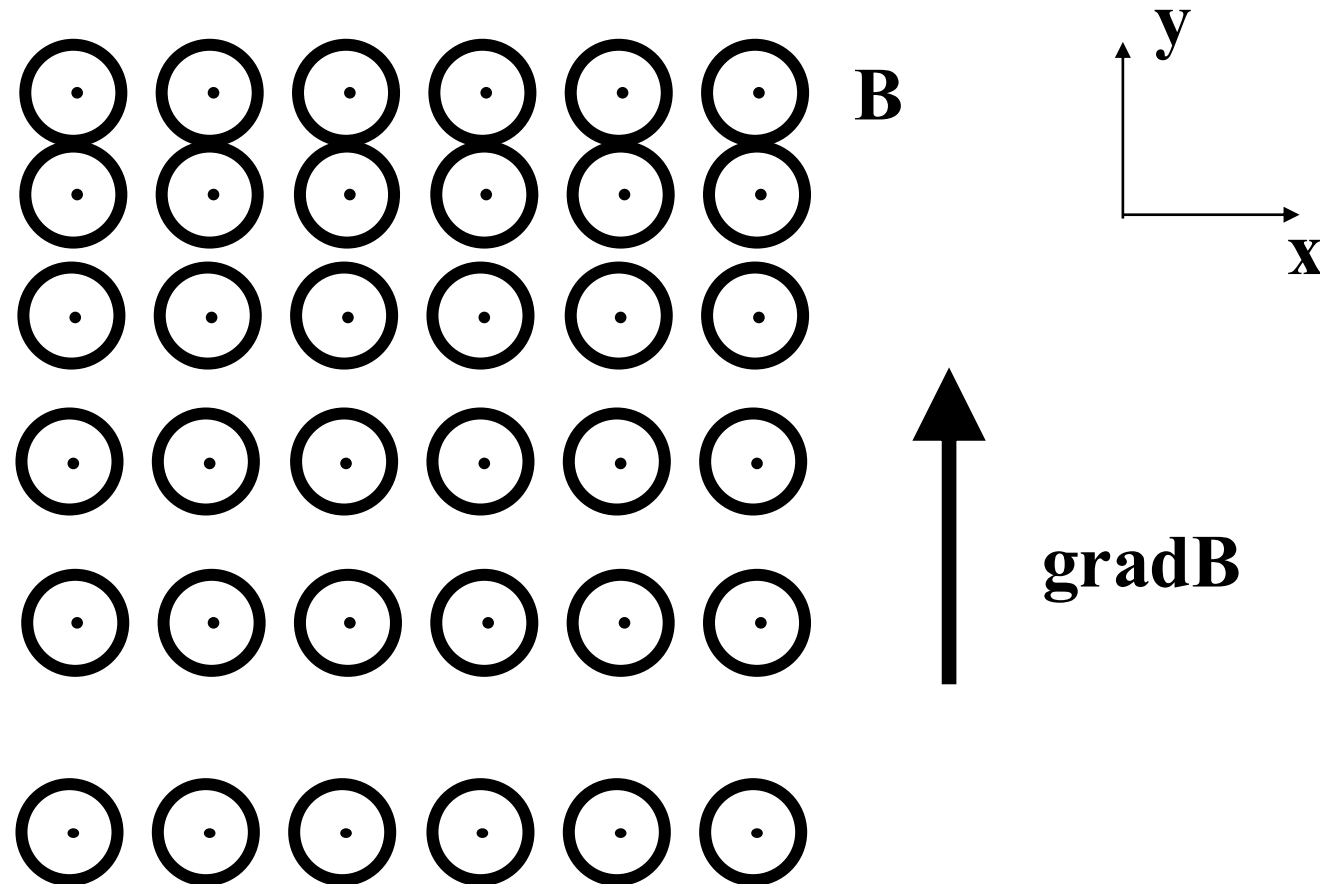
Σημαντικό:

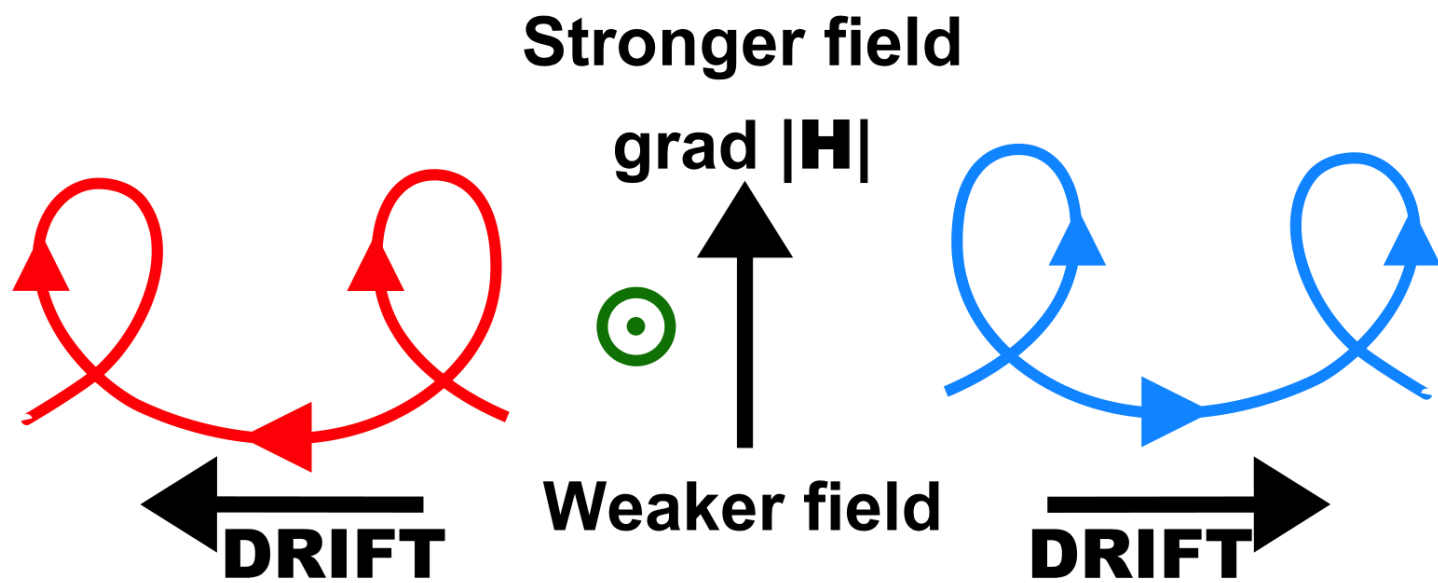
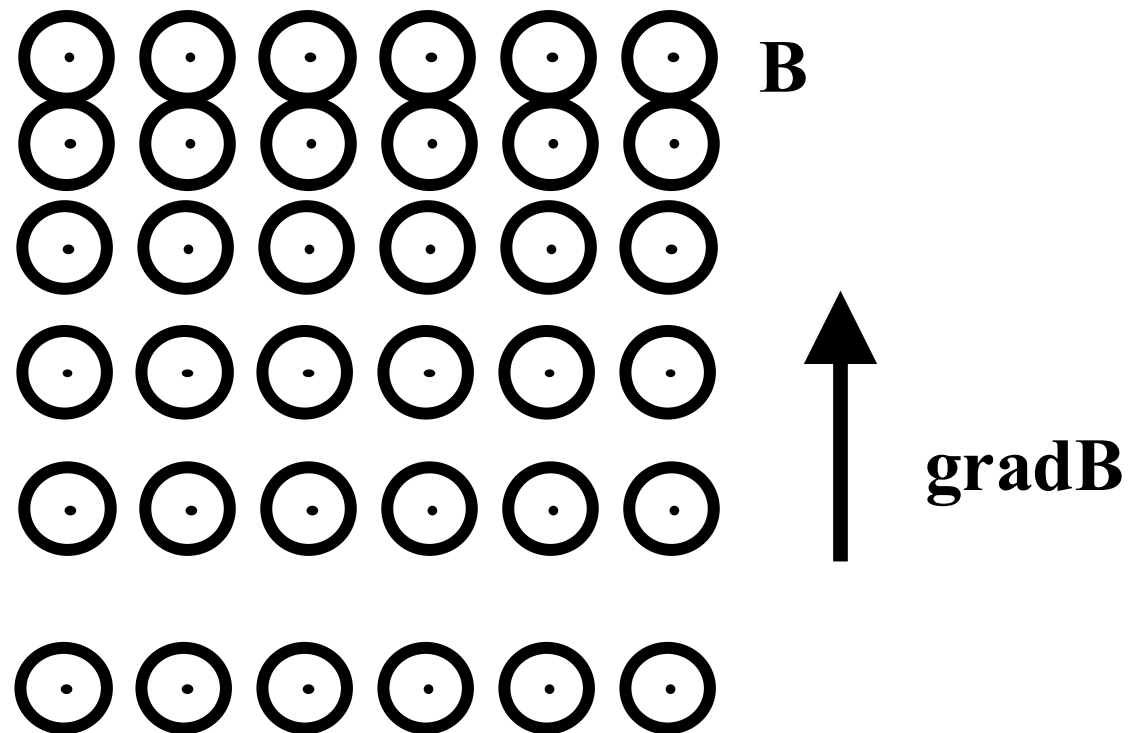
$$v_D = \mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$$

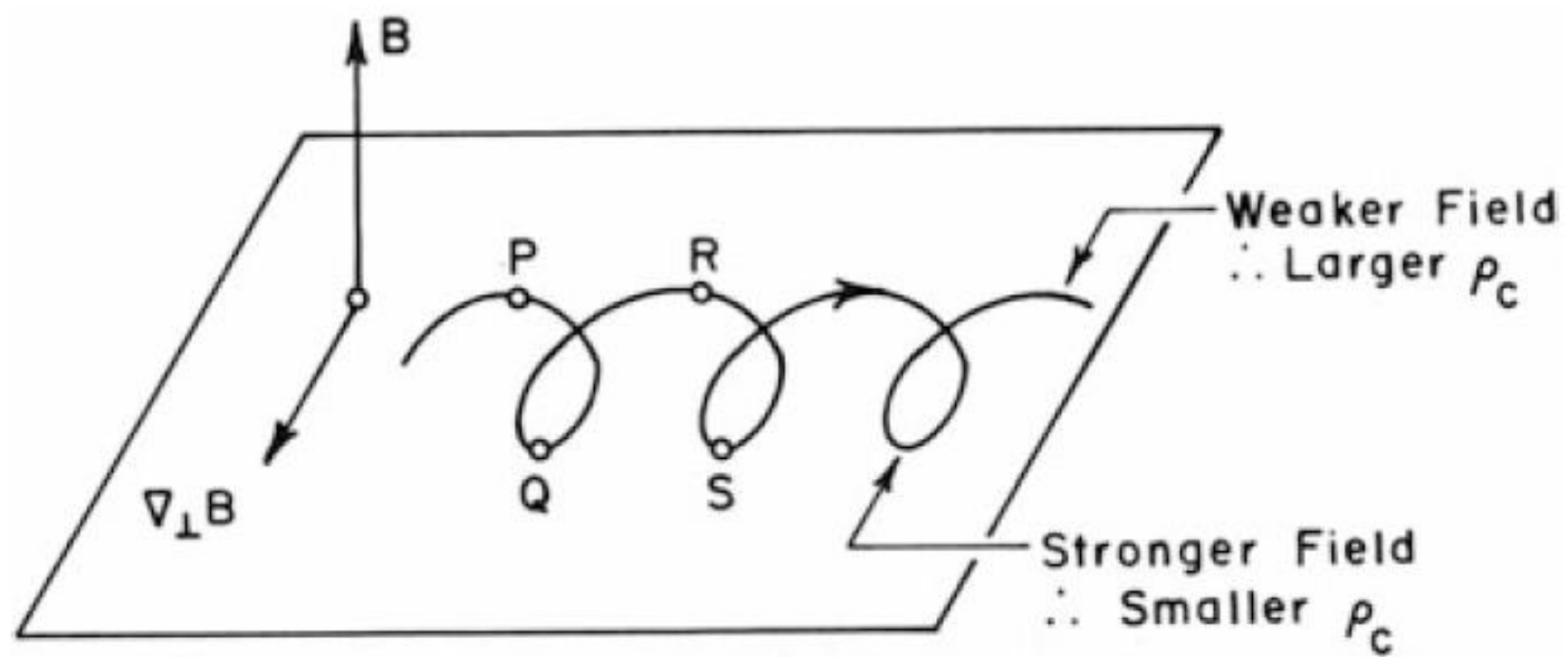
Η ολίσθηση αυτή είναι ανεξάρτητη
και της μάζας και του φορτίου!

Grad-B Perpendicular to the Magnetic Field

- The intensity of the magnetic field is changing only in the plane perpendicular to the field itself







Grad B

$$v_{\text{grad}} = 1/2 m v^2 (\mathbf{B} \times \text{grad} \mathbf{B} / qB^3)$$

Η ολίσθηση αυτή εξαρτάται
**και από τη μάζα και από την ενέργεια
και από το φορτίο!**

Συνδυασμός $E \times B$ και $\text{grad}B$

Κίνηση ιόντων και ηλεκτρονίων υπό την επίδραση ολίσθησης $\text{grad}B$

