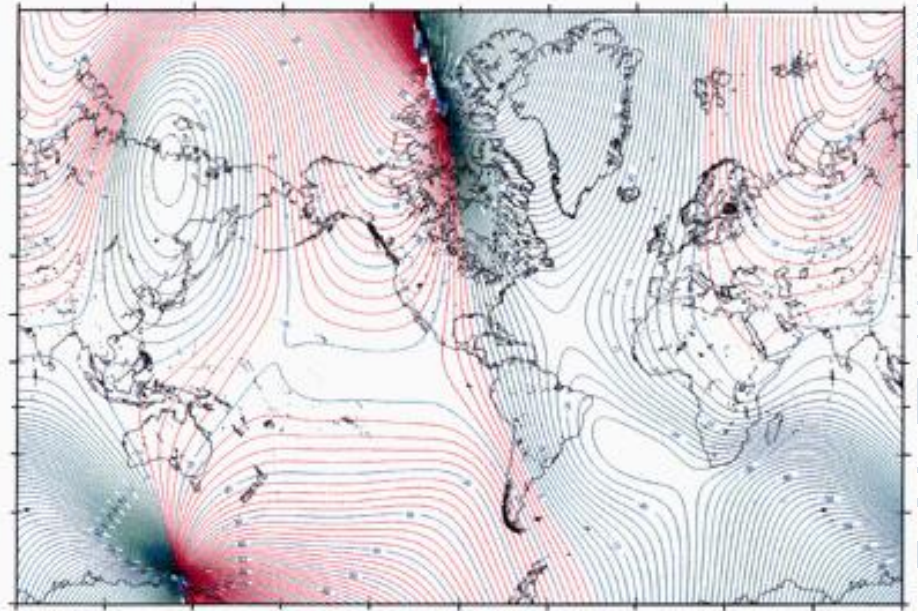


# ΜΑΘΗΜΑ 6

Βαρυτικές και Μαγνητικές

Μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης



**ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ – ΝΟΜΟΣ COULOMB-ΜΕΓΕΘΗ- ΜΟΝΑΔΕΣ  
ΓΗΙΝΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ  
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΓΗΙΝΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ  
ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ  
ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ**

# ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Παλαιότερη μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης.

Στοχεύει στον εντοπισμό μεταλλευμάτων και πετρελαίου.

Βασίζεται στον εντοπισμό μεταβολών της μαγνήτισης των πετρωμάτων (κυρίως πυριγενών και κρυσταλλικών και όχι των επιφανειακών ιζηματογενών) με μετρήσεις μαγνητικών ανωμαλιών στη επιφάνεια της Γης.

- ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ: Γρήγορες και σχετικά εύκολες μέθοδοι χωρίς να χρειάζονται πολύπλοκες και χρονοβόρες διορθώσεις.
- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ: Όπως και στις βαρυτικές μεθόδους δεν έχουμε μοναδικότητα στην ερμηνεία.

- Πριν από 500 χρόνια και μετά από μακροχρόνια έρευνα ο **Williams Gilbert** κατάφερε να συλλάβει την έννοια του μαγνητικού πεδίου της γης, λέγοντας ότι η Γη είναι ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο πηγάζει στο κέντρο του άξονα της γης. Τη θεωρία του αυτή διατύπωσε στη διατριβή *De magnete*.
- Επιπλέον υποστήριξε ότι το πεδίο αυτό είναι ισοδύναμο με αυτό που θα προκαλούσε ραβδόμορφος μαγνήτης τοποθετημένος επάνω στον άξονα περιστροφής της Γης.



- Στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα ο Karl Frederick Gauss επιβεβαίωσε τις θεωρίες του Gilbert και έδειξε ότι το μαγνητικό της Γης προέρχεται από το εσωτερικό της και όχι από το διάστημα.
- Ο von Werde ανίχνευσε κοιτάσματα μετάλλων το 1843 μελετώντας ανώμαλες μεταβολές του γήινου πεδίου.
- Ο Thalen το 1879 δημοσίευσε την πρώτη γεωφυσική εργασία με τίτλο *The Examination of Iron Ore Deposits by Magnetic Measurements*.

# Νόμος του Coulomb

Ο Coulomb το 1785 απέδειξε ότι η ελκτική ή απωστική δύναμη μεταξύ δύο μαγνητικών πόλων είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης των πόλων.

$$F = \frac{1}{\mu\mu_0} \frac{P_1 P_2}{r^2}$$

όπου  $\mu$  ονομάζεται μαγνητική διαπερατότητα και εξαρτάται από το υλικό που υπάρχει μεταξύ των δύο σημειακών μαγνητικών ποσοτήτων  $P_1$  και  $P_2$  και  $r$  είναι η απόσταση των δύο αυτών ποσοτήτων.

Η σταθερή  $\mu_0$  έχει τιμή ίση με τη μονάδα στο ηλεκτρομαγνητικό σύστημα μονάδων (emu) και τιμή  $4\pi \cdot 10^{-7}$  V sec/Am στο SI

# Charles Augustin de Coulomb



The Granger Collection

## Ένταση του Μαγνητικού πεδίου

Λέγεται ένα διανυσματικό μέγεθος,  $H$ , που έχει τη διεύθυνση και φορά της μαγνητικής δύναμης που ασκείται πάνω σε θετική μαγνητική ποσότητα,  $P_2$ , η οποία βρίσκεται στο σημείο αυτό.

$$H = \frac{F}{P_2}$$

Εφ' όσον το πεδίο προκαλείται από την ποσότητα  $P_1$ , έχουμε

$$H = \frac{F}{P_2} = \frac{1}{\mu\mu_0} \frac{P_1}{r^2}$$

### Μονάδες έντασης

emu

Oe

SI

A/m =  $4\pi/1000$  Oe

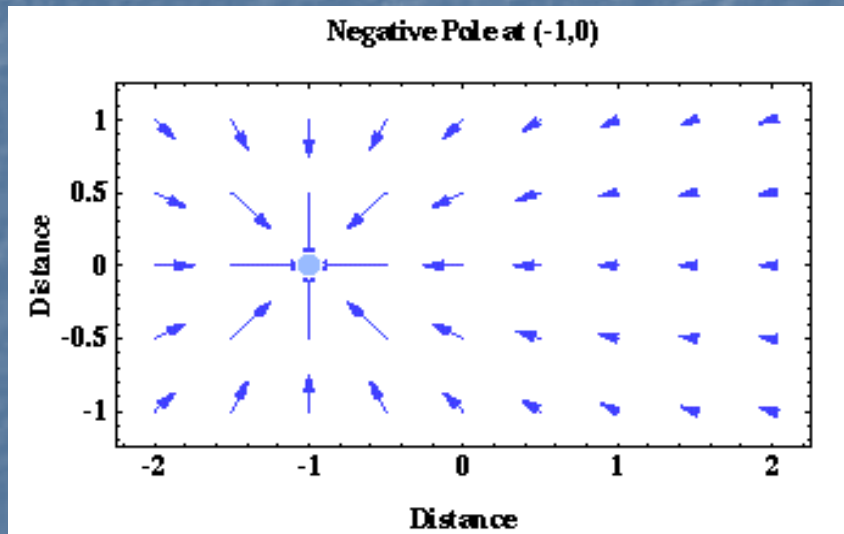
# Hans Christian Oersted

1777-1851



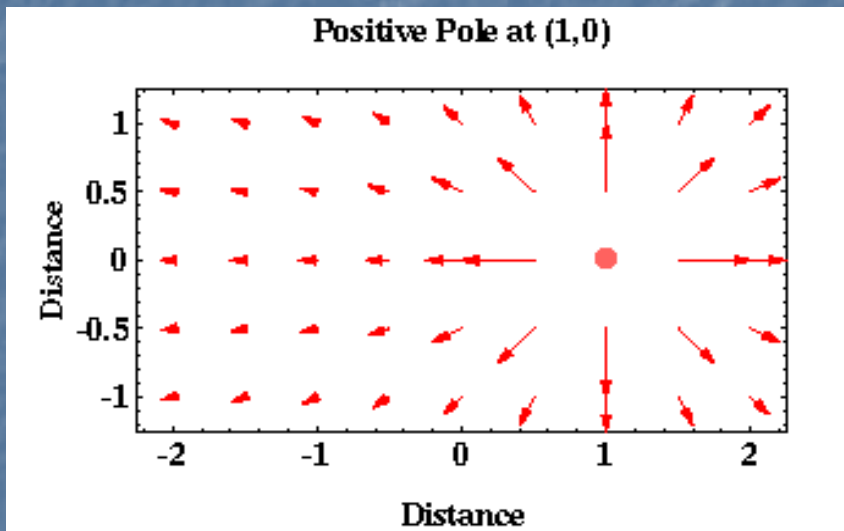


# Αρνητικός μαγνητικός πόλος



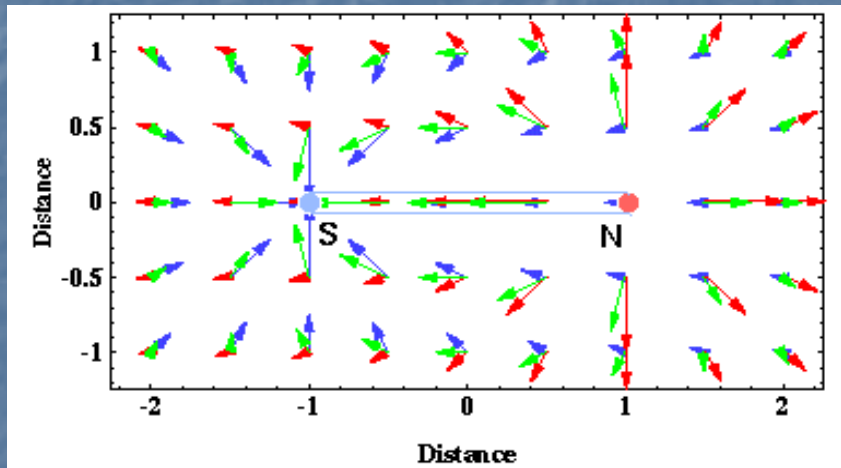
- Ο αρνητικός μαγνητικός πόλος βρίσκεται στην θέση  $(-1,0)$ .

# Θετικός μαγνητικός πόλος



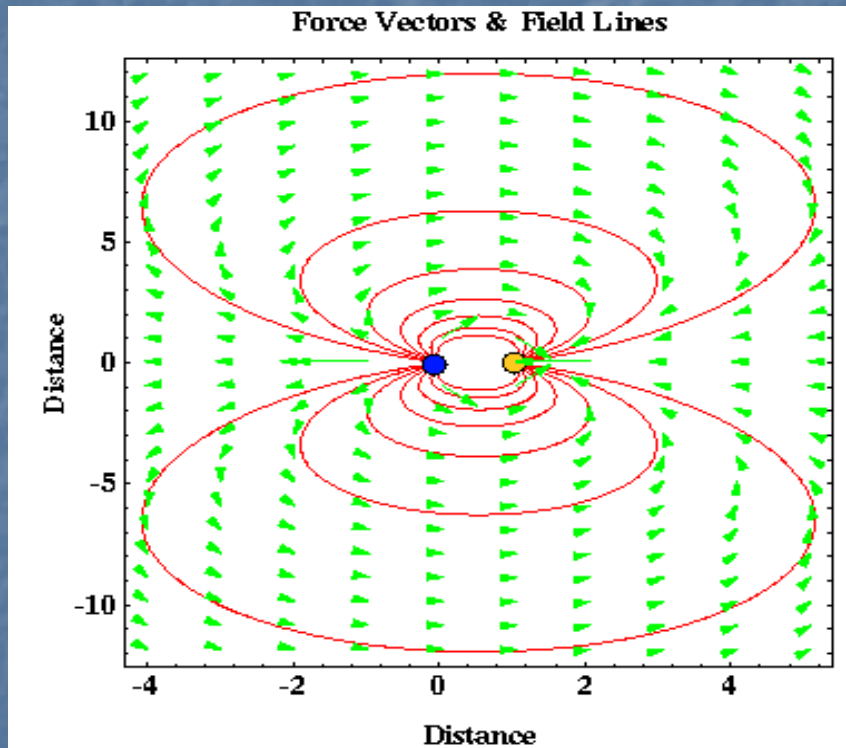
- Ο θετικός μαγνητικός πόλος βρίσκεται στην θέση (1,0).

# Μαγνητικά Δίπολα



- Μαγνητικό δίπολο ονομάζουμε την ύπαρξη ενός θετικού και ενός αρνητικού πόλου.
- Τα κόκκινα βελάκια εκφράζουν την επιρροή του θετικού πόλου.
- Τα μπλε βελάκια εκφράζουν την επιρροή του αρνητικού πόλου.
- Τα πράσινα βελάκια εκφράζουν την φορά των μαγνητικών γραμμών.

# Οι Μαγνητικές γραμμές σ' ένα Δίπολο



- Έχουμε δύο διαφορετικούς μαγνητισμένους πόλους.
- Οι κόκκινες γραμμές δεν τέμνονται μεταξύ τους.
- Τα πράσινα βελάκια εκφράζουν την φορά των μαγνητικών γραμμών.
- Η πυκνότητα των γραμμών είναι ενδεικτική της έντασης του πεδίου.

## Μαγνητική ροπή διπόλου

$$M^* = P \cdot l$$

Όπου  $P$  η μαγνητική ποσότητα κάθε πόλου και  $l$  η απόστασή τους. Είναι διανυσματικό μέγεθος που έχει τη διεύθυνση του  $l$ , φορά από τον αρνητικό προς τον θετικό πόλο και μέτρο το οποίο δίνεται από την παραπάνω σχέση.

Συνολική μαγνητική ροπή  $M^*$  ενός σώματος είναι το σύνολο των μαγνητικών ροπών των διπόλων από τα οποία υποθέτουμε ότι συνίσταται. Ονομάζουμε μαγνήτιση την ποσότητα

$$J = \frac{M^*}{V}$$

όπου  $V$  είναι όγκος του σώματος.

Η μαγνήτιση έχει τις ίδιες μονάδες με την ένταση.

Η μαγνήτιση που αποκτάει ένα μαγνητικό σώμα όταν τοποθετείται σε μαγνητικό πεδίο που δεν είναι πολύ ισχυρό συνδέεται με την ένταση του μαγνητικού πεδίου με τη σχέση

$$\vec{J} = \kappa \vec{H}$$

όπου  $\kappa$  η μαγνητική επιδεκτικότητα.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι καθαρός αριθμός και εξαρτάται από το υλικό του μαγνητικού σώματος. Ακόμη συνδέεται με την μαγνητική διαπερατότητα με την σχέση

$$\mu = 1 + 4\pi\kappa$$

Θετικές τιμές σημαίνουν ότι η μαγνήτιση,  $J$ , είναι ομόρροπη προς το πεδίο  $H$ .

Αρνητικές τιμές δείχνουν ότι αυτή είναι αντίρροπη προς το πεδίο  $H$ .

Όταν σώμα μαγνητικής επιδεκτικότητας  $\mu$  τοποθετηθεί μέσα σε πεδίο έντασης  $H$  τότε δημιουργείτε εξ επαγωγής πρόσθετο μαγνητικό πεδίο  $H'$

Το νέο πεδίο που αποτελεί σύνθεση των δύο χαρακτηρίζεται από ολική ένταση  $B$ .

Αυτή ονομάζεται μαγνητική επαγωγή και είναι  $\mu$  φορές μεγαλύτερη της έντασης αν δεν βάζαμε το σώμα στο χώρο, δηλαδή

$$B = \mu\mu_0 H$$

Μονάδες μαγνητικής επαγωγής

emu

gauss (G)

SI

tesla (T)

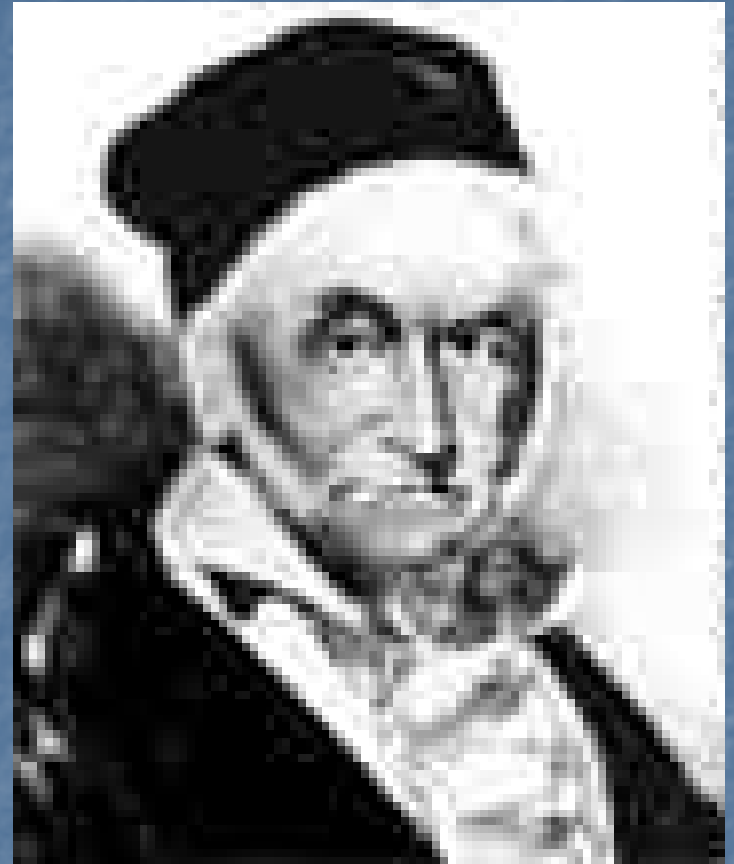
$$1\text{T} = 10^4 \text{ gauss (G)}$$

$$1\gamma = 1\text{nT} = 10^{-5} \text{ gauss (G)}$$



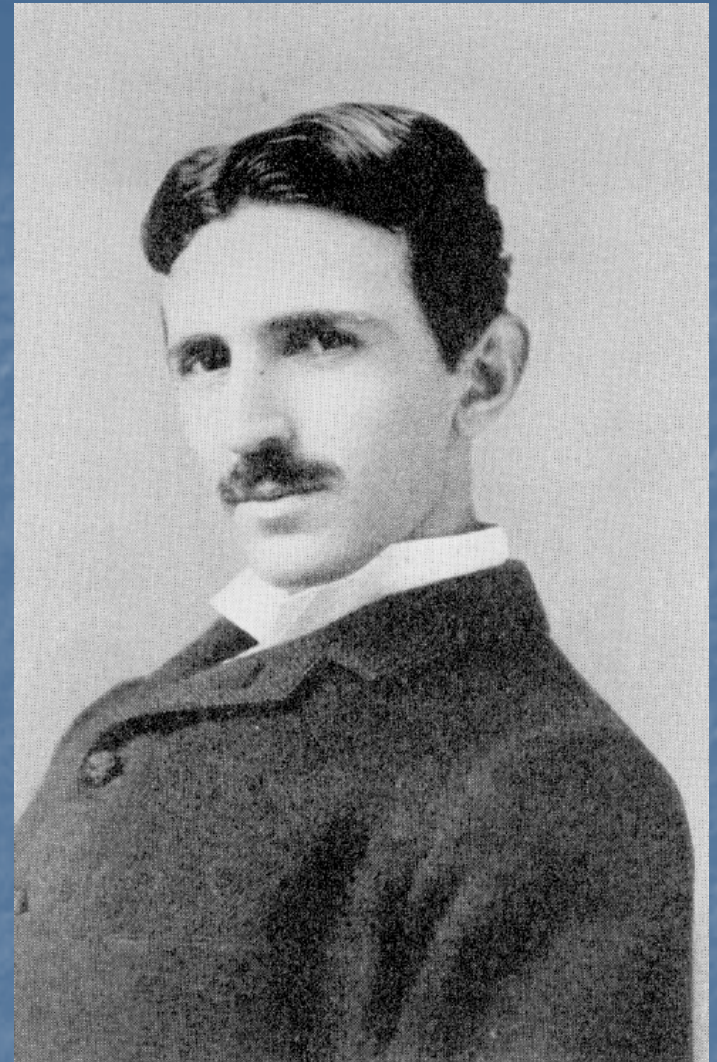
# Johann Carl Friedrich Gauss

**Born: 30 April 1777 in  
Brunswick, Germany  
Died: 23 Feb 1855 in  
Göttingen, Hanover  
Germany**

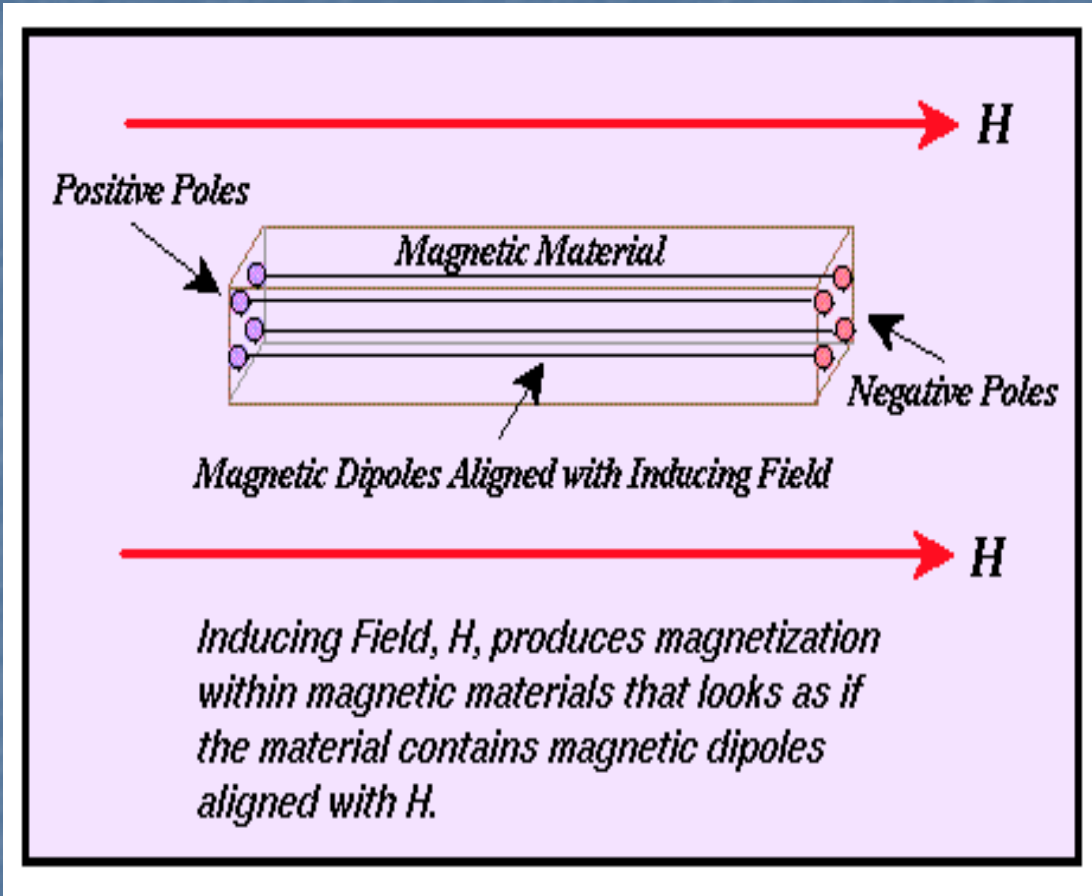


# Nikola Tesla

- Serbian-American electrical engineer
- Born on July 9/10, 1856 in Smiljan, Lika (Austria-Hungary)
- Died on January 7, 1943 in New York City, New York (USA)



# Μαγνητική επαγωγή



Όταν ένα μαγνητικό υλικό (σίδηρος) τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο  $H$ , το μαγνητικό υλικό θα παράγει το δικό του μαγνητισμό.

- Το δυναμικό,  $W$ , ορίζεται

$$W = \int_r^{\infty} \vec{H} \cdot d\vec{r}$$

Και από τις προηγούμενες σχέσεις

$$W = \frac{1}{\mu\mu_0} \frac{P}{r}$$

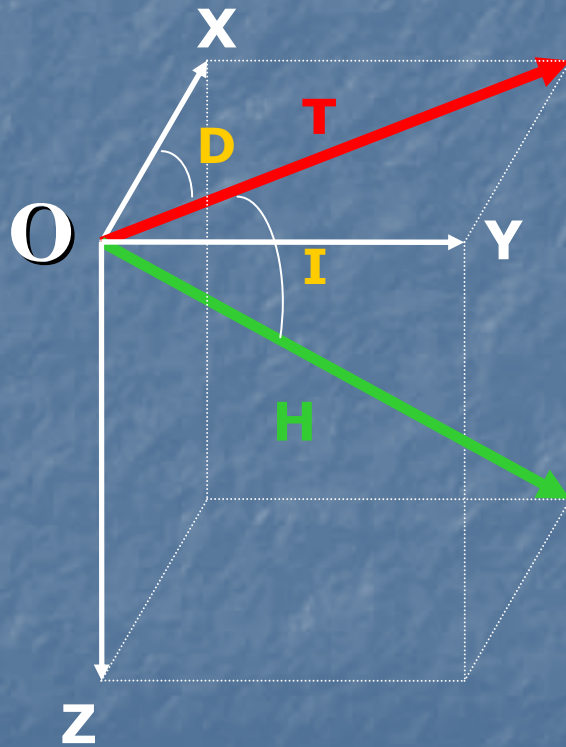
- Οι συνιστώσες της έντασης ως προς ορθογώνιο σύστημα αξόνων, δίνονται από τις σχέσεις

$$X = \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$Y = \frac{\partial w}{\partial y}$$

$$Z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

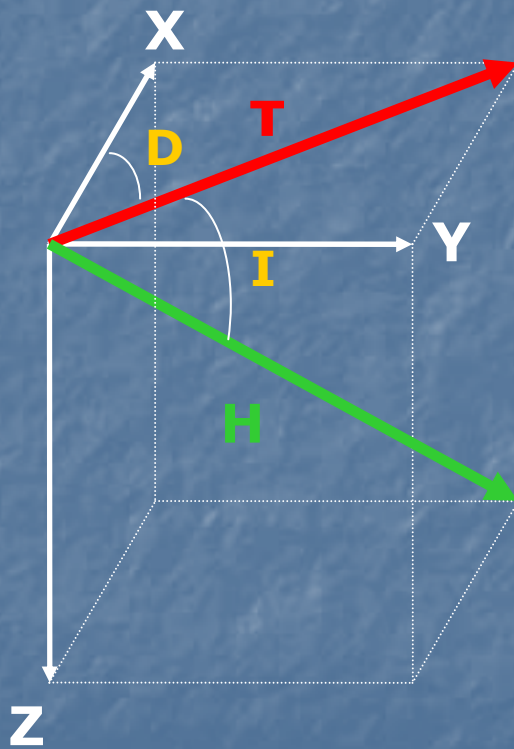
# ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ



- $X, Y, Z \rightarrow$  τρισσορθογώνιο σύστημα αναφοράς
- $HOZ \rightarrow$  μαγνητικός μεσημβρινός
- $XOZ \rightarrow$  γεωγραφικός μεσημβρινός
- Γωνιά  $D \rightarrow$  μαγνητική απόκλιση (ανατολική ή δυτική) **(γωνιά μεταξύ βορρά και οριζόντιας προβολής του  $H$ )**
- Γωνιά  $I \rightarrow$  μαγνητική έγκλιση (θετική ή αρνητική) **(γωνιά μεταξύ επιφάνειας γης και  $H$ )**

# ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ

- ΓΕΝΙΚΑ ΟΙ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ  $X, Y, Z, T, H, I, D$  λέγονται ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



$$\begin{aligned} H^2 &= T^2 + Z^2 \\ T^2 &= X^2 + Z^2 \end{aligned}$$



$$H^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

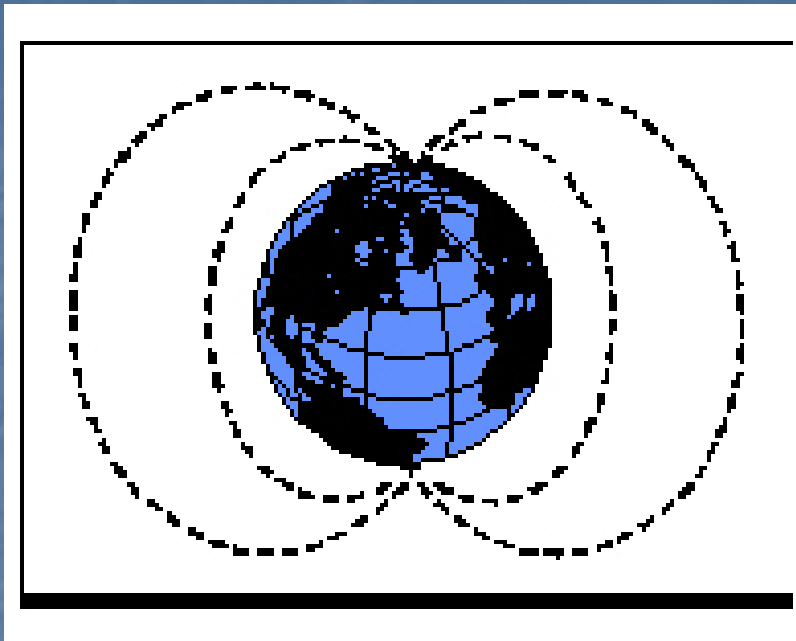
$$T = H \sigma \nu I$$

$$Z = H \eta \mu I$$

$$Z = T \varepsilon \phi I$$

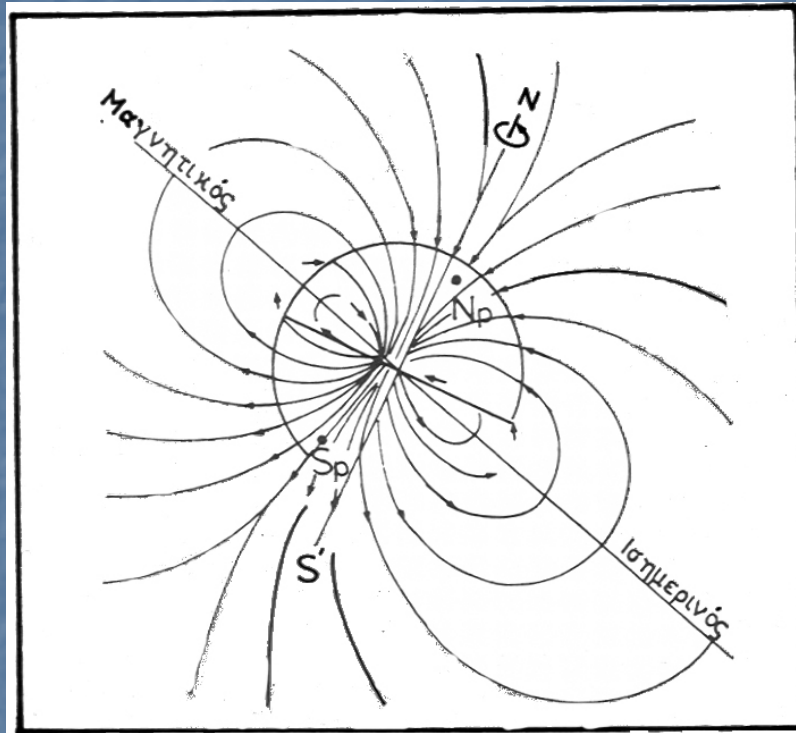
$$X = T \sigma \nu D$$

$$Y = T \eta \mu D$$



Οι μαγνητικοί πόλοι  
δεν ταυτίζονται με  
τους γεωγραφικούς  
πόλους.

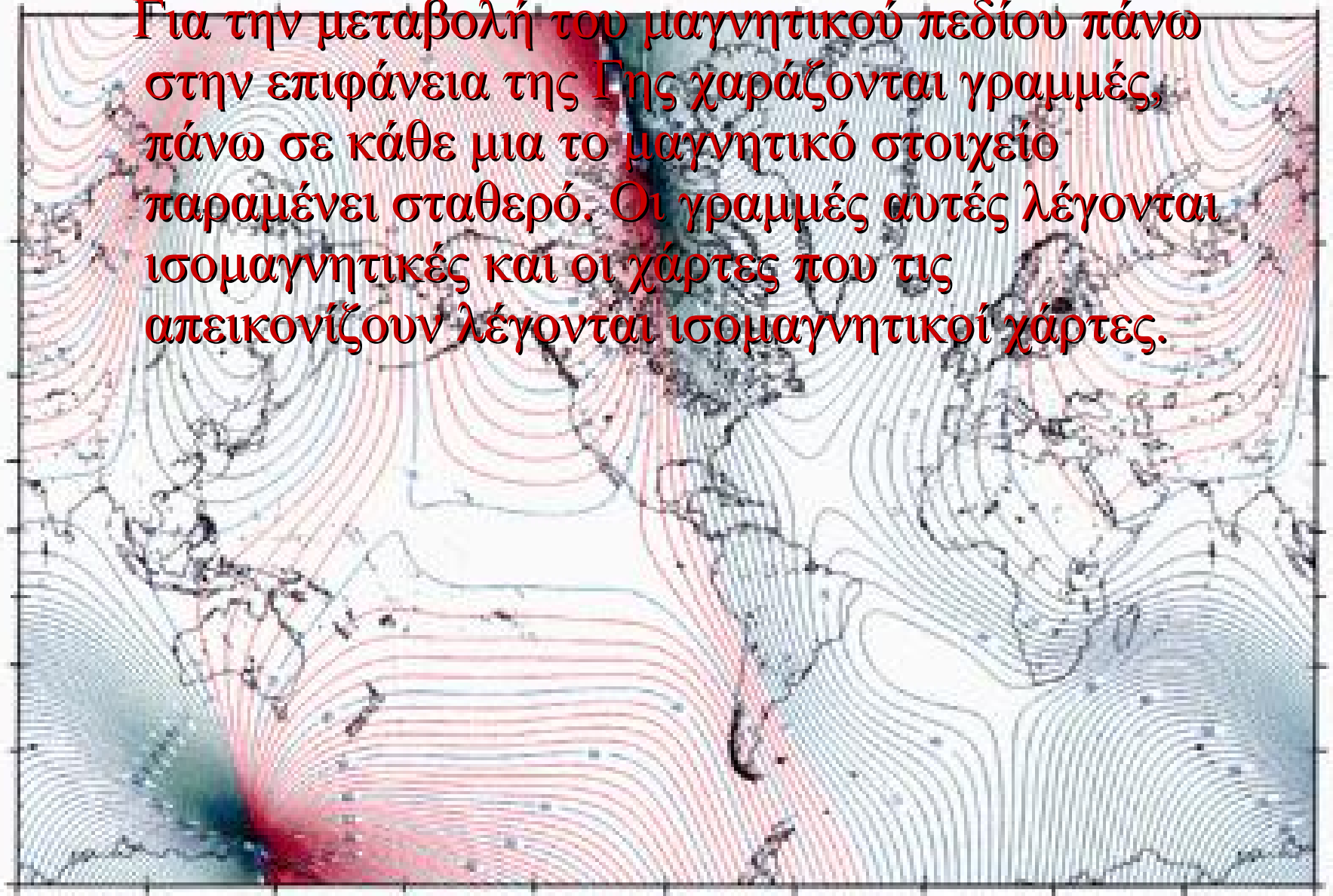
Οι επαγωγές που  
αναπτύσσονται στους  
μαγνητικούς πόλους  
είναι της τάξεως των  
 $60.000\text{nT}$ .



- Μαγνητικός ισημερινός:  
Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων στην επιφάνεια της Γης, με τιμή μαγνητικού πεδίου μηδέν Δεν επηρεάζεται από την περιστροφή της Γης.
- Μαγνητικοί πόλοι:  
Οι θέσεις στην επιφάνεια της Γης στις οποίες το μαγνητικό πεδίο έχει μαγνητική έγκλιση θετική ή αρνητική ίση με  $90^{\circ}$ . Οι θέσεις δεν ταυτίζονται με τον γεωγραφικό Βορρά και Νότο.



Για την μεταβολή του μαγνητικού πεδίου πάνω στην επιφάνεια της Γης χαράζονται γραμμές, πάνω σε κάθε μια το μαγνητικό στοιχείο παραμένει σταθερό. Οι γραμμές αυτές λέγονται ισομαγνητικές και οι χάρτες που τις απεικονίζουν λέγονται ισομαγνητικοί χάρτες.



# Μεταβολές του Μαγνητικού Πεδίου της Γης

## ΤΟΠΙΚΕΣ:

- ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ.
- ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΟΙ ΟΠΟΥ ΕΓΚΛΙΣΗ=90
- ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΙΣΗΜΕΡΙΝΟΣ ΟΠΟΥ ΕΓΚΛΙΣΗ=0
- ΙΣΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ (ΙΣΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ)

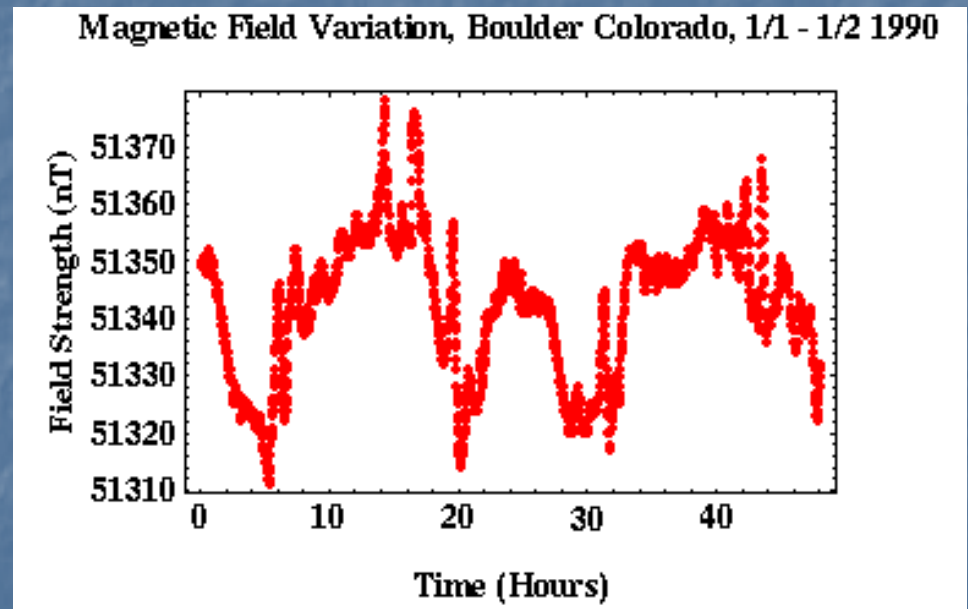
## ΧΡΟΝΙΚΕΣ:

- ΑΙΩΝΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ → αργές χρονικές μεταβολές
- ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ → γρήγορες χρον. μεταβολές

# ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

Οι μεταβολές αυτές δημιουργούνται από ηλεκτρικά ρεύματα στην ιονόσφαιρα λόγω ηλιακής δραστηριότητας. Κατά την ερμηνεία των μαγνητικών δεδομένων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

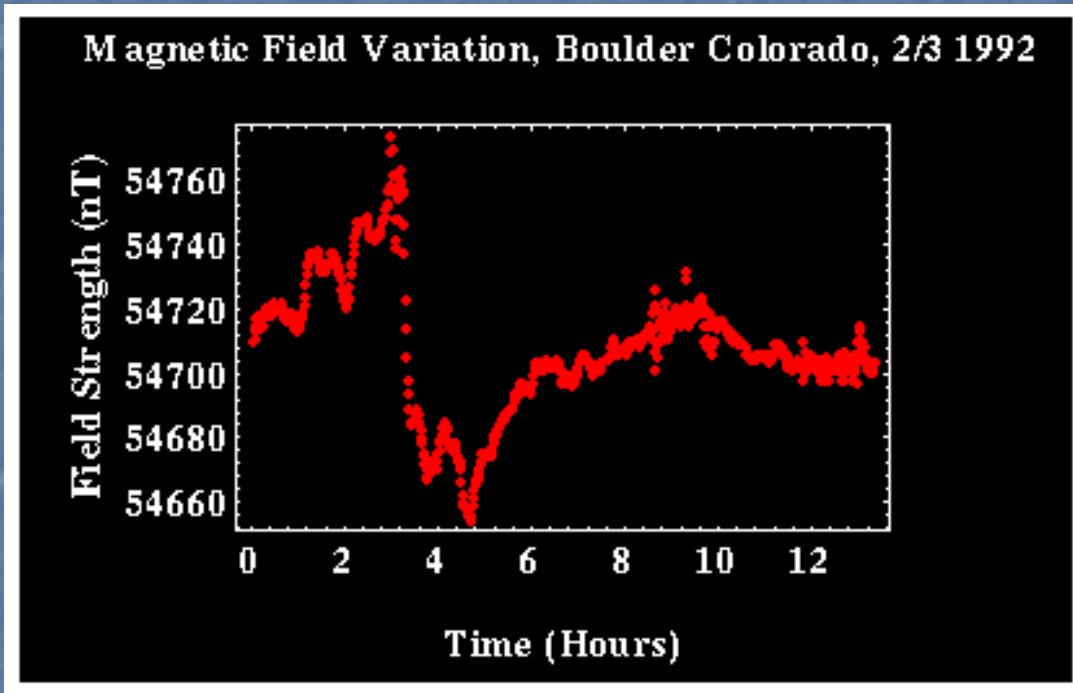
Στο διπλανό διάγραμμα φαίνονται οι μεταβολές των μαγνητικών δεδομένων σε μια σταθερή θέση σε χρονικό διάστημα 2 ημερών.



# ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ

- Ονομάζονται οι έντονες ημερήσιες μεταβολές του μαγνητικού πεδίου (έως και 1000nT).
- Δύσκολα διορθώνονται για αυτό και πρέπει να αποφεύγουμε μετρήσεις μαγνητικής διασκόπισης κατά τη διάρκεια αυτών των ημερών.

# ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ

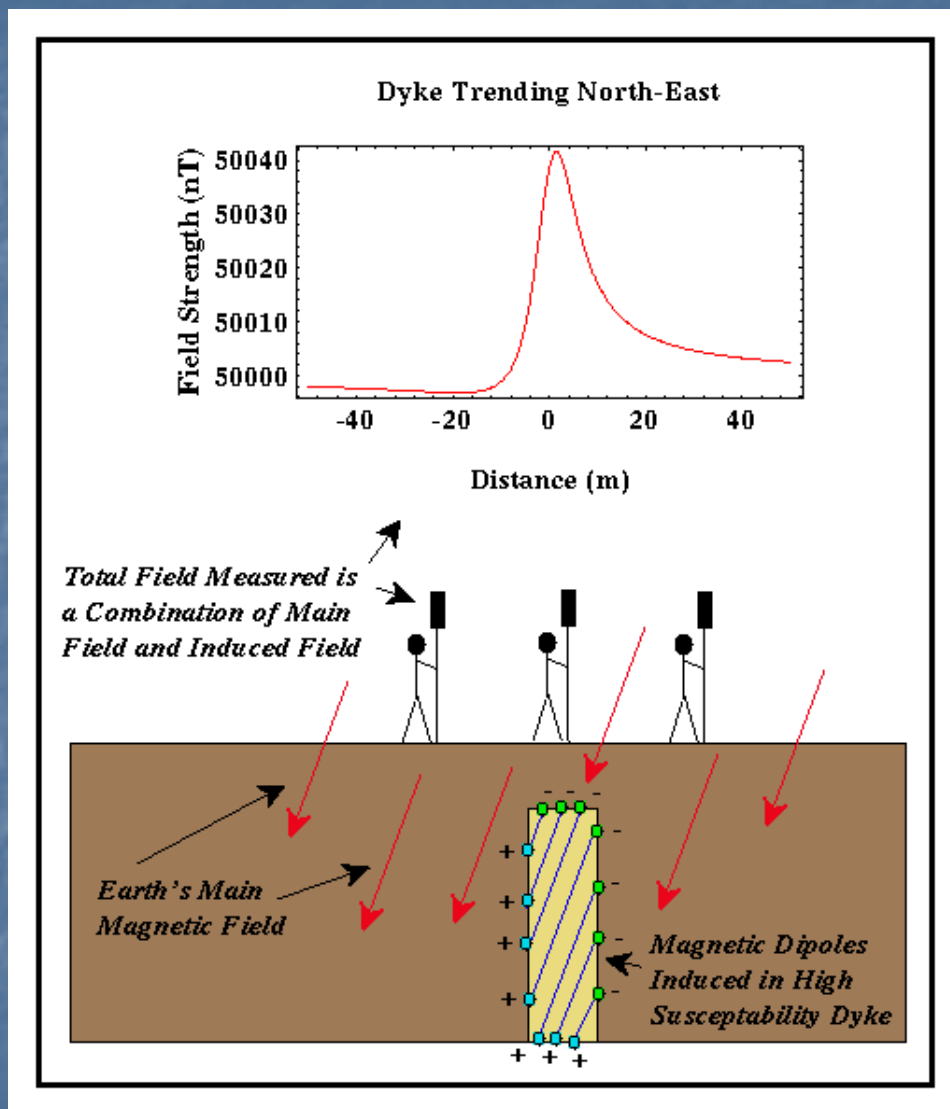


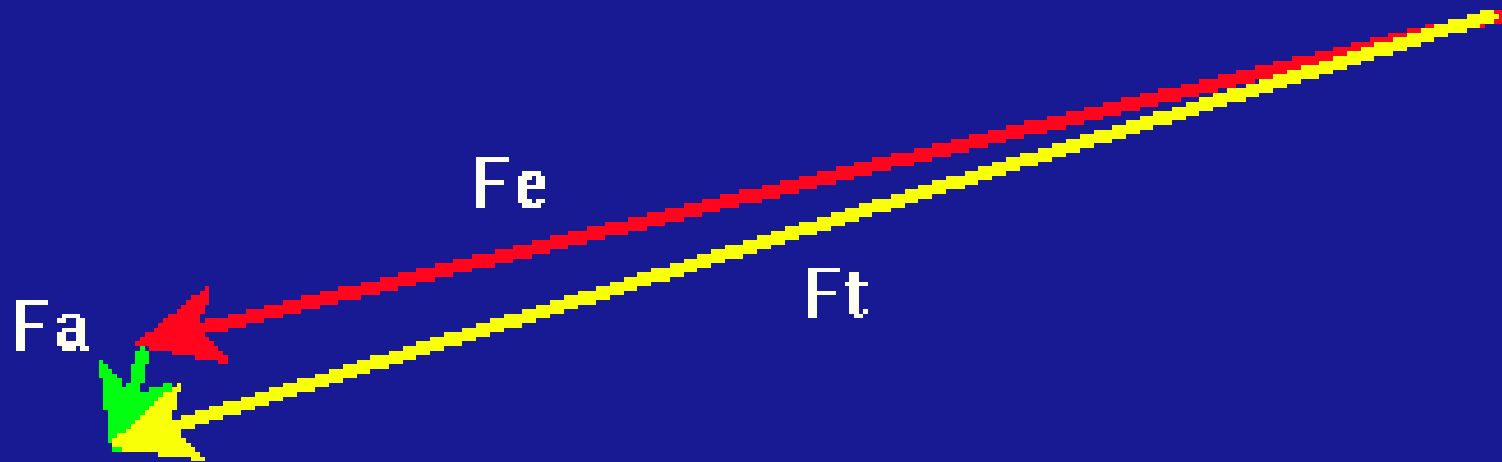
**Το παράδειγμα  
δεν είναι πολύ  
ισχυρή θύελλα.  
Έχουμε όμως  
μεταβολή 100 nT  
μέσα σε 10 min**


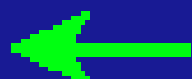

# ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΙΣΗ

## ■ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ:

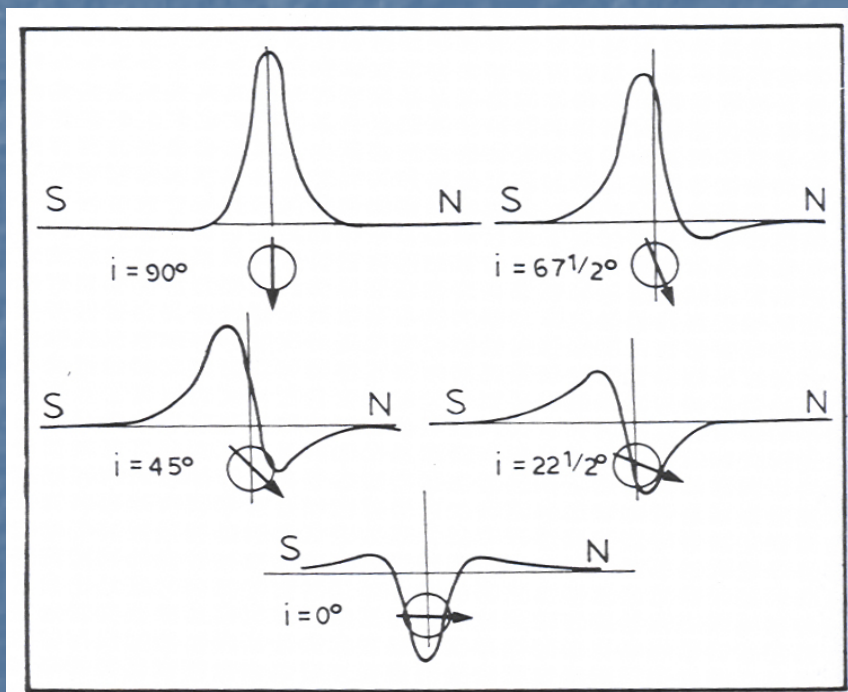
Μετράμε **μαγνητικές ανωμαλίες** (δηλ: διανυσματικές διαφορές μεταξύ μαγνητικής επαγωγής μιας δομής και πετρωμάτων που περιβάλλουν την δομή)  
Η μορφή της μαγνητικής ανωμαλίας εξαρτάται από τον τόπο ==> μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή.





-  Earth's main magnetic field (Fe)
-  Anomalous field (induced and remanent magnetization) (Fa)
-  Total magnetic field ( $F_t = F_e + F_a$ )

# Μετρούμενα Μεγέθη στη Μαγνητική Διασκόπηση

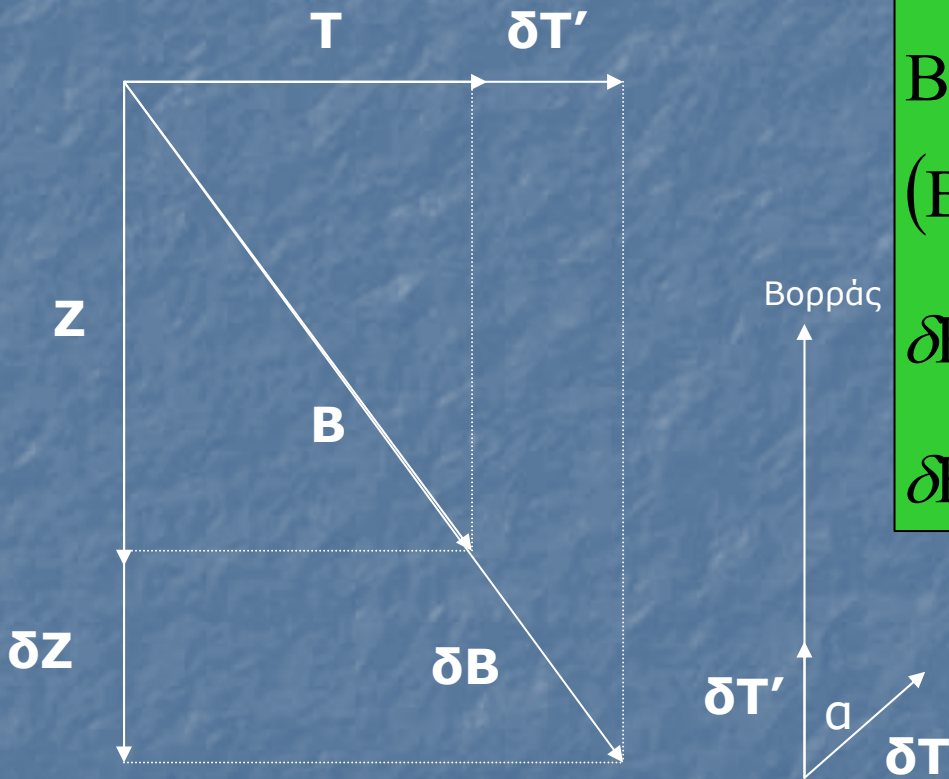


- Η μαγνητική ανωμαλία εξαρτάται από την αντίθεση μαγνήτισης και γι' αυτό μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή λόγω μεταβολής των στοιχείων του μαγνητικού πεδίου της Γης.



Έστω  $\delta B$ , μαγνητική ανωμαλία.

$\delta Z$  και  $\delta T$  είναι η κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα της.



$$\delta T' = \delta T \sigma \nu \alpha$$

$$B^2 = Z^2 + T^2$$

$$(B + \delta B)^2 = (Z + \delta Z)^2 + (T + \delta T)^2 \Rightarrow$$

$$\delta B = \delta Z \frac{Z}{B} + \delta T' \frac{T}{B} \Rightarrow$$

$$\delta B = \delta Z \eta \mu \lambda + \delta T \sigma \nu \lambda \sigma \nu \alpha$$