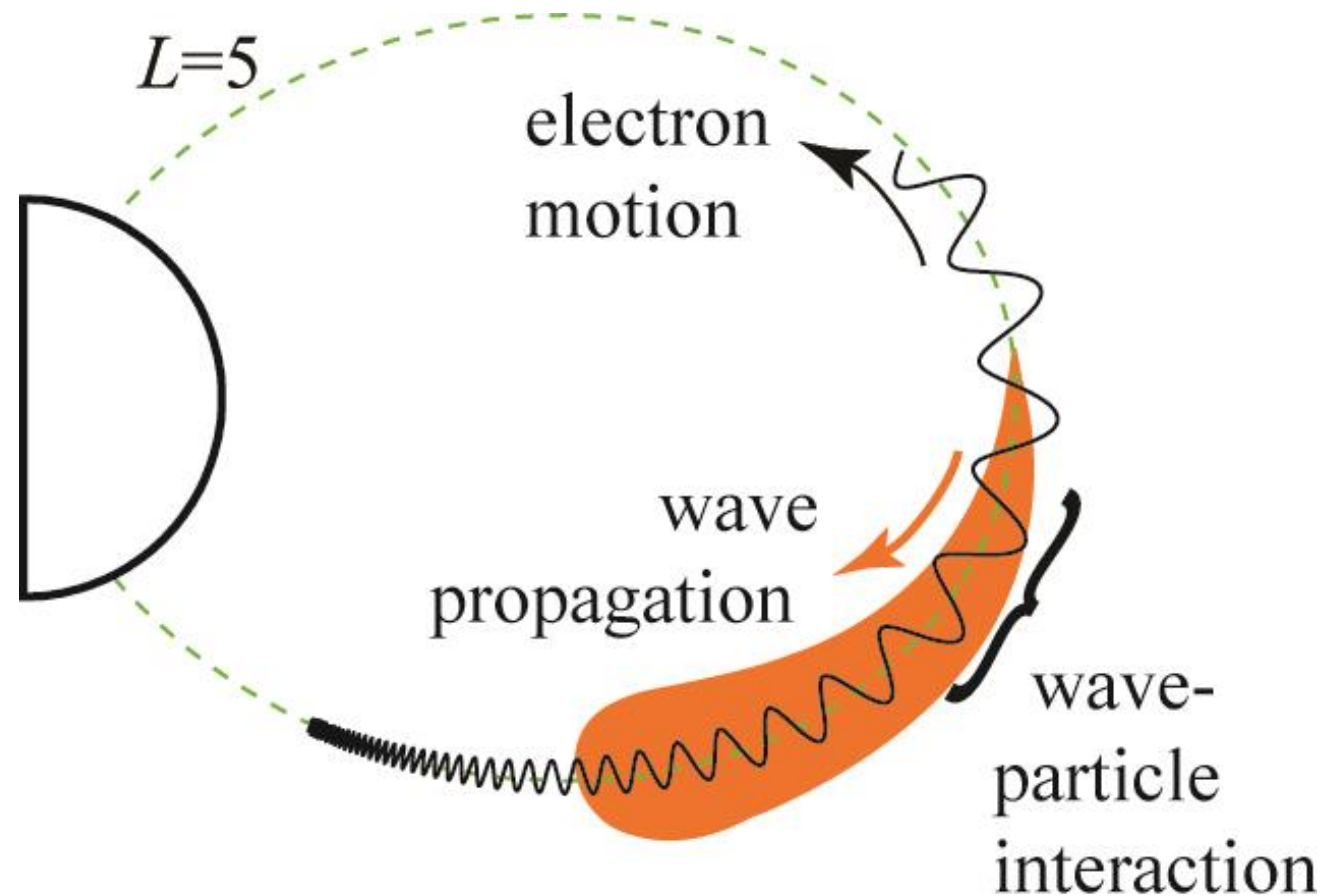
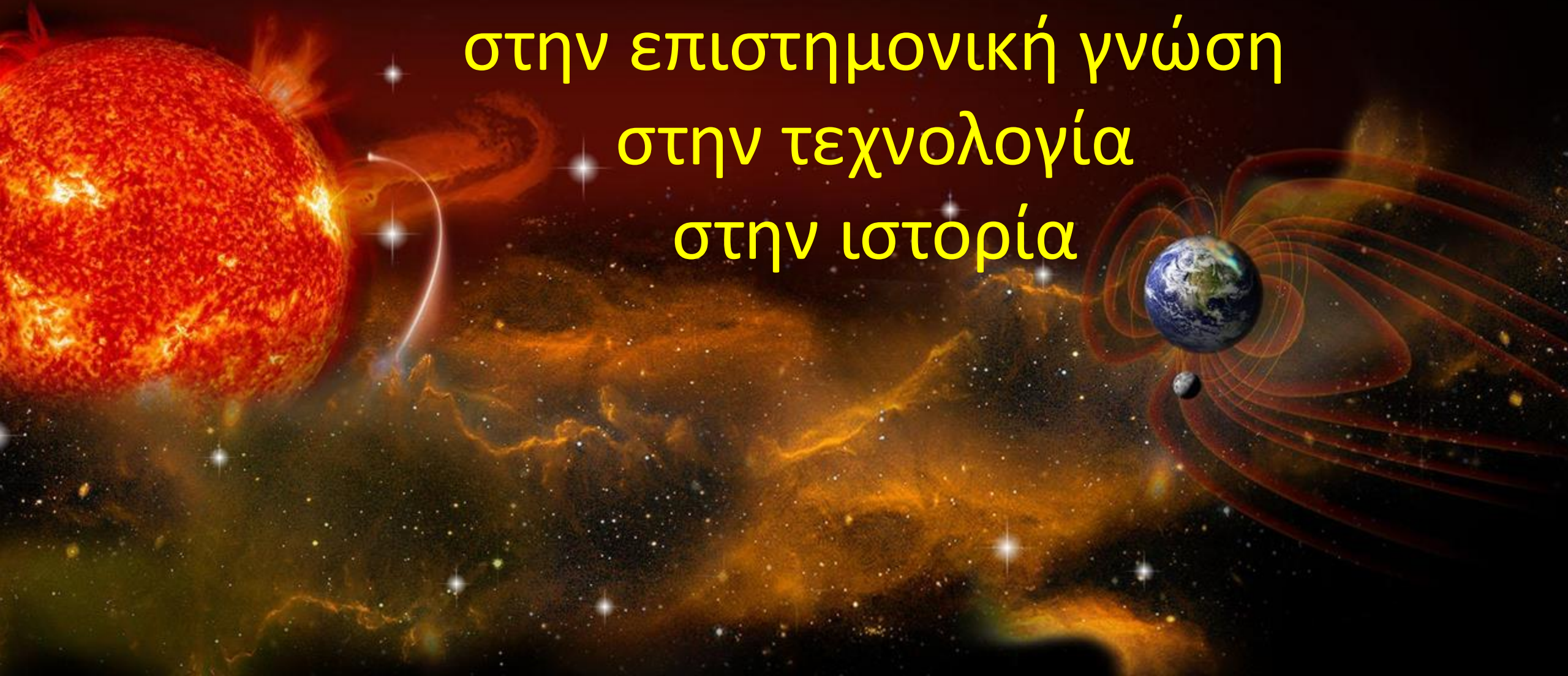


Space Physics Master's Course

Lecture 2



Διάστημα: ο ρόλος του
στην επιστημονική γνώση
στην τεχνολογία
στην ιστορία





γιατί
είναι σημαντικό το Διάστημα
στην Επιστημονική Εξερεύνηση
του Φυσικού Κόσμου;

2 μείζονες λόγοι

1ος λόγος

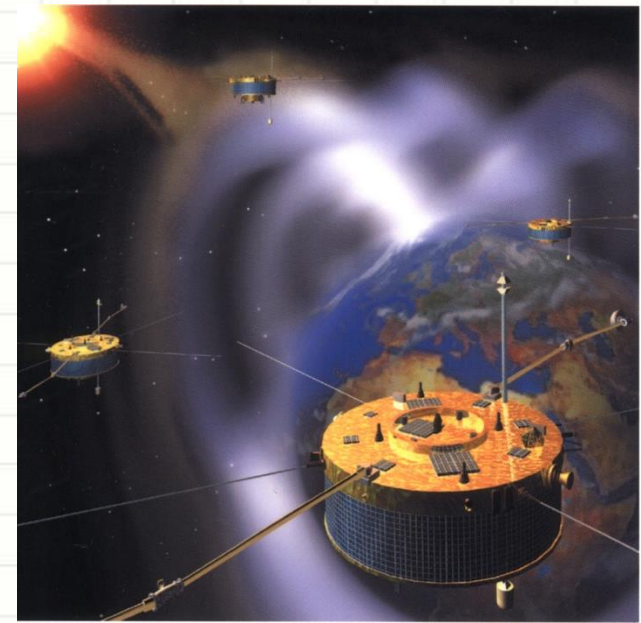


τί είναι
Διάστημα;

με τί ασχολείται η
Διαστημική Φυσική;

Διάστημα:

το τμήμα του σύμπαντος,
για το οποίο έχουμε
επιτόπιες (in situ)
μετρήσεις



Σύμπαν

Γκαμήλα
(παρατήρηση με τηλεσκόπιο)



Κόνιτσα





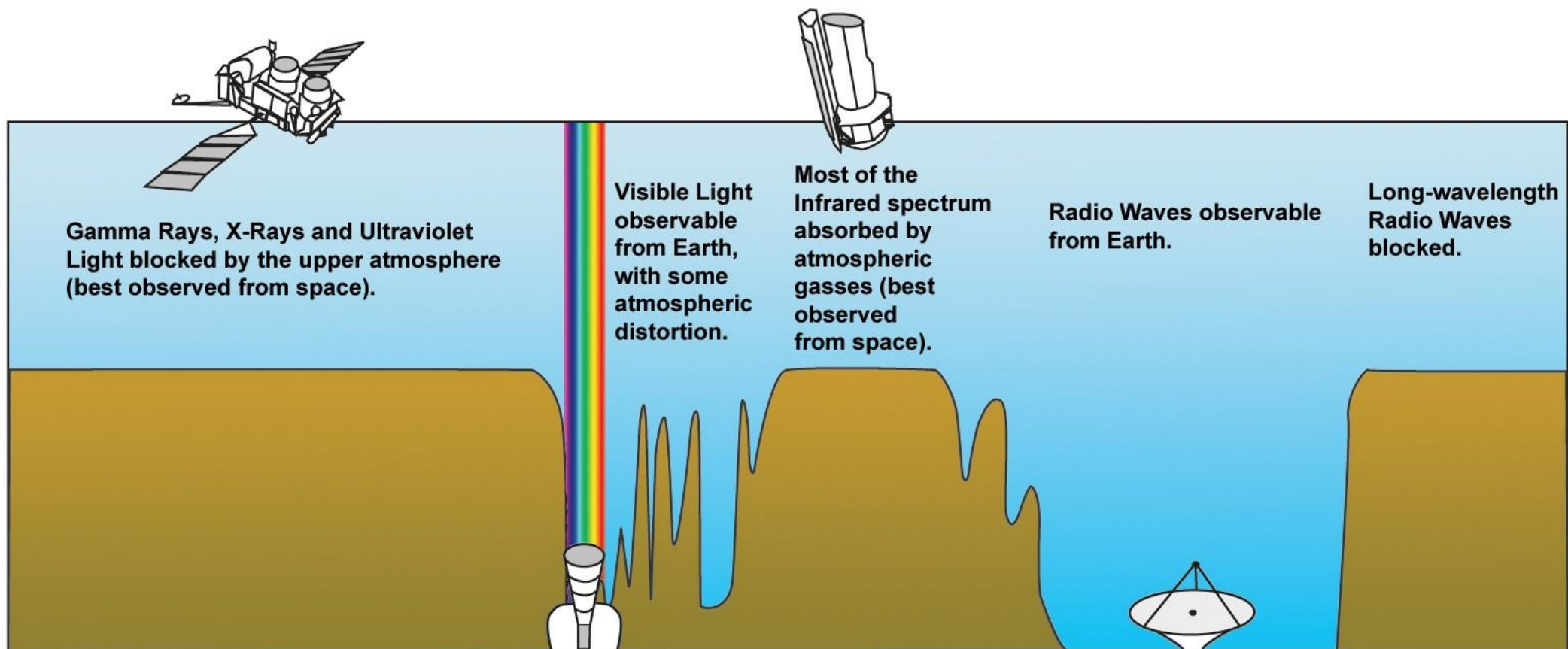
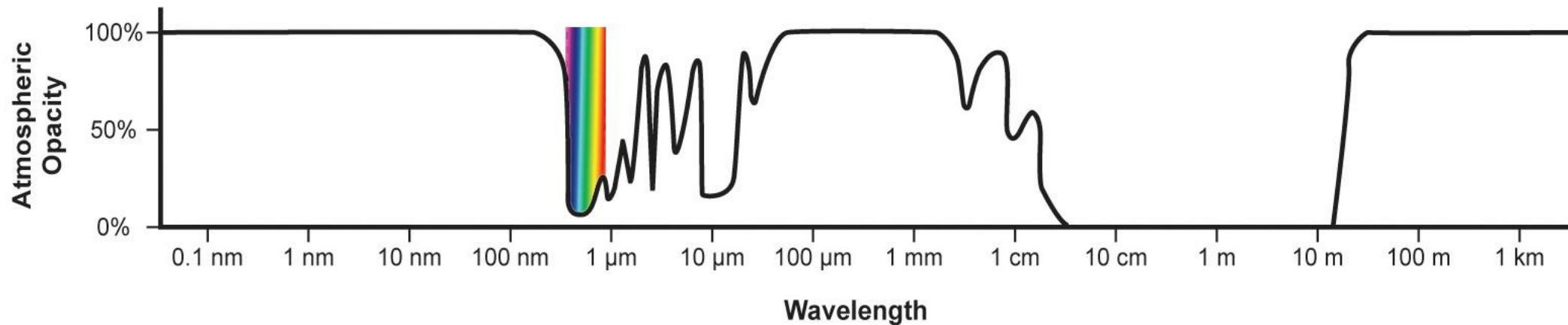
Διαστημική
Εξερεύνηση

Κόνιτσα

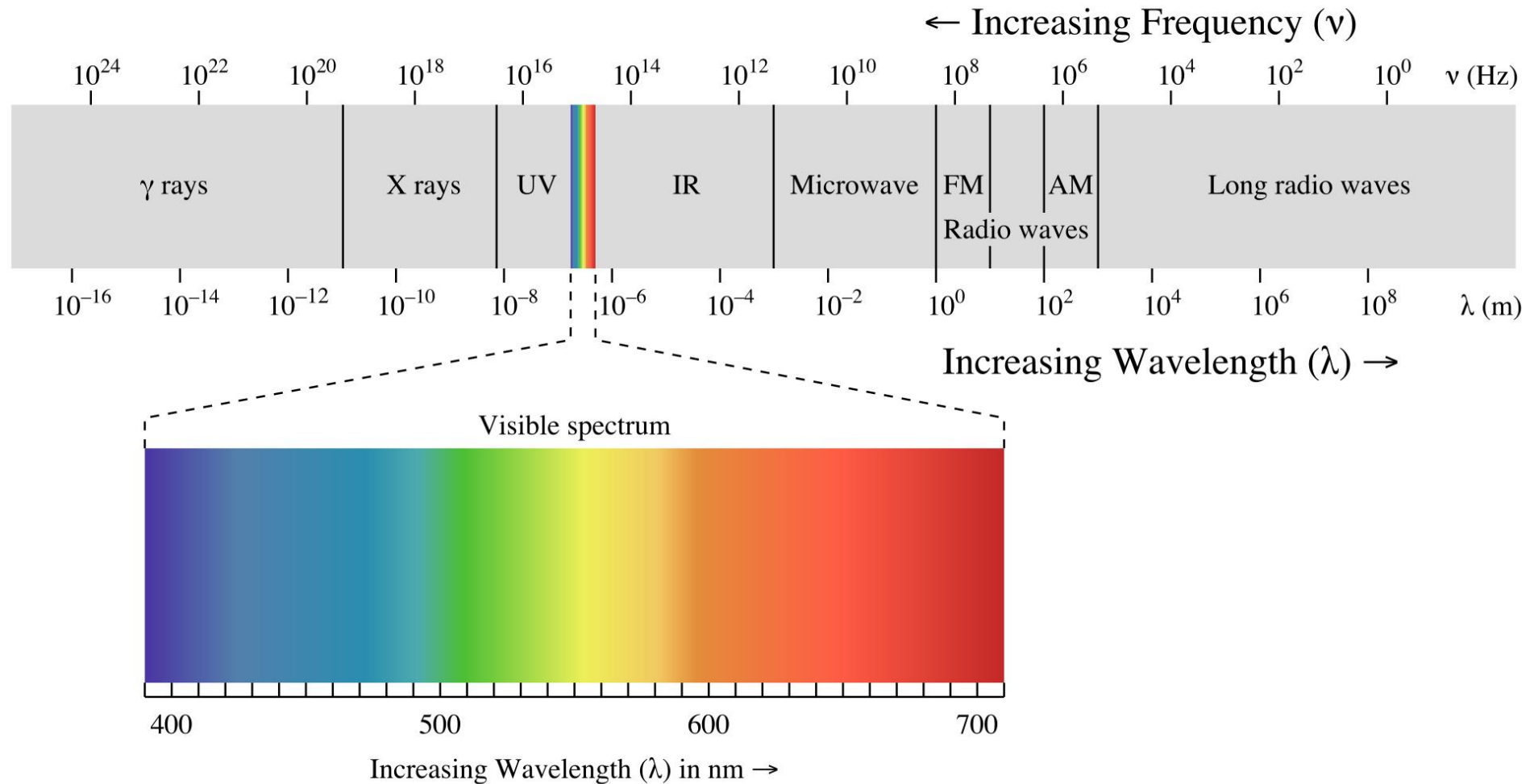
Γκαμήλα

2ος λόγος





Το «ορατό» σύμπαν: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (24 τάξεις μεγέθους!)



Το δυναμικό εύρος στο χώρο των συχνοτήτων είναι ένα **τρισεκατομμύριο τρισεκατομμύρια (10^{24}) Hertz** ξεκινώντας περίπου από τον **χτύπο της καρδιάς μας**

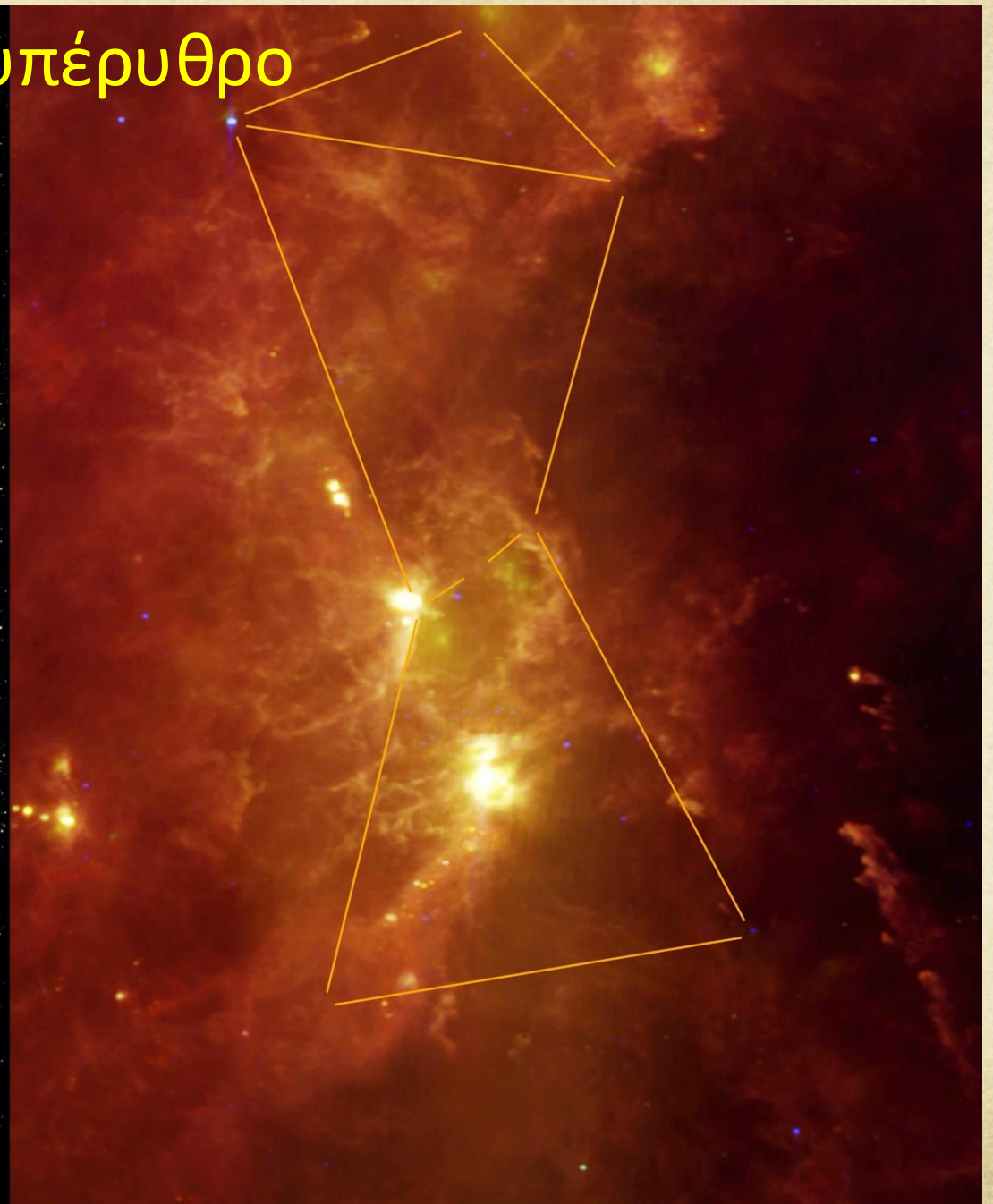
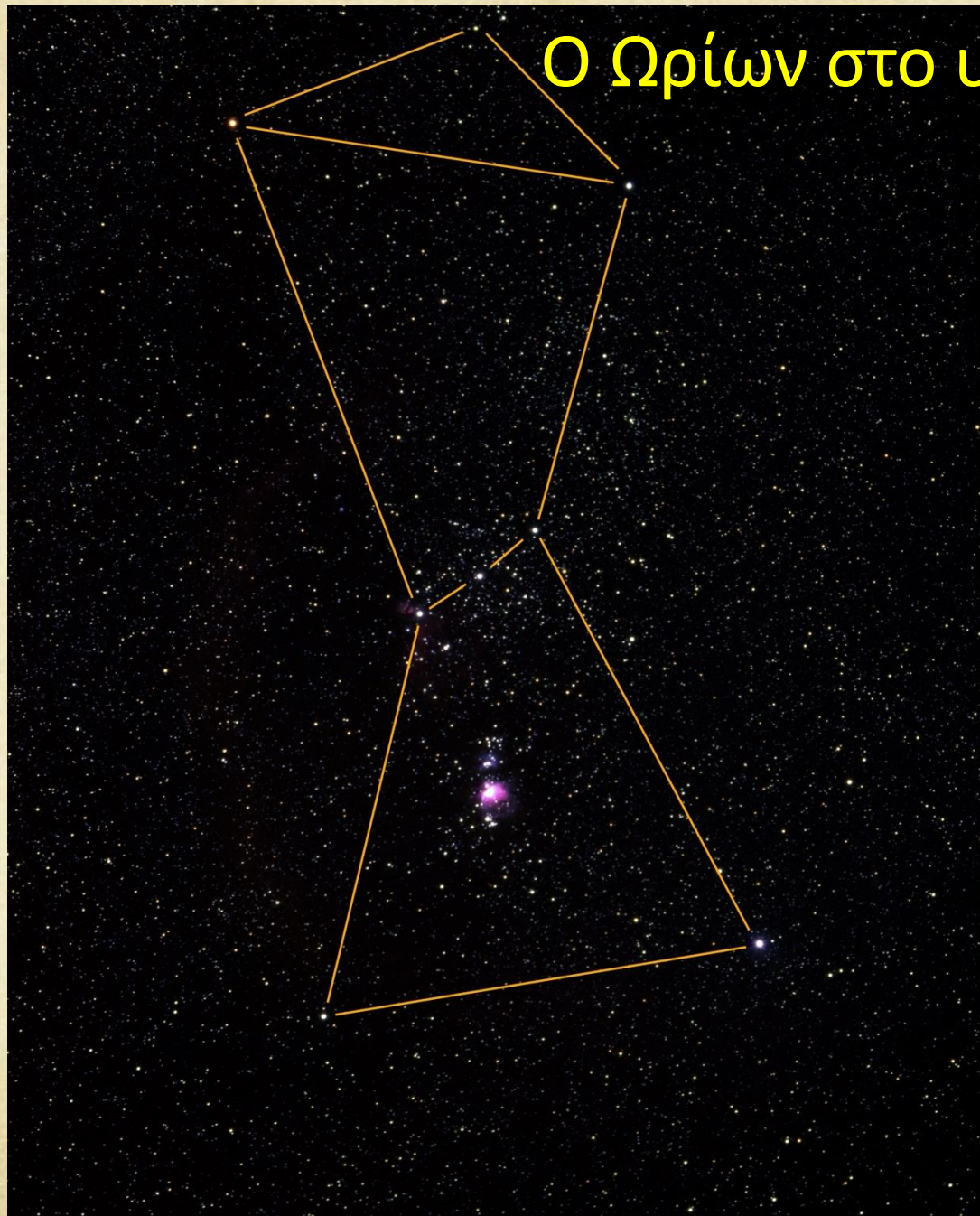
Το «ορατό» σύμπαν

5%

Το «ορατό» σύμπαν

5%

Ο Ωρίων στο υπέρυθρο



(Διαστημα)Φυσικός
ορειβάτης, φωτογράφος,
ταξιδιώτης, αιμοδότης



1986



2025



2001



2024

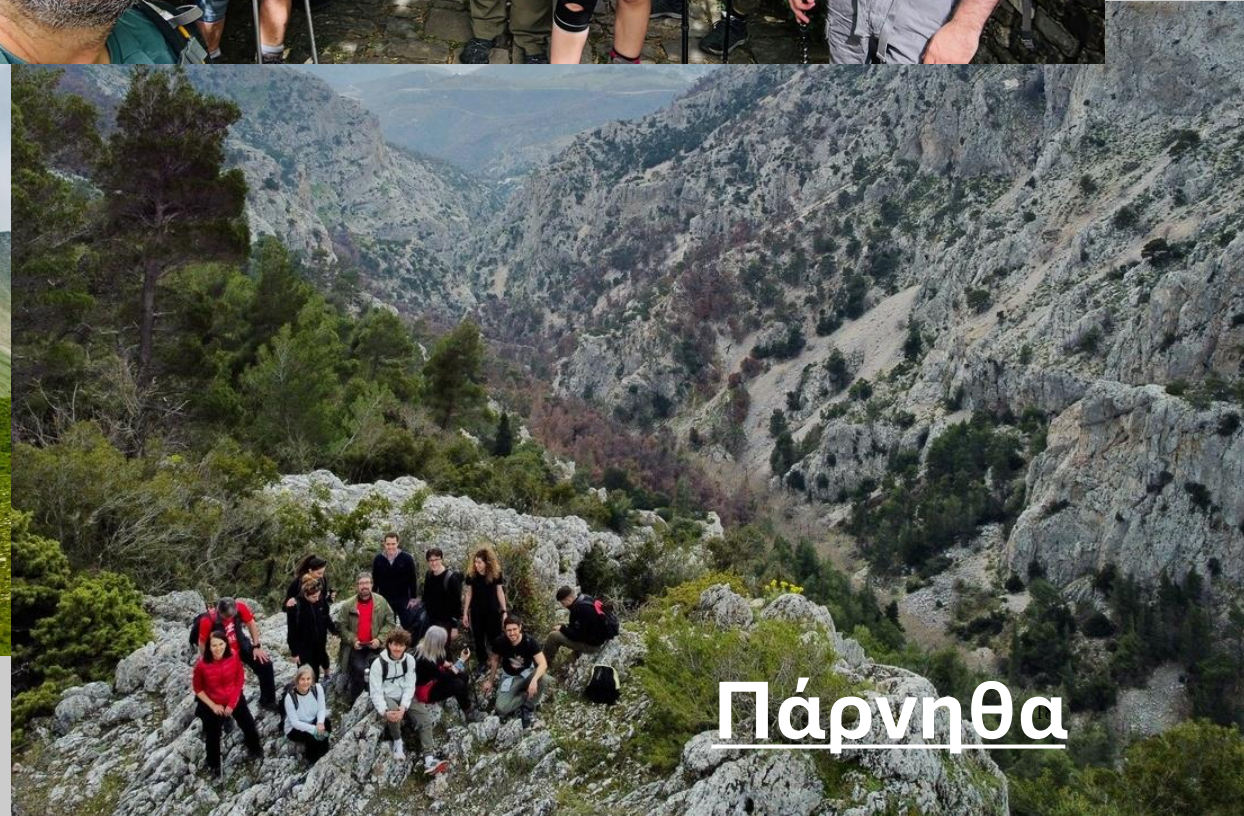


2025



Διαστημόνια

WhatsApp Group Chat



Πάρνηθα

Προσεχώς:

Μονοήμερη εκδρομή το Σάββατο 18 Οκτωβρίου

Διήμερη εκδρομή στο δάσος της Φολόης και στο Μαίναλο αρχές Νοεμβρίου

Η πρώτη εξόρμηση των Διαστημονίων: **Dragon House**



Μα γιατί όλα αυτά;

1. Η ζωή δεν είναι μόνο η εργασία μας
(ακόμη κι αν μας αρέσει πολύ!)

2. Η ζωή δεν αναβάλλεται

3. Η ζωή είναι πολύ σύντομη για να
χάνουμε χρόνο σε κάτι που δεν μας αρέσει

Space Physics Group

Like us on 

HOME

RESEARCH AREAS

PEOPLE

SPACECOFFEE

PUBLICATIONS/PRESENTATIONS

EVENTS



<http://www.space.phys.uoa.gr/>



Scientific Projects

Our group has participated in the implementation of the following projects:

- **SafeSpace: Radiation Belt Environmental Indicators for the Safety of Space Assets**
- **SWUNMed: Space Weather User Needs for the Mediterranean Region**
- **G4G: Geant4-based Particle Simulation Facility for Future Science Mission Support**
- **VALIRENE: Radiation Belt Model Development and Validation**
- **Hellenic Evolution of Radiation data processing and Modelling of the Environment in Space (HERMES)**
- **Hellenic National Space Weather Research Network (HNSWRN)**
- **Monitoring, Analysing and Assessing Radiation Belt Energization and Loss (MAARBLE)**
- **Slot Region Radiation Environment Models (SRREMs)**
- **Multi-satellite, multi-instrument and ground based observations analysis and study of ULF wave phenomena and products (ULFwave)**
- **Solar Particle Event Scientific Analysis (SREM extension)**
- **Solar Particle Event Scientific Analysis (SREM)**

2025

- Κίμων Τσίλιας (Διπλωματική Master): Investigation and Modelling of the Electron Flux Radial Profiles in the Outer Radiation Belt With Machine Learning Methods (https://uoa2-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/iadaglis_o365_uoa_gr/EeqKNvgSvqdNIP_7ii42QOcBbmnlpVAhczfyzeYLIxgLNw?e=6hjQgv)
- Όλγα Μπέλλη (Διπλωματική Master): Modelling of Trapped Energetic Particle Populations in the Earth's Radiation Belts (https://uoa2-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/iadaglis_o365_uoa_gr/EVNglHUI8yRCvMyHdUoUBVQBgJkkNqCdavXQXxYcoR4xRA?e=Zfk1NO)
- Άγγελος Μιχαηλίδης (Διπλωματική Master): The study of radiation and magnetic field of plasma jets in the solar atmosphere (https://uoa2-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/iadaglis_o365_uoa_gr/EZL9aMFGFojDgNAjhNGisRwBWTSUfAFH9CflFyDs1Ne6DA?e=EKOvqW)
- Ελευθερία Σωτηρίου (πτυχιακή): Μελέτη γεωμαγνητικών καταιγίδων του 25ου ηλιακού κύκλου που κατέστησαν το βόρειο σέλας ορατό στην Ελλάδα (https://uoa2-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/iadaglis_o365_uoa_gr/EYO9N-b-kGVGg8TApJhMPkMB1m2plWk8SvlpvMQeM04ijA?e=GxtAOm)
- Αθανασία Χάρδα (πτυχιακή): Μελέτη σχετικιστικών και υπερσχετικιστικών ηλεκτρονίων στην εξώτερη ζώνη ακτινοβολίας με μετρήσεις από τους δορυφόρους Van Allen Probes (https://uoa2-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/iadaglis_o365_uoa_gr/EUwm7GjyVvNulPpa-72-GOBabbfHWipwk1hbJldBRrGMw?e=9O8iOG)
- Γεώργιος Κοκκίνης (πτυχιακή): Reconstruction of past solar activity from cosmogenic Carbon-14 data (https://uoa2-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/iadaglis_o365_uoa_gr/EePi5NgLjDhEmvGHxjCXGQsBWmQvV1hdPfSO75XOmhxjIQ?e=2LNVN8)



SPACE COFFEE

JOURNAL CLUB

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>)

Περιοδικές κινήσεις

Αδιαβατικές αναλλοίωτες (κατά
προσέγγιση σταθερές της κίνησης)

Η σταθερότητα των αδιαβατικών αναλλοίωτων
είναι απόρροια της σταθερότητας
του **ολοκληρώματος δράσης** J - action integral,
γνωστού και ως **Poincare Invariant**

$$J_i = \oint p_i dq_i$$

$$J_i = \oint p_i dq_i$$

Το J υπολογίζεται σε μια κλειστή περιοχή στον χώρο φάσεων των συζυγών μεταβλητών p και q , η οποία περικλείεται από την περιοδική κίνηση στη μεταβλητή q . Έχει σταθερή τιμή όταν το γενικευμένο δυναμικό U που επηρεάζει (ή καθορίζει) την περιοδική κίνηση, μεταβάλλεται αργά συγκριτικά με την περίοδο της κίνησης στην οποία αναφερόμαστε.

**Η γενικευμένη συντεταγμένη q
στην περίπτωση της κίνησης σωματιδίων
σε μια πλανητική μαγνητόσφαιρα
είναι
η μεταβλητή της εκάστοτε περιοδικής κίνησης**

Η γενικευμένη συντεταγμένη q
στην περίπτωση της κίνησης σωματιδίων
σε μια πλανητική μαγνητόσφαιρα
είναι
η μεταβλητή της εκάστοτε περιοδικής κίνησης

Στην κυκλοτρονική κίνηση είναι η μετατόπιση του
σωματιδίου κατά μήκος του κύκλου της γυροκίνησης



Η γενικευμένη συντεταγμένη q
στην περίπτωση της κίνησης σωματιδίων
σε μια πλανητική μαγνητόσφαιρα
είναι
η μεταβλητή της εκάστοτε περιοδικής κίνησης

Στην κίνηση αναπήδησης είναι η μετατόπιση του
σωματιδίου κατά μήκος της μαγνητικής γραμμής



**Η γενικευμένη συντεταγμένη q
στην περίπτωση της κίνησης σωματιδίων
σε μια πλανητική μαγνητόσφαιρα
είναι
η μεταβλητή της εκάστοτε περιοδικής κίνησης**

**Στην ολίσθηση γύρω από τη Γη είναι η μετατόπιση της
νοητής γραμμής αναπήδησης του σωματιδίου καθώς
περιφέρεται γύρω από τη Γη**

Αδιαβατικές αναλλοίωτες

An adiabatic invariant J
is a property of a physical system
that **stays constant ($dJ/dt=0$)**
when **changes** of/in the system occur **slowly**

Αδιαβατικές αναλλοίωτες

An adiabatic invariant J
is a property of a physical system
that **stays constant ($dJ/dt=0$)**
when **changes** of/in the system occur **slowly**

Also known as **Poincare Invariants**

Αδιαβατικές αναλλοίωτες

An adiabatic invariant J
is a property of a physical system
that **stays constant ($dJ/dt=0$)**
when **changes** of/in the system occur **slowly**

Σε περίπτωση **περιοδικής κίνησης** οι α.α.
διατηρούνται όταν η χρονική κλίμακα των
αλλαγών που επηρεάζουν την κίνηση είναι
μεγαλύτερη από την περίοδο κίνησης

Περιοδικές κινήσεις

Αδιαβατικές αναλλοίωτες (κατά
προσέγγιση σταθερές της κίνησης)

**Χαρακτηριστικοί χρόνοι
(περίοδοι/συχνότητες)**

Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων

Γυροκίνηση →

1^η αδιαβατική αναλλοίωτη →

Κίνηση ανάκλασης (bounce motion) →

2^η αδιαβατική αναλλοίωτη →

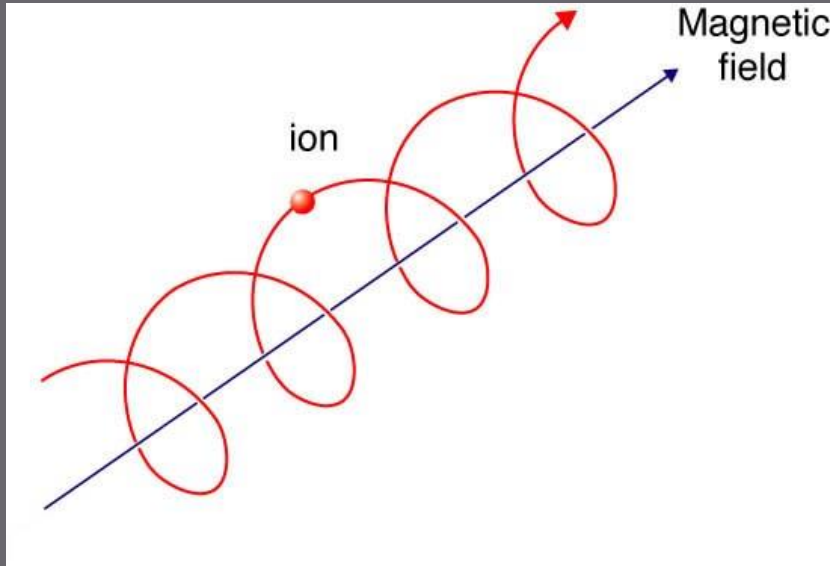
Ολίσθηση →

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:

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

Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

Μαγνητική ροπή:

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

Αναλλοίωτη - για ποιες συνθήκες;

Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

Μαγνητική ροπή:

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

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

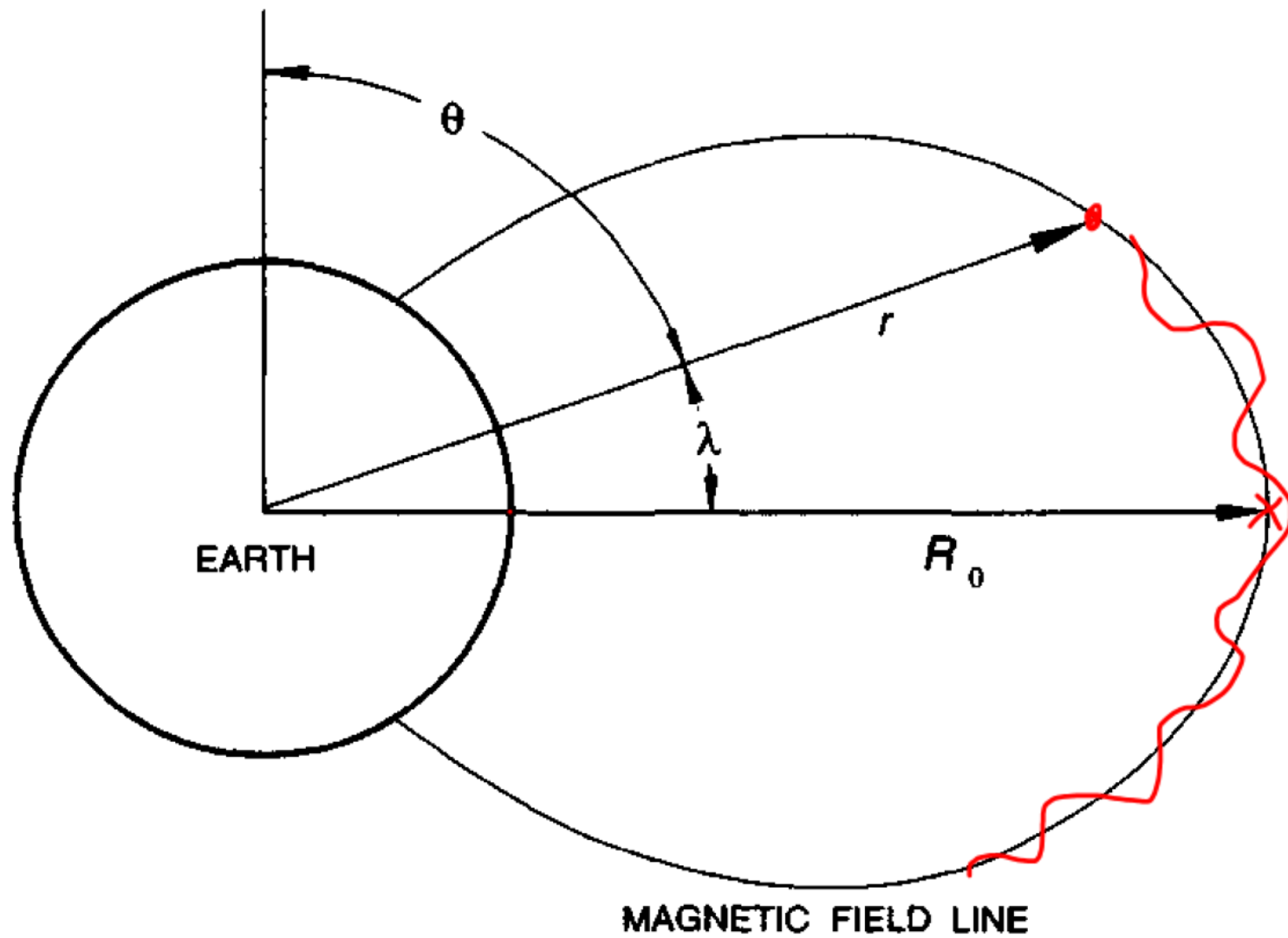
Πρώτη αδιαβατική αναλλοίωτη

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

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 ;**



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

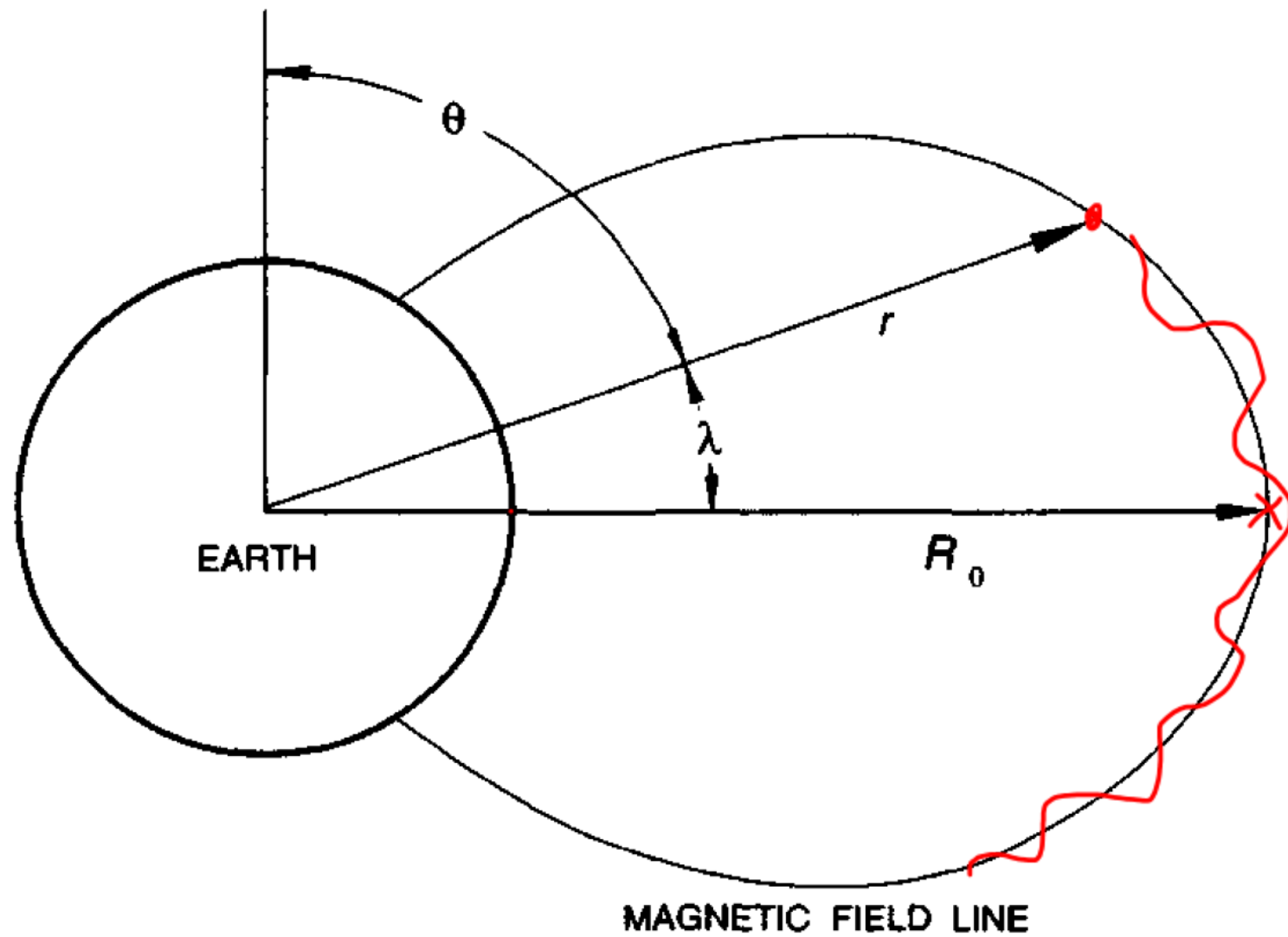
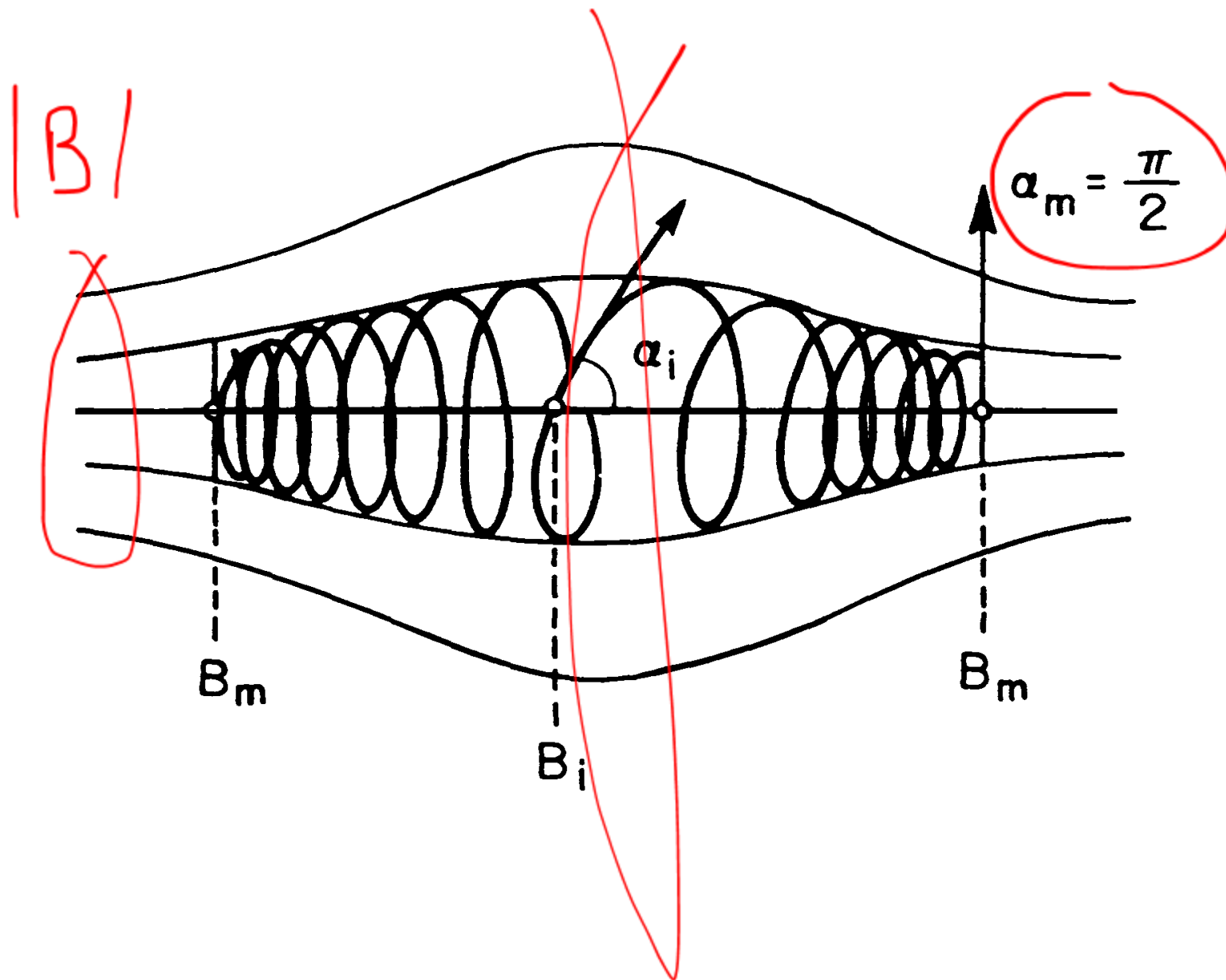
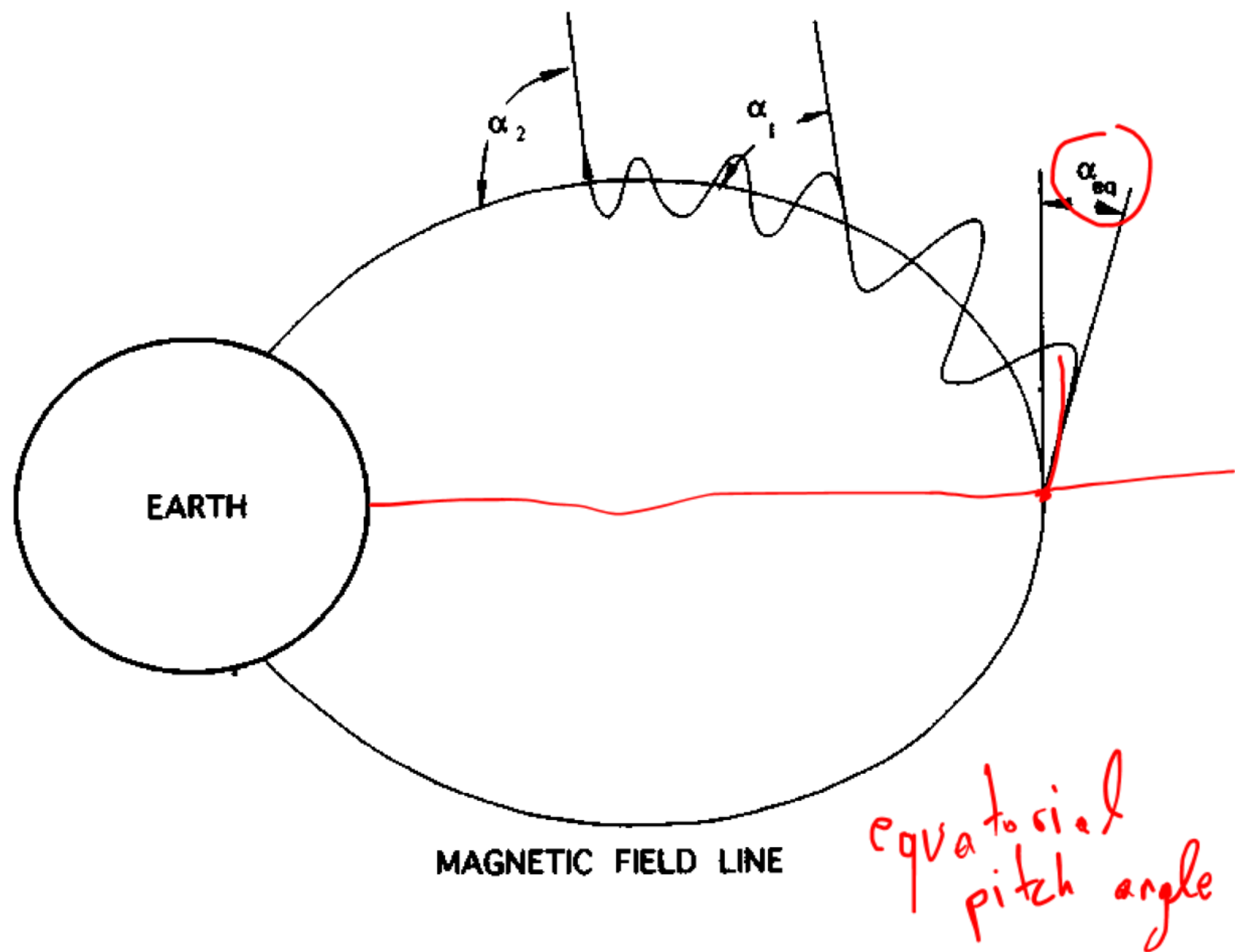


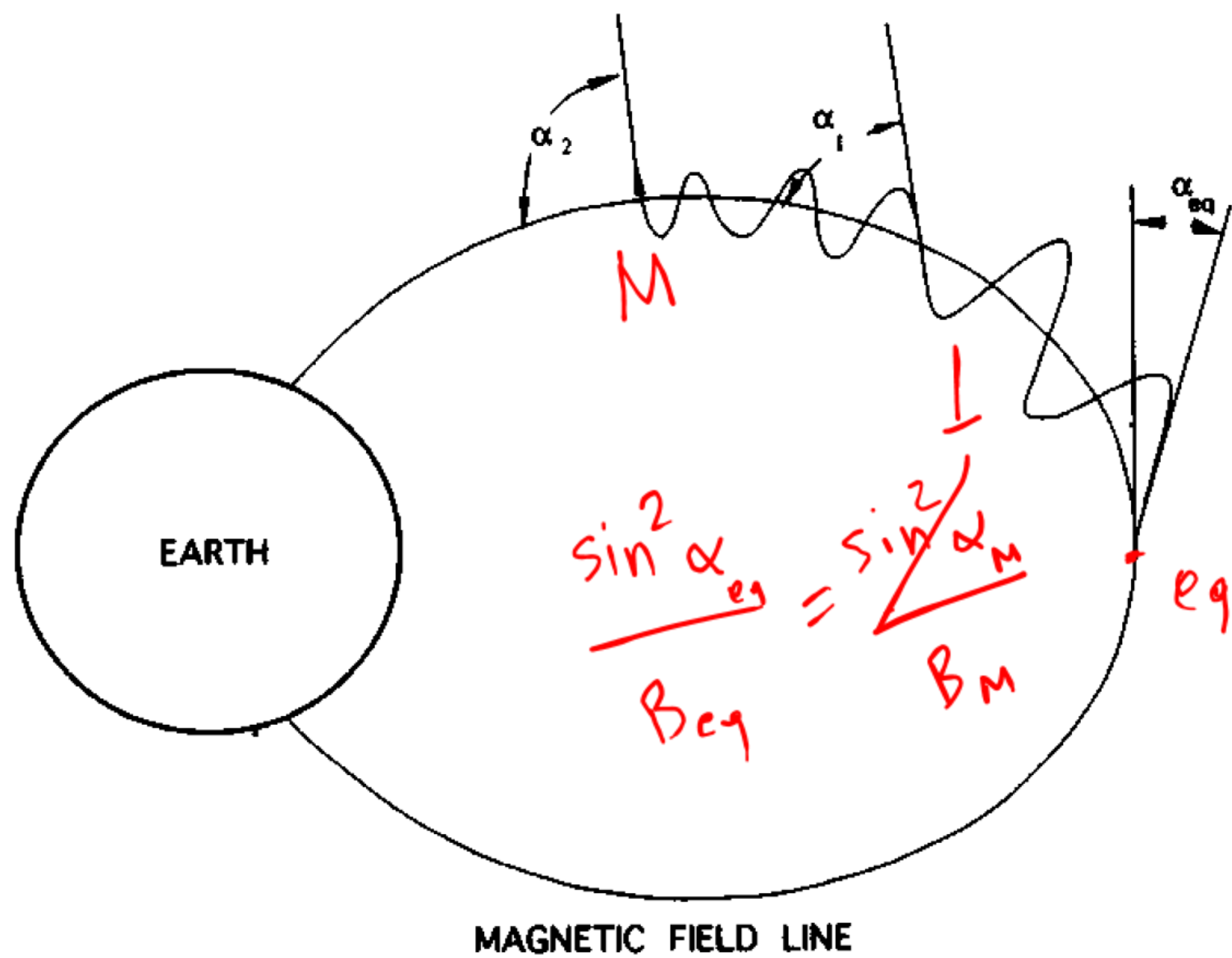
Figure 3.1. Dipole field coordinate system.

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

**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;

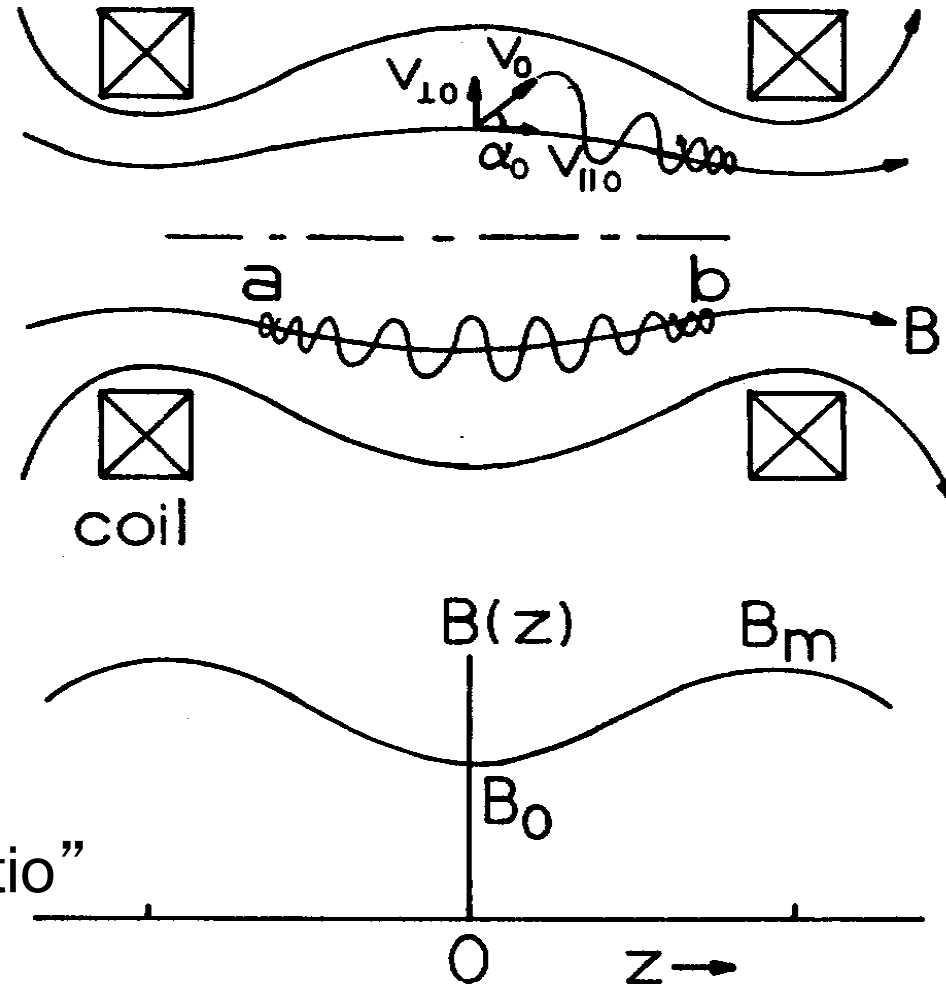
γιατί δεν ανακλάται;

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”

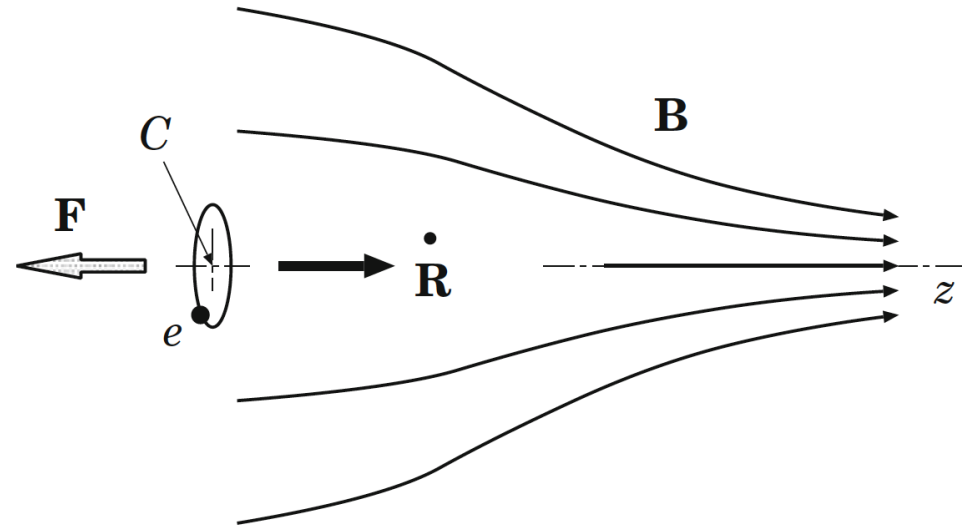


Γιατί ανακλώνται τα σωματίδια

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



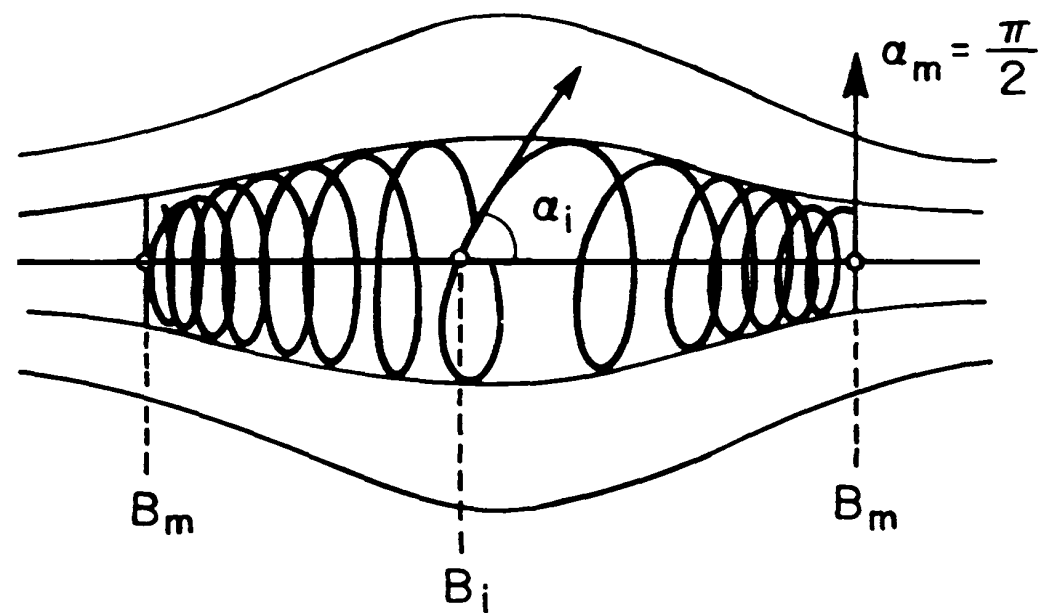
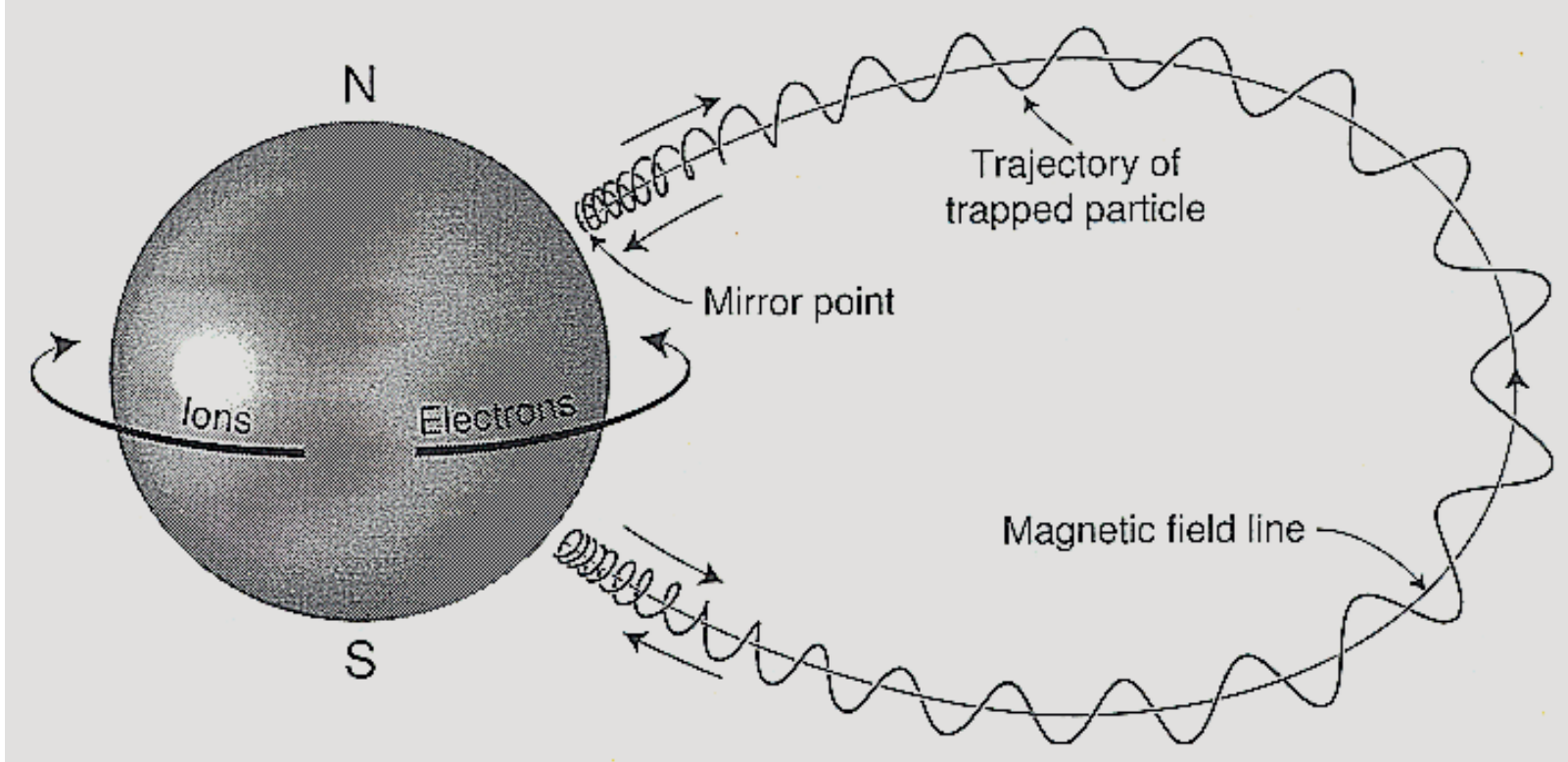
1^η αδιαβατική αναλλοίωτη

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

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

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

η κίνηση αναπήδησης

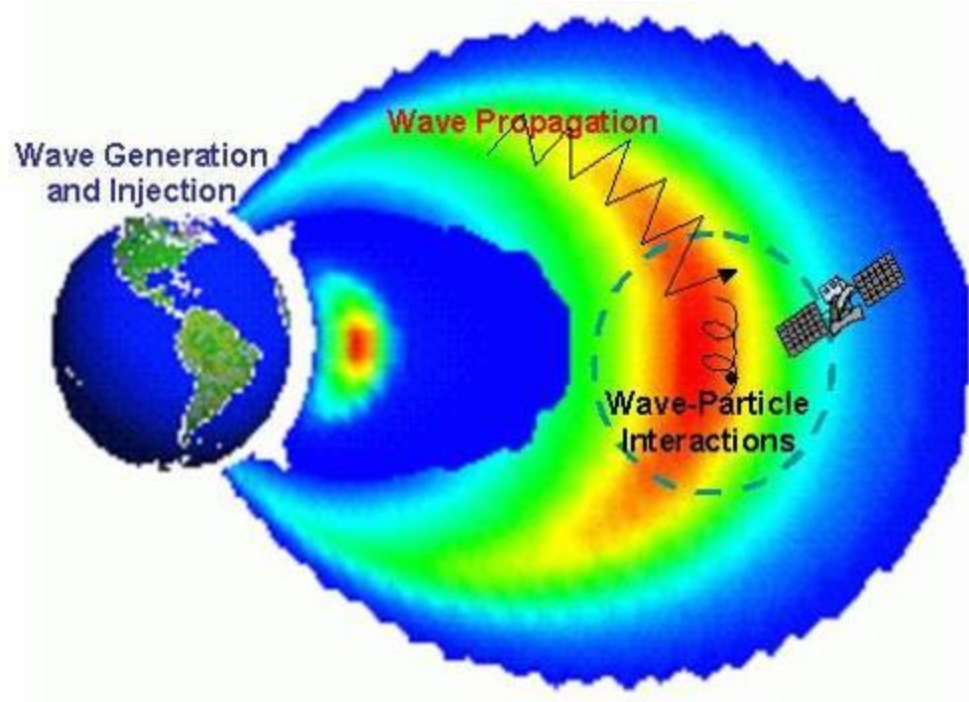


1^η αδιαβατική αναλλοίωτη

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

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:

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

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

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

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

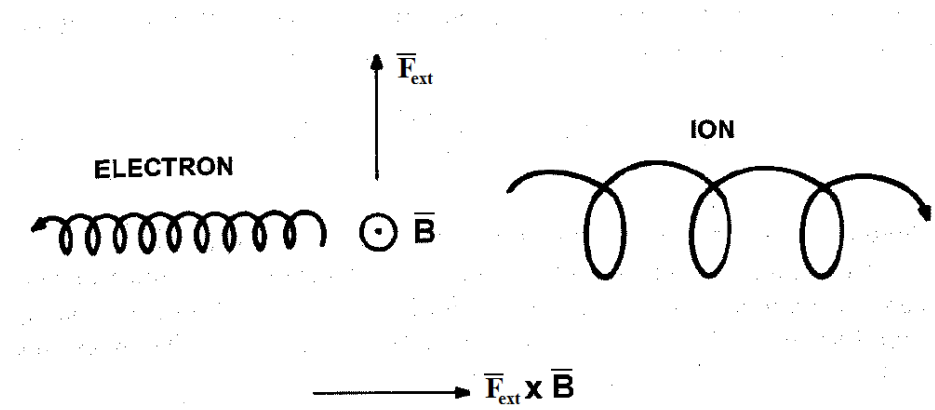
Ολίσθηση (drift)



Ολίσθηση (drift)

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

Ας δούμε πώς



Η νέα δύναμη μεταβάλλει τη γυροακτίνα

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

Ολίσθηση (drift)

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

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

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

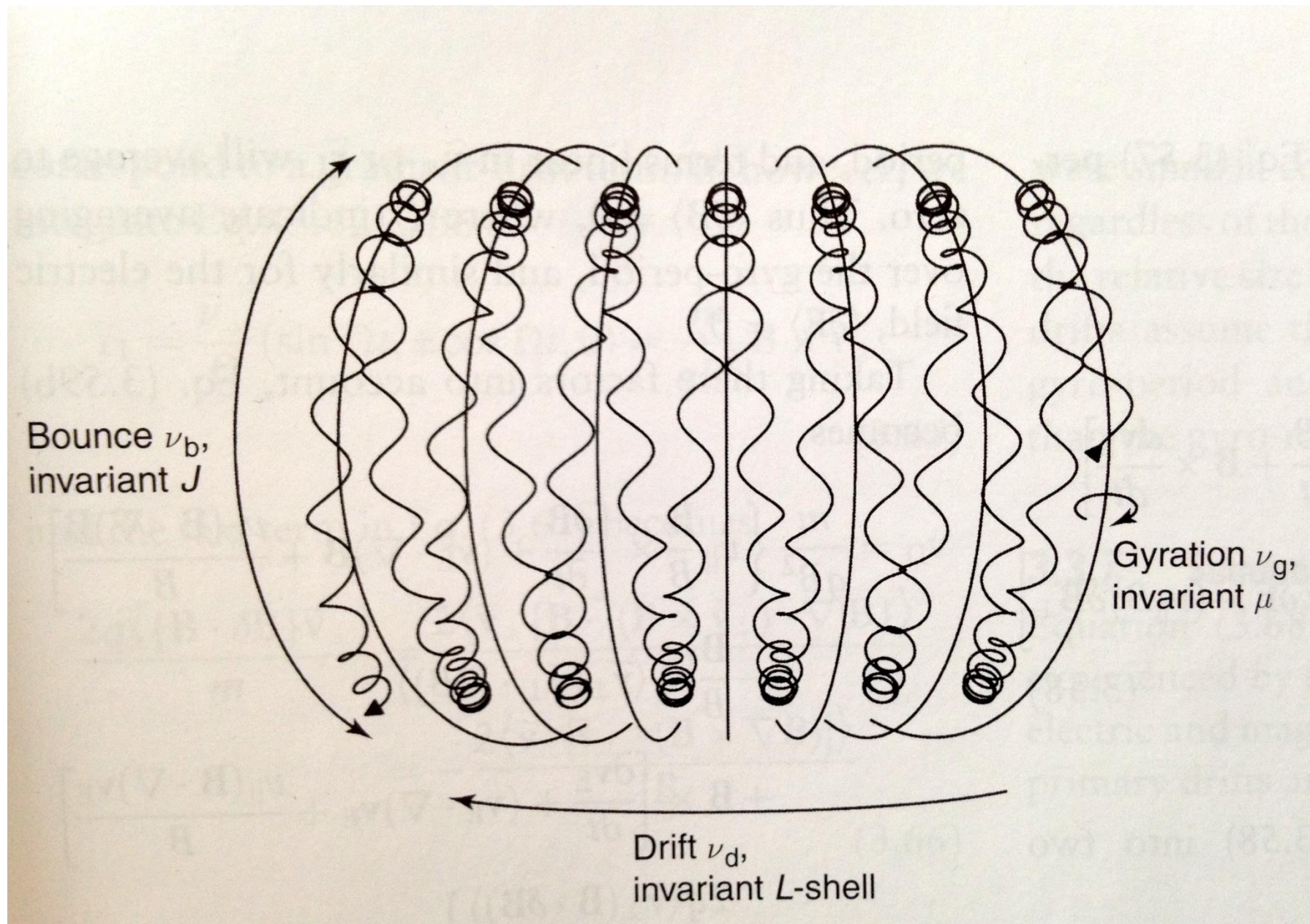
$$\bar{v}_D = \frac{\bar{\mathbf{F}}_{ext} \times \bar{\mathbf{B}}}{qB^2} = \text{Ταχύτητα ολίσθησης}$$

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

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

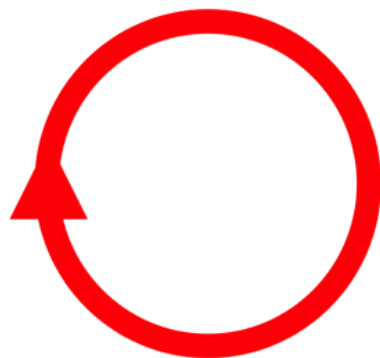
Αυτή είναι η

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

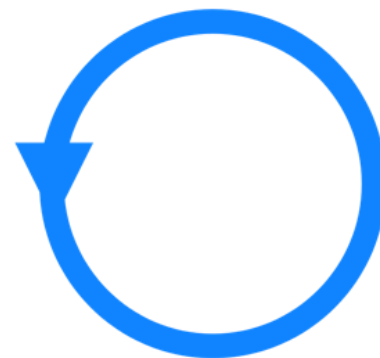


owards through paper 

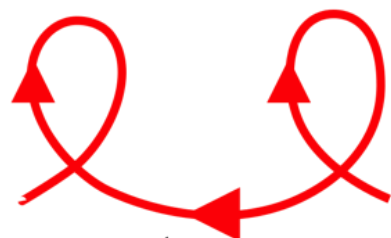
Positives
+



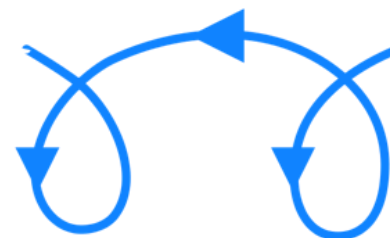
Negatives
-



A

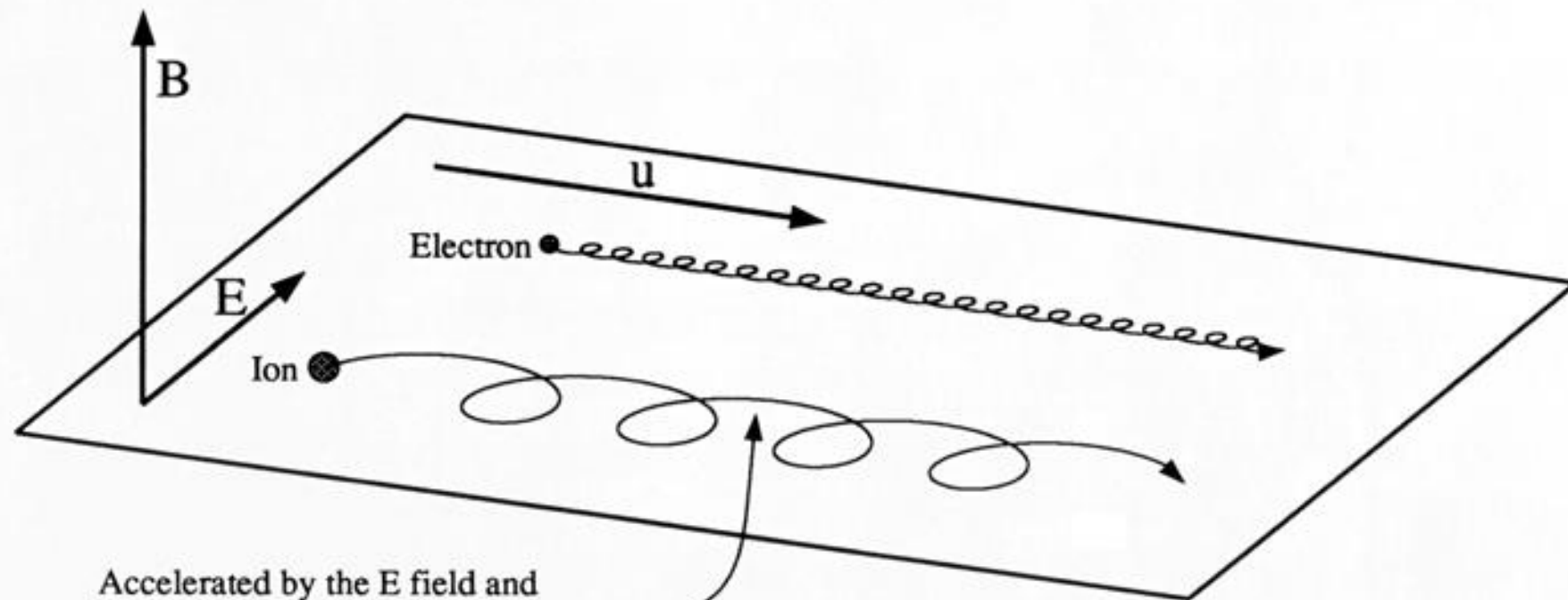


DRIFT

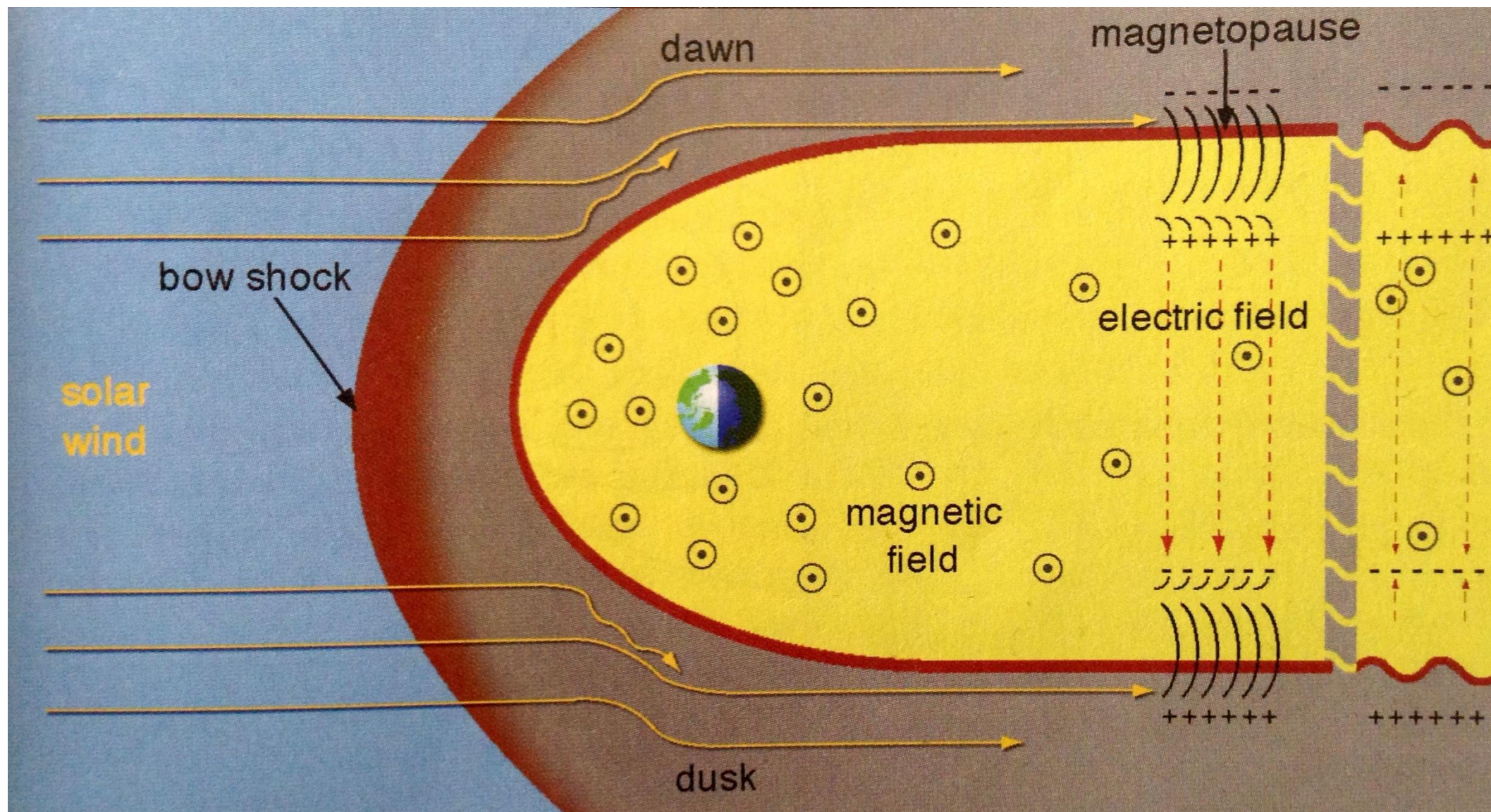


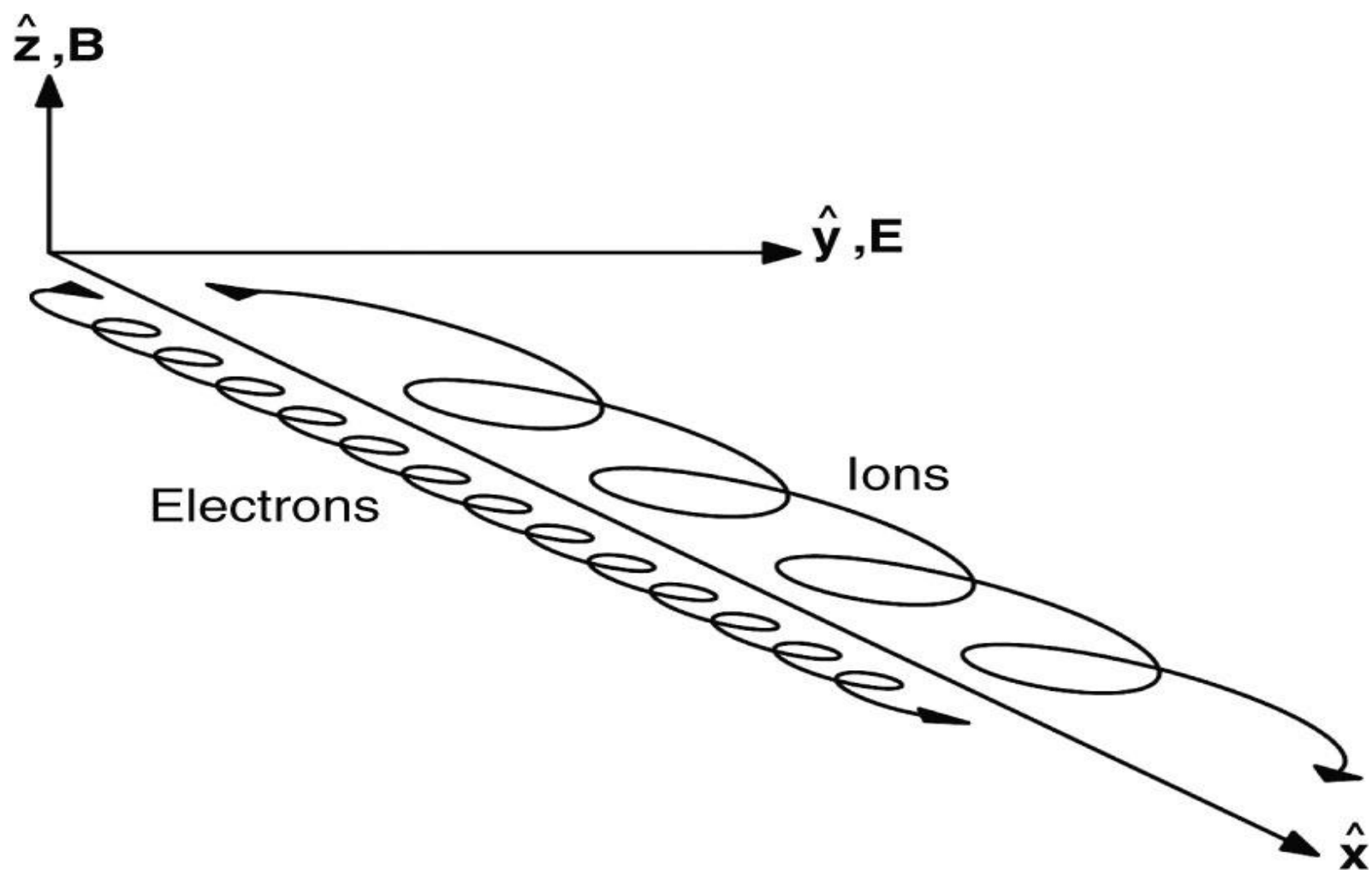
DRIFT

B



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





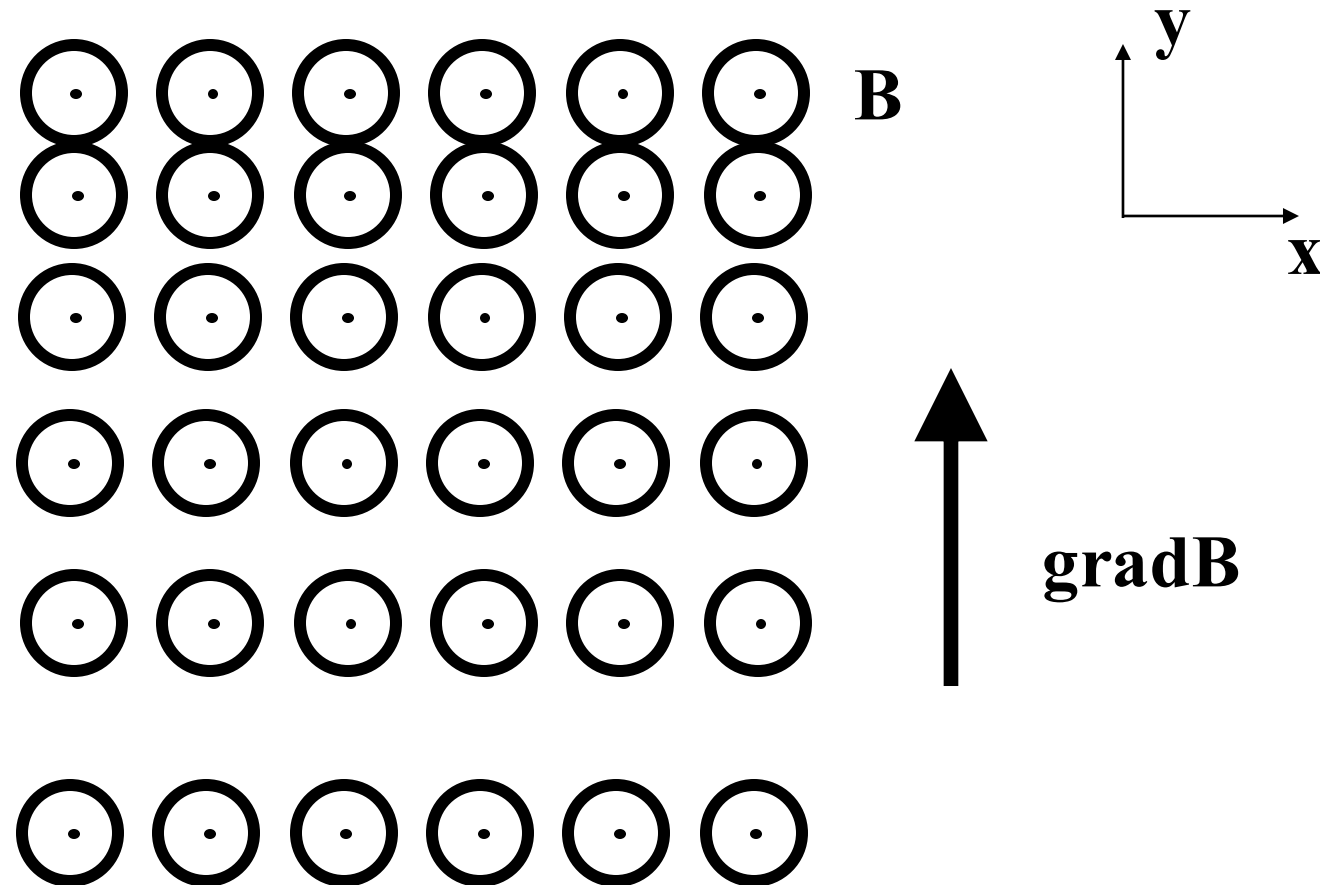
Σημαντικό:

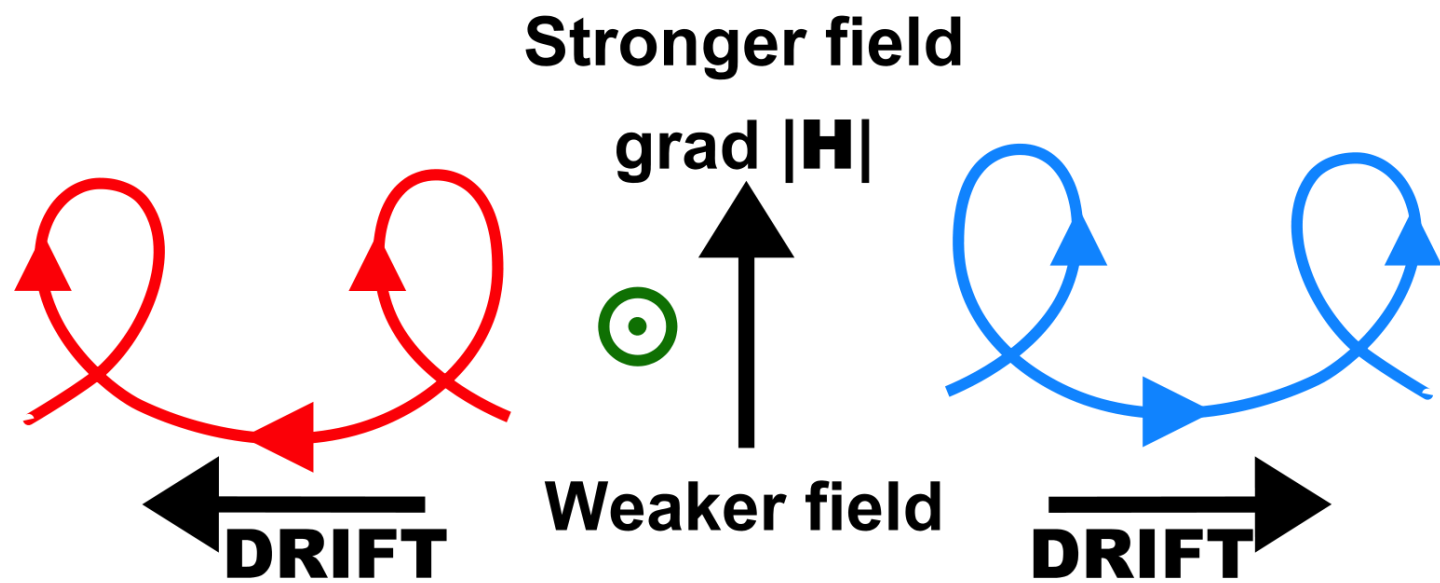
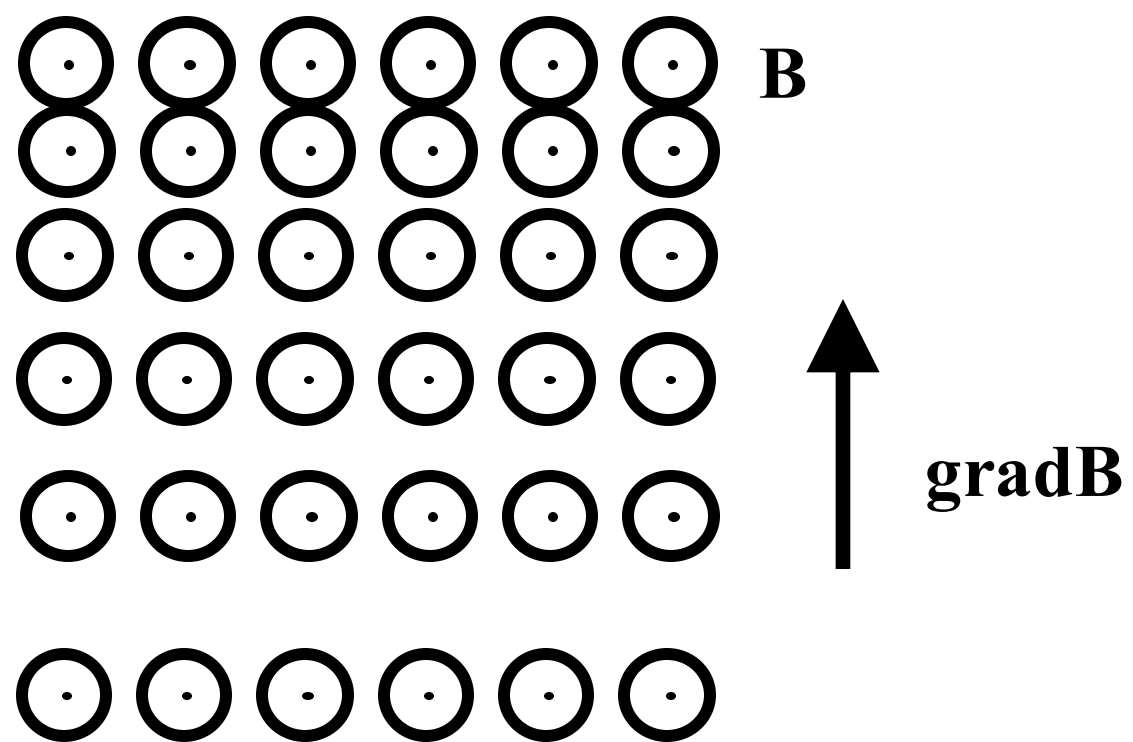
$$\mathbf{v}_D = \mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$$

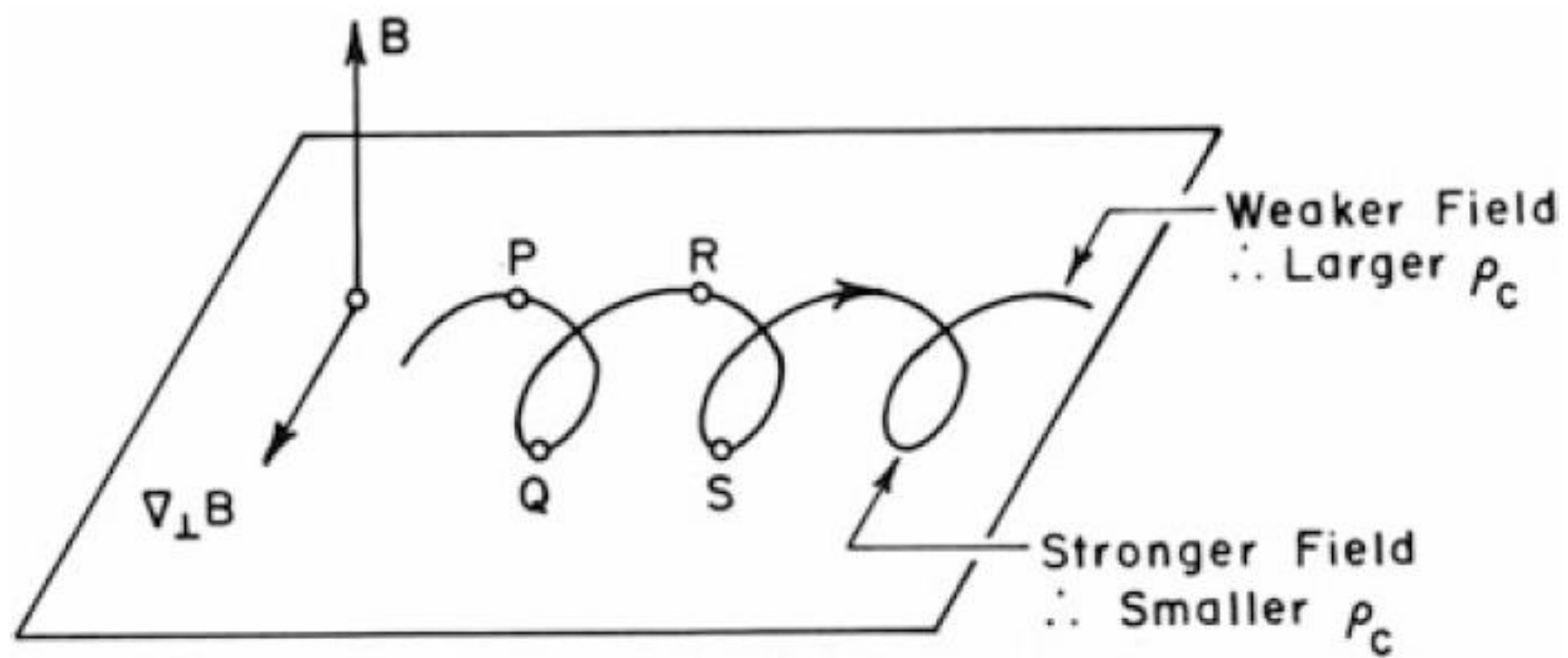
Η ολίσθηση αυτή είναι ανεξάρτητη
και της μάζας και του φορτίου!

Grad-B Perpendicular to the Magnetic Field

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







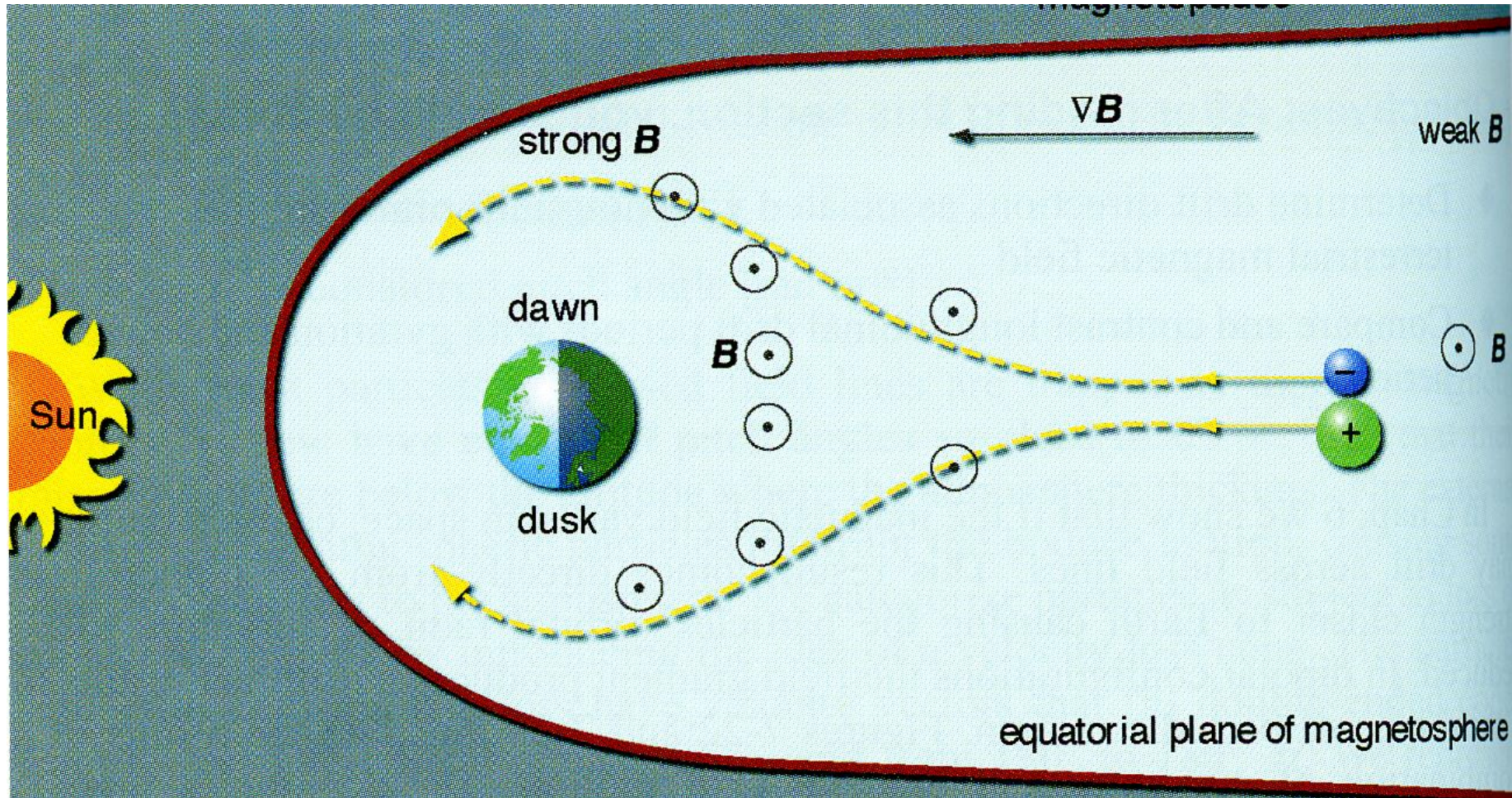
Grad B

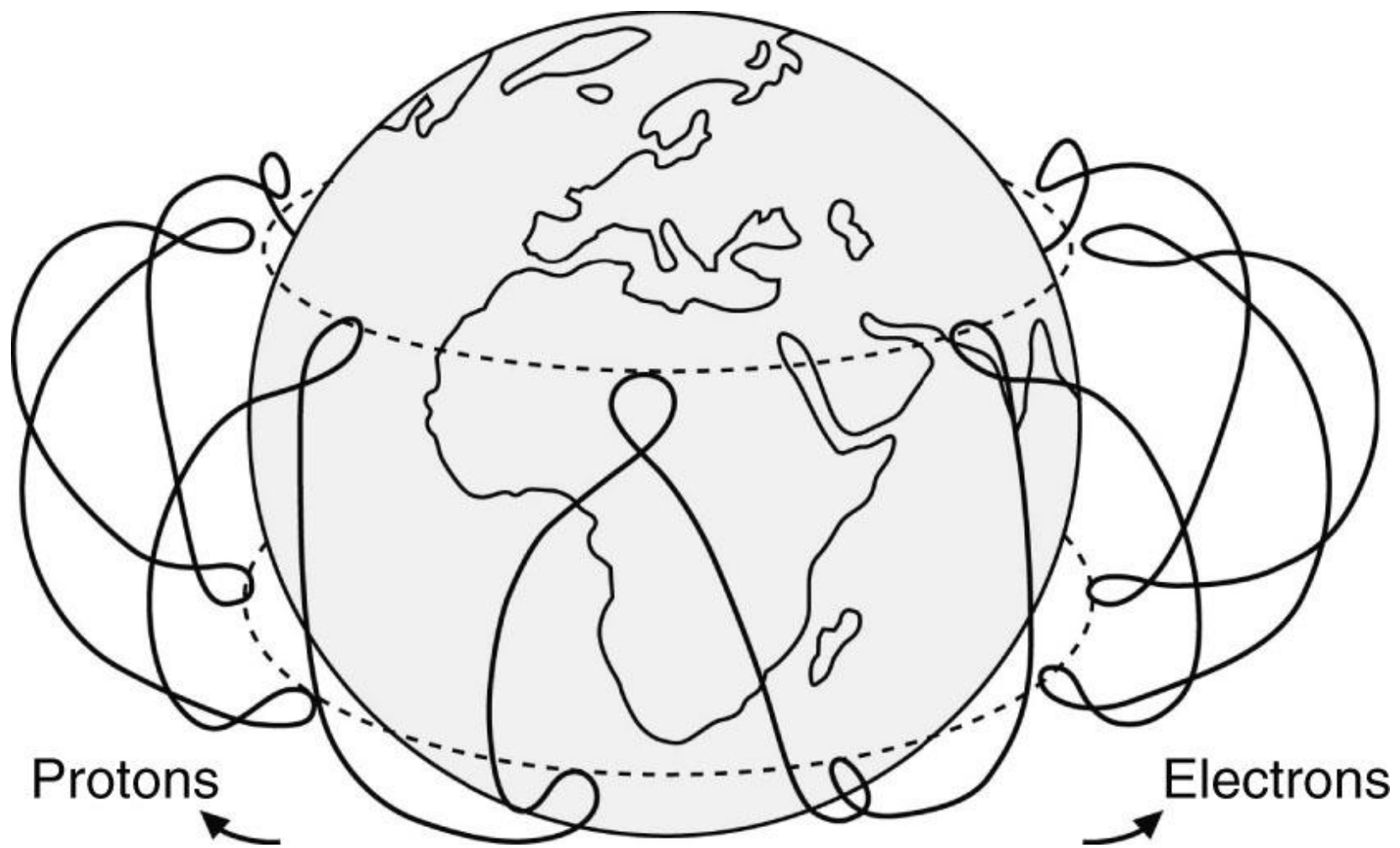
$$v_{\text{grad}} = 1/2 \, m \, v^2 \, (\mathbf{B} \times \text{grad} \mathbf{B} / q B^3)$$

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 $\text{grad}B$





Guiding center
Οδηγό κέντρο

The Concept of the Guiding Center

- Separates the motion ($\mathbf{v}$) of a particle into motion perpendicular ($\mathbf{v}_\perp$) and parallel ($\mathbf{v}_\parallel$) to the magnetic field.
- To a good approximation the perpendicular motion can consist of a drift ($\mathbf{u}_D$) and the gyromotion ($\mathbf{v}_{\Omega_c}$)

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_\parallel + \mathbf{v}_\perp = \mathbf{v}_\parallel + \mathbf{u}_D + \mathbf{v}_{\Omega_c} = \mathbf{u}_{gc} + \mathbf{v}_{\Omega_c}$$

- Over long times the gyromotion is averaged out and **the particle motion can be described by the guiding center motion** consisting of the parallel motion and drift.

Αδιαβατικές αναλλοίωτες

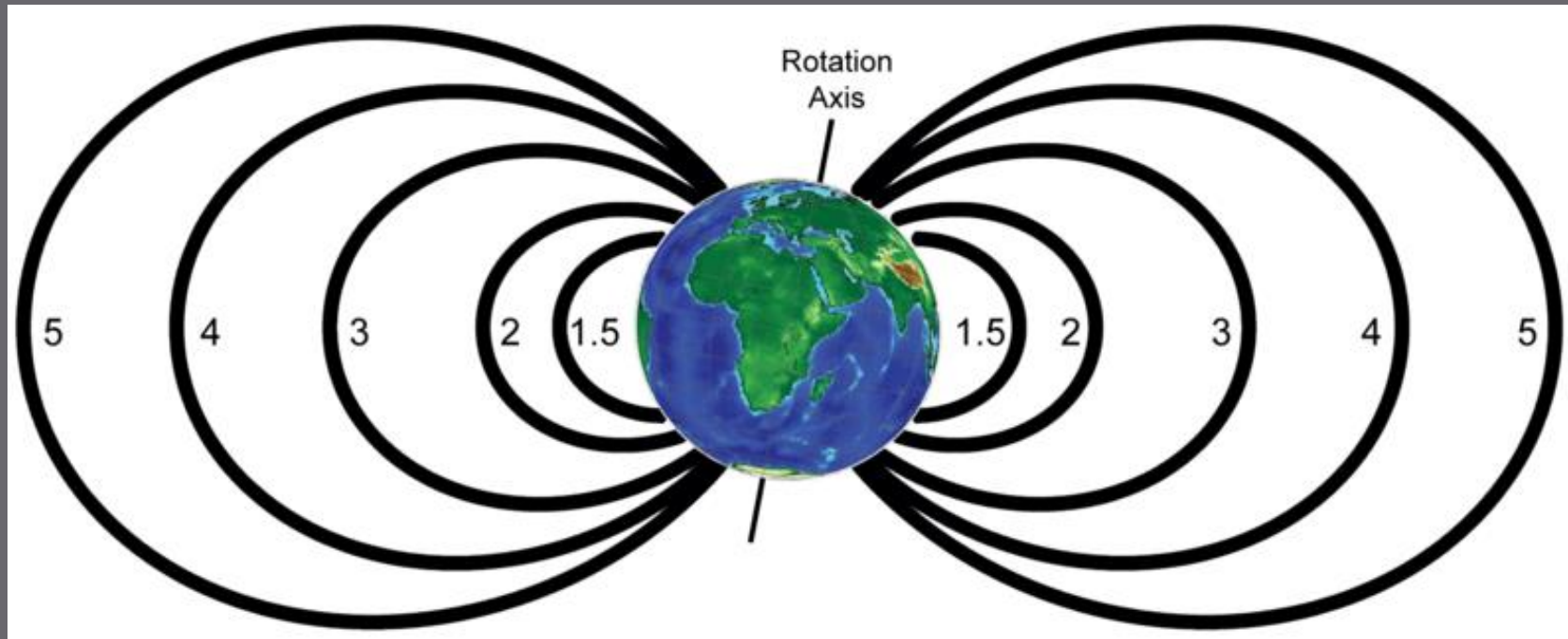
Δεύτερη αδιαβατική αναλλοίωτη

ή διαμήκης αναλλοίωτη (longitudinal invariant):

$$J = \int p_{||} ds = \int m v_{||} ds = \text{const.}$$

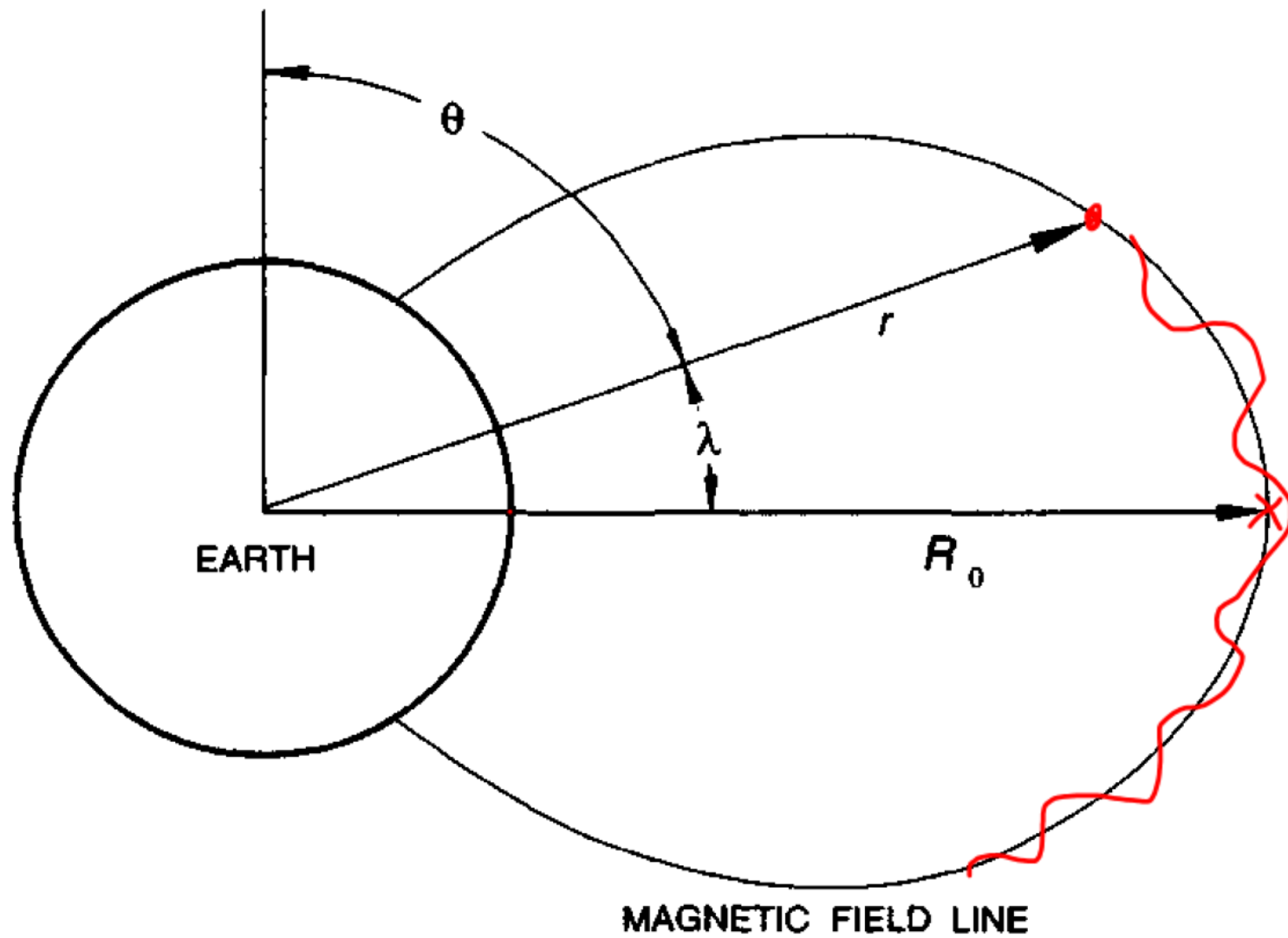
Η διατήρηση της 2^{ης} αναλλοίωτης μεταξύ των σημείων ανάκλασης **καθορίζει τις επιφάνειες πάνω στις οποίες ολισθαίνει το σωματίδιο.**

2^η αδιαβατική αναλλοίωτη

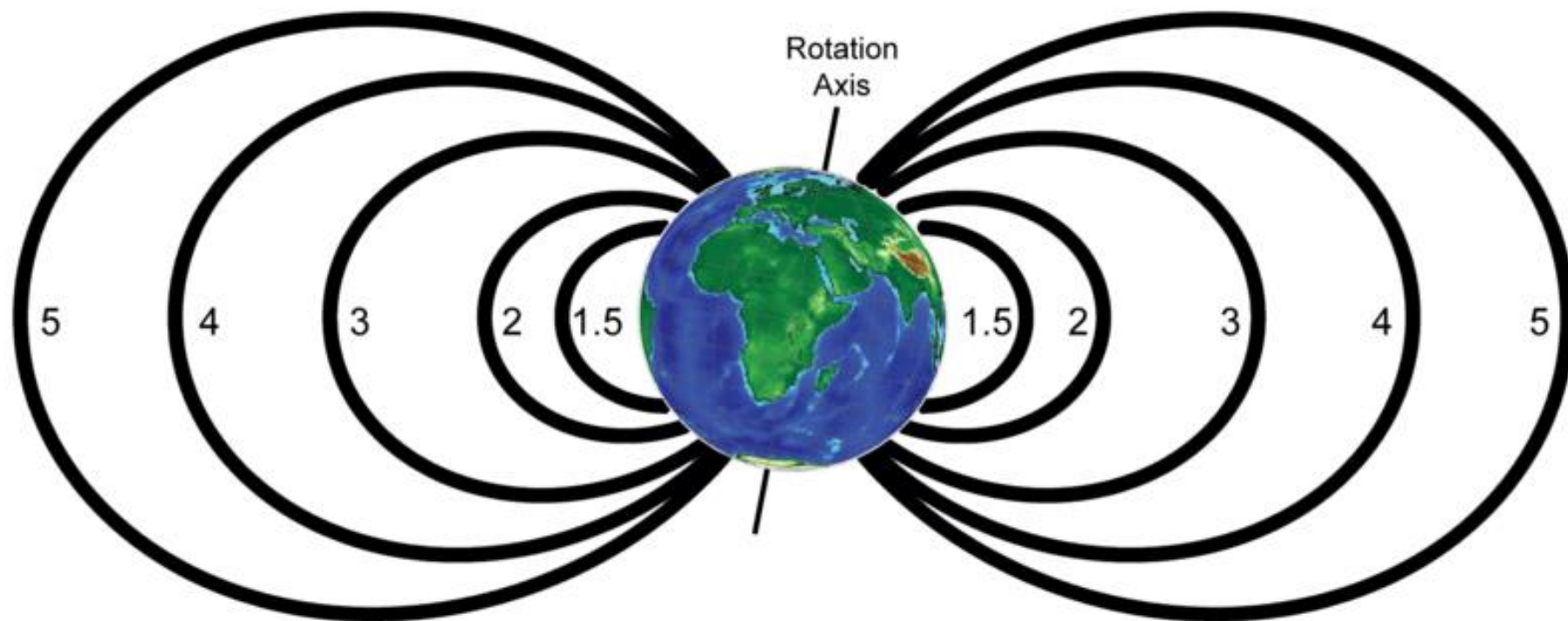


$$B = \sqrt{(B_r^2 + B_\theta^2)} = B_0 \left(\frac{R_E}{r} \right)^3 \sqrt{(1 + 3 \cos^2 \theta)}$$

Conservation of J means the particle *must* return to the same field-line after precessing around the Earth



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



$$r = L \cos^2 \lambda$$