

Ζώνες Van Allen:

A. Ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις

**B. Χωροχρονικές μεταβολές
ενεργητικών ηλεκτρονίων**

Επιμέλεια άσκησης:

Ι. Α. Δαγκλής, Χ. Κατσαβριάς, Κ. Παπαδημητρίου, Μ. Γεωργίου, Σ. Δημητρακούδης

Σκοπός της άσκησης

- i. Γεωμαγνητικό πεδίο και τεχνικές ανίχνευσής του (**Μέρος 1^ο**), τεχνικές ανίχνευσης φορτισμένων σωματιδίων (**Μέρος 2^ο**)
- ii. Γνωριμία με τις ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις και με τη σημασία τους για τα ηλεκτρόνια Van Allen (**Μέρος 1^ο**)
- iii. Εισαγωγή σε επιλεγμένα στοιχεία διαστημικής φυσικής και ειδικότερα των ζωνών Van Allen
- iv. Επεξεργασία μετρήσεων μαγνητικού πεδίου (**Μέρος 1^ο**) και ενεργητικών ηλεκτρονίων (**Μέρος 2^ο**) με το πακέτο λογισμικού MATLAB

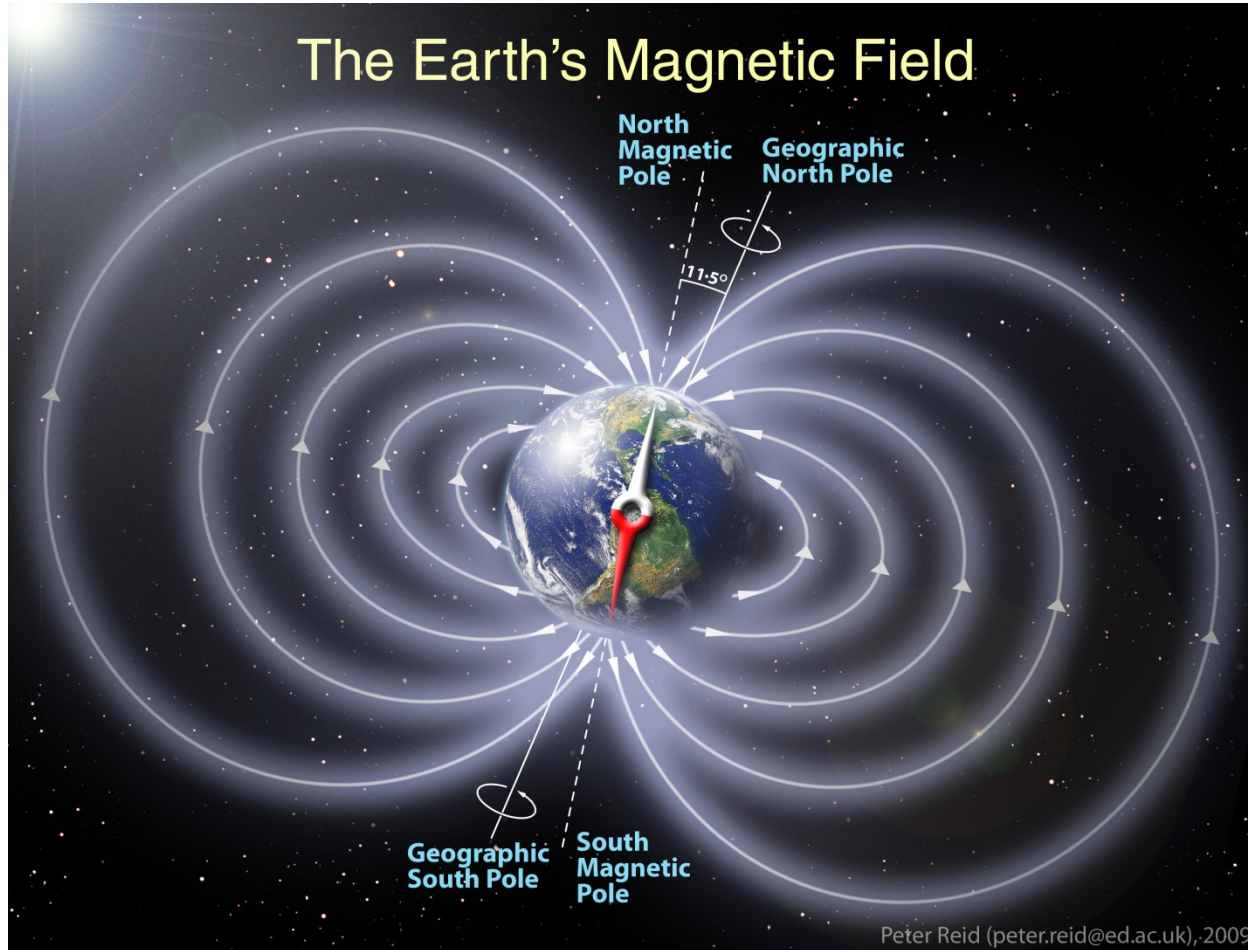
Μέρος Α

Γεωμαγνητικό πεδίο και ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις

Οκτώβριος 2023

Εργαστήριο Κατεύθυνσης Αστροφυσικής

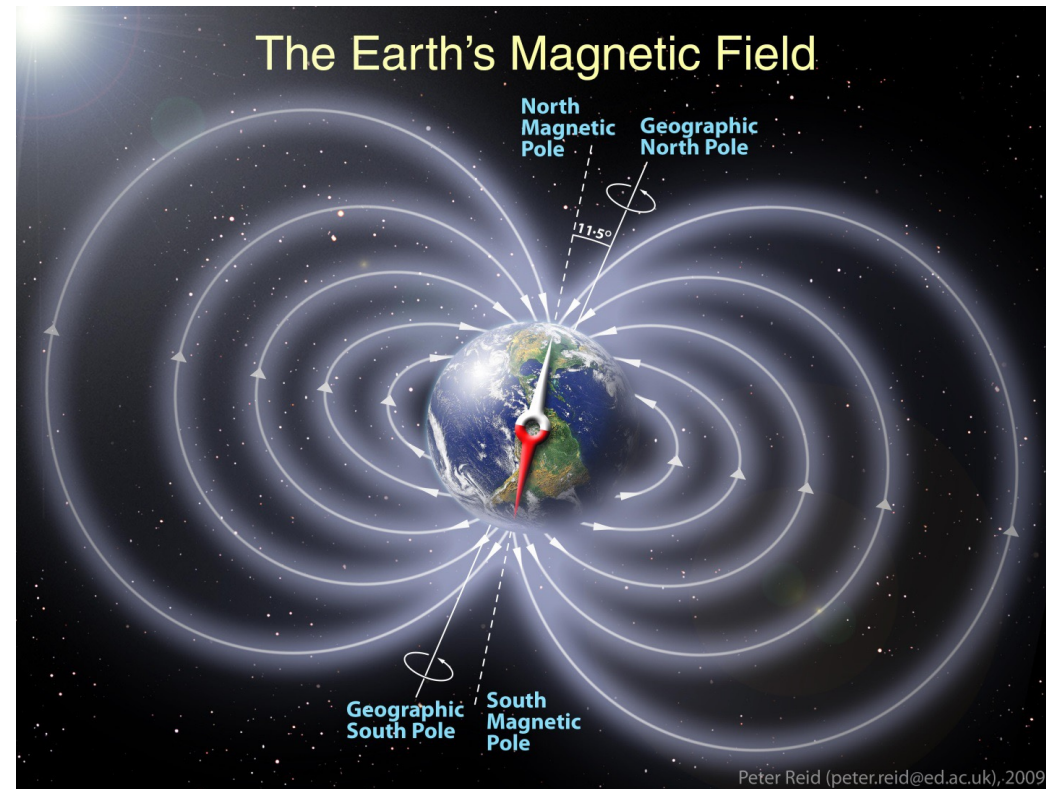
Το μαγνητικό πεδίο της Γης



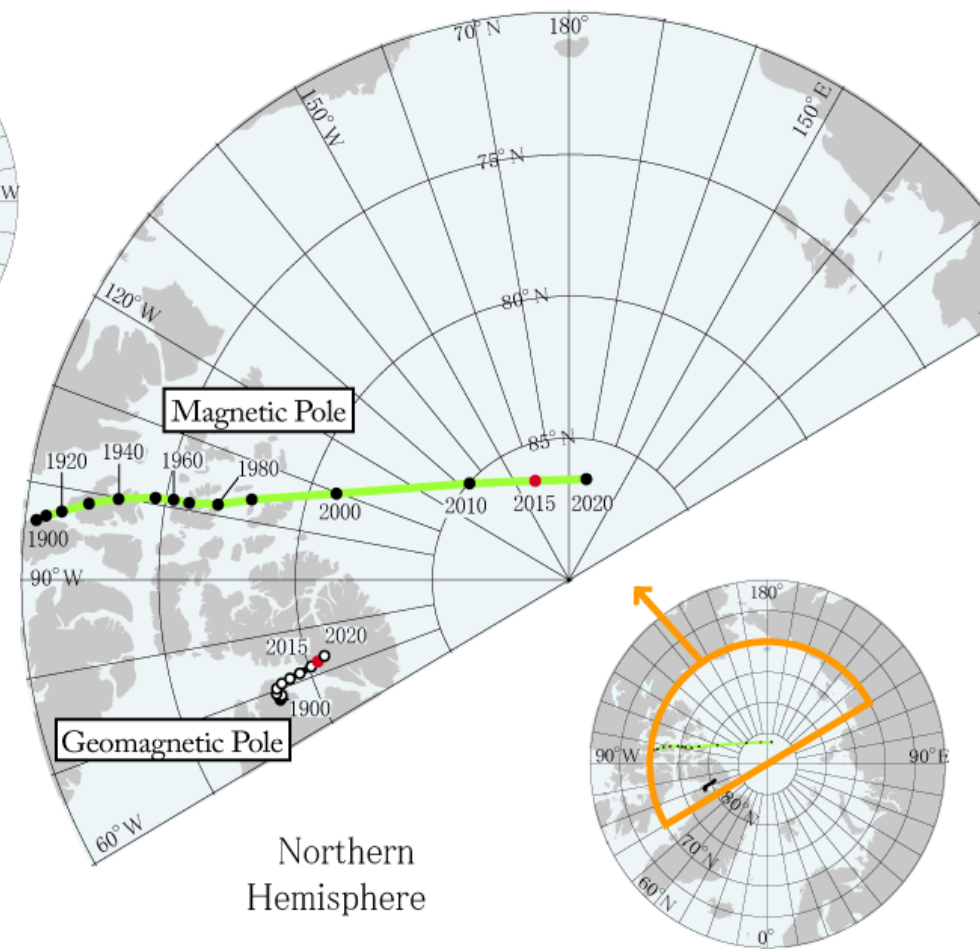
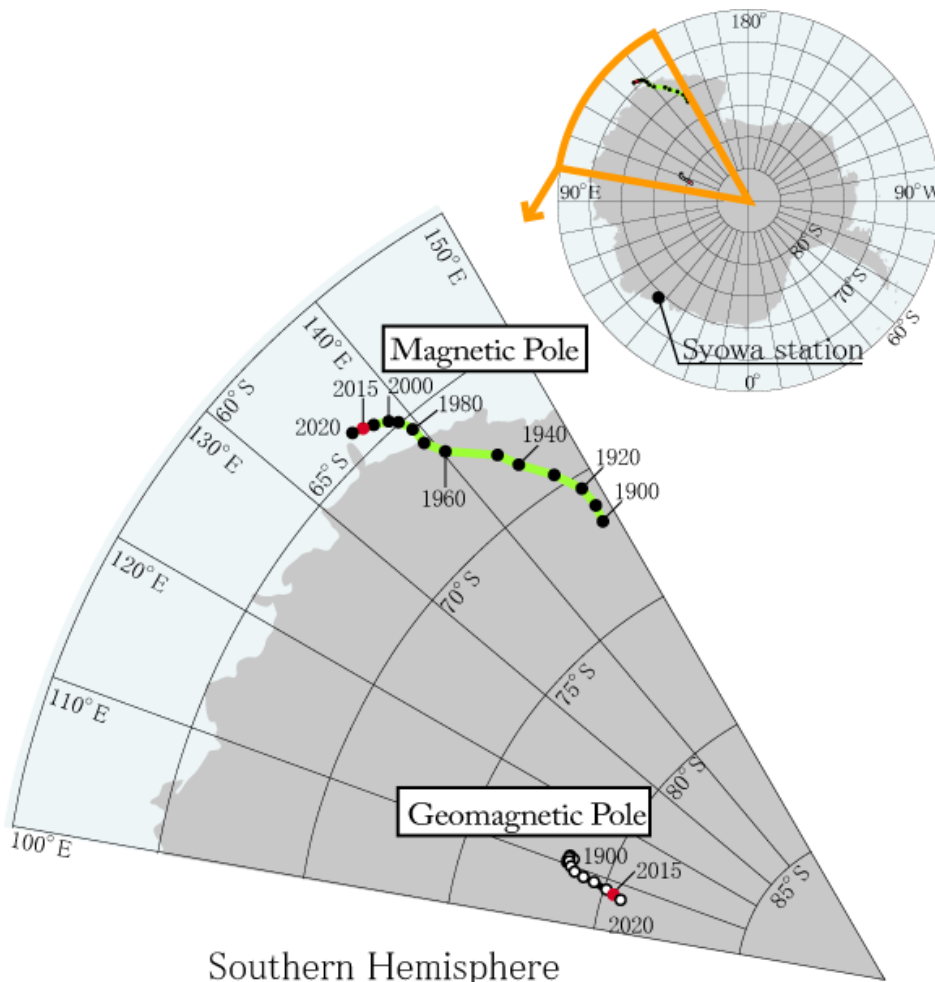
Χαρακτηριστικά του μαγνητικού πεδίου της Γης

Διπολικό μέχρι
αποστάσεις 5-6 R_E

- Ο άξονας συμμετρίας σχηματίζει γωνία $11,5^\circ$ με τον άξονα περιστροφής
- Ο βόρειος μαγνητικός πόλος στην Ανταρκτική και ο νότιος μαγνητικός πόλος βόρεια της Γροιλανδίας σταδιακά μετακινούνται

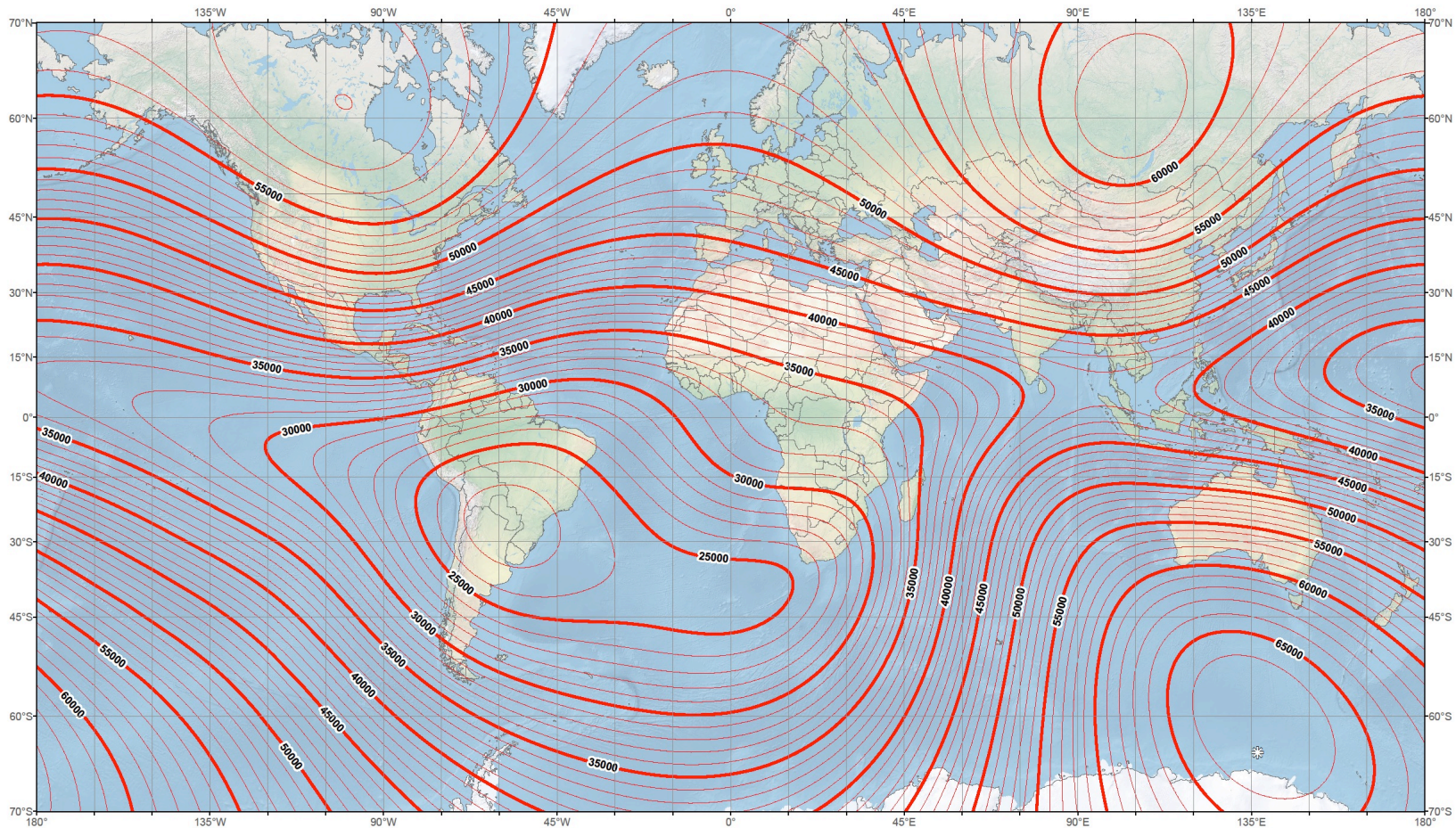


Συνεχώς μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο



Η ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0 Main Field Total Intensity (F)



Main Field Total Intensity (F)
Contour interval: 1000 nT.
Mercator Projection.
☉: Position of dip poles

Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>
Map reviewed by NGA and BGS
Published December 2014

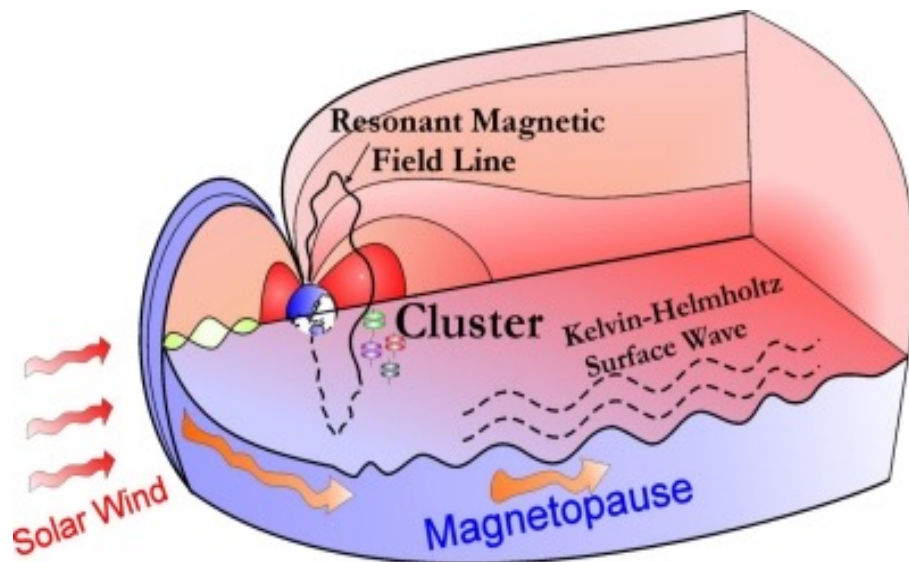
... σε αριθμούς

- κοντά στους μαγνητικούς πόλους $\sim 60,000$ nTesla
- κοντά στον μαγνητικό ισημερινό $\sim 30,000$ nTesla

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου από ένα διακοσμητικό μαγνητάκι ψυγείου είναι 10 mTesla (**10,000,000 nTesla - δηλ. 1,000 φορές ισχυρότερο**)

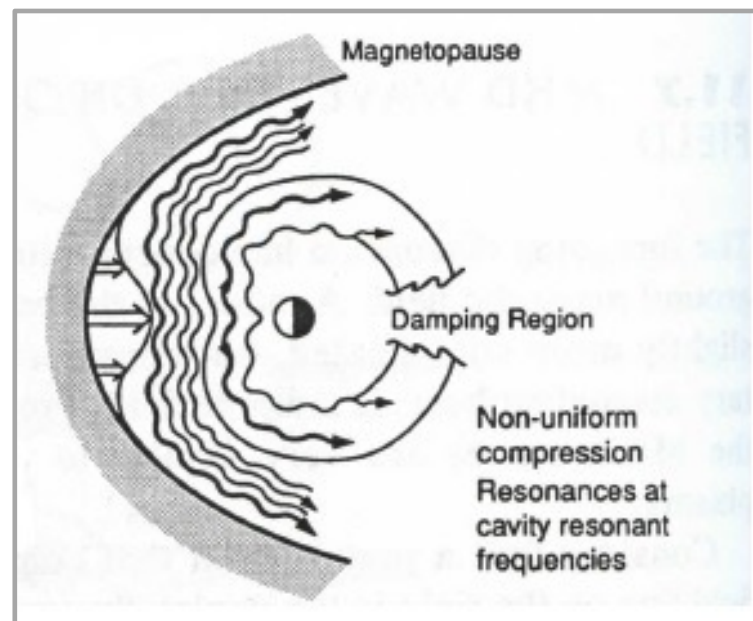
Η επίδραση του ηλιακού ανέμου (I)

Επιφανειακά κύματα αναπτύσσονται στη μαγνητόπαυση όταν η διαφορά ταχύτητας μεταξύ του ηλιακού ανέμου και του πλάσματος στη μαγνητοθήκη γίνει μεγαλύτερη από μία κρίσιμη τιμή (Kelvin-Helmholtz instability)

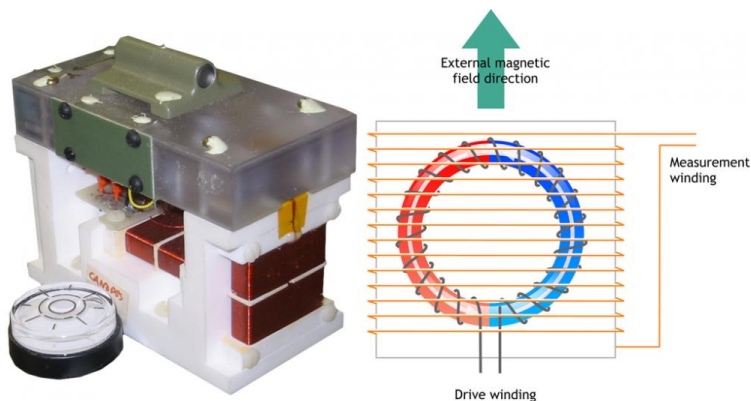


Η επίδραση του ηλιακού ανέμου (II)

Κύματα αναπτύσσονται επίσης ως αποτέλεσμα απότομης μεταβολής της δυναμικής πίεσης του ηλιακού ανέμου που προσκρούει στη μαγνητόπαυση. Η μαγνητοσφαιρική κοιλότητα αρχίζει να ταλαντώνεται σε χαρακτηριστικές συχνότητες.



Μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου της Γης

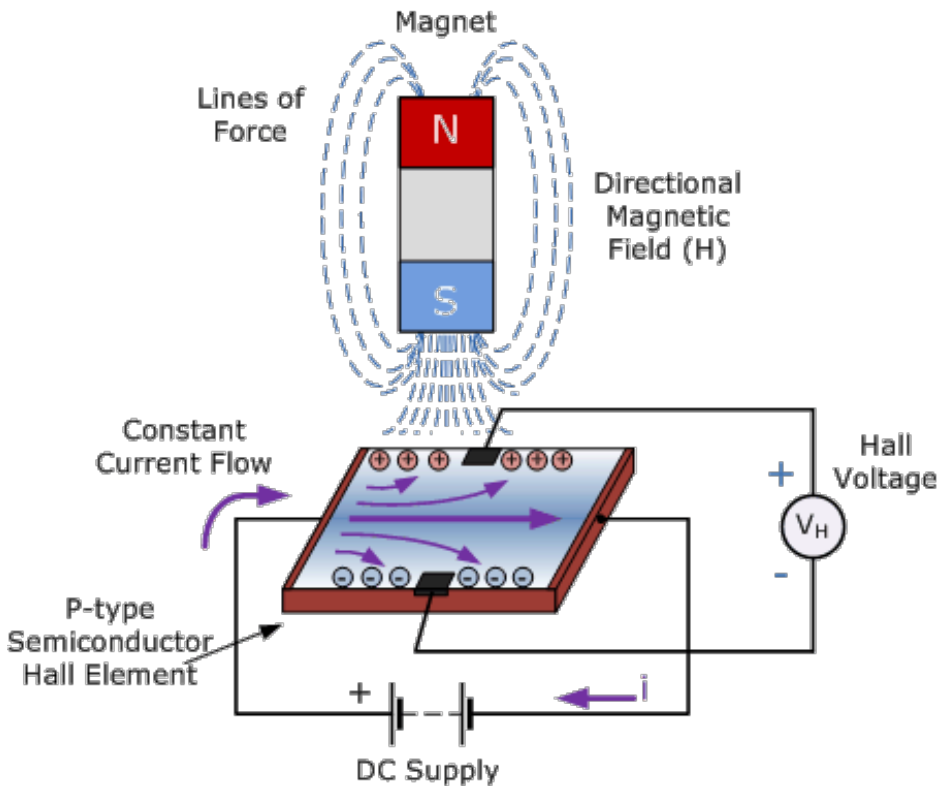


Μαγνητόμετρο τύπου fluxgate



Εκτεταμένο δίκτυο επίγειων μαγνητικών σταθμών

Hall Effect Magnetometers



- We generate a constant current through the semiconductor
- The presence of the perpendicular magnetic field creates a Lorentz force that diverts positive (negative) charges to the left (right)
- This produces a voltage that is then measured (Hall Voltage)
- From this, the magnetic field strength is derived

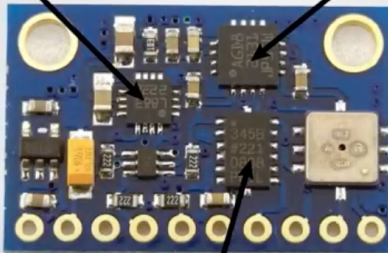
Hall Effect Magnetometers

MEMS Accelerometer, Gyroscope, Magnetometer

tutorial by www.HowToMechatronics.com

MC5883L
Magnetometer

L3G4200D
Gyroscope

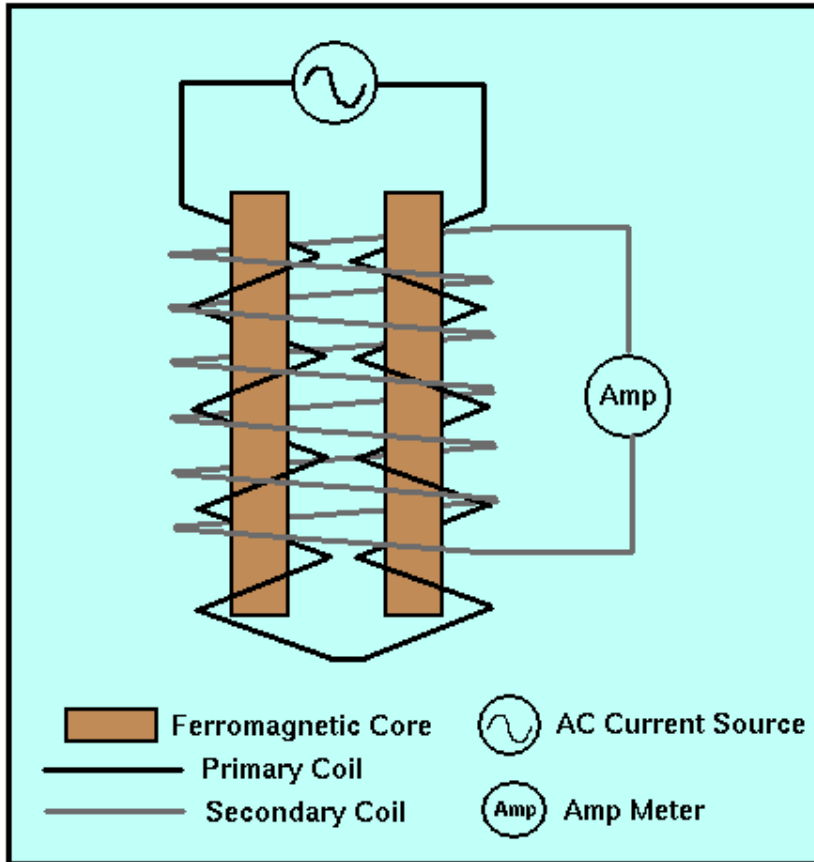


ADXL345
Accelerometer

- Smartphone magnetometers are typically Hall Effect Magnetometers
- Three semiconductors are positioned along perpendicular directions to produce estimates of the three components of the magnetic field.

Use your mobile phone as a Lab: <https://phyphox.org/>

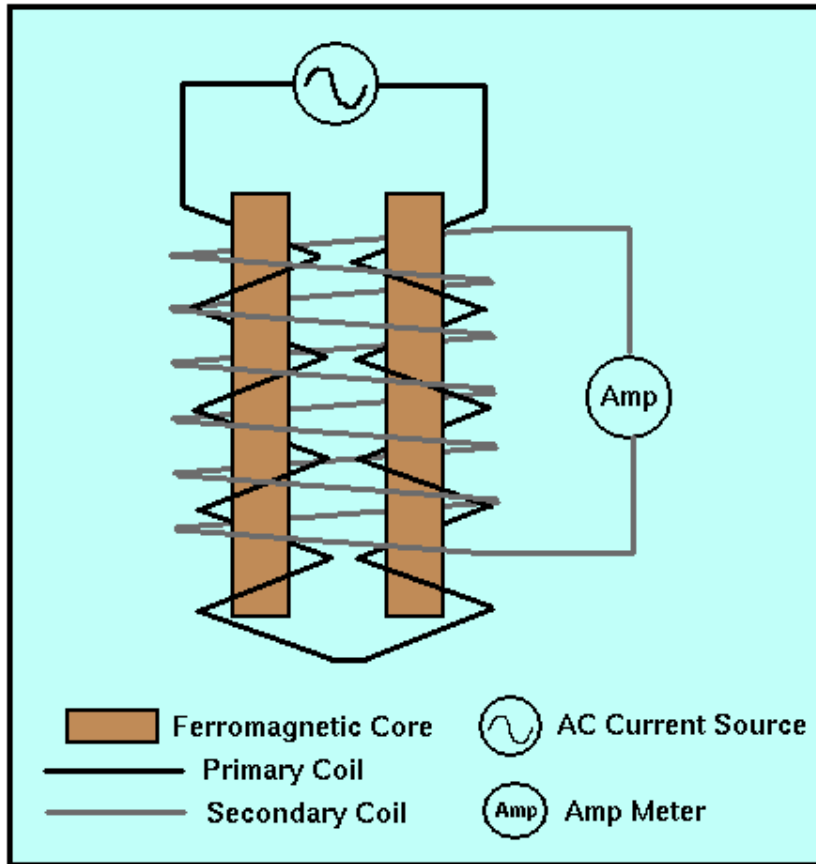
Flux Gate Magnetometers



Two parallel bars of a ferromagnetic material are placed closely together. The susceptibility of the two bars is large enough so that even the Earth's relatively weak magnetic field can produce near magnetic saturation in the bars.

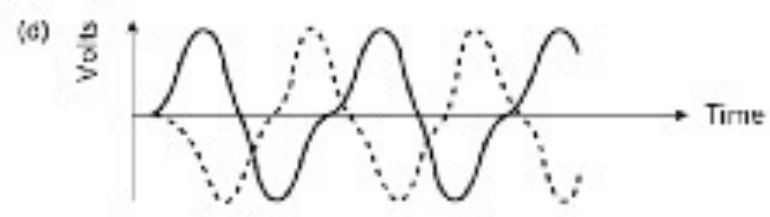
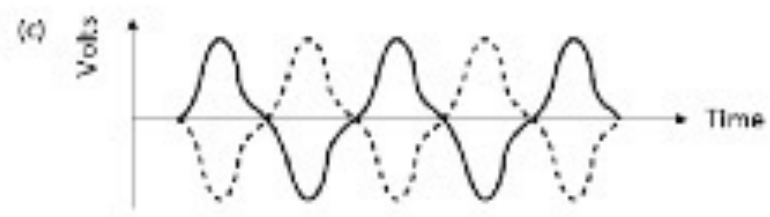
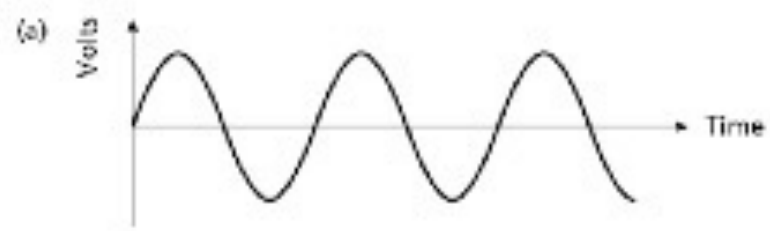
Each bar is wound with a primary coil, but the direction in which the coil is wrapped around the bars is reversed. An alternating current (AC) is passed through the primary coils causing a large, artificial, and varying magnetic field in each coil. This produces induced magnetic fields in the two cores that have the same strengths but opposite orientations, at any given time during the current cycle.

Flux Gate Magnetometers



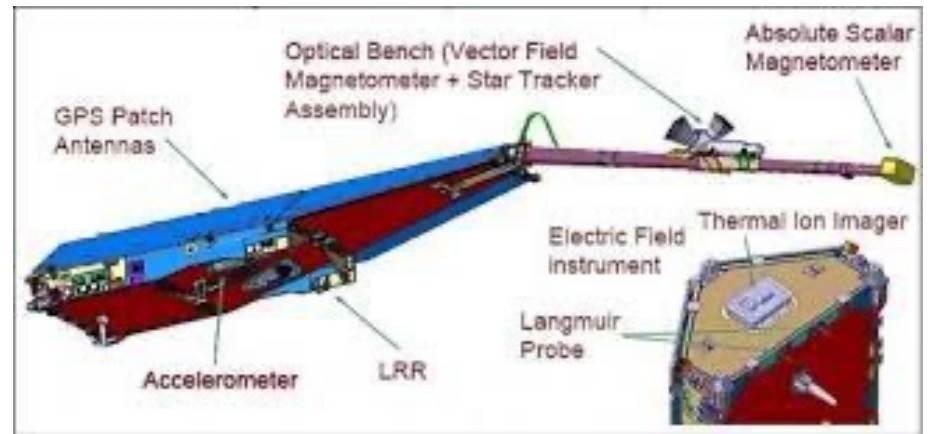
If the cores are in an external magnetic field, one component of the external field will be parallel to the core axes. As the current in the primary coil increases, the magnetic field in one core will be parallel to the external field and so reinforced by it. The other will be in opposition to the external field and so smaller.

The field will reach saturation in one core at a time different from the other core (and fall below saturation, as the current decreases, at a different time). This difference is sufficient to induce a measurable voltage in a secondary coil that is proportional to the strength of the magnetic field in the direction of the cores.



Satellite Magnetometry

ESA's Swarm Mission



Magnetic instruments must be kept away from all other electronics onboard to avoid measuring “stray fields”!

Μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου της Γης

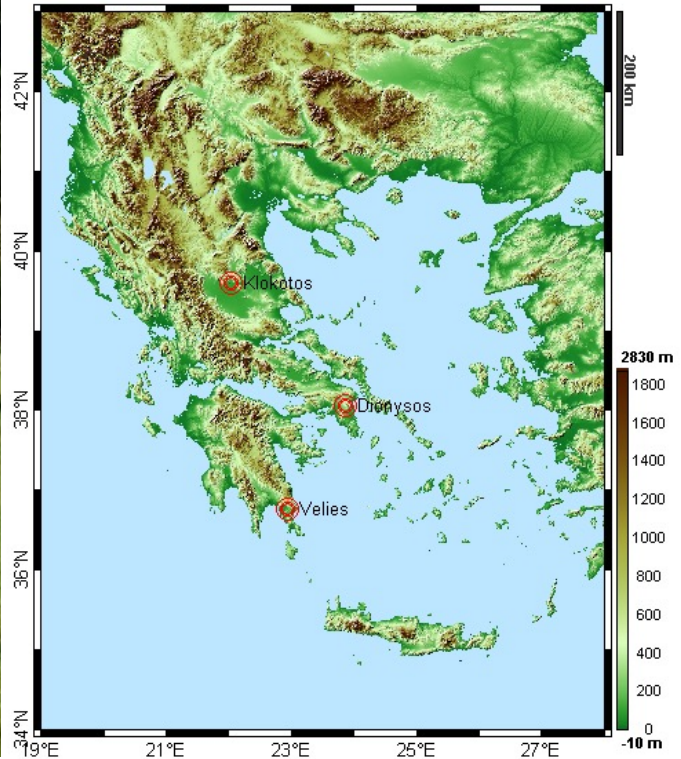


IAASARS

HellENic GeoMagnetic Array

ENIGMA

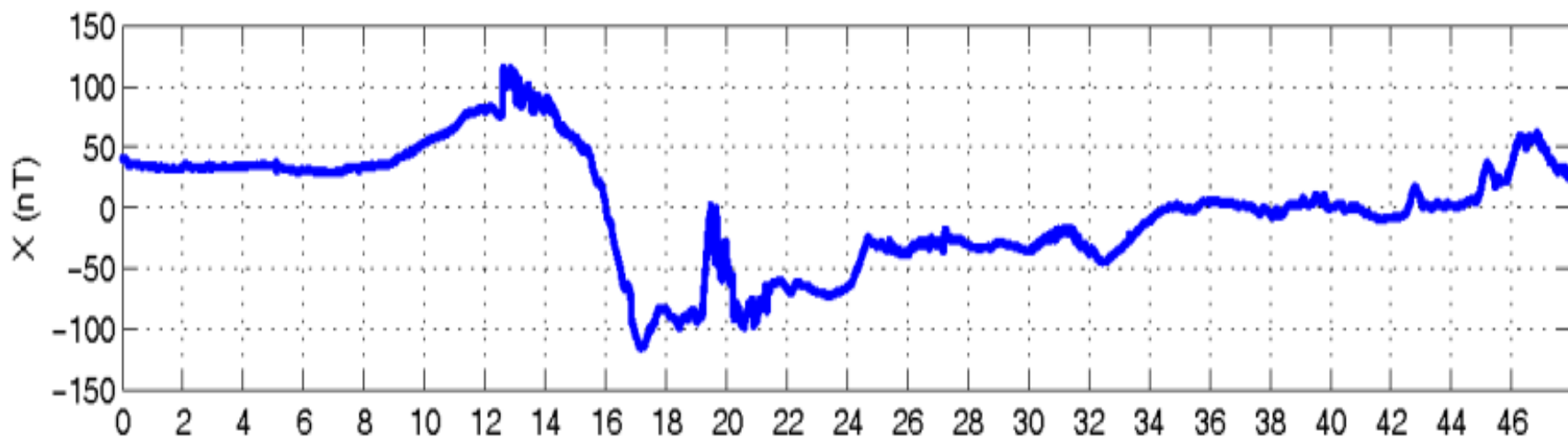
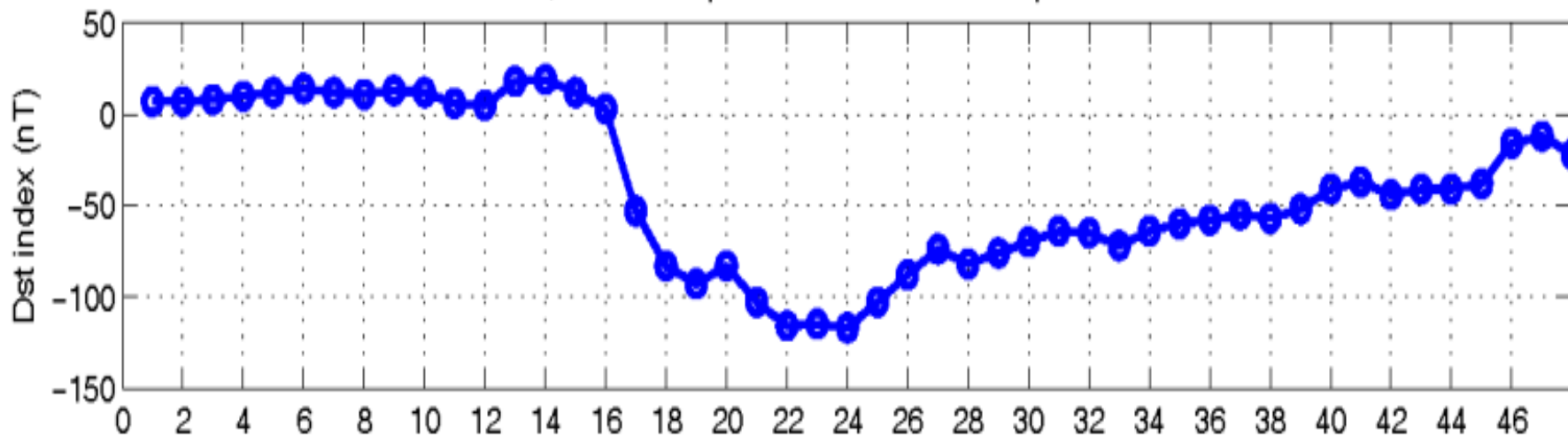
Space Research & Technology
Group

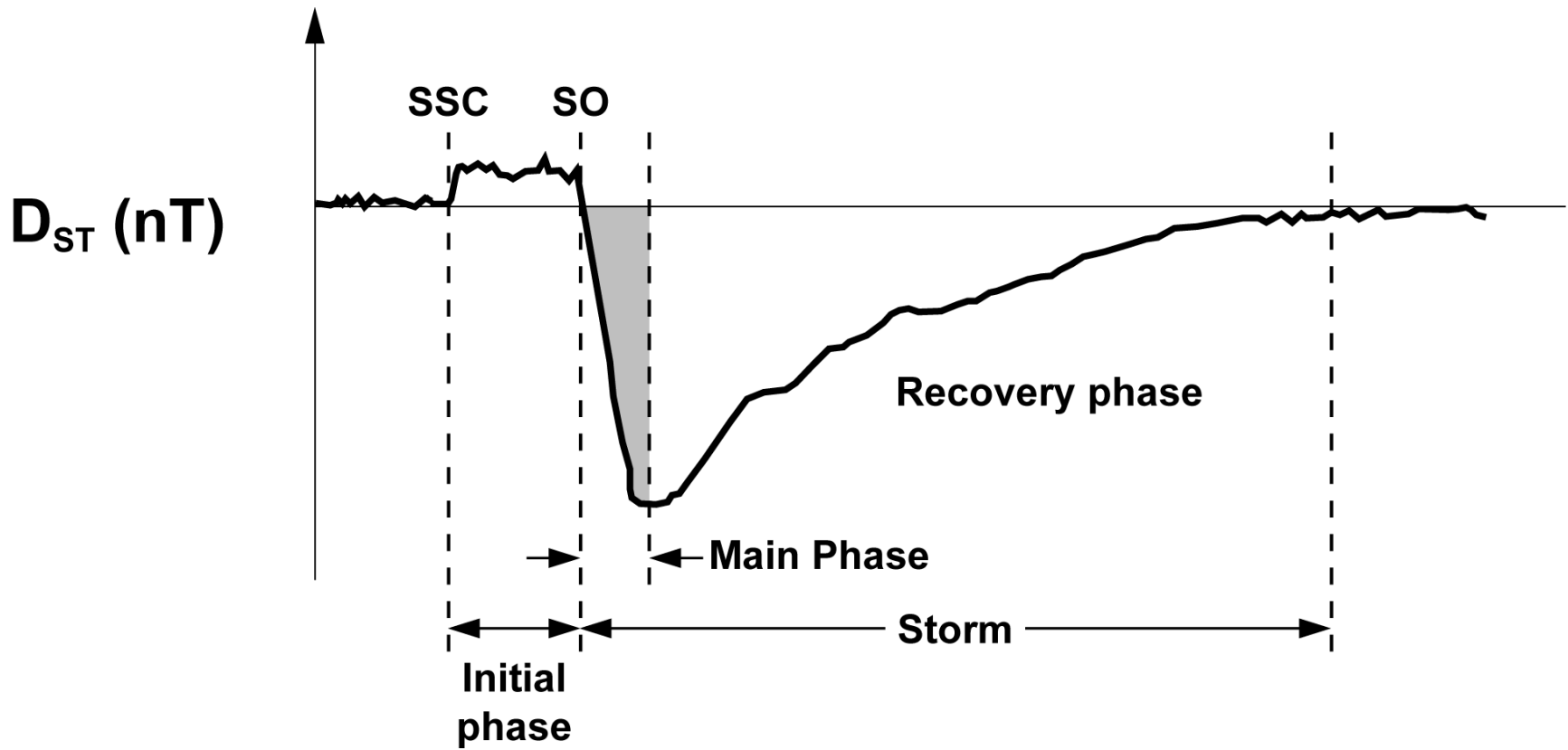


- Για περισσότερες πληροφορίες
<http://enigma.space.noa.gr/>

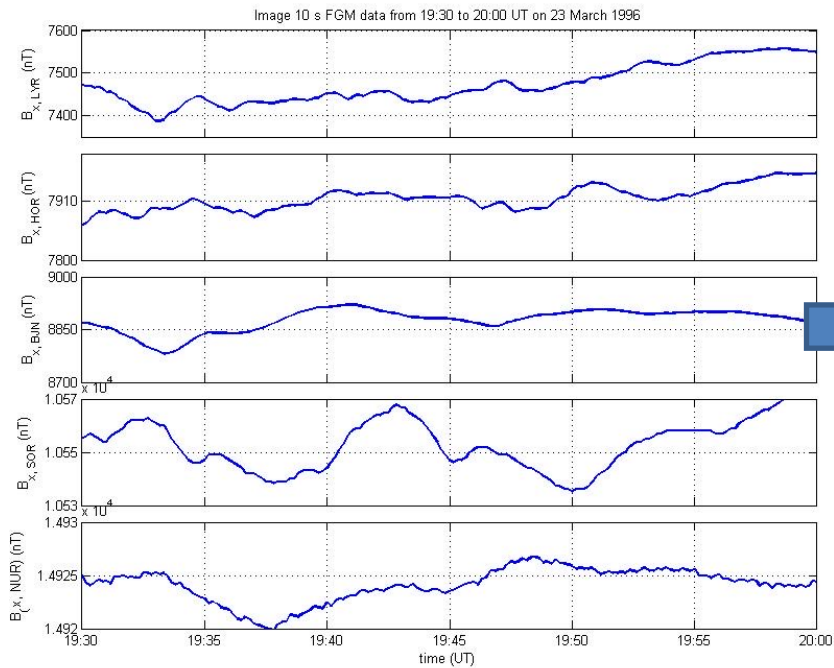
Γεωμαγνητικές καταιγίδες

VELIES, from 26-Sep-2011 00:00:00 to 27-Sep-2011 23:59:59

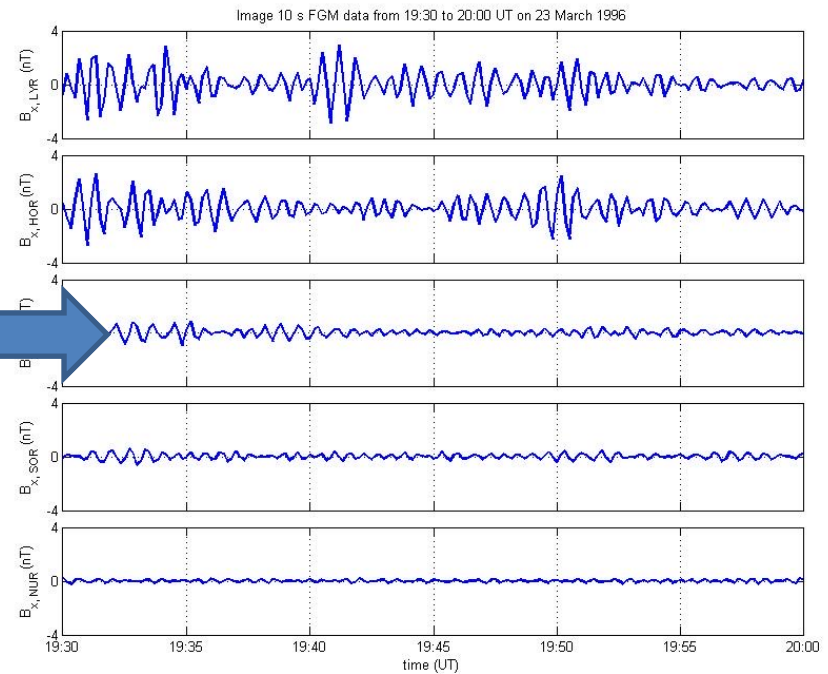




Μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου



Raw magnetometer data from 5 magnetic stations



Filtered data in the frequency range between 20 and 35 mHz (or 0,5 to 10 min)

Είδη κυμάτων πολύ χαμηλής συχνότητας

| Irregular pulsations | | |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| Κατηγορία | Κάτω όριο συχνότητας | Άνω όριο συχνότητας |
| Pi2 | 2 mHz | 25 mHz |
| Pi1 | 0.025 Hz | 1 Hz |

| Continuous pulsations | | |
|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Κατηγορία | Κάτω όριο συχνότητας | Άνω όριο συχνότητας |
| Pc5 | 2 mHz | 7 mHz |
| Pc4 | 7 mHz | 22 mHz |
| Pc3 | 22 mHz | 100 mHz |
| Pc2 | 0.1 Hz | 0.2 Hz |
| Pc1 | 0.2 Hz | 0.5 Hz |

Από 1 mHz μέχρι 1 Hz:

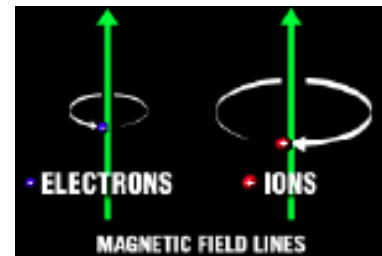
Από τη χαμηλότερη συχνότητα που υποστηρίζει η μαγνητοσφαιρική κοιλότητα μέχρι τη συχνότητα περιστροφής των διαφόρων φορτισμένων σωματιδίων γύρω από τις δυναμικές γραμμές του πεδίου (γυροσυχνότητα)

Αλληλεπίδραση σωματιδίων-κυμάτων

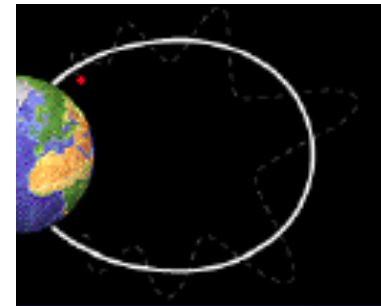
Περίοδος κυμάτων από 0.2 s μέχρι 10 min

| Continuous pulsations | | |
|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Κατηγορία | Κάτω όριο περιόδου | Άνω όριο περιόδου |
| Pc5 | 150 s | 600 s |
| Pc4 | 45 s | 150 s |
| Pc3 | 10 s | 45 s |
| Pc2 | 5 s | 10 s |
| Pc1 | 0.2 s | 5 s |

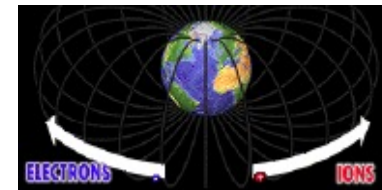
Χαρακτηριστικές κινήσεις e-



~ 0.001 s

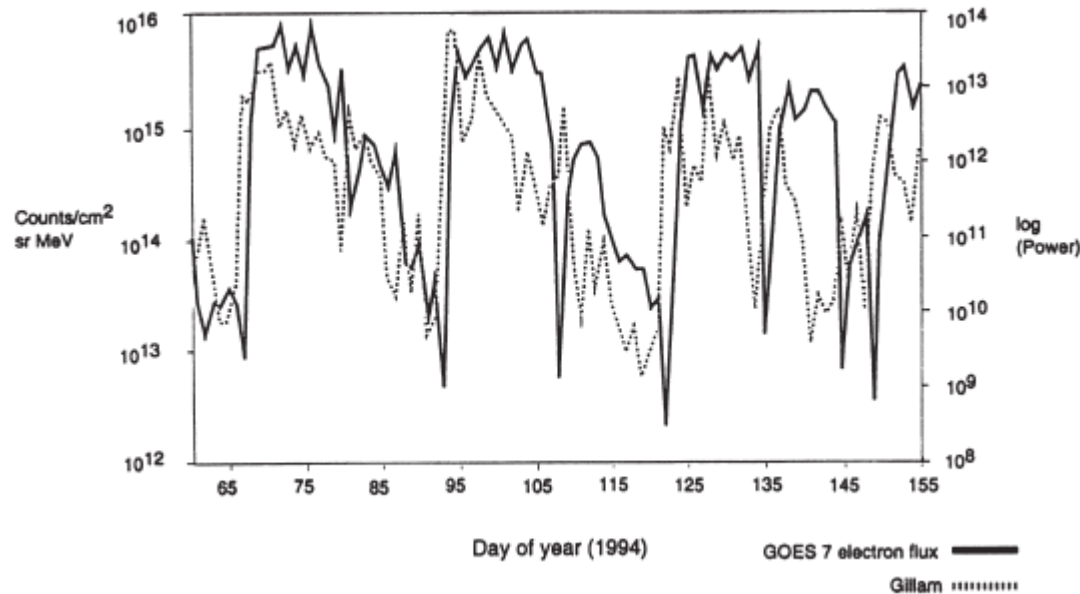


~ 0.1 s



~10 min

Αλληλεπίδραση σωματιδίων-κυμάτων



Πέρα από τη θεωρία:

Μετρήσεις σχετικιστικών ηλεκτρονίων από τους πρώτους δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη Γη και του γήινου μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια του πλανήτη έδειξαν τη στενή σχέση της ροής σχετικιστικών ηλεκτρονίων στην εξωτερική ζώνη ακτινοβολίας και της ισχύς των κυμάτων χαμηλής συχνότητας.