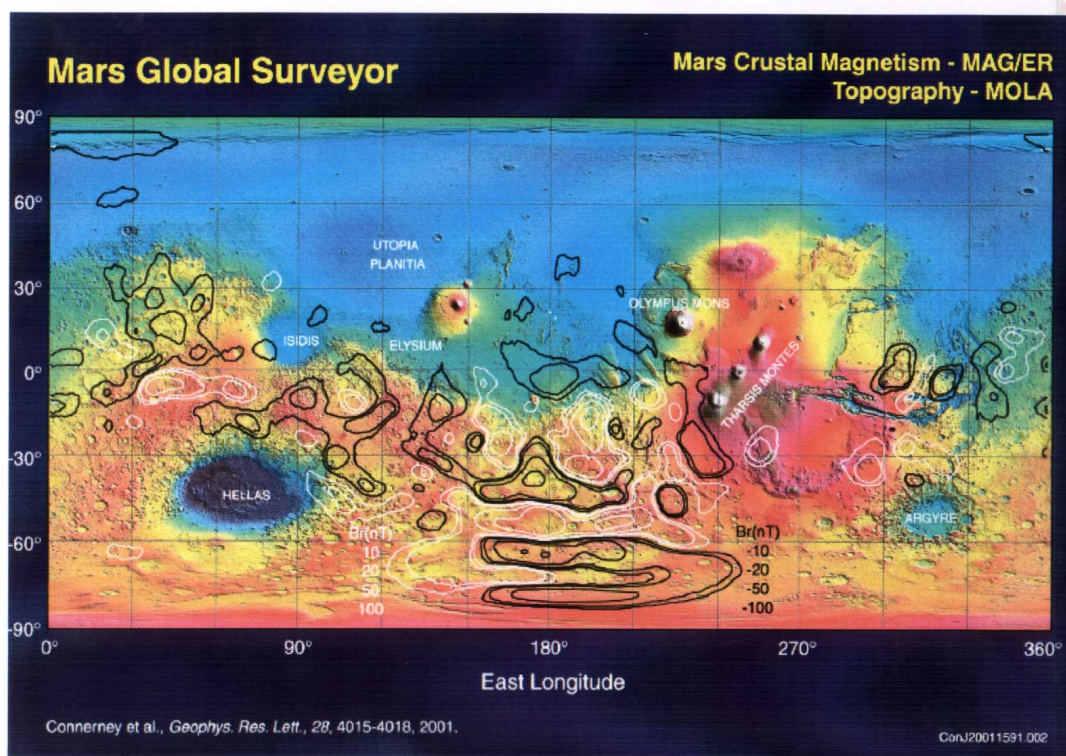




ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ, ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ ΑΡΗ



Νικολάου Ιόλη
Α.Μ. 200958

Αθήνα 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΡΗ.....	8
2. ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΣΤΟΝ ΑΡΗ.....	13
2.1. Ιστορική Αναδρομή.....	13
2.2. Mars Global Surveyor.....	27
Στόχοι.....	27
Τροχιά.....	28
Αεροπέδηση.....	29
Όργανα.....	32
3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ.....	35
3.1. Πλανητοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων...36	
3.2. Ηλιοστατικό Σύστημα Συντεταγμένων.....	38
3.3. Μετατροπές Συντεταγμένων.....	39
4. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΡΗ.....	41
4.1. Η Επιφάνεια του.....	41
4.2. Το Εσωτερικό του.....	44
5. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΟΥ ΑΡΗ.....	46
6. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΑΡΗ.....	50
6.1. Μαγνήτιση Φλοιού.....	50
6.2. Αλληλεπίδραση με τον Ηλιακό άνεμο.....	53
Τοξοειδές Κρουστικό Κύμα (Bow Shock).....	56
Μαγνητοθήκη (Magnetosheath).....	59
Μαγνητική Περιοχή Συσσώρευσης	

(Magnetic Pileup Region – MPR)- Μαγνητικό Όριο Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Boundary -MPB)...	61
Ιονόσφαιρα.....	65
7. ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ.....	71
7.1. Παραδοχές Μελέτης.....	74
7.2. Μαγνητικό Πεδίο Διπόλου.....	76
7.3. Δεδομένα Μελέτης.....	77
7.4. Σύστημα Συντεταγμένων Μελέτης.....	78
7.5. Θεωρητικό Μαγνητικό Πεδίο Μελέτης.....	81
8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΔΙΠΟΛΟΥ (φ,θ).....	83
9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	86
9.1. Ελεύθερες Παράμετροι Μελέτης.....	86
9.2. Δεδομένα Προσαρμογής	87
9.3. Διαδικασία Προσαρμογής.....	89
10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	96
10.1. Τροχιές του Mars Global Surveyor.....	96
Ονοματολογία.....	96
Διαλογή Δεδομένων (Τροχιών).....	97
10.2. Υπολογισμοί Συντεταγμένων.....	99
10.3. Αποτελέσματα Προσαρμογής.....	100
10.3. Βάθος.....	106
10.4. Μαγνητικό Υπόβαθρο.....	110
10.5. Προσανατολισμός Διπόλου.....	114
ΣΥΝΟΨΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	118

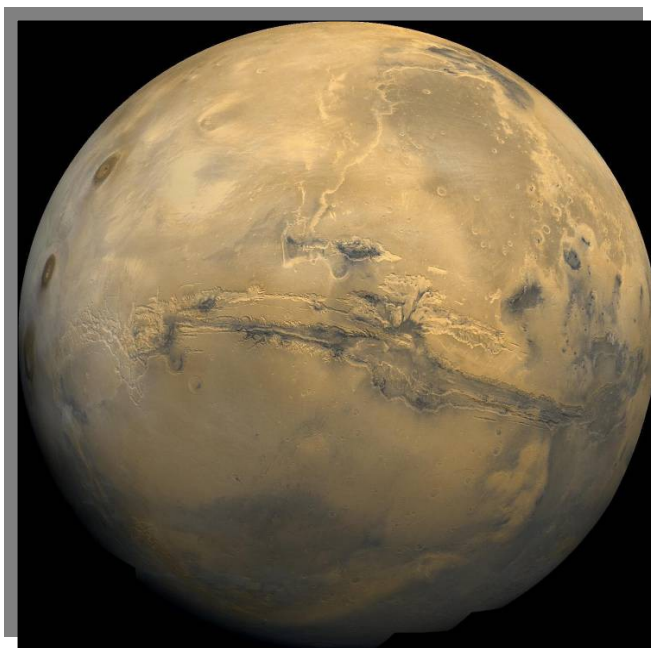
ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από το ξεκίνημα της παρατήρησης του ουρανού, ο Άρης κέντρισε το ενδιαφέρον του ανθρώπου. Οι πρώτες παρατηρήσεις του πλανήτη αυτού που έχουν καταγραφεί φτάνουν μέχρι το 2000 π.Χ.. Οι παρατηρήσεις αυτές έγιναν από τους Αιγύπτιους και τους Βαβυλώνιους. Με την πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη των τηλεσκοπίων (Γαλιλαίος 1610 μ.Χ.) οι μετρήσεις άρχισαν να γίνονται πιο αξιόπιστες κι ακριβείς. Η πρώτη προσπάθεια χαρτογράφησης του πλανήτη πραγματοποιήθηκε από τον Ιταλό αστρονόμο Giovanni Schiaparelli το 1877 μ.Χ.. Στην παρατήρησή του αυτή, το μεγαλύτερο κυρίως Νότιο Ημισφαίριο του Άρη καταλαμβάνεται από χαράδρες, οι οποίες ονομάστηκαν “κανάλια” (Εικόνα 1). Το γεγονός αυτό πυροδότησε τη φαντασία του κόσμου και είχε ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν ακόμη και κινηματογραφικές ταινίες, σειρές αλλά και λογοτεχνικά έργα τα οποία αναφέρονταν στην πιθανότητα ύπαρξης ζωής στον Άρη. Παρόλο που ήταν μια λανθασμένη εκτίμηση της μορφολογίας του Άρη, ο χάρτης αυτός έγινε οδηγός και χρησιμοποιήθηκε από τους επιστήμονες για αρκετό καιρό μέχρι το 1909. Τότε ο Ευγένιος Μιχαήλ Αντωνιάδης απορρίπτοντας τον κοινώς αποδεκτό χάρτη μελέτησε και απέδειξε μετά από επίπονη μελέτη ότι τα κανάλια που παρατηρήθηκαν ήταν ανύπαρκτα. Η θέση που εξέφρασε ο Αντωνιάδης επιβεβαιώθηκε το 1965 από την αποστολή Mariner 4. Ο χάρτης του Αντωνιάδη θεωρήθηκε ως ο καλύτερος χάρτης μέχρι το 1950 (Εικόνα 2).

Ο Άρης βρίσκεται στο επίκεντρο της προσοχής του επιστημονικού κόσμου και κατέχει την μερίδα του λέοντος των αποστολών που έχουν γίνει σε πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος. Οι διαστημικές αποστολές στον Άρη ξεκίνησαν το 1960 με τα Σοβιετικά MARSNIK I και II, τα οποία απέτυχαν να εκπληρώσουν τους σκοπούς της αποστολής τους. Παρόλες τις μελέτες και τις έρευνες, οι επιστήμονες δεν έχασαν ποτέ το ενδιαφέρον τους για τον Άρη μέχρι σήμερα. Αρκετά ερωτήματα εξακολουθούν να παραμένουν μέχρι σήμερα άλυτα μυστήρια. Μεγάλο ερωτηματικό παραμένει και το παρελθόν του Άρη, το εσωτερικό του αλλά και η πιθανότητα να υπήρξε στο παρελθόν αλλά και να υπάρξει στο μέλλον ζωή πάνω σ αυτόν.

Μια από τις σημαντικότερες αποστολές ήταν αυτή του Mars Global

Surveyor (1996), η οποία λειτούργησε περίπου δέκα έτη. Ο τεχνητός δορυφόρος του Άρη έστειλε πληροφορίες από όλη την επιφάνεια του πλανήτη αφού βρισκόταν σε τροχιά γύρω από αυτόν. Από μελέτες των δεδομένων που έστειλε μπόρεσαν οι επιστήμονες να ανακαλύψουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του Άρη. Σε αντίθεση με τους περισσότερους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος, ο Άρης και η Αφροδίτη δεν έχουν κεντρικό μαγνητικό δίπολο, δηλαδή ένα κεντρικό μαγνητικό πεδίο. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται να έχει επιπτώσεις τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην θερμοκρασία του πλανήτη. Παρόλα αυτά το Mars Global Surveyor κατάφερε να ανιχνεύσει ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια του φλοιού του Άρη.



Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη των μαγνητικών διαταραχών που παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια του Άρη. Συγκεκριμένα θα επικεντρωθούμε στο Βόρειο Ημισφαίριο του πλανήτη όπου οι μαγνητικές αυτές περιοχές μπορούν να δώσουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω της ασθενέστερης μαγνητικής δραστηριότητας. Μετά από μελέτη θα προσπαθήσουμε να εκτιμήσουμε το βάθος από

το οποίο μπορεί να προέρχεται η διαταραχή αυτή. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για το εσωτερικό του πλανήτη, το οποίο είναι ακόμα ένα ανοιχτό ζήτημα. Η εργασία αυτή στηρίχθηκε στα δεδομένα του μαγνητομέτρου (MAG) του Mars Global Surveyor, τα οποία είναι διαθέσιμα μέσω του Planetary Data System (PDS) του Jet Propulsion Laboratory (NASA/JPL). Η εργασία αυτή χωρίζεται σε τρία μέρη.

Στο πρώτο μέρος αναφέρονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του πλανήτη Άρη. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η δομή του, δηλαδή η επιφάνεια και το εσωτερικό του, η ατμόσφαιρά του και το μαγνητικό πεδίο. Μέσα σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε τις αποστολές που στάλθηκαν στον Άρη κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στην αποστολή του Mars Global Surveyor.

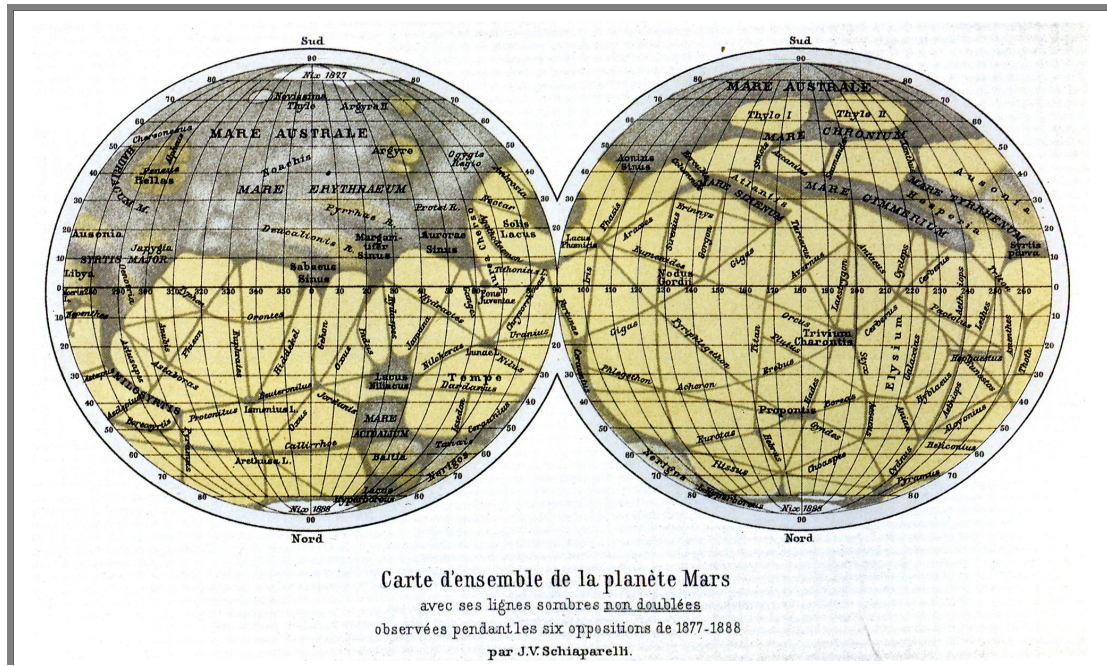
Το δεύτερο μέρος αποτελείται κυρίως από τη θεωρία της μελέτης μας, η οποία στηρίχθηκε στην εργασία του Διαλυνά (2006). Αναφέρουμε τις παραδοχές που θα χρησιμοποιήσουμε, τους μαθηματικούς τύπους με τις αντίστοιχες συντεταγμένες τους. Ακόμη αναλύουμε τον τρόπο που μπορούν να προσδιοριστούν οι παράμετροι των θεωρητικών μας εξισώσεων. Τέλος στην ενότητα αυτή αναλύουμε την διαδικασία προσαρμογής που θα πραγματοποιήσουμε μέσω του προγράμματος της IDL.

Στο τρίτο και τελευταίο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας παραθέτουμε τα αποτελέσματα της μελέτης μας. Παρουσιάζουμε τις αντίστοιχες τιμές και γραφικές παραστάσεις των υπολογισμών μας. Κατόπιν μελετάμε το βάθος που βρίσκεται η μαγνητική πηγή, το μαγνητικό υπόβαθρο και τον προσδιορισμό της πηγής αυτής.

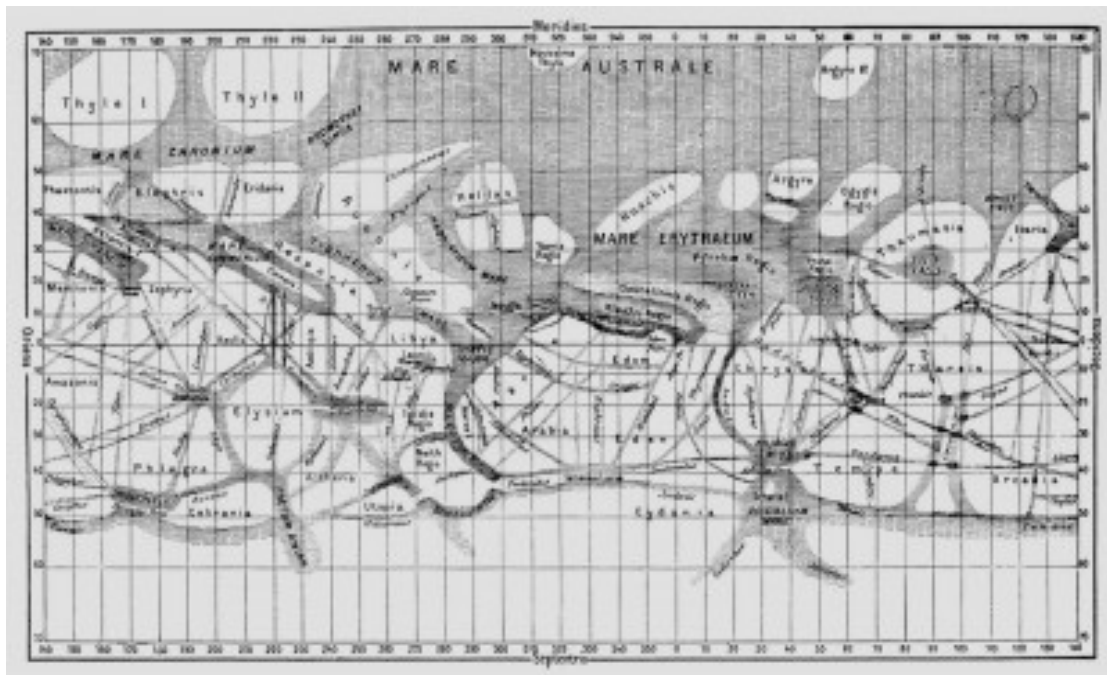


εργασίας.

Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Πρέκα, την κα. Μαυρομιχαλάκη και τον κ. Νίκο Σέργη για την συνεργασία τους. Κυρίως θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Dr. Κώνστα-ντίνο Διαλυνά για την καθοδήγησή του και τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ξενοφώντα Μουστά για την επίβλεψή καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής μου



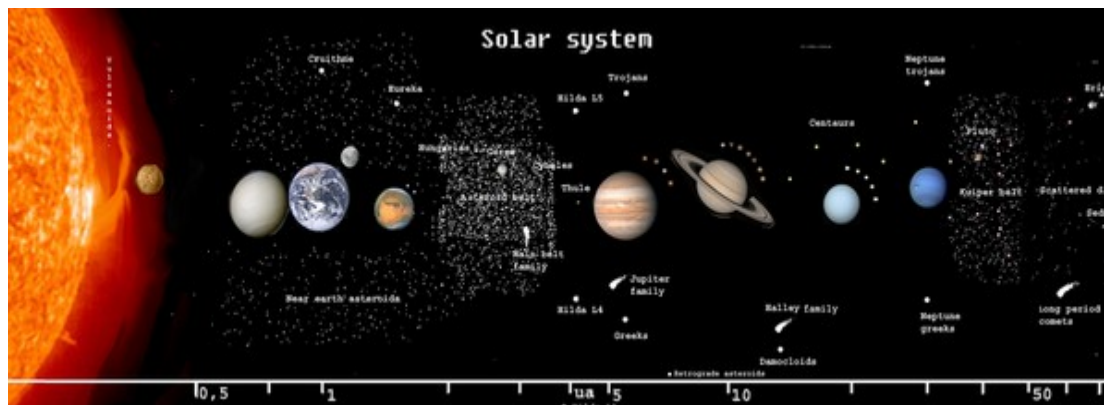
Εικόνα 1. Χάρτης του συνόλου του πλανήτη Άρη με τις σκοτεινές τις γραμμές που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των έξι αντιθέσεων του 1877-1888 από τον J.V. Schiaparelli.



Εικόνα 2. Χάρτης του Άρη από το Ευγένιο Αντωνιάδη με τα χαρακτηριστικά του πλανήτη που ονομάστηκαν από τον ίδιο.

1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΡΗ

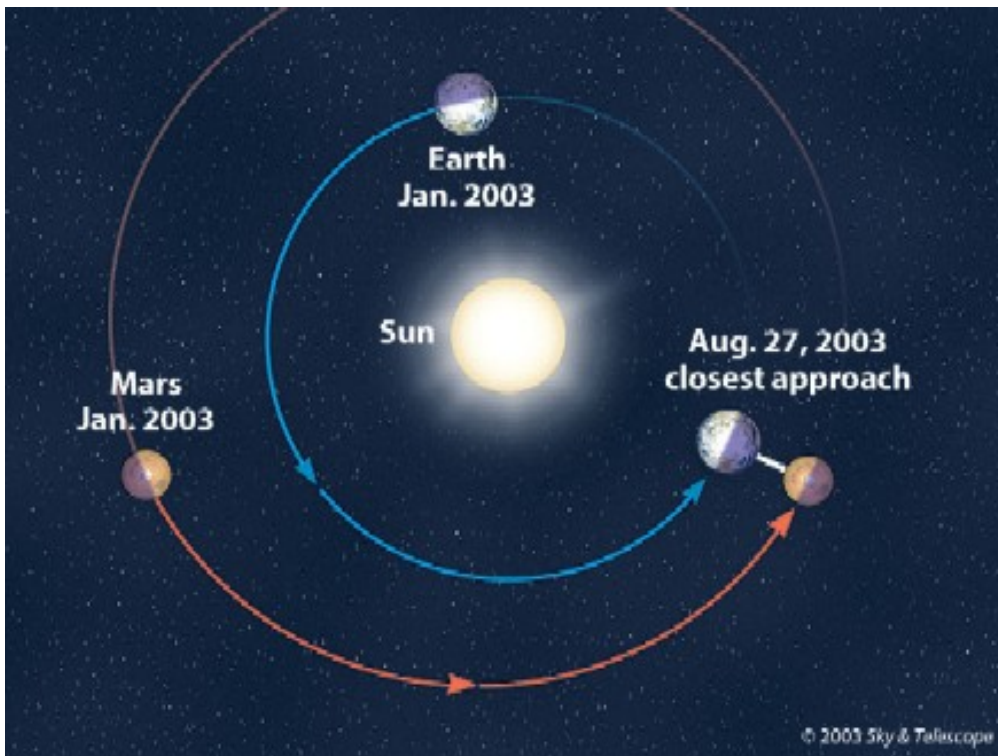
Ο Άρης είναι ο τέταρτος πλανήτης στη σειρά του Ηλιακού μας Συστήματος μετά από τη Γη και βρίσκεται σε μέση απόσταση 228.000.000 km μακριά από τον Ήλιο.



Εικόνα 1.1. Απεικόνιση του Ηλιακού μας Συστήματος.

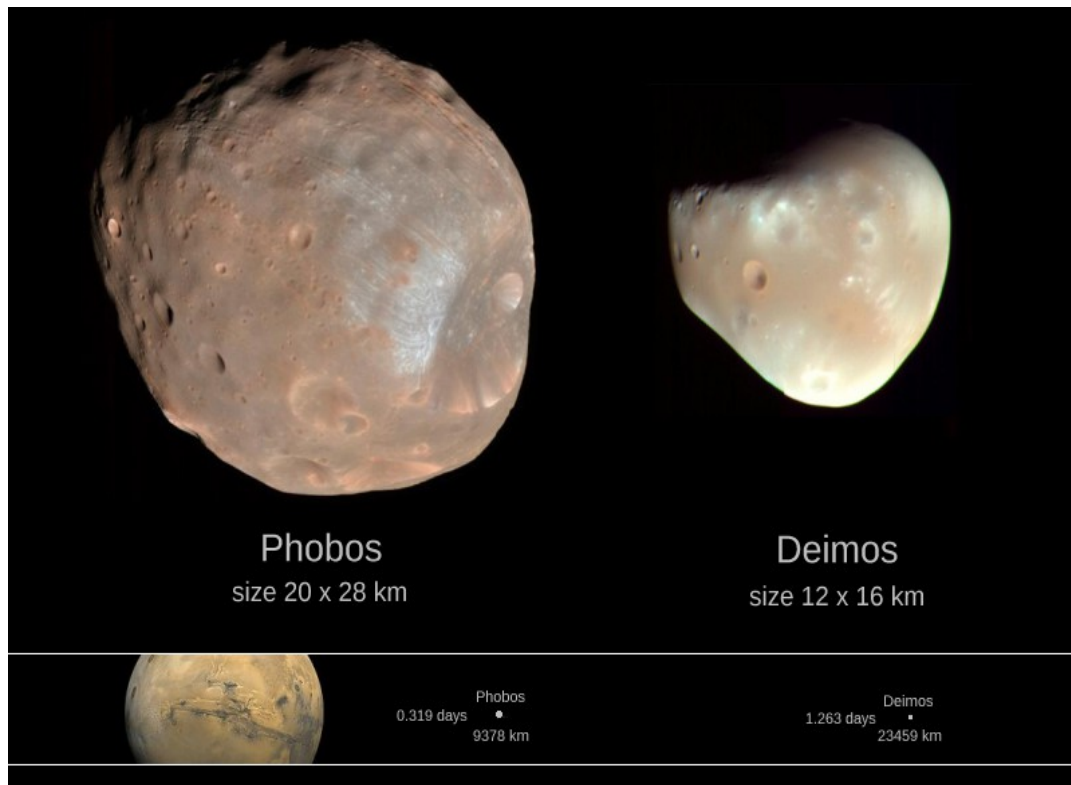
Σχεδόν κάθε δύο χρόνια ο Άρης πλησιάζει τη Γη και κάθε 16 περίπου χρόνια συμπίπτει με το περιήλιο της, δηλαδή έρχεται στην πιο κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Αξίζει να σημειώσουμε ότι επόμενη τέτοια συνάντηση θα πραγματοποιηθεί το 2029.

Ο πλανήτης αυτός εμφανίζει ένα ερυθρό χρώμα στην επιφάνειά του που οφείλεται στην παρουσία του τριοξειδίου του σιδήρου (Fe_2O_3). Λόγω αυτού του χρώματος πήρε και το όνομά του από τους αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι ήθελαν με τον τρόπο αυτό να τιμήσουν το θεό του πολέμου. Στη συνέχεια έδωσαν και τα ονόματα των γιων του Άρη, Φόβου και Δείμου, στους δύο δορυφόρους του. Ως σύμβολο ο πλανήτης έχει τη λογχοφόρο στρογγυλή ασπίδα ♂.



Εικόνα 1.2. Απεικόνιση των τροχιών του Άρη και της Γης με κέντρο τον Ήλιο.

Ο Φόβος βρίσκεται σε κοντινότερη τροχιά γύρω από τον Άρη σε σχέση με το Δείμο, μάλιστα είναι η κοντινότερη περιφορά που κάνει δορυφόρος στο Ηλιακό μας Σύστημα. Ο Δείμος χρειάζεται 30 ώρες για να κάνει μια πλήρη περιφορά, ενώ ο Φόβος, που περιστρέφεται σε σχεδόν 6.000 km πάνω από την επιφάνειά του Άρη, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ολοκληρώνει τρεις περιφορές. Η τροχιά του Φόβου είναι σπειροειδής προς το εσωτερικό και κάθε 100 χρόνια πλησιάζει τον Άρη κατά 1.8 m. Υπολογίζεται ότι σε σχεδόν 50 εκατομμύρια χρόνια ο Φόβος είτε θα συγκρουστεί πάνω στον Άρη, είτε θα διαλυθεί νωρίτερα διαγράφοντας γύρω από τον Άρη ένα δακτύλιο.



Εικόνα 1.3. Οι δορυφόροι του Άρη, Φόβος (αριστερά) και Δείμος (δεξιά).

Περισσότερα χαρακτηριστικά του Άρη παρουσιάζονται σε σύγκριση με τη Γη στους επόμενους Πίνακες I και II.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
Χαρακτηριστικά Τροχιάς

	Άρης	Σύγκριση με τη Γη
Μέση Απόσταση από τον Ήλιο	227.943.824 km	1,524 Γης
	1,523662 A.U. ¹	
Περιήλιο	206.655.215 km	1,405 Γης
	1,381 A.U.	
Αφήλιο	249.232.432 km	1,639 Γης
	1,666 A.U.	
Ελάχιστη Απόσταση από τη Γη	$56 \cdot 10^6$ km	
Μέγιστη Απόσταση από τη Γη	$400 \cdot 10^6$ km	
Αστρική Περίοδος Περιφοράς (Έτος)	686,98 μέρες	1,8808476 χρόνια Γης
Μέση Ταχύτητα	86.677 km/h	0,808 Γης
Κλίση Τροχιάς (ως προς την εκλειπτική)	1,85 μοίρες	

¹ Αστρονομική μονάδα (A.U.)= 149.597.870.700 m. Μονάδα μέτρησης αποστάσεων μέσα στο Ηλιακό Σύστημα. Παλαιότερα οριζόταν ως η μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
Φυσικά Χαρακτηριστικά

	Άρης	Σύγκριση με τη Γη
Μέση Ακτίνα	3.397,2 km	0,532 Γης
Όγκος	163.115.609.799 km ³	0,151 Γης
Μάζα	641.693·10 ¹⁸ kgr	0,107 Γης
Μέση Πυκνότητα	3,934 gr/cm ³	0,714 Γης
Βαρύτητα	3,71 m/s ²	0,38 Γης
Ταχύτητα Διαφυγής	18,108 km/h	
Αστρική Περίοδος Περιστροφής (Μέρα)	24h 37min 22sec	1,026 μέρες Γης
Κλίση Άξονα Περιστροφής	25,2 °	

2. ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΣΤΟΝ ΑΡΗ

2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

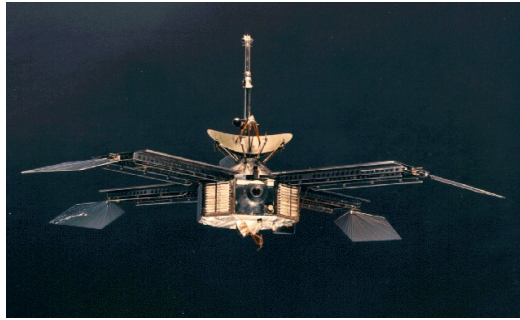
Η εξερεύνηση του Άρη ξεκίνησε το 1960 από τους Σοβιετικούς με το πρόγραμμα MARSNIK. Παρόλο που η Αφροδίτη είναι κοντινός πλανήτης στη Γη, στον Άρη έχουν σταλεί τα περισσότερα διαστημόπλοια από οποιοδήποτε άλλο πλανήτη του Ηλιακού μας Συστήματος. Σε αυτό μπορεί να συμβάλει και η θεώρηση ότι ο Άρης μπορεί να αποικηθεί πιο εύκολα από οποιοδήποτε άλλο πλανήτη. Από όλες αυτές τις αποστολές που ξεκίνησαν για τον Άρη, μόνο το 1/3 τους κατάφεραν να επιτύχουν τον σκοπό της αποστολής τους. Αν μια αποστολή αποτύχει στο στόχο της, τότε οι ερευνητές έπρεπε να περιμένουν χρόνια μέχρι να ξαναστείλουν την επόμενη. Για αυτό το λόγο οι ερευνητές έστελναν διαδοχικά διαστημόπλοια, με διαφορά ημερών ή και μηνών (Coradini et al. 2011). Αυτές τις διαδοχικές εκτοξεύσεις τις αποκαλούν “Δίδυμες Αποστολές” (“twin”). Κάποιες από τις πετυχημένες αποστολές αναφέρουμε παρακάτω μαζί με μερικές πληροφορίες για την κάθε μία.

➤ MARINER 4 (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 28/11/1964,

Άφιξη: 14/7/1965

Ήταν η πρώτη πετυχημένη αποστολή που έφτασε στον Άρη στα 9.868 km. Κάλυψε το 1% της επιφάνειας του πλανήτη και τράβηξε 22 εικόνες (κρατήσεις). Από αυτές παρατήρησαν ότι η επιφάνεια του Άρη μοιάζει με της Σελήνης. Ακόμη κατάφερε να στείλει δεδομένα από τα οποία φαίνεται ότι η ατμοσφαιρική πίεσή του κυμαίνεται από 4 μέχρι 7 mbar.



Εικόνα 2.1.1. Mariner 4

➤ MARINER 6 (Δίδυμη Αποστολή) (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 25/2/1969, Αφιξη: 31/7/1969

Έφτασε στον Άρη περνώντας πάνω από τον Ισημερινό σε απόσταση 3.410 km και έστειλε 75 φωτογραφίες.



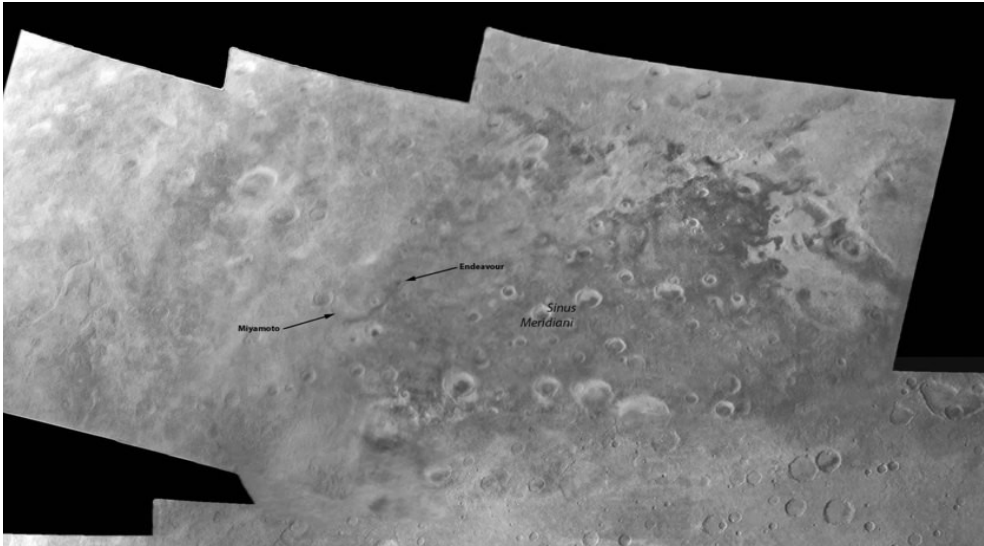
Εικόνα 2.1.2. Mariner 6

➤ MARINER 7 (Δίδυμη Αποστολή) (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 27/3/1969, Αφιξη: 5/8/1969

Πλησίασε τον Άρη σε απόσταση 3.525 km και έστειλε 126 εικόνες.

Σκοπός και των δύο αυτών αποστολών ήταν η μελέτη της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας του Άρη. Συνολικά και τα δύο κάλυψαν περίπου το 20% της επιφάνειας του πλανήτη με 198 εικόνες.



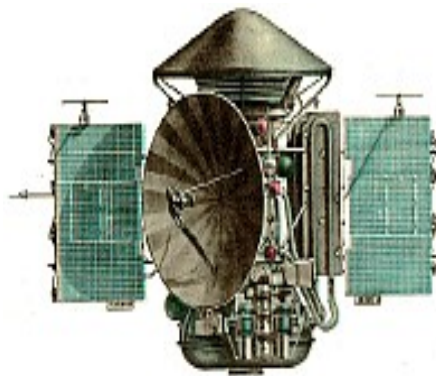
Εικόνα 2.1.3. Μωσαϊκό δεδομένων από Mariner 6-7 πάνω από τη περιοχή “Sinus Meridiani”.

➤ MARS 2 (Δίδυμη Αποστολή - ΕΣΣΔ)

Εκτόξευση: 19/5/1971,

Άφιξη: 27/11/1971

Μέρος της αποστολής ήταν η προσγείωση του πάνω στον Άρη (44ο Νότια, 313ο Δυτικά), όμως απέτυχε. Όλη η αποστολή ήταν προγραμματισμένη να πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένο χρόνο. Το Mars 2 δυστυχώς βρέθηκε μέσα σε καταιγίδα σκόνης και όλες οι μετρήσεις και οι εικόνες που τράβηξε δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες για μελέτη.



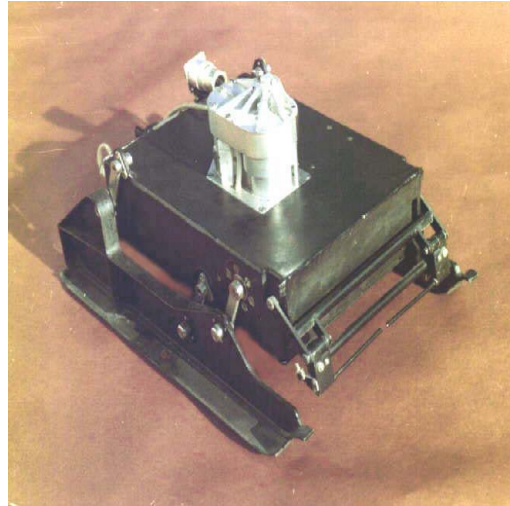
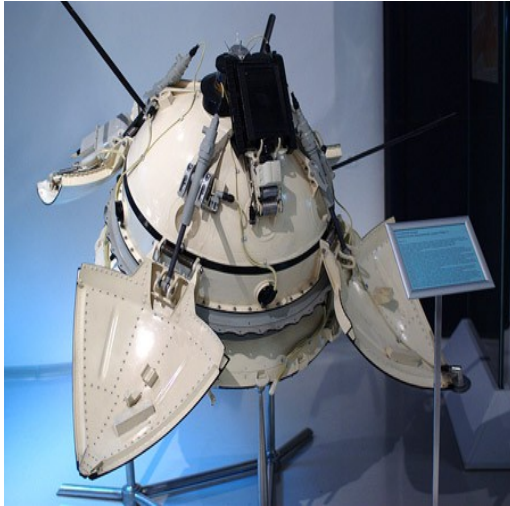
Εικόνα 2.1.4. Mars 2-3

➤ MARS 3 (Δίδυμη Αποστολή - ΕΣΣΔ)

Εκτόξευση: 28/5/1971,

Άφιξη: 2/12/1971

Ομοίως έπεσε και αυτή η αποστολή στην καταιγίδα σκόνης. Η περιφορά του όμως γύρω από τον Άρη ήταν επιτυχής και όταν προσγειώθηκε το PROP-M, το πρώτο rover, λειτούργησε για 20 δευτερόλεπτα.



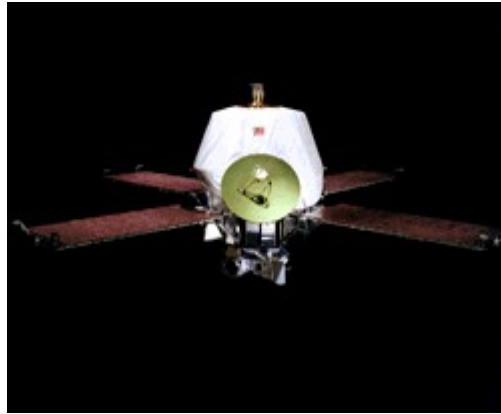
Εικόνα 2.1.5. Το Mars 3 Lander (αριστερά) και το PROP-M (δεξιά), το πρώτο rover που πάτησε στον Άρη.

➤ MARINER 9 (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 30/5/1971,

Άφιξη: 14/11/1971

Έφτασε λίγους μήνες νωρίτερα από τις αποστολές Mars 2-3 και έγινε ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος του Άρη που έμεινε σε τροχιά γύρω του για ένα χρόνο. Παρόλο που βρέθηκε κι εκείνος σε καταιγίδα σκόνης, ξεκίνησε να παίρνει μετρήσεις ένα μήνα μετά αφότου βγήκε από την καταιγίδα. Κάλυψε το 70% της επιφάνειας του Άρη ενώ φωτογράφησε και τον Φόβο και του Δείμο (7.329 εικόνες). Ήταν ενισχυμένο με όργανα στο υπέρυθρο, ορατό και υπεριώδες για να μελετήσει την ατμόσφαιρα (σύσταση, πυκνότητά, πίεση, θερμοκρασία) και την επιφάνεια (σύσταση, θερμοκρασία, μορφολογία) του Άρη. Προς τιμή του ονόμασαν το μεγάλο φαράγγι στον Ισημερινό που έχει μήκος 4.800 km, “Valles Marineris”.



Εικόνα 2.1.6. Mariner 9

➤ MARS 4 (ΕΣΣΔ)

Εκτόξευση: 21/7/1973, Αφιξη: 10/2/1974

Πλησίασε τον Άρη στα 2.200 km αλλά απέτυχε να μπει σε τροχιά γύρω του.

➤ MARS 5 (ΕΣΣΔ)

Εκτόξευση: 25/7/1973, Αφιξη: 12/3/1974

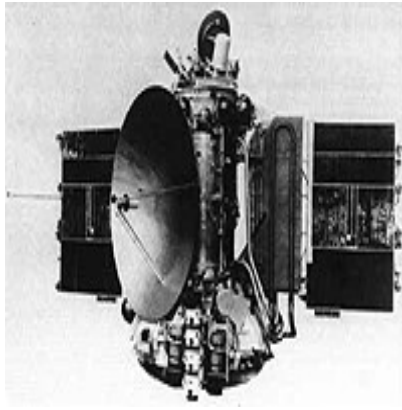
Κατάφερε να μπει σε τροχιά γύρω από τον Άρη και να βγάλει 70 εικόνες σε 9 μέρες.

➤ MARS 6 (ΕΣΣΔ)

Εκτόξευση: 5/8/1973, Αφιξη: 12/3/1974

Στην προσπάθεια του να προσγειωθεί χάθηκε η επικοινωνία της αποστολής με τη Γη.

Δεν ήταν όμως ανεπιτυχής σαν αποστολή μιας και έστειλε σημαντικές πληροφορίες για την ατμόσφαιρα του Άρη.



Εικόνα 2.1.7. Mars 4 -5 -6

➤ VIKING 1 (Δίδυμη Αποστολή - ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 20/8/1975, Άφιξη: 19/6/1976, Προσεδάφιση: 20/7/1976

Μπήκε σε τροχιά και μελέτησε την επιφάνεια του Άρη στο υπέρυθρο (IR) και υπεριώδες (UV) φάσμα. Προσγειώθηκε στην περιοχή “Chryse Planitia” στον Ισημερινό, όπου περίμεναν να είναι μια επίπεδη επιφάνεια αλλά τελικά ανακάλυψαν ότι καλύπτεται από μεγάλους ογκόλιθους.

➤ VIKING 2 (Δίδυμη Αποστολή - ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 9/9/1975, Άφιξη: 7/8/1976, Προσεδάφιση: 3/9/1976

Προσεδαφίστηκε στο Βόρειο Ημισφαίριο του Άρη, στη περιοχή “Utopia Planitia”.

Και τα δύο διαστημόπλοια κάλυψαν το 100% της επιφάνειας του Άρη συλλέγοντας πάνω από 50.000 εικόνες. Με αυτές μπόρεσαν να φτιάξουν έναν χάρτη του Άρη, ο οποίος βοήθησε τους επιστήμονες να ερμηνεύσουν τη γεωλογία και την εξέλιξη του πλανήτη. Τα δεδομένα που έστειλαν τα διαστημόπλοια χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση του εδάφους (σύσταση και δομή) και της ατμόσφαιρας του. Σ' αυτή την αποστολή πραγματοποιήθηκαν τέσσερα είδη βιολογικών πειραμάτων για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει ή αν υπήρξε πιθανότητα ανάπτυξης ζωής στον Άρη.

(1) GAS CHROMATOGRAPH -MASS SPECTROMETER (GCMS)

Σκοπός: Ανίχνευση οργανικών μορίων (δείγματα εδάφους)

Αποτέλεσμα: Αρνητικά.

(2) GAS EXCHANGE EXPERIMENT (GEX)

Σκοπός: Ανίχνευση μεταβολισμού στο έδαφος με την προσθήκη νερού

Αποτέλεσμα: Αρνητικά

(3) LABELED RELEASE (LR)

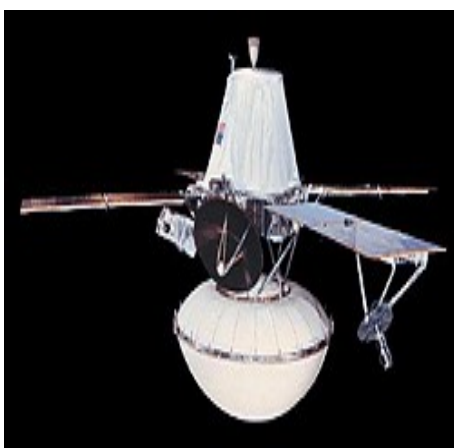
Σκοπός: Ανίχνευση μεταβολισμού μικροοργανισμών στο έδαφος με εμπλουτισμό θρεπτικών διαλυμάτων.

Αποτέλεσμα: Ανεπαρκή

(4) PYROLYTIC RELEASE

Σκοπός: Φωτοσύνθεση μικροοργανισμών

Αποτέλεσμα: Θετικά, αν και δικαιολογήθηκε ως χημική αντίδραση και όχι ως φωτοσύνθεση.



Εικόνα 2.1.8. Viking Orbiter (αριστερά), Viking Lander (δεξιά)

➤ MARS GLOBAL SURVEYOR (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 7/11/1996,

Άφιξη: 12/9/1997

Τέθηκε σε τροχιά γύρω από τον Άρη μελετώντας όλη την επιφάνειά του. Με την Mars Orbital Camera παρατήρησε την ατμόσφαιρα και κατέγραψε τον καιρό, και έτσι ανακαλύφθηκε ότι υπάρχουν συγκεκριμένα μοτίβα σαν εποχές. Από τις εικόνες που τράβηξε επιβεβαιώθηκε η παρελθοντική ύπαρξη υγρού νερού στον πλανήτη. Ακόμη τράβηξε την πρώτη τρισδιάστατη εικόνα του Βόρειου Παγωμένου Πόλου. Δεδομένα που έστειλε το μαγνητόμετρο της αποστολής δείχνουν ότι ο Άρης δεν έχει μαγνητικό πεδίο όπως οι υπόλοιποι πλανήτες, αλλά μεμονωμένες μαγνητισμένες περιοχές στην επιφάνεια. Επιπλέον το Mars Global Surveyor μελέτησε και τους δορυφόρους του Άρη. Συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι ο Φόβος περιβάλλεται από μια στρώση σκόνης, η οποία εικάζεται ότι προέρχεται από παλαιότερες συγκρούσεις μετεωριτών.

Περισσότερα για την αποστολή αυτή θα αναφέρουμε στην Παράγραφο 2.2.

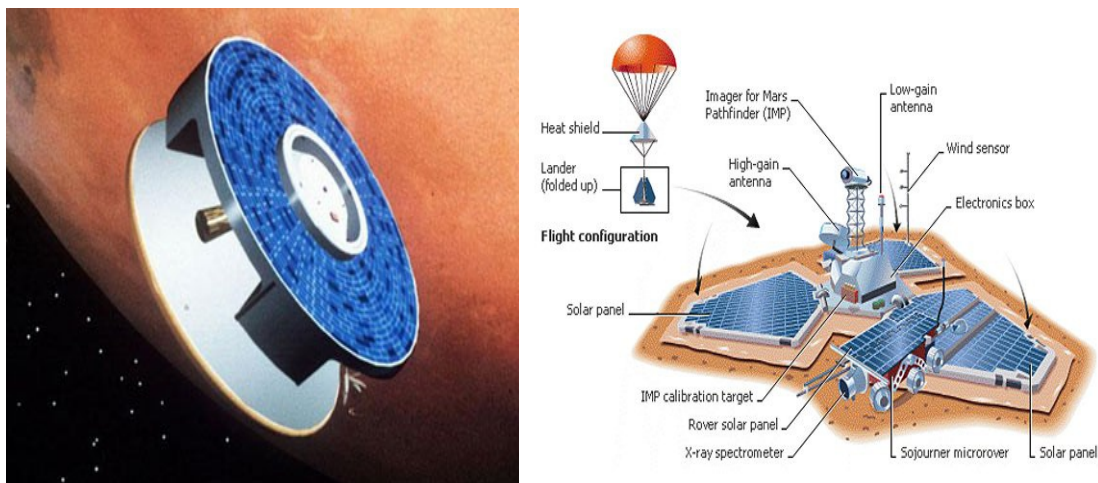


Εικόνα 2.1.9. Mars Global Surveyor

➤ MARS PATHFINDER (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 4/12/1996, Άφιξη: 4/7/1997

Με αυτή τη αποστολή οι επιστήμονες κατάφεραν να στείλουν στον Άρη το πρώτο rover για εξερεύνηση του πλανήτη. Το “Sojourner”, προσγειώθηκε στο Βόρειο Ημισφαίριο του Άρη, στη κοιλάδα “Ares Vallis”. Συνολικά στάλθηκαν 2,3 δισεκατομμύρια bits δεδομένων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται οι 16.500 εικόνες που έβγαλε το Pathfinder και οι 550 εικόνες που έβγαλε το όχημα (rover). Συμπέρασμα της αποστολής ήταν ότι τελικά ο Άρης στο παρελθόν υπήρξε θερμός με πυκνότερη ατμόσφαιρα και με υγρό νερό στην επιφάνειά του.



Εικόνα 2.1.10. Το Mars Pathfinder Orbiter (αριστερά) και το Mars Pathfinder Lander μαζί με το rover, “Sojourner” (δεξιά).



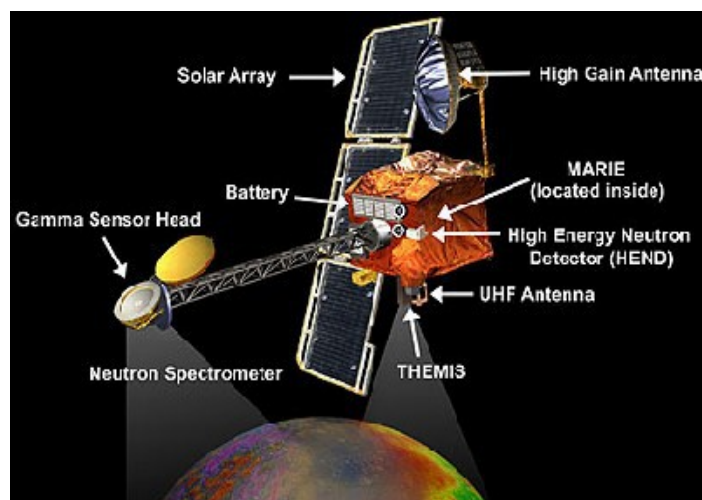
Εικόνα 2.1.11. Το Sojourner rover φωτογραφισμένο από το Mars Pathfinder Lander στον Άρη.

➤ MARS ODYSSEY (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 7/4/2001,

Άφιξη: 24/10/2001

Σκοπός της αποστολής αυτής ήταν η μελέτη της γεωλογίας και μετεωρολογίας του Άρη. Έστειλε πάνω από 130.000 εικόνες και χρήσιμες πληροφορίες που δείχνουν ότι στα χαμηλότερα στρώματα της τροχιάς του, ο Άρης έχει διπλάσια ακτινοβολία από τη Γη.



Εικόνα 2.1.12. Mars Odyssey

➤ MARS EXPLORATION ROVER- SPIRIT (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 10/6/2003,

Άφιξη: 4/1/2004

Το όχημα (rover) “Spirit” έκανε μια πορεία από τον κρατήρα “Gusev” μέχρι τους λόφους “Columbia” μελετώντας το έδαφος του Άρη. Στην πορεία του αυτή έδειξε ότι υπάρχουν περιοχές που περιέχουν μεγάλη ποσότητα αλατιού, μάλιστα οι περιοχές αυτές εμφανίζονταν σε φωτογραφίες ασυνήθιστα λαμπρές. Με αυτή την ανακάλυψη αυτή οι ερευνητές επιβεβαίωσαν τη θεωρία ότι στο παρελθόν ο Άρης καλυπτόταν από υγρό νερό. Επίσης οι επιστήμονες θεωρούν ότι ο Άρης χαρακτηριζόταν από συγκρούσεις, εκρηκτική ηφαιστειακή δραστηριότητα και υπόγεια ύδατα λόγω των βασαλτικών πετρωμάτων που βρήκε το όχημα (rover).

➤ MARS EXPLORATION ROVER- OPPORTUNITY (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 7/7/2004,

Άφιξη: 25/1/2004

Ομοίως με το “Spirit”, και το “Opportunity” έκανε μια πορεία σε ιζηματογενή βραχώδη περιοχή, από τον κρατήρα “Endurance” μέχρι τον κρατήρα “Victoria”, με σκοπό να μελετήσει τη γεωλογική ιστορία του Άρη. Ακόμη παρουσίασε στοιχεία τα οποία δείχνουν ότι οι κρατήρες “Eagle” και “Endurance” ήταν λίμνες που μετασχηματίστηκαν σε αμμόλοφους πλούσιους σε θείο.

Συνολικά και τα δύο έχουν συλλέξει πάνω από 100.000 εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Παρόλο που προσγειώθηκαν σε αντίθετες μεριές εξέτασαν τη γεωλογική σύσταση του εδάφους και των πετρωμάτων, με τέσσερις διαφορετικούς φασματογράφους και επιβεβαίωσαν την ύπαρξη νερού στο παρελθόν.

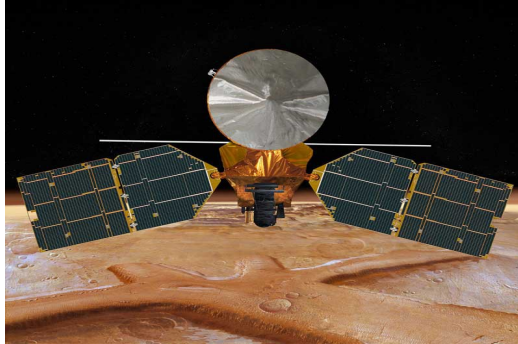


Εικόνα 2.1.13. Mars Exploration Rover

➤ MARS RECONAISSANCE ORBITER (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 12/8/2005

Μπήκε σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Άρη, στην οποία έχει ελάχιστη απόσταση ίση με 300 km και μέγιστη απόσταση ίση με 45.000 km, και ο χρόνος περιφοράς του είναι 35 ώρες.



Εικόνα 2.1.14. Mars Reconnaissance

➤ PHOENIX MARS LANDER (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 4/8/2007,

Προσεδάφιση: 25/5/2008

Η αποστολή του Phoenix είχε δύο στόχους. Βασικός σκοπός του ήταν μελετήσει τη γεωλογία και το νερό, έτσι ώστε να μπορέσουν να διαπιστώσουν την εξέλιξη του Άρη και πώς άλλαξε το κλίμα του. Δευτερεύων στόχος του ήταν να μελετήσει και να αξιολογήσει στα όρια ψύχους αν ένας οργανισμός μπορούσε ή αν θα μπορεί στο μέλλον να επιβιώσει.



Εικόνα 2.1.15. Phoenix Mars Lander

➤ MARS SCIENCE LABORATORY (ΗΠΑ)

Εκτόξευση: 26/22/2011

Προσεδάφιση: 6/8/2012

Η αποστολή αυτή προσεδάφισε το “Curiosity Mars Rover” στον κρατήρα “Gale” με σκοπό να διεξάγει αρκετές βιολογικές και γεωλογικές μετρήσεις.

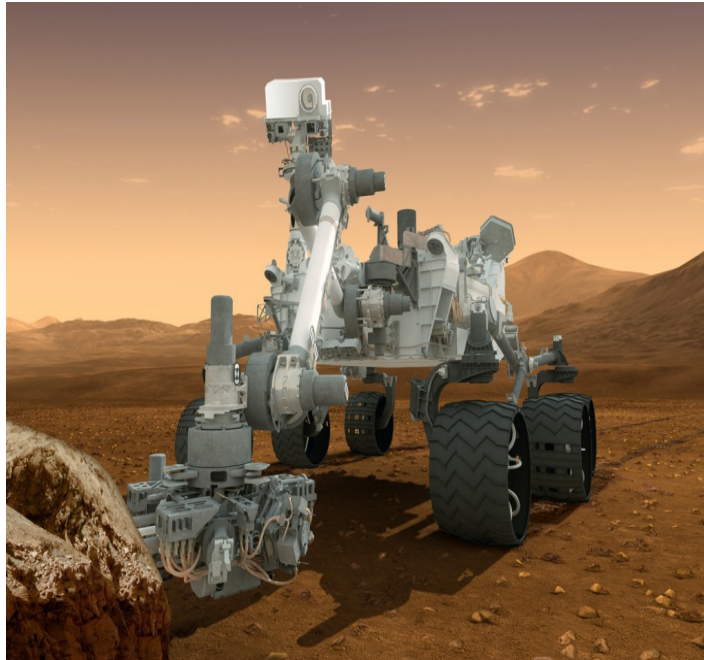
Βιολογικοί στόχοι:

- (1) Απογραφή των οργανικών ενώσεων του άνθρακα και καθορισμός της σύνθεσης αυτών.
- (2) Διερεύνηση για τα χημικά στοιχεία, όπως είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο, το άζωτο, το οξυγόνο, το φώσφορο και το θείο, τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για την επιβίωση ενός οργανισμού.

Γεωλογικοί στόχοι:

- (1) Διερεύνηση των ορυκτών της επιφάνειας ως προς τη χημική σύνθεση και τα ισότοπα τους.
- (2) Να δώσει στοιχεία που να απαντούν τα ερωτήματα που αφορούν τον τρόπο που σχηματίστηκε και μορφοποιήθηκε η επιφάνεια αλλά και τα πετρώματα του Άρη.
- (3) Να αξιολογήσει παρομοίως την εξέλιξη που είχε η ατμόσφαιρα του Άρη.
- (4) Να μελετήσει και να καθορίσει την συμπεριφορά (διανομή-ανακύκλωση) του νερού και του διοξειδίου του άνθρακα στην ακτινοβολία της επιφάνειας.
- (5) Να χαρακτηρίσει το ευρύ φάσμα της ακτινοβολίας στην επιφάνεια. Σ' αυτό το φάσμα συμπεριλαμβάνεται η γαλαξιακή ακτινοβολία, η κοσμική ακτινοβολία και τα

ηλιακά γεγονότα των πρωτονίων και νετρονίων.



Εικόνα 2.1.16. Mars Science Laboratory



Εικόνα 2.1.17. Σύγκριση μεγέθους μεταξύ του Mars Science Laboratory (δεξιά), του Mars Exploration Rover (αριστερά) και του Sojourner Rover (κέντρο). Η φωτογραφία πάρθηκε από το Jet Propulsion Laboratory.

2.2. MARS GLOBAL SURVEYOR

A) ΣΤΟΧΟΙ

Η NASA και το Jet Propulsion Laboratory συνεργάστηκαν για να στείλουν την αποστολή του Mars Global Surveyor στον Άρη. Μετά την αποτυχία του Mars Observer το 1992, ετοίμασαν μια γρήγορη αποστολή που θα έφερνε εις πέρας τις μελέτες του Mars Observer. Έτσι λοιπόν το Mars Global Surveyor ξεκίνησε για μια δίχρονη μελέτη της επιφάνειας, της ατμόσφαιρας και των βαρυτικών και μαγνητικών πεδίων του Άρη. Η αποστολή Mars Global Surveyor θεωρείται από τις πιο σημαντικές αποστολές στον Άρη, γιατί παρέμεινε σε λειτουργία μέχρι το 2007 και συνέλεξε ένα σημαντικό πλήθος πληροφοριών για τους ερευνητές. Στόχοι του Mars Global Surveyor ήταν η χαρτογράφηση υψηλής ευκρίνειας της επιφάνειας, η μελέτη της τοπολογίας και της βαρύτητας, η παρουσία του νερού και της σκόνης και ο πιθανός ρόλος τους στην επιφάνεια και στην ατμόσφαιρα του Άρη, ο προσδιορισμός του καιρού και του κλίματος, ο καθορισμός της σύστασης της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας και τέλος η μελέτη του μαγνητικού πεδίου του Άρη.

B) ΤΡΟΧΙΑ

Στις 7 Νοεμβρίου το 1996, εκτοξεύτηκε το Mars Global Surveyor από το ακρωτήριο Κανάβεραλ της Φλόριντας (ΗΠΑ). Έφτασε στις 11 Σεπτεμβρίου 1997 στον Άρη διανύοντας περίπου 750 εκατομμύρια χιλιόμετρα (5,013 A.U.). Φτάνοντας στον Άρη, το διαστημόπλοιο άναψε την κεντρική του τουρμπίνα για 22 λεπτά ώστε να μπορέσει να μπει σε τροχιά. Οι ελιγμοί αυτοί ελάττωσαν την ταχύτητα του δορυφόρου τόσο ώστε να μπει στην βαρυτική έλξη του πλανήτη και να μπορέσει να διατηρήσει μια τροχιά γύρω του. Με αυτόν τον τρόπο μπήκε σε μία ελλειπτική, σχεδόν πολική τροχιά (54.021 {-S-} × 258 {-N-} km απόσταση με την εστία) με περίοδο 48 ωρών (Johnston et al. 1998).

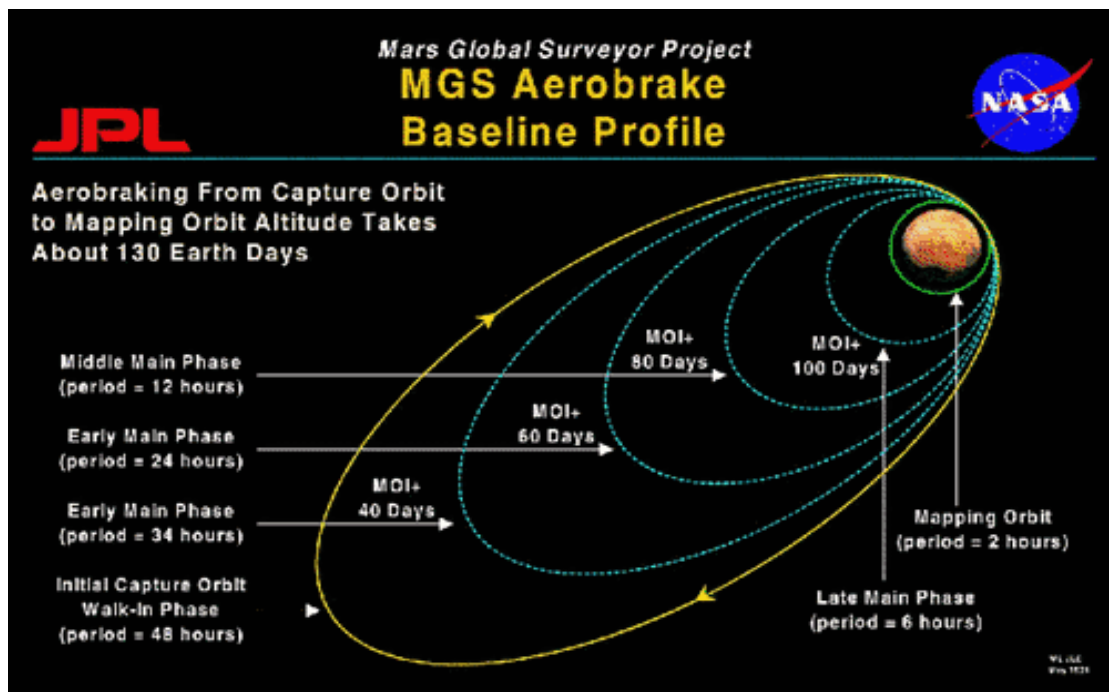
Για την επίτευξη των στόχων του όμως το Mars Global Surveyor θα έπρεπε να εκτελέσει μια κυκλική περιφορά γύρω από τον Άρη σε χαμηλό υψόμετρο. Ακόμα και για την χαρτογράφηση για να μπορούν να είναι συγκρίσιμες οι εικόνες, θα έπρεπε και οι συνθήκες φωτισμού να είναι ίδιες (Ηλιοσύγχρονη Τροχιά, Εικόνα 2.2.1.). Άρα η καταγραφή θα έπρεπε να γίνεται με τον Ήλιο να βρίσκεται στο ίδιο σημείο πάνω στον ορίζοντα και το επίπεδο της δορυφορικής τροχιάς να διατηρεί σταθερή τη γωνία ως προς το φως του. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η τροχιά είναι κοντά στους πόλους.



Εικόνα 2.2.1. Ηλιοσύγχρονη τροχιά

Γ) ΑΕΡΟΠΕΔΗΣΗ

Το Mars Global Surveyor μετά την είσοδό του στην μέγιστη ελλειπτική τροχιά ξεκίνησε την τεχνική της αεροπέδησης. Η αεροπέδηση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί η NASA για να ελαττώσει την ποσότητα καυσίμων και συνεπώς το κόστος της αποστολής αλλά και το βάρος του διαστημοπλοίου, καθώς αυτό πλησιάζει έναν πλανήτη. Την ίδια τεχνική χρησιμοποιούν και τα αεροπλάνα όταν επεκτείνουν τα πτερύγιά τους για να επιβραδύνουν καθώς προσγειώνονται. Σ' αυτή τη περίπτωση το Mars Global Surveyor χρησιμοποίησε τους δύο ηλιακούς του συλλέκτες ως πτερύγια (Εικόνα 2.2.2.). Στην περίπτωση του αεροπλάνου η ελάττωση της ταχύτητας του οφείλεται και στην αντίσταση που θα συναντήσει λόγω της ατμόσφαιρας. Στην περίπτωση του δορυφόρου αυτός θα βρει αντίσταση από την ατμόσφαιρα του Άρη μόνο όμως το διάστημα που βρίσκεται μέσα σ' αυτήν. Η συγκριτικά αραιή ατμόσφαιρα του Άρη δεν μπορεί να προκαλέσει την ίδια αντίσταση που θα προκαλούσε η Γη. Συνεπώς οι ερευνητές για να αυξήσουν την αντίσταση ρύθμισαν επιπλέον συλλέκτες να ξεδιπλωθούν από την άκρη, αυξάνοντας έτσι την επιφάνειά τους.



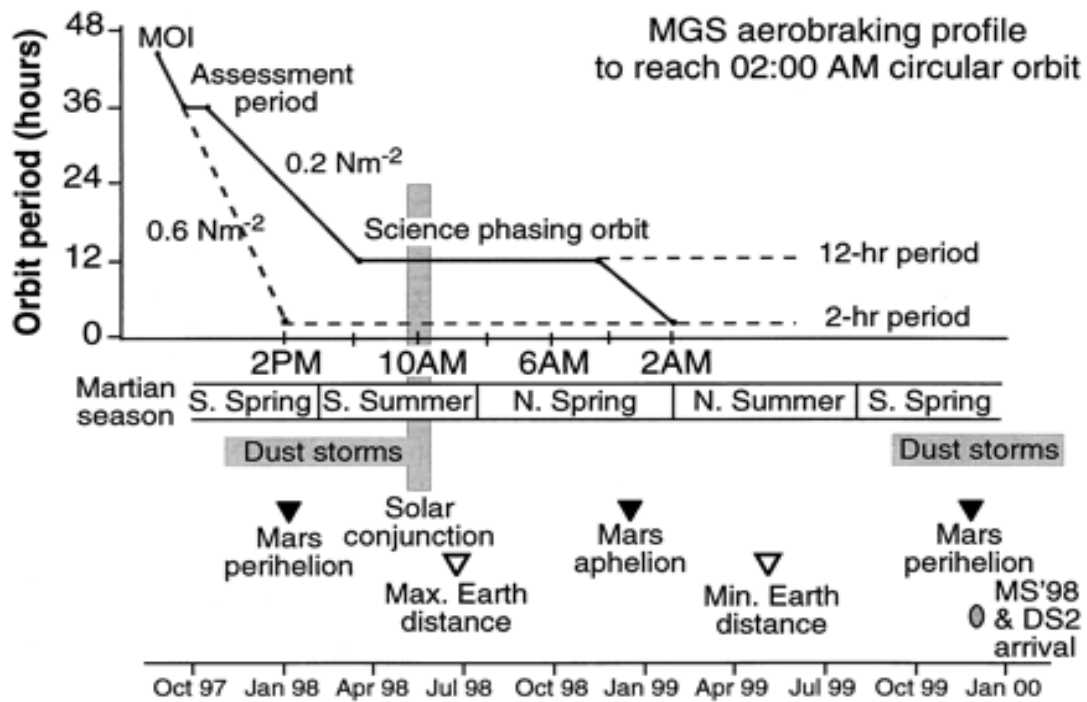
Εικόνα 2.2.2. Αεροπέδηση στον Άρη μαζί με τη περίοδο περιφοράς κάθε τροχιάς.

Το Mars Global Surveyor κατεβαίνοντας από τα 258 km στα 110 km περιαρείου (ελάχιστη απόσταση) βρίσκει περισσότερη αντίσταση από την ατμόσφαιρα του Άρη. Κατά αυτό τον τρόπο σε κάθε περιφορά ελαττώνεται η απόσταση αποαρείου (μέγιστη απόσταση) έως ότου ο δορυφόρος αποκτήσει την επιθυμητή τροχιά. Μετά το πέρασμα τεσσάρων μηνών όταν θα έφτανε στο επιθυμητό ύψος των 450 km. Όμως λόγω ελαφριάς ζημιάς ενός συλλέκτη η αεροπέδηση καθυστέρησε και το ύψος που διάλεξαν οι ερευνητές για να είναι ασφαλής η τροχιά του ήταν στα 120 km. Η περίοδος αεροπέδησης από τέσσερις μήνες για να ολοκληρωθεί χρειάστηκε έξι και η περίοδος περιφοράς έφτασε από τις 12 ώρες στις 6 ώρες (Johnston et al. 1998). Αυτό μας έδωσε πολύ περισσότερες μετρήσεις γύρω από τον πλανήτη, ειδικά του μαγνητικού πεδίου, του περιβάλλοντος του πλάσματος, της ιονόσφαιρας και του κρουστικού κύματος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ

Φάσεις Τροχιάς του Mars Global Surveyor

	Aerobraking Phase 1 (AB 1)	Science Phasing Orbit 1 (SPO 1)	Science Phasing Orbit 2 (SPO 2)	Aerobraking Phase 2 (AB 2)
Ημερομηνίες	12/11/1997 έως 26/3/1998	27/3/1998 έως 29/4/ 1998	27/5/1998 έως 22/11/1998	23/11/1998 έως 07/3/1999
Δεδομένα	97255 - 98085	98086 - 98119	98147 - 98265	98266 - 99066
Τροχιές	2 έως 198	199 έως 328	329 έως 572	573 έως 1683



Γράφημα 2.2.3. Γραφική απεικόνιση της αεροπέδησης του Mars Global Surveyor. Με διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται το αρχικό σχέδιο αεροπέδησης του δορυφόρου. (Albee et al. 1998)

Στο μεσοδιάστημα μεταξύ των δύο αεροπεδήσεων (Science Phasing Orbit) οι ερευνητές έπαιρναν όσες μετρήσεις μπορούσαν στην απόσταση περιαρείου που ήταν ίση με 160 km. Στη αυτή τη φάση ο δορυφόρος συνέχιζε τη περιφορά του μέχρι να φτάσει στον κατάλληλο προσανατολισμό ως προς τον Ήλιο.

Στο γράφημα 2.2.3. παρουσιάζεται η περίοδος της τροχιάς σε ώρες σε συνάρτηση με τον χρόνο. Παράλληλα στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται και χρονικά γεγονότα, όπως οι καταιγίδες σκόνης, οι εποχές του Άρη και οι αποστάσεις του πλανήτη σε σχέση με τη Γη και τον Ήλιο. Διακρίνονται εύκολα οι φάσεις αεροπέδησης (aerobraking), η περίοδος αξιολόγησης (Assessment Period), η περίοδος “Επιστημονικής Παρατήρησης” (Science Phasing Orbit), και με τον συμβολισμό MO δηλώνεται η είσοδος του δορυφόρου στην αρχική τροχιά (Mars Orbit Insertion). Η κλίση της καμπύλης αντιστοιχεί στην μέση πίεση που ασκείται πάνω στους ηλιακούς συλλέκτες και είναι ίση με $0,6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ για την πρώτη αεροπέδηση και ίση με $0,2 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ για τις επόμενες δύο φάσεις αεροπέδησης. (Albee et al. 1998)

Δ) ΟΡΓΑΝΑ

Για την διεκπεραίωση των στόχων του το Mars Global Surveyor εξοπλίστηκε με τα εξής όργανα:

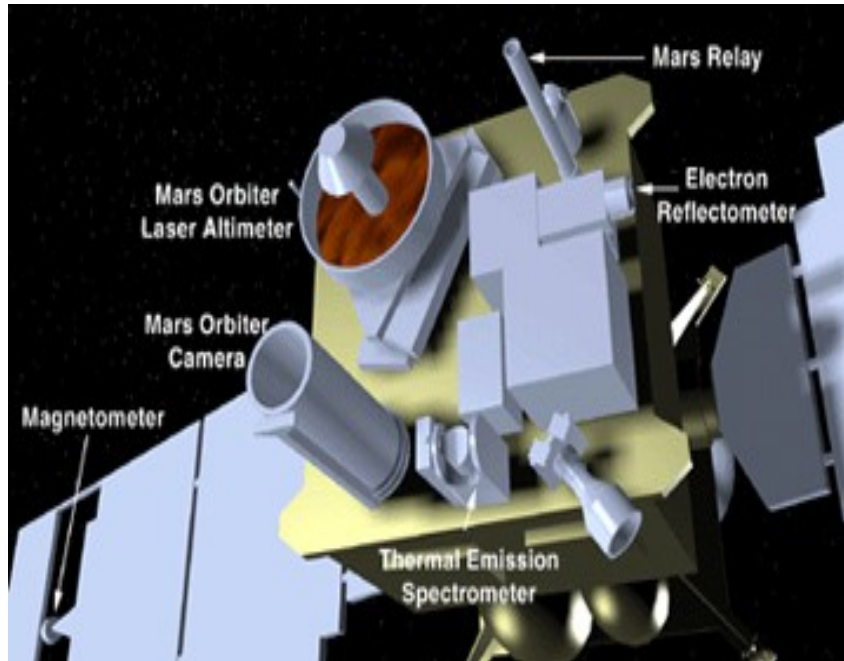
I. Mars Orbiter Camera (MOC)

Οι ερευνητές τοποθέτησαν αυτή την κάμερα για να μελετήσουν το κλίμα και τη γεωλογία του Άρη, με τις εικόνες της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας που θα λαμβάνει η κάμερα αυτή. Κυρίαρχοι στόχοι της είναι:

- Να αποκτάει μια συνοπτική εικόνα όλης της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας του Άρη σε καθημερινή βάση. Με αυτό το τρόπο θα μπορέσουν οι ερευνητές να κατανοήσουν τις μετεωρολογικές και κλιματολογικές μεταβολές του.
- Να παρακολουθεί τις μεταβολές των χαρακτηριστικών της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας χρονικά και χωρικά (σε συνάρτηση του χρόνου και του χώρου).
- Να εξετάζει συστηματικά τοπικές περιοχές με μεγάλη ανάλυση έτσι ώστε μπορούν να προσδιοριστούν οι αλληλεπιδράσεις της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας.

II. Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)

Αυτό το όργανο σχεδιάστηκε για την χαρτογράφηση του Άρη, ενώ ακόμη μπορεί να μετρήσει το ύψος των νεφών από υδρατμούς διοξειδίου του άνθρακα. Εκπέμποντας μια δέσμη laser στην επιφάνεια χρονομετράει και καταγράφει τον χρόνο που χρειάζεται η δέσμη αυτή για να επιστρέψει. Με αυτά τα δεδομένα στη συνέχεια υπολογίζει την μεταξύ τους απόσταση.



Εικόνα 2.2.4. Απεικόνιση των οργάνων του Mars Global Surveyor

III. Thermal Emission Spectrometer (TES)

Σχεδιάστηκε για να μετράει υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του Άρη.

IV. Radio Science Investigations (RS)

Το όργανο αυτό είχε την ίδια λειτουργία με το Radio Science Investigation της αποστολής του Mars Observer (Tyler et al 1992). Σκοπός του ήταν να χαρτογραφήσει το βαρυτικό πεδίο και να μετρήσει την ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία των πόλων. Στη συνέχεια συνδυάζοντας τα δεδομένα αυτά του βαρυτικού πεδίου με τα αντίστοιχα τοπογραφικά δεδομένα που λαμβάνει το όργανο Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις για την δομή του εσωτερικού του Άρη. Ενώ οι μελέτες των πόλων μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την ατμόσφαιρα και μετεωρολογία του πλανήτη, αλλά και πιθανόν την μεταφοράς του νερού, της σκόνης και του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

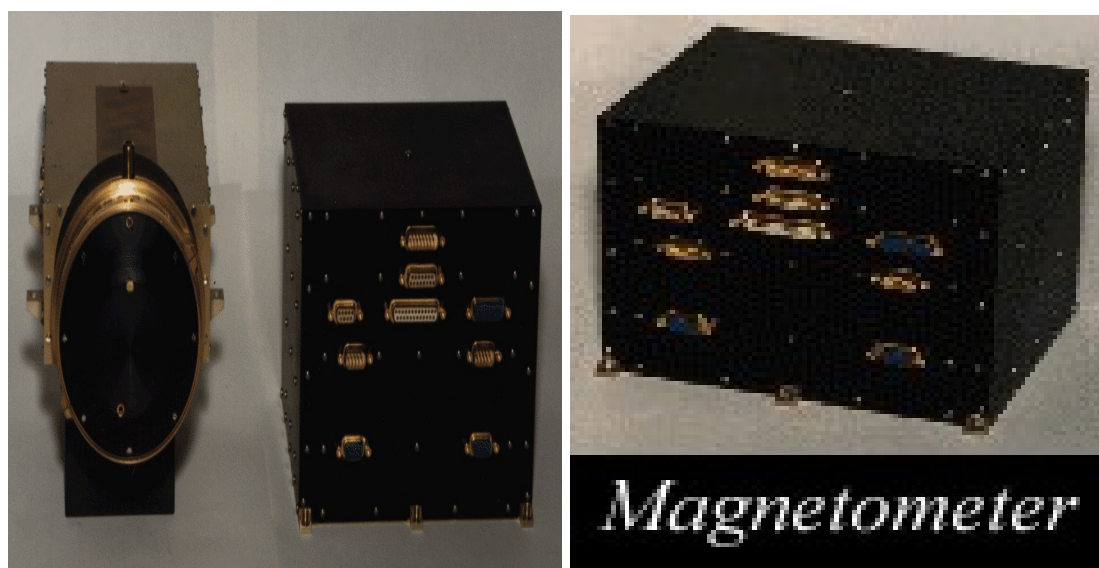
Η βαρυτική χαρτογράφηση του πλανήτη επιτυγχάνεται με την καταμέτρηση της μετατόπισης Doppler από τα ραδιοκύματα που εκπέμπει το Mars Global Surveyor στη Γη. Κατά αυτό τον τρόπο

καταγράφονται οι μεταβολές των ταχυτήτων και έπειτα από επεξεργασία μπορούν να βρεθούν οι χωρικές ανωμαλίες στο βαρυτικό πεδίο του Άρη. Τέλος με τις πολλαπλές τροχιές του δορυφόρου μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί ένας χάρτης με τις βαρυτικές ανωμαλίες του πλανήτη. (Tyler et al. 2001)

V. Magnetometer and Electron Reflectometer (MAG/ ER)

Το μαγνητόμετρο (MAG) και ο ανακλαστήρας ηλεκτρονίων (ER) είναι δύο ξεχωριστά όργανα τα οποία σχεδιάστηκαν για να:

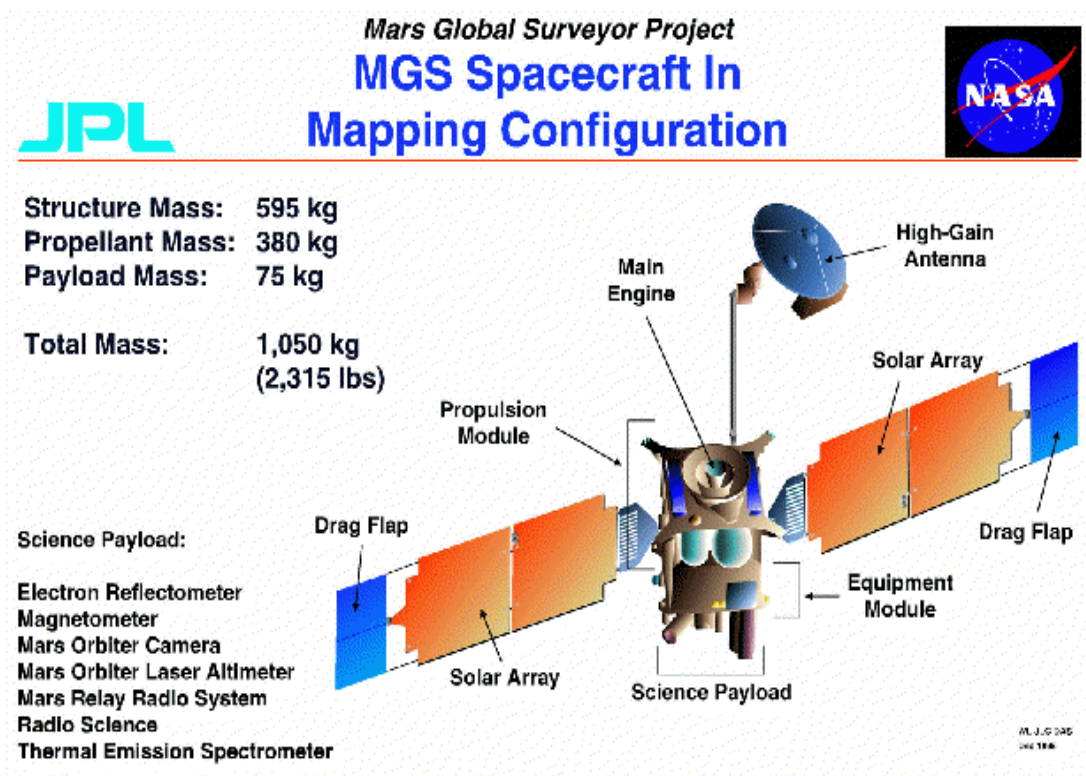
- Καθορίσουν το μαγνητικό πεδίο του Άρη.
- Να αναπτύξουν κατάλληλα μοντέλα για την αναπαράσταση αυτών, λαμβάνοντας υπόψιν τις εσωτερικές πηγές και τις αλληλεπιδράσεις του Ηλιακού ανέμου.
- Να χαρτογραφήσει το υπολειπόμενο πεδίο στον φλοιό του Άρη σύμφωνα με τα δεδομένα του Mars Global Surveyor για το υψόμετρο.



Εικόνα 2.2.5. Ανακλαστήρας ηλεκτρονίων (ER) και το Μαγνητόμετρο (MAG).

3. ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ

Το Mars Global Surveyor κατέγραψε διαρκώς όπως αναφέραμε και στην Ενότητα 2 μια σειρά από δεδομένα του Άρη και του ηλιακού ανέμου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ερμηνεία και την αξιοποίηση των δεδομένων αυτών, είναι η ακριβής γνώση της θέσης του δορυφόρου σε σχέση με τον πλανήτη, αλλά και με τη κατεύθυνση Άρης-Ήλιος. Στην περίπτωση των διανυσματικών μεγεθών, όπως είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου, η ανάγκη αυτή γίνεται μεγαλύτερη. Συνεπώς το Mars Global Surveyor χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων, το Πλανητοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων και το Ηλιοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων, τα οποία θα αναλύσουμε στη συνέχεια.



Εικόνα 3.1. Χαρακτηριστικά του Mars Global Surveyor.

3.1. ΠΛΑΝΗΤΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ (Planetocentric Coordinate System)

Η αρχή των αξόνων του ορθοκανονικού αυτού συστήματος ταυτίζεται με το κέντρο μάζας του Άρη (Σχήμα 3.1.1.):

- Ο άξονας x έχει κατεύθυνση προς τον πρώτο μεσημβρινό του Άρη και ανήκει στο ισημερινό επίπεδο.
- Ο άξονας z είναι παράλληλος με τον άξονα περιστροφής του πλανήτη, έχοντας θετική φορά προς το Βόρειο Ημισφαίριο.
- Ο άξονας y συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα.

Το σύστημα αυτό ενδείκνυται για τη μελέτη των φαινομένων που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του Άρη και γενικότερα με επιφανειακές και ατμοσφαιρικές δομές που ακολουθούν τη περιστροφή του.

Με τις συντεταγμένες x_{pc} , y_{pc} , z_{pc} του πλανητοκεντρικού συστήματος, είναι εύκολο να υπολογιστούν το αερογραφικό μήκος και το αερογραφικό πλάτος πάνω στο οποίο βρίσκεται κάθε φορά το Mars Global Surveyor. Επίσης μπορούμε να υπολογίσουμε και το ύψος του δορυφόρου πάνω από την επιφάνεια του Άρη. Τα μεγέθη αυτά μπορούν αν προσδιοριστούν από τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} \text{γεωγραφικό μήκος} &= \tan^{-1} \left(\frac{y_{pc}}{x_{pc}} \right) \\ \text{γεωγραφικό πλάτος} &= \tan^{-1} \left(\frac{z_{pc}}{\sqrt{(x_{pc}^2 + y_{pc}^2)}} \right) \\ \text{ύψος δορυφόρου} &= \sqrt{(x_{pc}^2 + y_{pc}^2 + z_{pc}^2)} - R_M \end{aligned} \quad (1)$$

Όπου R_M είναι η ακτίνα του πλανήτη Άρη, η οποία είναι ίση με 3397.2 km.

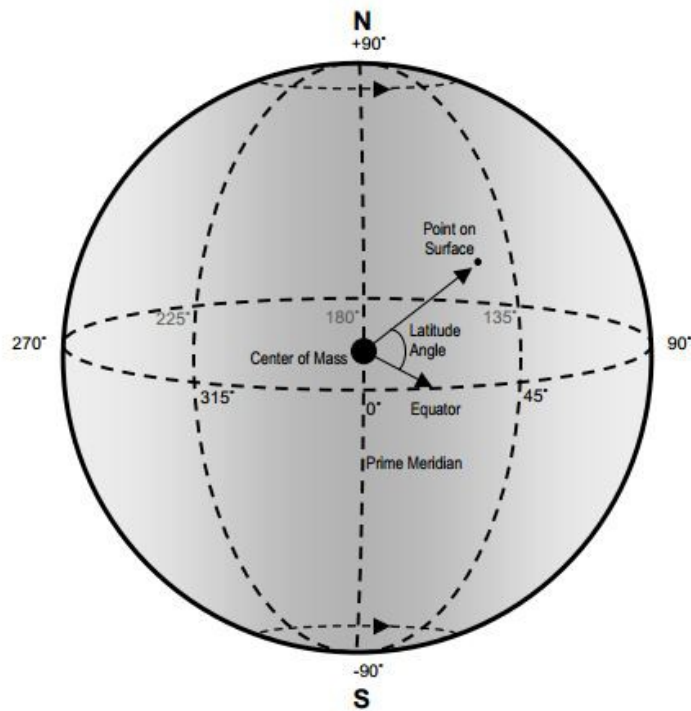


Figure 1. Planetocentric coordinates are expressed as right-handed coordinates with the origin at the center of mass of the body.

Εικόνα 3.1.1. Οι πλανητοκεντρικές συντεταγμένες είναι δεξιόστροφες με κέντρο την μάζα του σώματος.

3.2. ΗΛΙΟΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ **ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ (Sunstate Coordinate** **System)**

Η αρχή των αξόνων του ορθοκανονικού συστήματος ταυτίζεται και πάλι με το κέντρο μάζας του Άρη:

- Ο άξονας x είναι συνεχώς ευθυγραμμισμένος με την κατεύθυνση Άρης-Ήλιος.
- Ο άξονας y έχει κατεύθυνση αντίθετη από το διάνυσμα της ταχύτητας κίνησης του πλανήτη γύρω από τον Ήλιο.
- Ο άξονας z συμπληρώνει το ορθοκανονικό σύστημα.

Το σύστημα αυτό ενδείκνυται για τη μελέτη διαμορφώσεων και φαινομένων που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του περιβάλλοντος του πλανήτη με την ηλιακή ακτινοβολία, με τη ροή του ηλιακού ανέμου και γενικότερα με την ηλιακή δραστηριότητα.

Από τις συντεταγμένες x_{ss} , y_{ss} , z_{ss} του ηλιοστατικού συστήματος, είναι εύκολο να υπολογιστούν τόσο η ζενίθεια γωνία (SZA) αλλά και ο τοπικός χρόνος (LT) με τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} SZA &= \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{y_{ss}^2 + z_{ss}^2}}{x_{ss}} \right) \\ LT &= \frac{24}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{-y_{ss}}{-x_{ss}} \right) \\ \text{ύψος δορυφόρου} &= \sqrt{x_{ss}^2 + y_{ss}^2 + z_{ss}^2} - R_M \end{aligned} \tag{2}$$

3.3. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Η θέση του Άρη σε σχέση με τον Ήλιο μπορεί να περιγραφεί με τρεις γωνίες, την πλανητική κλίση (TILT), το ισημερινό μήκος (SSLON) και το αρεοκεντρικό μήκος του Ήλιου (L_S). Το ισημερινό μήκος (SSLON) και η γωνία του βορείου πόλου του πλανήτη, όπως αυτή μετριέται από τον Ήλιο (CLOCK), συνδέονται με την κλίση και το L_S από τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} SSLAT &= TILT \cdot \sin(L_S) \\ CLOCK &= TILT \cdot \cos(L_S) \end{aligned} \quad (3)$$

Οι γωνίες SSLON, SSLAT και CLOCK είναι ουσιαστικά οι γωνίες Euler για τον μετασχηματισμό από το Ηλιοστατικό Σύστημα Συντεταγμένων στο Πλανητοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων. Άρα ο μετασχηματισμός αυτός μπορεί να επιτευχθεί πολλαπλασιάζοντας τον πίνακα μετασχηματισμού (M_{SSPC}) με ένα διάνυσμα στήλη της θέσης του δορυφόρου στο Ηλιοστατικό Σύστημα Συντεταγμένων, έτσι ώστε να προκύπτει το αποτέλεσμα να είναι ένα διάνυσμα στήλη της θέσης του δορυφόρου σε Πλανητοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων. Ο πίνακας μετασχηματισμού M_{SSPC} είναι ο εξής:

$$M_{SSPC} = \begin{pmatrix} \cos T \cdot \cos N & -\sin C \cdot \sin T \cdot \cos N - \cos C \cdot \sin N & -\cos C \cdot \sin T \cdot \cos N + \sin C \cdot \sin N \\ \cos T \cdot \sin N & -\sin C \cdot \sin T \cdot \sin N + \cos C \cdot \cos N & -\cos C \cdot \sin T \cdot \sin N - \sin C \cdot \cos N \\ \sin T & \sin C \cdot \cos T & \cos C \cdot \cos T \end{pmatrix} \quad (4)$$

Όπου $N = SSLOT$

$T = SSLAT$

$C = CLOCK$

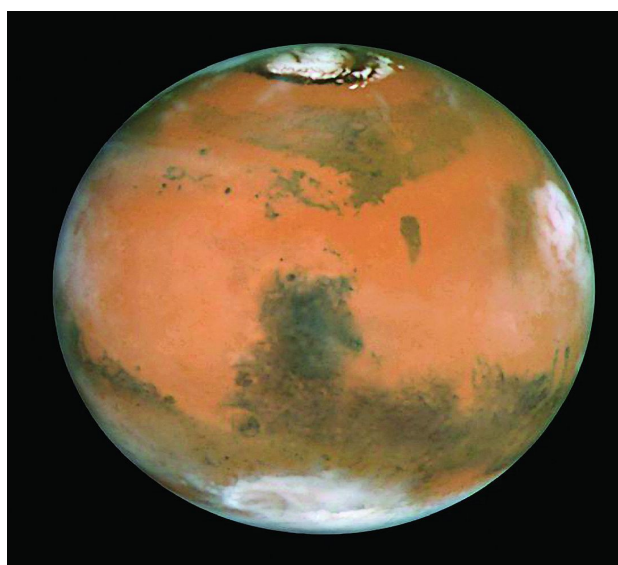
Ο αντίστροφος μετασχηματισμός, δηλαδή από Πλανητοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων σε Ηλιοστατικό Σύστημα Συντεταγμένων, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του αντίστροφου πίνακα M_{SSPC} με ένα διάνυσμα στήλη της θέσης του δορυφόρου σε πλανητοκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων αντίστοιχα.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι τα στοιχεία του πίνακα του μετασχηματισμού είναι χρονομεταβλητά καθώς εξαρτώνται από την φάση τροχιάς του πλανήτη γύρω από τον Ήλιο, δηλαδή τις εποχές. Συνεπώς η μετατροπή του ενός συστήματος συντεταγμένων στο άλλο είναι μια σχετικά πολύπλοκη διαδικασία.

4. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΡΗ

4.1. Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΗ

Η μεγαλύτερη επιφάνεια του Άρη καλύπτεται από μια εκτεταμένη έρημο. Παρόλο που δεν υπάρχει σήμερα καθόλου νερό σε υγρή μορφή, στην επιφάνεια του πλανήτη εμφανίζονται εκτεταμένες περιοχές ξηρού πάγου, δηλαδή στερεού διοξειδίου του άνθρακα, και υδάτινου πάγου, τόσο στο Βόρειο όσο και στο Νότιο Ημισφαίριο του Άρη. Η μορφολογία του μοιάζει αρκετά με της Σελήνης με κρατήρες σε διαφόρων μεγεθών. Αν η επιφάνεια της Γης δεν καλυπτόταν στο 70% της με νερό, τότε θα μπορούσαμε να συγκρίνουμε τη μορφολογία της με του Άρη. Παρατηρούμε ομοίως με τη Γη να εμφανίζονται πεδιάδες ερήμων και αμμόλοφων, βαθιές χαράδρες που εκτείνονται για χιλιόμετρα, μέχρι και πετρώδη βουνά.

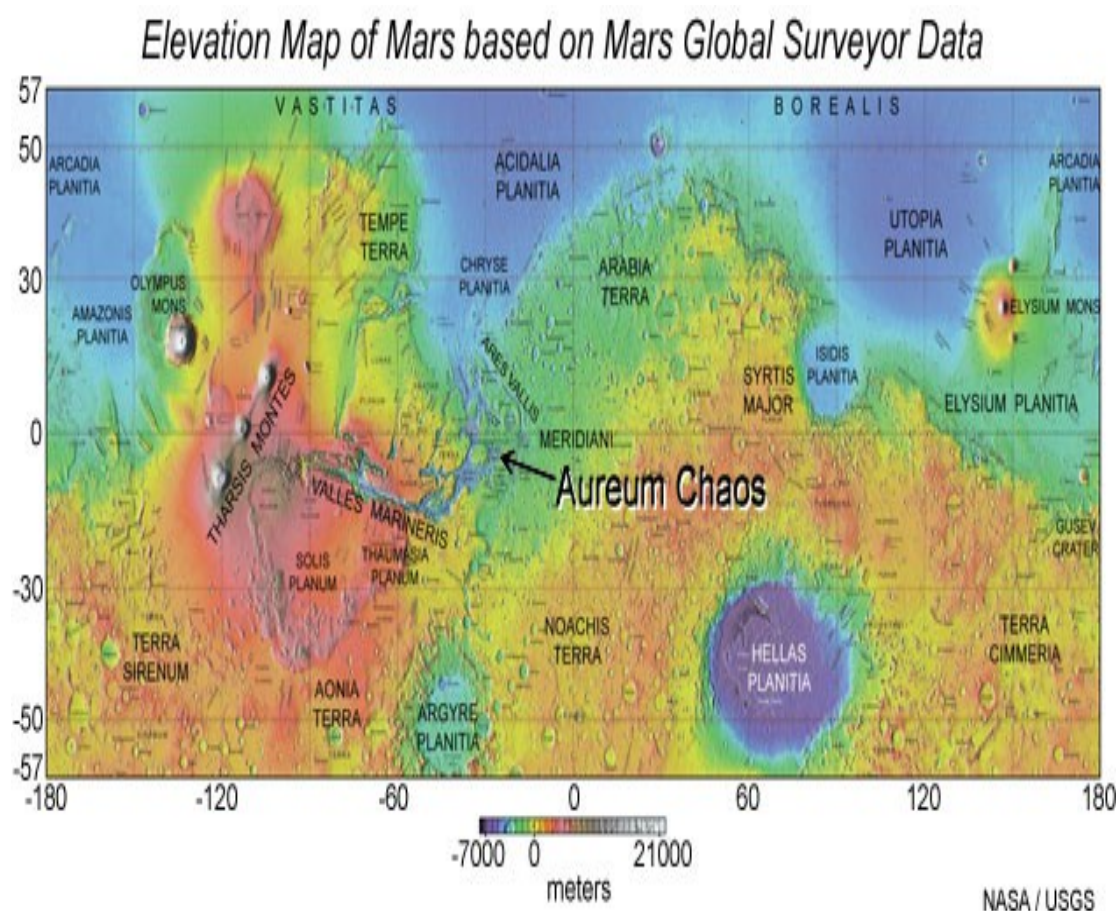


Εικόνα 4.1.1. Απεικόνιση του Άρη όπου φαίνονται τα πολικά καλύμματα.

Επειδή ο Άρης δεν έχει ωκεανούς, ορίζουμε ως μηδενικό υψόμετρο το ύψος στο οποίο υπάρχει ατμοσφαιρική πίεση ίση με $6,105 \text{ mbar}^2$. Με

2 Η πίεση αυτή αντιστοιχεί στο τριπλό σημείο του νερού, και είναι περίπου 0,6% του

αυτήν την παραδοχή το υψόμετρο κυμαίνεται από -9 km έως και +21 km, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1.2.. Μάλιστα το όρος “Όλυμπος” είναι το ψηλότερο βουνό του Ηλιακού μας Συστήματος αφού έχει τρεις φορές το ύψος του Έβερεστ. Από μελέτες διαπίστωσαν ότι ο “Όλυμπος” δημιουργήθηκε από την έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα που χαρακτήριζε τον Άρη στο παρελθόν (Bleacher et al. 2011). Το μεγάλο ύψος του όρου “Όλυμπος” οφείλεται στο μάγμα που αναδύοταν συνεχώς στο ίδιο σημείο, με τον ίδιο τρόπο όπως και στα νησιά της Χαβάης, με την μόνη διαφορά ότι στον Άρη δεν υπήρχε κίνηση των τεκτονικών πλακών με αποτέλεσμα το υψόμετρο του μάγματος όλο και αυξανόταν.

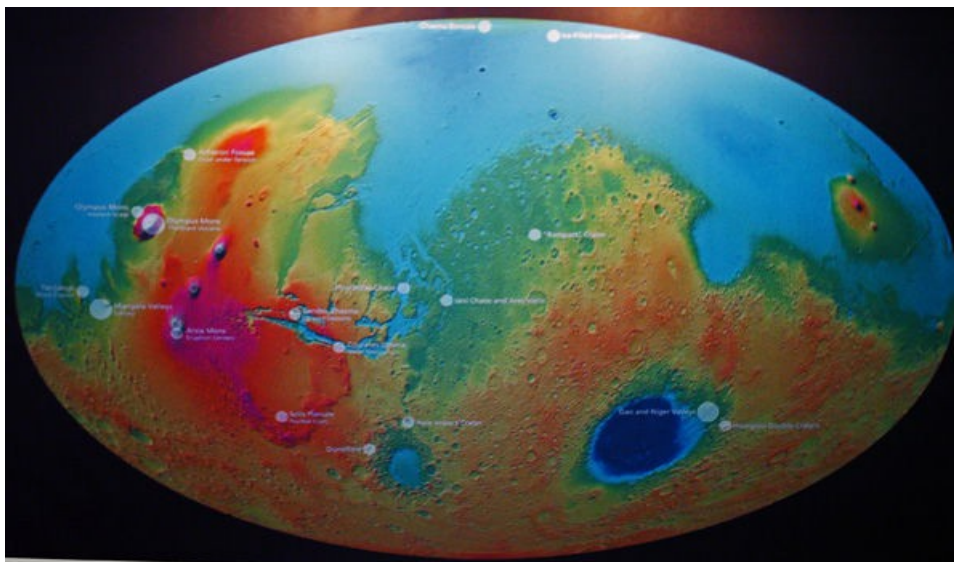


Εικόνα 4.1.2. Υψομετρικός χάρτης του Άρη από τα δεδομένα του Mars Global Surveyor. Το μηδενικό υψόμετρο παρουσιάζεται με κίτρινο, το χαμηλότερο υψόμετρο που φτάνει μέχρι -7 km φαίνεται με μαύρο ή και αποχρώσεις σκούρου μοβ και το υψηλότερο υψόμετρο που φτάνει στα 21 km φαίνεται με άσπρο και αποχρώσεις του κόκκινου.

επιπέδου πίεσης επιφάνεια της θάλασσας στη Γη (0,006 atm). Στην πράξη, σήμερα αυτή η επιφάνεια ορίζεται απευθείας από δορυφορικές μετρήσεις της βαρύτητας.

Όπως παρατηρείται και στην Εικόνα 4.1.2. ο Άρης παρουσιάζει μια ιδιόμορφη μορφολογική διχοτόμηση. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι ο πλανήτης σχεδόν χωρίζεται σε δύο ημισφαίρια. Το Νότιο Ημισφαίριο χαρακτηρίζεται κυρίως από υψηλό υψόμετρο και αποτελείται από κρατήρες, βουνά και λόφους. Αντίθετα το Βόρειο Ημισφαίριο χαρακτηρίζεται από χαμηλό υψόμετρο και αποτελείται κυρίως από πεδιάδες. Επίσης στα όρια μεταξύ αυτών των δύο ημισφαιρίων παρουσιάζεται μια υψομετρική μεταβολή μερικών χιλιομέτρων.

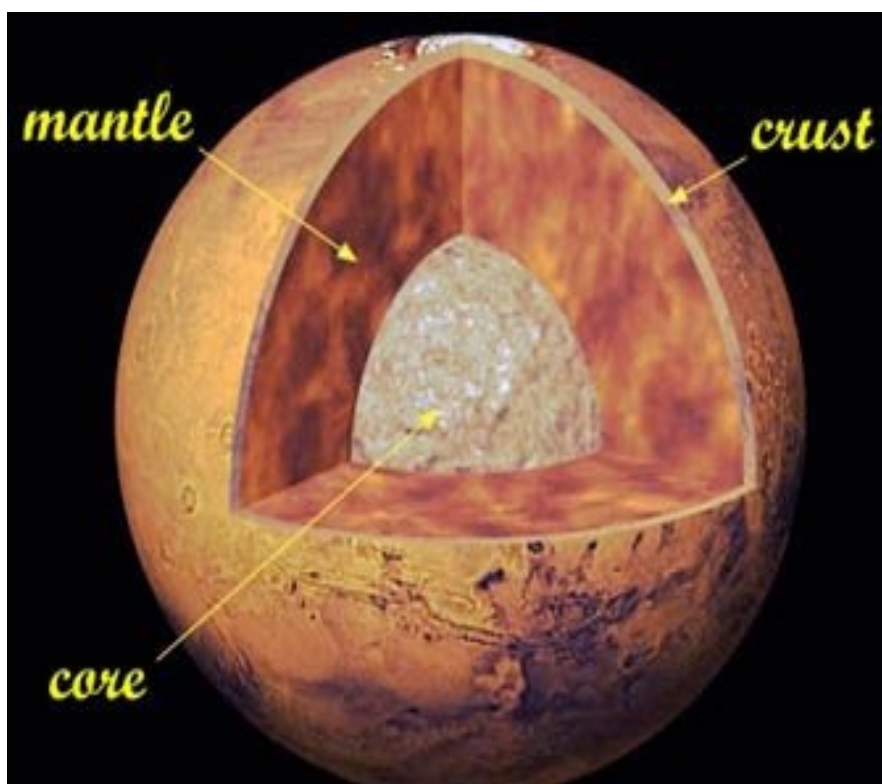
Η εξέλιξη της μορφολογίας του Άρη παραμένει ακόμα μυστήριο. Υπάρχουν όμως θεωρίες που προσπαθούν να εξηγήσουν το πώς και το γιατί δημιουργήθηκε αυτή η μορφολογική διχοτόμηση του πλανήτη. Από τις επικρατέστερες θεωρίες (Andrews Hanna et al. 2008, Marinova et al. 2008, Nimmo et al. 2008) είναι η υπόθεση ότι δημιουργήθηκε από μια σύγκρουση ενός ή και πολλαπλών μετεωριτών στο Βόρειο Τμήμα του πλανήτη. Αυτές οι συγκρούσεις θεωρούν ότι κατάφεραν να δημιουργήσουν την πεδιάδα “Borealis” που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του Βορείου Ημισφαιρίου του Άρη. Υπάρχουν όμως και επιστήμονες (Keller, Tackley, 2008) που υποστηρίζουν ότι η διαμόρφωση της επιφάνειας του πλανήτη οφείλεται σε μια εσωτερική ανακατανομή του μανδύα.



Εικόνα 4.1.3. Σφαιρικός υψομετρικός χάρτης του Άρη, όπου διακρίνεται η διχοτόμηση της επιφάνειάς του πλανήτη.

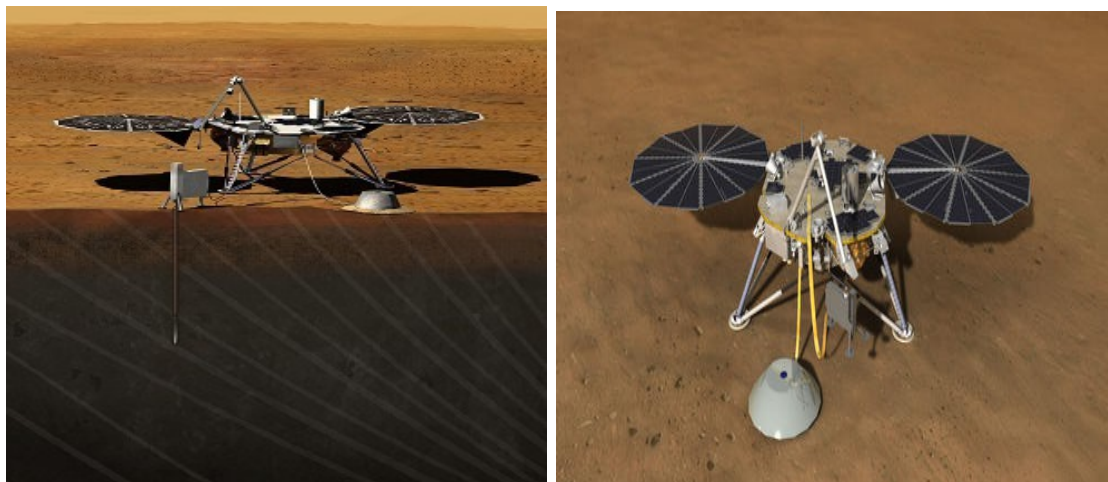
4.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΑΡΗ

Το εσωτερικό του Άρη μας είναι ακόμη άγνωστο, ωστόσο κάποιες πληροφορίες μπορούμε να αντλήσουμε από τα δείγματα που μελέτησαν οι διάφορες αποστολές. Μπορούμε όμως να θεωρήσουμε ότι η δομή του Άρη μοιάζει όπως και των υπολοίπων πλανητών. Με αυτή την υπόθεση το εσωτερικό του χωρίζεται σε τρία μέρη, τον πυρήνα, τον μανδύα και τον φλοιό (Εικόνα 4.2.1.). Δεν είναι ακόμη σαφές αν ο πυρήνας είναι σε ρευστή ή στερεή κατάσταση, ή αν διαχωρίζεται σε στερεό εσωτερικό και ρευστό εξωτερικό πυρήνα. Ο φλοιός από δεδομένα του Mars Global Surveyor παρουσιάζεται να έχει πάχος 80 km στο Νότιο Ημισφαίριο και 35 km πάχος στο Βόρειο Ημισφαίριο.



Εικόνα 4.2.1. Απεικόνιση της εσωτερικής δομής του Άρη.

Μια νέα αποστολή με το “Insight rover” θα ξεκινήσει το 2016 με σκοπό να μελετήσει την εσωτερική δομή του Άρη (Banerdt 2013). Σ αυτή την αποστολή το ρομπότ “Insight” θα πραγματοποιήσει μετρήσεις για να μπορέσουμε να καθορίσουμε την παρούσα τεκτονική δραστηριότητα. Θα χρησιμοποιήσει δυο βασικά όργανα, ένα για να μετρήσει τη σεισμική δραστηριότητα και ένα δεύτερο το οποίο θα διεισδύσει στο φλοιό του πλανήτη σε βάθος πέντε μέτρων, όπου θα τοποθετήσει αισθητήρες θερμοκρασίας. Με αυτή την αποστολή οι επιστήμονες περιμένουν να διαπιστώσουν αν τελικά ο πυρήνας του Άρη είναι υγρός ή στέρεος ή αν μοιάζει με τον πυρήνα της Γης.

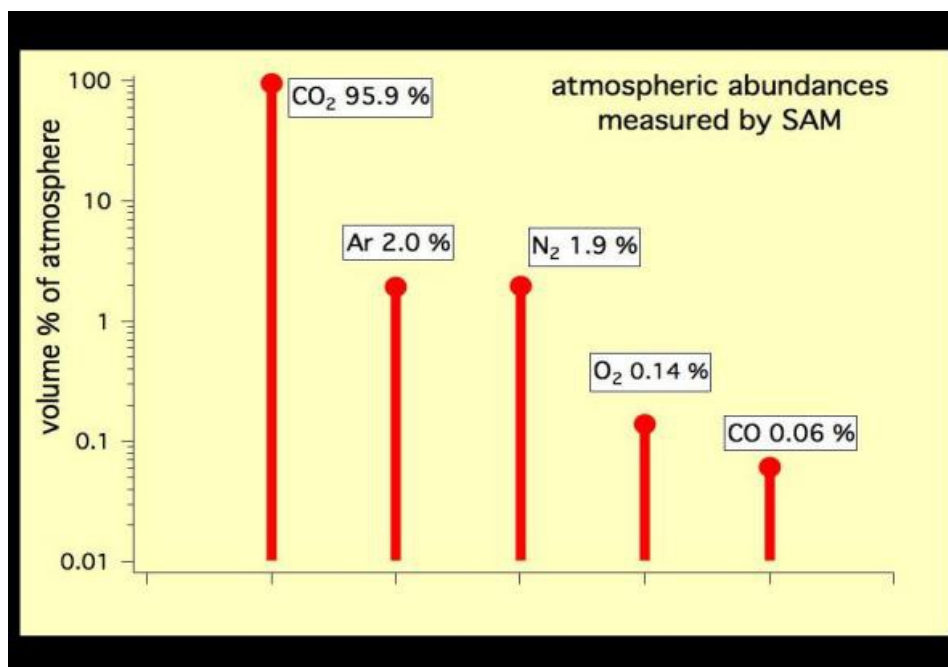


Εικόνα 4.2.2. Το Insight Rover, όπου αριστερά φαίνεται ο αισθητήρας θερμοκρασίας στο εσωτερικό του Άρη και δεξιά φαίνεται το σεισμόμετρο.

5. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΟΥ ΑΡΗ

Η αποστολή Mars Science Laboratory έχει ως στόχο την μελέτη και τον καθορισμό των συστατικών της ατμόσφαιρας του Άρη. Το Mars Science Laboratory έχει εξοπλιστεί με το Sample Analysis (SAM), ένα όργανο με το οποίο μπορούσε να διεξάγει τις απαραίτητες χημικές και ισοτοπικές αναλύσεις των συστατικών της ατμόσφαιρας αλλά και των πετρωμάτων του Άρη (Mahaffy Paul 2008).

Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες, το 95,97% της ατμόσφαιρας του Άρη αποτελείται από το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Ακόμη βρίσκονται σε μικρότερα ποσοστά κι άλλα συστατικά, όπως το άζωτο (N_2) σε 1,89%, το αργό (Ar) σε 1,93%, το οξυγόνο (O_2) σε 0,146% και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε 0,056%. Γραφική παράσταση των συστατικών της ατμόσφαιρας του πλανήτη παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.1.. Επιπλέον έχουν ανιχνευτεί και σωματίδια σκόνης, ίσα περίπου με 1,5 μm διάμετρο, λόγω των οποίων όταν βρίσκεσαι στην επιφάνεια του Άρη ο ουρανός να εμφανίζεται με ένα καστανόξανθο χρώμα (Trainer 2013).



Γράφημα 5.1. Γραφική απεικόνιση των συστατικών της ατμόσφαιρας του Άρη σε ποσοστά από τον Trainer 2013.

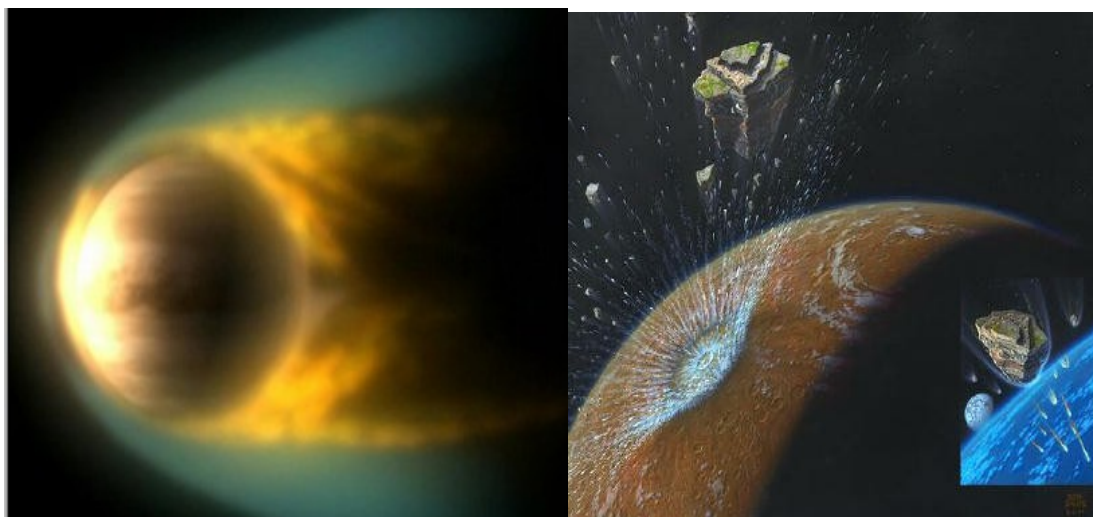
Η ατμόσφαιρα του Άρη είναι αρκετά αραιή σε σύγκριση με την ατμόσφαιρα της Γης. Η μέση ατμοσφαιρική πίεση του Άρη ισούται με 600 Pa στο επίπεδο της επιφάνειάς του. Αν κάναμε σύγκριση με τη Γη τότε θα λέγαμε ότι η πίεση στην επιφάνεια του Άρη είναι ίση περίπου με την πίεση που ασκείται στα 35 km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Γενικά η ατμοσφαιρική πίεση μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή λόγω των υψομετρικών διαφορών που παρουσιάζει ο πλανήτης, όπως έχουμε αναφέρει και στην Παράγραφο 4.1.. Δηλαδή στο όρος “Όλυμπος” η ατμοσφαιρική πίεση είναι περίπου ίση με 30 Pa, ενώ στην περιοχή “Hellas Planitia” είναι ίση με 1155 Pa.

Η πυκνότητα και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας του Άρη εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι ο τοπικός ηλιακός χρόνος, η εποχή (δηλαδή η θέση του πλανήτη σε σχέση με τον Ήλιο), οι αερογραφικές συντεταγμένες, το ανάγλυφο της περιοχής και έκτακτα καιρικά φαινόμενα, τοπικού ή πλανητικού χαρακτήρα. Βέβαια εξάρτηση περιμένουμε να υπάρχει και από τις συνθήκες του ηλιακού ανέμου και συνεπώς και από την ηλιακή δράση (π.χ. έκτακτα γεγονότα, κύκλος ηλιακής δραστηριότητας) αφού ο πλανήτης δεν έχει επαρκή μαγνητική προστασία.

Στην ιονόσφαιρα τα ιόντα που κυριαρχούν είναι O_2^+ , O^+ , CO_2^+ , H^+ , N_2^+ και NO^+ . Η πυκνότητά τους, συνεπώς και η ιονοσφαιρική πίεση, ακολουθούν εκθετική μείωση με το ύψος. Η κλίμακα ύψους της μείωσης αυτής δεν είναι ούτε χρονικά, ούτε τοπικά σταθερή. Η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 100 και 200 km. Η ιονόσφαιρα χαρακτηρίζεται από ασθενές (περίπου 10 nT) και κατά κανόνα οριζόντιο μαγνητικό πεδίο, ενώ το μέσο ύψος της είναι περίπου 400 km. Η ιονόσφαιρα, μαζί με το ασθενές και τοπικού χαρακτήρα επιφανειακό μαγνητικό πεδίο του Άρη, αποτελούν ουσιαστικά την «ασπίδα» του πλανήτη απέναντι στη ροή του ηλιακού ανέμου.

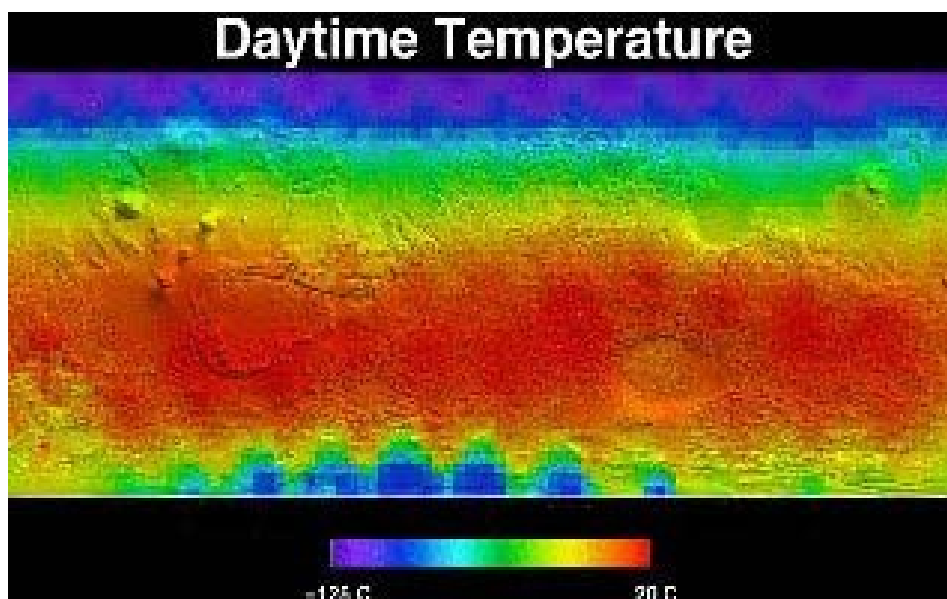
Οι ερευνητές δίνουν αρκετή σημασία στην ατμόσφαιρα του Άρη. Με τις πληροφορίες αυτές προσπαθούν να απαντήσουν στο διαχρονικό ερώτημα αν ο Άρης μπορούσε ή θα μπορεί να κατοικηθεί στο μέλλον. Όσο αφορά το θέμα για το πως διαμορφώθηκε η ατμόσφαιρα του πλανήτη στο πέρασμα των χρόνων, αυτό είναι ένα ερώτημα το οποίο εξακολουθεί να διχάζει την επιστημονική κοινότητα. Αρκετές έρευνες έχουν αποδείξει ότι μέσα στα υποθετικά αυτά σενάρια συμβάλει σημαντικά η επίδραση του Ηλιακού ανέμου (Witasse et al. 2012, Nilsson 2012). Το γεγονός ότι ο Άρης δεν παρουσιάζει μαγνητικό πεδίο (Παράγραφος 6.2.) έχει ως αποτέλεσμα να αφήνει την ατμόσφαιρά του εκτεθειμένη στον Ηλιακό Άνεμο. Έτσι με την πάροδο του χρόνου υλικό

της ατμόσφαιρας εξατμίζεται ή διαχέεται στο διαπλανητικό χώρο. Υπάρχει όμως και η μερίδα ερευνητών που παρουσιάζουν τη διαμόρφωση της ατμόσφαιρας του Άρη σαν αποτέλεσμα διάχυσης υλικού στο διαπλανητικό χώρο εξαιτίας ενός ή και πολλαπλών συγκρούσεων μετεωριτών πάνω στο πλανήτη (Stewart and Mukhopadhyay 2013, D. de Niema 2012).

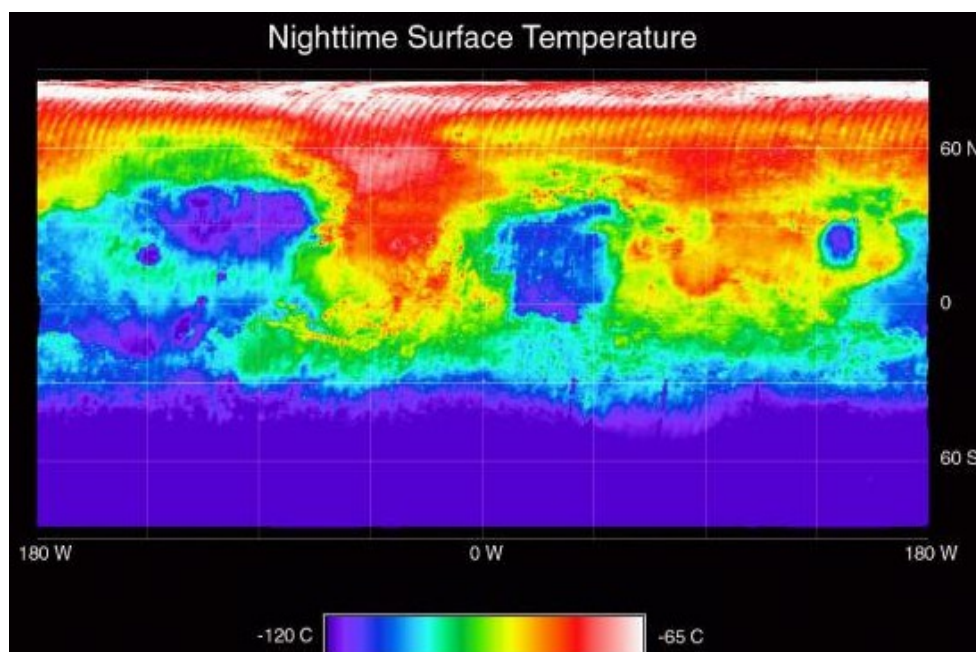


Εικόνα 5.2. Απεικόνιση των δύο θεωριών διαμόρφωσης της ατμόσφαιρας του Άρη. Αριστερά φαίνεται η αλληλεπίδραση του Ηλιακού Ανέμου στην ατμόσφαιρά του και η διαχυσή της στο διαπλανητικό χώρο. Δεξιά φαίνεται η απώλεια ατμοσφαιρικού υλικού μετά από σύγκρουση μετεωριτών στην επιφάνεια του πλανήτη.

Η επιφανειακή θερμοκρασία κυμαίνεται από $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ως $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπως γίνεται φανερό στην Εικόνα 5.3. και 5.4., Κατά τη διάρκεια της ημέρας και λόγω της απουσίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία ρυθμίζεται πρωτίστως από τη ροή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, έτσι η ισημερινή ζώνη είναι θερμότερη. Η ασυμμετρία ανάμεσα στο Βόρειο και το Νότιο Ημισφαίριο είναι αποτέλεσμα του ότι η κατανομή αντιστοιχεί σε χρονική περίοδο κοντά στο χειμώνα του βορείου ημισφαιρίου. Στη διάρκεια της νύχτας, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται στο νότιο ημισφαίριο όπου το ανάγλυφο είναι εντονότερο και το υψόμετρο γενικά μεγαλύτερο, αφού στην περιοχή αυτή υπάρχουν οι περισσότεροι ορεινοί όγκοι του Άρη (Σέργης, 2006).



Σχήμα 5.3. Κατανομή της θερμοκρασία στην επιφάνεια του Άρη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όπως είναι αναμενόμενο, η ισημερινή ζώνη του πλανήτη είναι θερμότερη, ενώ η ασυμμετρία μεταξύ βορρά και νότου οφείλεται στην εποχή που ελήφθησαν οι αντίστοιχες μετρήσεις (φθινόπωρο προς χειμώνα βορείου ημισφαιρίου).



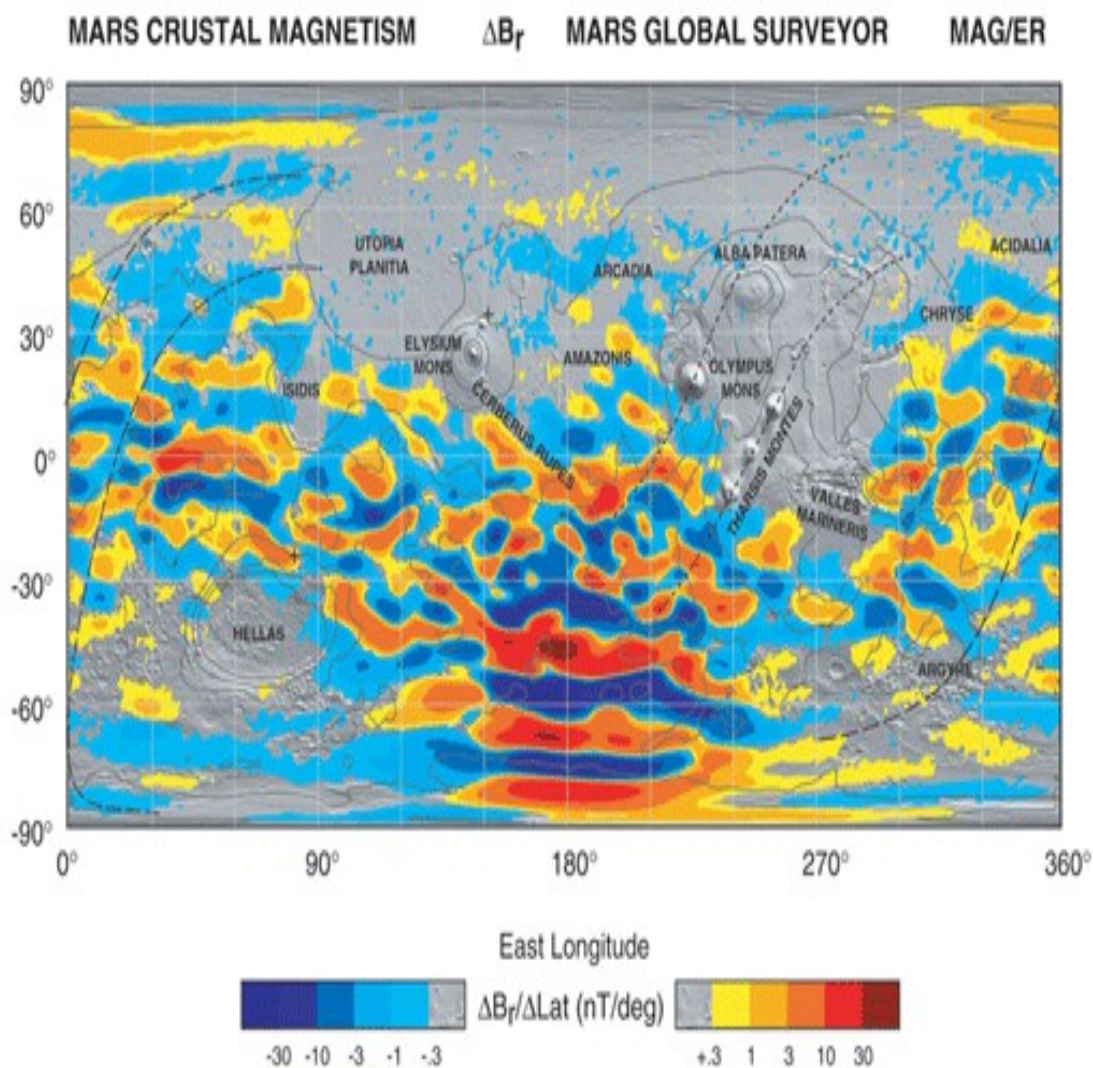
Εικόνα 5.4. Κατανομή της θερμοκρασία στην επιφάνεια του Άρη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στο νότο η θερμοκρασία είναι εμφανώς χαμηλότερη, κυρίως εξαιτίας της εδαφικής μορφολογίας εκεί. Διακρίνονται επίσης ψυχρές «νησίδες» σε σχετικά θερμότερο περιβάλλον, οι οποίες αντιστοιχούν στους ορεινούς όγκους.

6. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ **ΑΡΗ**

Ο πλανήτης Άρης παρουσιάζει ένα μοναδικό χαρακτηριστικό, δεν έχει ένα πλανητικής κλίμακας ενδογενές μαγνητικό δίπολο. Παρόλα αυτά από την αποστολή του Mars Global Surveyor αποδείχθηκε ότι παρουσιάζει εντονότατη εδαφική μαγνήτιση με τη μορφή εντοπισμένων μαγνητικών περιοχών (Acuna 2001).

6.1. ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΦΛΟΙΟΥ

Αυτές οι περιοχές μαγνητικής δραστηριότητας είναι κατανεμημένα τυχαία πάνω στον Άρη.(Acuna et al. 1999, 2001). Παρόλα αυτά από τις μετρήσεις του Mars Global Surveyor παρατηρείται ότι η μαγνήτιση του φλοιού ακολουθεί το φαινόμενο διχοτόμησης του. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.1.1. παρακάτω, στο Νότιο τμήμα του φλοιού και συγκεκριμένα στη περιοχή Terra Crimmeria, παρατηρούνται εκτεταμένες ζώνες εναλλαγής της μαγνητικής πολικότητας. Ενώ το Βόρειο τμήμα του Άρη είναι μαγνητικά ηπιότερο εκτός από δύο περιοχές που παρουσιάζουν ένα σχετικά ασθενές μαγνητικό πεδίο. Λόγω αυτού του ασθενούς μαγνητικού περιβάλλοντος, οι περιοχές αυτές προσφέρονται για αναλυτική μελέτη και ασφαλέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα χαρακτηριστικά των μαγνητικών πηγών.



Connerney, J. E. P. et al., (2005) Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 102, No. 42, 14970-14975.

R1099_1.ppt

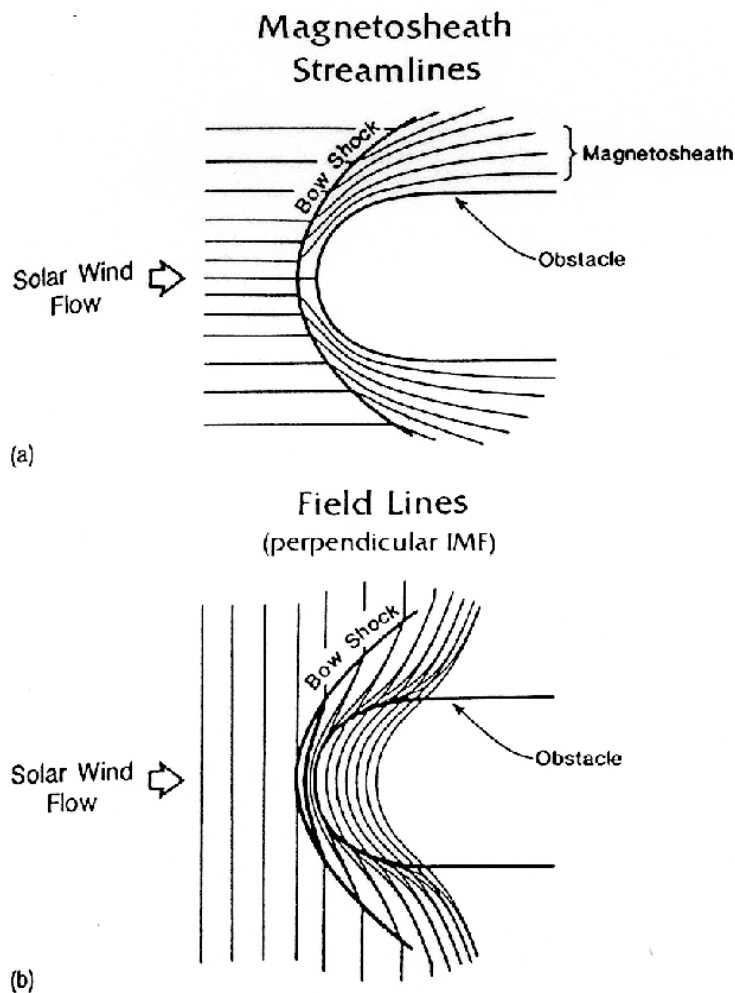
Εικόνα 6.1.1. Ο παγκόσμιος μαγνητικός χάρτης του Άρη που απεικονίζεται έχει κατασκευαστεί από χιλιάδες τροχιές του Mars Global Surveyor σε σταθερό υψόμετρο (τροχιά χαρτογράφησης). Χρησιμοποιεί τα ανάλογα χρώματα που παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της εικόνας, τα οποία αντιπροσωπεύουν την ισχύ και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που προκαλείται από τις μαγνητισμένες περιοχές του φλοιού. Διακρίνονται τα εντονότερα μαγνητικά πεδία του Νοτίου Πόλου του πλανήτη.

Παρόμοιες μαγνητικές ανωμαλίες στη Γη θεωρείται ότι δημιουργούνται λόγω της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του κεντρικού διπολικού πεδίου της, ενώ στους ωκεανούς παρατηρούνται λωρίδες σταθερής μαγνήτισης στον χρόνο. Οι μαγνητικές διαταραχές όμως στον Άρη είναι μεγαλύτερες από αυτές που μετρήθηκαν στη Γη. Επιπλέον ο Άρης στην παρούσα κατάσταση δεν έχει κεντρικό διπολικό μαγνητικό πεδίο. Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι μαγνητικές ανωμαλίες που φαίνονται στον φλοιό του Άρη είναι μόνιμες μαγνητικές δομές, οι οποίες είναι σταθερές συναρτήσει του χρόνου και πιθανόν να δημιουργήθηκαν στο παρελθόν από ένα ενδογενές κεντρικό πεδίο του Άρη.

Η επιφάνεια του Άρη χαρακτηρίζεται κυρίως από σίδηρο. Συνεπώς λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σιδήρου, αιτιολογείται η εμφάνιση των μαγνητικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Δεν μπορούμε να συγκρίνουμε παρόμοια ορυκτά στη Γη, γιατί η περιεκτικότητα σιδήρου των πετρωμάτων του Άρη είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτών των πετρωμάτων στη Γη. Τα ορυκτά του Άρη αυτά που βρέθηκαν από τις αποστολές είναι ο πυροτίτης (Fe_7S_8), ο μαγνητίτης (Fe_3O_4), ο τιτανομαγνητής (Fe_2O_3 - FeTiO_3), ο αιματίτης (Fe_2O_3) και ο μαγκεμίτης (γ - Fe_2O_3). Τα ορυκτά αυτά είναι κυρίως ηφαιστειακής προέλευσης, ενώ οι χημικές ενώσεις που κυριαρχούν είναι κυρίως οξείδια των Si, Fe, Ca, Ti, Na, Mg, Al και S.

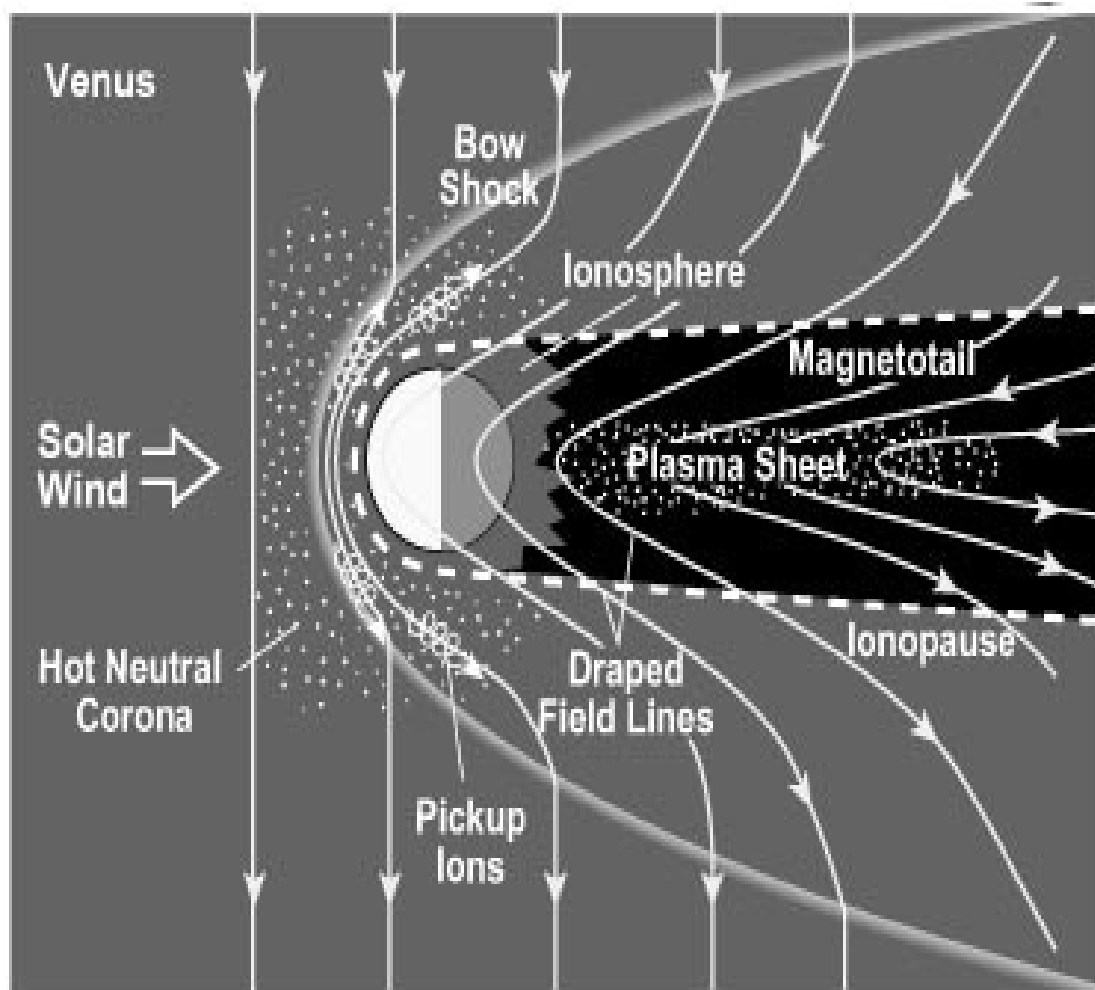
6.2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΗΛΙΑΚΟ ΑΝΕΜΟ

Όπως γνωρίζουμε ο Ηλιακός Άνεμος εκτείνεται στο Ηλιακό Σύστημα και επιβραδύνει όταν πλησιάζει ένα “εμπόδιο” (Parker 1958). Η αλληλεπίδραση αυτή του Ηλιακού Ανέμου με έναν πλανήτη διαχωρίζεται σε δύο κυρίως κατηγορίες, δηλαδή αν υπάρχει ή όχι μαγνητικό πεδίο. Ο Άρης και η Αφροδίτη ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία λόγω απουσίας κεντρικού μαγνητικού διπόλου.



Σχήμα 6.2.1. Απεικόνιση της διαταραχής του ηλιακού ανέμου (α) και του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου (β) που δημιουργείται από ένα πλανητικό εμπόδιο στον Ηλιακό άνεμο. Οι πρώτες αποστολές στον Άρη ανίχνευσαν αυτή τη διαταραχή, το μέγεθος του οποίου έδωσε ένα ανώτατο όριο για την ισχύ του μαγνητικού πεδίου του Άρη. (Luhmann and Brace 1991)

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.2.1. μπορούμε να διακρίνουμε διαφορά μεταξύ των μη μαγνητισμένων πλανητών, ή και ασθενώς μαγνητισμένων πλανητών. Αυτό συμβαίνει διότι η ατμόσφαιρα συνεισφέρει στην αλληλεπίδραση του Ηλιακού Ανέμου και μάλιστα στον Άρη σημαντικό ρόλο εμφανίζει η πίεση της ιονόσφαιρας του (Nagy et al. 2003).



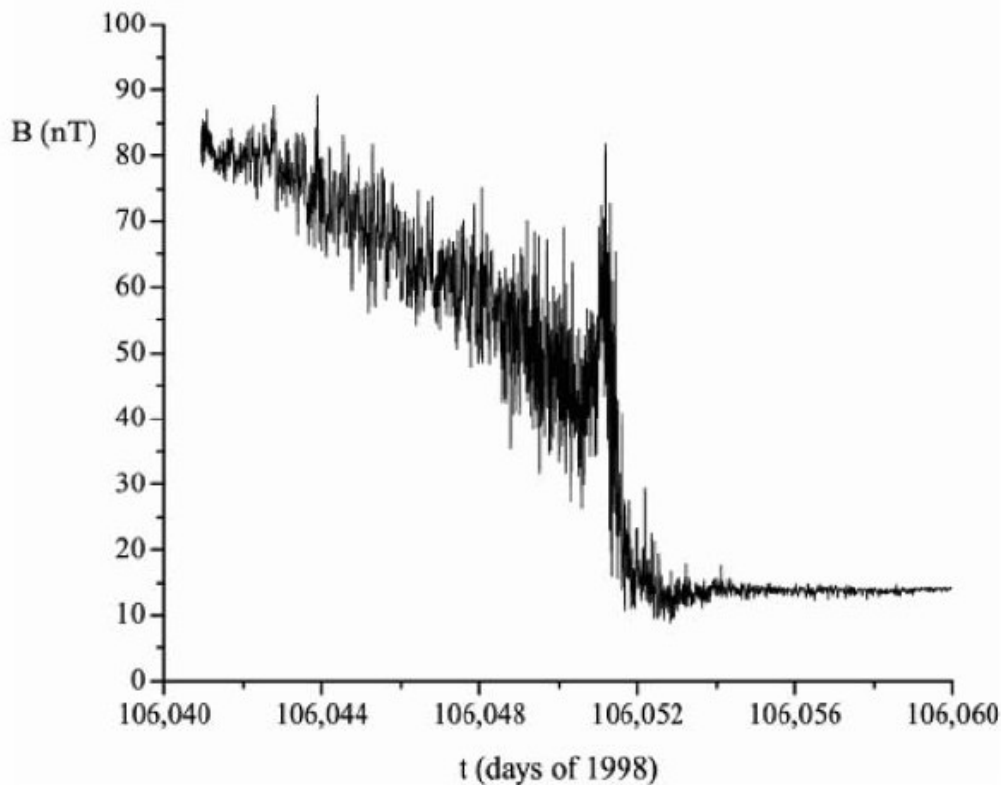
Σχήμα 6.2.2. Απεικόνιση της τυπικής περίπτωσης αλληλεπίδρασης του ηλιακού ανέμου με πλανήτη που διαθέτει ατμόσφαιρα, δεν έχει όμως ενδογενές μαγνητικό πεδίο. Διακρίνονται όλες οι επιμέρους περιοχές της διαμόρφωσης που προκύπτει, τα ηλεκτρικά ρεύματα, καθώς και οι γενικευμένες κινήσεις του πλάσματος. Το παράδειγμα του σχήματος είναι η περίπτωση της Αφροδίτης. (Σέρρης 2006)

Με την αλληλεπίδραση του Ηλιακού Ανέμου στον πλανήτη δημιουργούνται οι αντίστοιχες δυναμικές περιοχές που φαίνονται στο Σχήμα 6.2.2. , οι οποίες αναλύονται ξεχωριστά η κάθε μία.

A) ΤΟΞΟΕΙΔΕΣ ΚΡΟΥΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑ (Bow Shock)

Το κρουστικό κύμα είναι ένα τοξοειδές σταθερό κύμα που δημιουργείται μπροστά από ένα κινούμενο σώμα. Δημιουργούνται κατά συνέπεια δύο περιοχές, μπροστά από το κρουστικό κύμα η περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλή εντροπία, ενώ πίσω η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή εντροπία. Όταν ένα ρευστό βρεθεί στο σύστημα αναφοράς του κρουστικού κύματος στην περιοχή της χαμηλής εντροπίας η ταχύτητά του είναι υπερηχητική και όταν βρεθεί στην περιοχή υψηλής εντροπίας η ταχύτητά του είναι υποηχητική. Κατά αυτό τον τρόπο συμβαίνει και στην περίπτωση του Άρη, το κρουστικό κύμα εκτρέπει τη ταχύτητα της ροής του ηλιακού ανέμου σε υποηχητική.

Προς το παρόν ο μόνος τρόπος προσδιορισμού και αναπαράστασης του κρουστικού κύματος του Άρη είναι από υπολογιστικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά είναι προσεγγιστικά ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, δηλαδή αεροδυναμικά, υδροδυναμικά, μαγνητοϋδροδυναμικά μέχρι και υβριδικά. Βασικό χαρακτηριστικό που αναφέραμε και νωρίτερα είναι η απότομη μείωση της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου. Συνεπώς ένας ακριβής προσδιορισμός του κρουστικού κύματος γίνεται μέσα από την παρατήρηση των ταχυτήτων των πρωτονίων. Η αποστολή Mars Global Surveyor όμως δεν διέθετε κατάλληλο όργανο για την ανίχνευση των πρωτονίων.



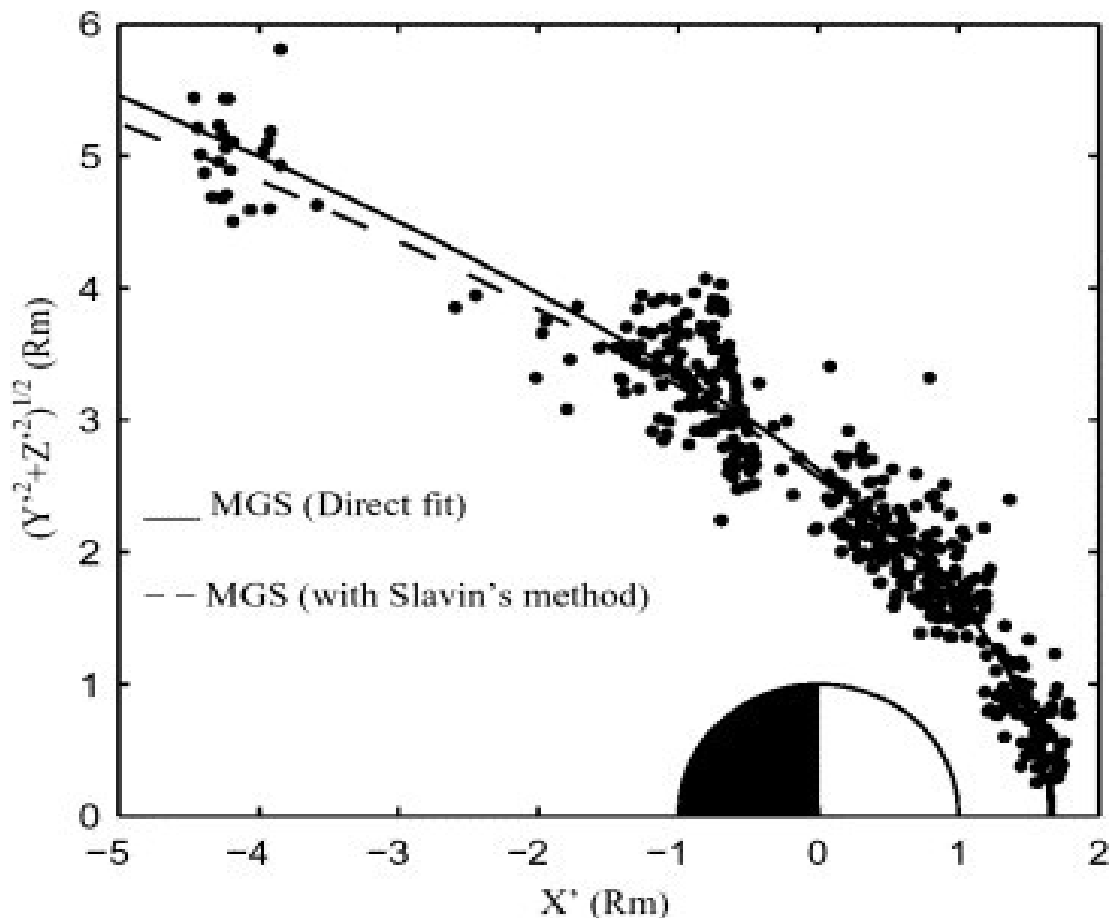
Σχήμα 6.2.3. Απεικόνιση της απότομης μείωσης του μαγνητικού πεδίου καθώς το Mars Global Surveyor περνάει από την μαγνητική κοιλότητα του πλανήτη στον αδιατάραχτο ηλιακό άνεμο. (Διαλυνάς 2006)

Άλλος τρόπος ανίχνευσης μπορεί να γίνει με την παρατήρηση του μαγνητικού πεδίου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.3.. Με μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου και της ροής των ηλεκτρονίων απεικονίζονται ευκρινώς οι διαβάσεις του Mars Global Surveyor διαμέσου του κρουστικού κύματος. Κατά τη διάβαση του αυτή, το μαγνητικό πεδίο ελαττώνεται απότομα λόγω της συμπίεσης που υφίσταται πίσω από το κρουστικό κύμα.

Από αυτά τα δεδομένα και τις κατάλληλες συντεταγμένες μπορεί να προσδιοριστεί η γεωμετρία του. Οι συντεταγμένες που διαλέγονται για την μελέτη των κρουστικών κυμάτων είναι οι ηλιοστατικές όπως έχουμε αναφέρει και στην Παράγραφο 3.2.. Αρχικές μελέτες χρησιμοποιώντας δισδιάστατη χωρική κατανομή δεδομένων οδηγήθηκαν στην εσφαλμένη ερμηνεία της κυλινδρικής συμμετρίας. Ωστόσο ο προσδιορισμός της γεωμετρίας του κρουστικού θέματος είναι ακόμα ένα ανοιχτό ζήτημα. Στην έρευνα του Vignes et al. (2000) διαπιστώνεται ότι μια τυπική απόσταση του μπροστινού ορίου του κρουστικού κύματος από το κέντρο

του πλανήτη είναι $1.67 \pm 0.03 R_M$ και η απόσταση μέχρι το σημείο τερματισμού του είναι ίση με $2.56 \pm 0.06 R_M$, με R_M η ακτίνα του Άρη. Μελέτες καταλήγουν σε ένα γενικό ορισμό όπου να προσδιορίζει το κρουστικό κύμα με τα εξής χαρακτηριστικά (Σέργης 2006):

- Λεία και ομαλή επιφάνεια με περιορισμένες ανομοιογένειες και σπάνια απότομες μεταβολές.
- Ασύμμετρη ως προς οποιοδήποτε άξονα.

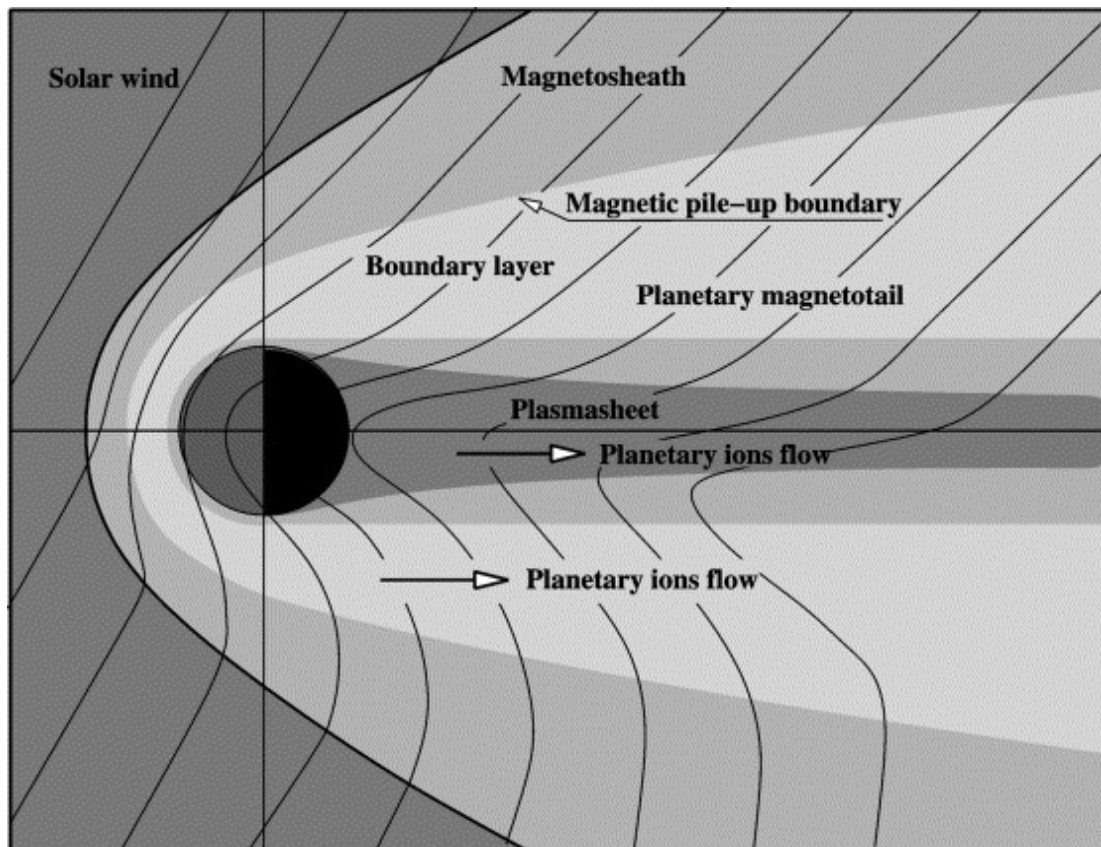


Σχήμα 6.2.3. Δισδιάστατη αναπαράσταση των διαβάσεων του Mars Global Surveyor από το κύμα κρούσης στο Ηλιοστατικό σύστημα $(x, \sqrt{y^2 + z^2})$ όπου έχουμε αποδεχτεί κυλινδρική συμμετρία γύρω από την ευθεία Άρης- Ήλιος (x - άξονας). Η παρατηρούμενη ακτινική διασπορά των σημείων είναι σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα αυτής της υπόθεσης και όχι πραγματική ένδειξη εμετάβλητου κρουστικού κύματος (Σέργης Ν. 2006).

B) ΜΑΓΝΗΤΟΘΗΚΗ (Magnetosheath)

Μαγνητοθήκη (Magnetosheath) ονομάζεται η περιοχή που σχηματίζεται μεταξύ του κρουστικού κύματος και της μαγνητόσφαιρας. Η μαγνητόσφαιρα (Magnetosphere) είναι ο χώρος που δημιουργείται γύρω από έναν πλανήτη από το μαγνητικό του πεδίο. Ο Άρης όμως έχασε την μαγνητόσφαιρά του πριν από 4 δισεκατομμύρια έτη περίπου, και έτσι ο ηλιακός άνεμος αλληλεπιδρά απευθείας με την ιονόσφαιρα του πλανήτη. Συνεπώς και η μαγνητοθήκη του καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ μεταξύ του κρουστικού κύματος και της ιονόσφαιρας του Άρη.

Η μαγνητοθήκη στον Άρη είναι μικρή σε μέγεθος και το πάχος της δεν ξεπερνάει τις γυροακτίνες των πρωτονίων που υπάρχουν στην περιοχή. Με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά του ηλιακού ανέμου δεν μπορούν να ομογενοποιηθούν πλήρως. Επιπλέον σύμφωνα με μελέτες, πιθανότατα να υπάρχουν και πρωτόνια από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας του Άρη (Dubinin et al 1993a, b).

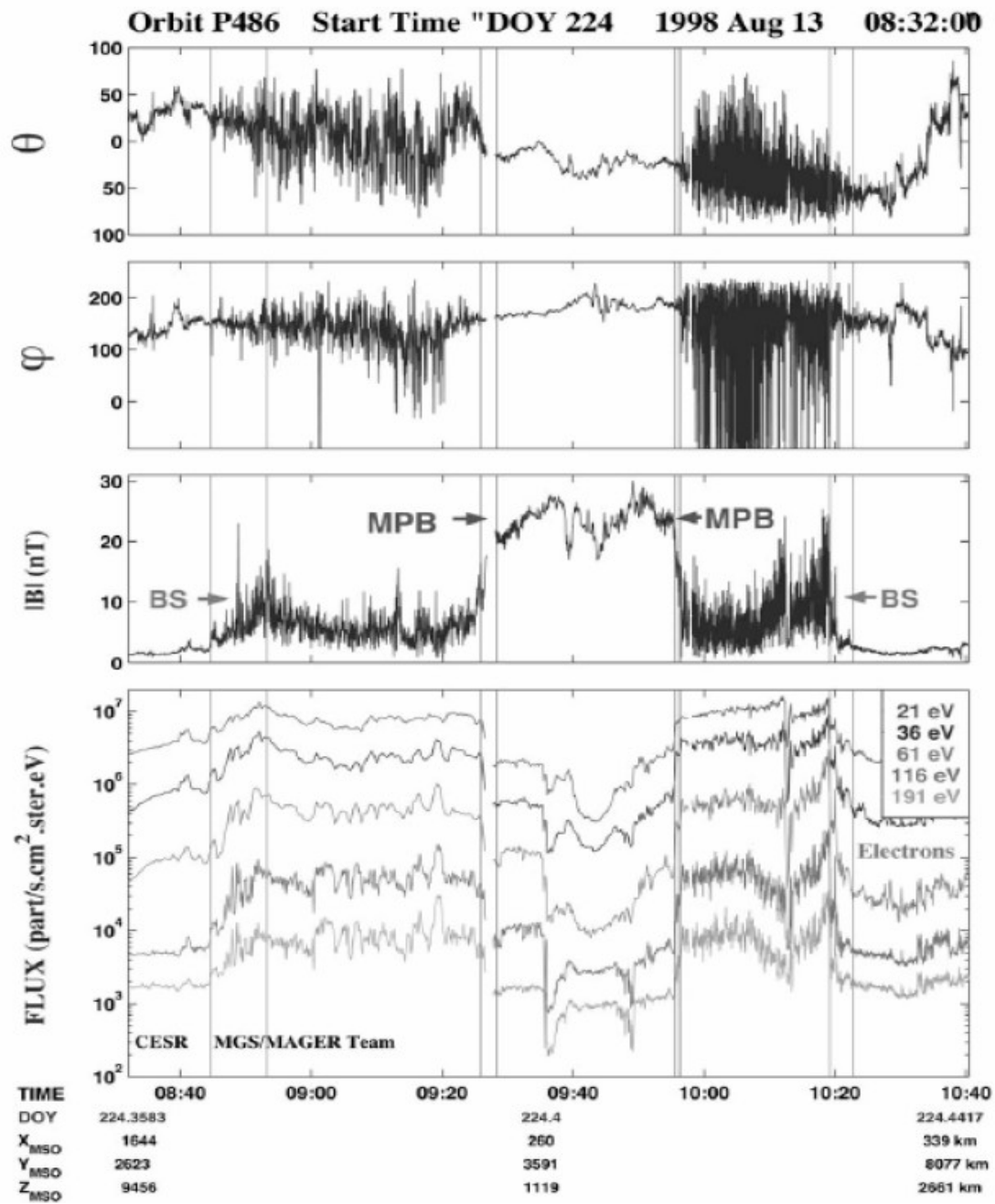


Σχήμα 6.2.4. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του περιβάλλοντος πλάσματος του πλανήτη Άρη που απεικονίζει τις κυριότερες δυναμικές επιφάνειες που σχηματίζονται κατά την αλληλεπίδραση του πλανήτη με τον ηλιακό άνεμο, στο ισημερινό επίπεδο. (Nagy et al. 2003)

Γ) ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (MAGNETIC PILEUP REGION - MPR)- ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΟΡΙΟ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (MAGNETIC PILEUP BOUNDARY - MPB)

Από τα δεδομένα του δορυφόρου Phobos-2 παρατηρήθηκε ότι μεταξύ του κρουστικού κύματος και της ιονόπαυσης, δηλαδή στην μαγνητοθήκη, δημιουργείται μια τρίτη περιοχή. Αυτή η περιοχή πρωτοονομάστηκε “Πλανητόπαυση” από τους Trotignon et al. (1996) σε απόσταση ίση με $1.25 R_M$. Στην περιοχή αυτή το μαγνητόμετρο του Phobos-2 κατέγραψε μια μείωση του στροβιλισμού του μαγνητικού πεδίου και περιστροφή του διανυσματός του (Riedler et al. 1989).

Στη συνέχεια η αποστολή του Mars Global Surveyor επιβεβαίωσε τη ύπαρξη της Μαγνητικής Περιοχής Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Regio) και μάλιστα είναι παρόμοια με της Αφροδίτης. Από τα δεδομένα που έστειλε ο δορυφόρος παρουσιάζονται απότομες μεταβολές στο μαγνητικό απότομες αλλά και στον πληθυσμό του πλάσματος (Σχήμα 6.2.5.).



Σχήμα 6.2.5. Το μαγνητικό πεδίο και οι ροές ηλεκτρονίων που καταγράφηκαν από το Mars Global Surveyor κατά τη διάρκεια της τροχιάς του στις 12 Αυγούστου 1998. (Vignes et al. 2000)

Στο Σχήμα 6.2.5 απεικονίζονται οι καταγραφές του Mars Global Surveyor στις 12 Αυγούστου του 1998 και διακρίνονται οι περιοχές που σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου. Παρουσιάζεται το μαγνητικό πεδίο και οι ροές των ηλεκτρονίων σε διαφορετικά εύρη ενεργειών (21 eV, 36 eV, 61 eV, 116 eV, 191 eV). Στην αρχή διακρίνεται η περιοχή του αδιατάραχτου ηλιακού ανέμου όπου το μαγνητικό πεδίο είναι μειωμένο, όπως έχουμε αναφέρει στην Παράγραφο 6.2.α., και κατόπιν περνάει στην περιοχή του κρουστικού κύματος (Bow Shock- BS). Η περιοχή του κρουστικού κύματος βρίσκεται ανάμεσα στις δύο πρώτες κάθετες γραμμές και εμφανίζει μια αύξηση του μαγνητικού πεδίου από περίπου 2 nT σε 16 nT μέσα σε ένα διάστημα σχεδόν δέκα λεπτών, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μία αύξηση των ηλεκτρονίων κατά 10. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιοχή της μαγνητοθήκης (Magnetosheath) όπου παρατηρούνται οι απότομες μεταβολές του μαγνητικού πεδίου και ο στροβιλισμός του. Στις επόμενες κάθετες γραμμές ακολουθεί το Μαγνητικό Όριο Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Boundary). Σε διάστημα τριών περίπου λεπτών παρατηρείται μια ασυνέχεια, όπου το μέτρο του μαγνητικού πεδίου αυξάνεται περίπου κατά 3 nT και ταυτόχρονα οι ροές των ηλεκτρονίων ελαττώνονται κατά μια τάξη μεγέθους. Όπου ο δορυφόρος μπαίνει στην μαγνητική κοιλότητα του πλανήτη από την οποία και μπορούμε να μελετήσουμε στη συνέχεια το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια του Άρη. Ο δορυφόρος όμως συνεχίζοντας την τροχιά του, διέρχεται πάλι από τις αντίστοιχες δυναμικές περιοχές που προαναφέραμε με την αντίθετη σειρά. Δηλαδή εξερχόμενος από την μαγνητική κοιλότητα του πλανήτη συναντάει την Μαγνητική Περιοχή Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Region) και το Όριο Μαγνητικής Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Boundary) αντίστοιχα, μετά διέρχεται από τη μαγνητοθήκη (Magnetosheath) και τέλος από το τοξοειδές κρουστικό κύμα (Bow shock) (Vignes et al 2000).

Η Μαγνητική Περιοχή Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Region) μπορεί να ανιχνευτεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους :

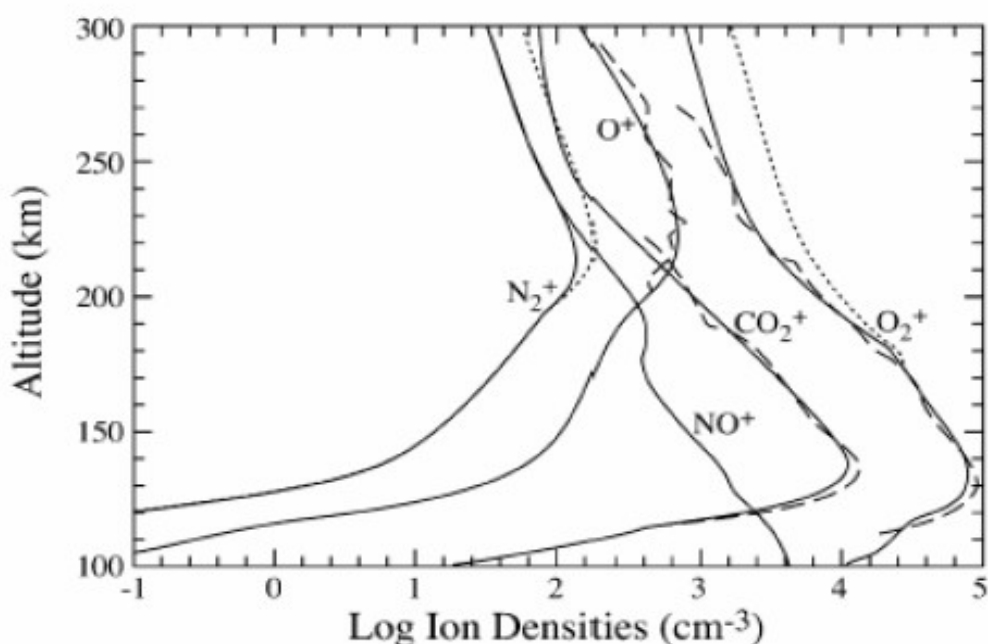
- Με την αύξηση του μαγνητικού πεδίου
- Με την μείωση των διακυμάνσεων του διανύσματος του μαγνητικού πεδίου
- Με την μείωση της διαφορικής ροής των ηλεκτρονίων σε ενέργειες μεγαλύτερες των 10 eV.

Με τα δεδομένα αυτά είναι φανερό ότι το Μαγνητικό Όριο Συσώρευσης (Magnetic Pileup Boundary - MPB) με τη σειρά του είναι η επιφάνεια που χωρίζει την Μαγνητική Περιοχή Συσώρευσης (Magnetic Pileup Region) με την ιονόσφαιρα. Αποτελείται δηλαδή από πλάσμα που δημιουργείται από την αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου με την ιονόσφαιρα. Όπως αναφέραμε και στο κρουστικό κύμα, δεν έχει προσδιοριστεί επακριβώς το σχήμα του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θέση του παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα. Η μεταβλητότητα αυτή παρουσιάζεται πιο αυξημένη στο Νότιο Ημισφαίριο, όπου το μαγνητικό πεδίο του φλοιού είναι εντονότερο (Crider et al 2002).

Δ) ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ

Γενικότερα γνωρίζουμε ότι η ιονόσφαιρα είναι το ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας ενός πλανήτη, το οποίο χαρακτηρίζεται από την παρουσία ιόντων. Τα ιόντα αυτά δημιουργούνται κατά κύριο λόγο από τον ιονισμό των μορίων της ανώτερης αυτής ατμόσφαιρας από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά και από τα σωματίδια του ηλιακού ανέμου. Ο ιονισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων, τα οποία αντανακλούν τα ραδιοκύματα. Η Ιονόσφαιρα του Άρη αποτελείται κυρίως από ιόντα O_2^+ , O^+ , CO_2^+ , H^+ και N_2^+ .

Αρχικά δεδομένα για την ιονόσφαιρα του Άρη έστειλαν οι αποστολές των Σοβιετικών Mars 2 και Mars 3, οι οποίες διαπίστωσαν ότι η ιονόσφαιρα αρχίζει στα 80 με 110 km ύψος. Αργότερα από άμεσες μετρήσεις του Viking Lander 2 υπολογίστηκε ότι η ιονόσφαιρα εκτείνεται από 100 km έως αρκετά εκατοντάδες χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.2.6 (Hanson et al. 1977).



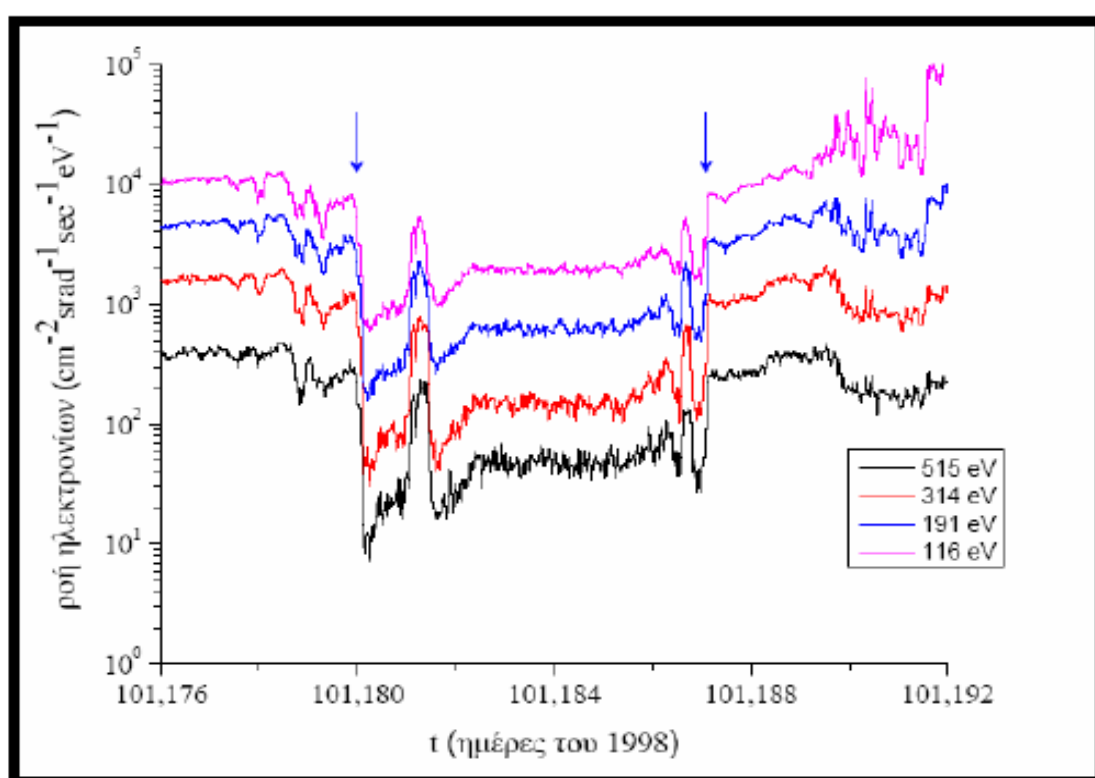
Σχήμα 6.2.6. Απεικόνιση της πυκνότητας των ιόντων της ιονόσφαιρας του Άρη από τις μετρήσεις του Viking Lander 2. (Hanson et al. 1977).

Η ιονόσφαιρα του Άρη δεν είναι ομοιόμορφη, κατά κύριο λόγο μπορεί να θεωρηθεί ότι χωρίζεται σε δύο στρώματα. Στα 140 km περίπου παρατηρείται μεγάλη πυκνότητα ηλεκτρονίων, αυτό συμβαίνει λόγω του ιονισμού των μορίων της ατμόσφαιρας από την υψηλή υπεριώδη ακτινοβολία (EUV) του Ηλίου (φωτοϊονισμό) (McElroy et al. 1977, Fox και Dalgarno 1979). Από αυτό το όριο και πάνω οι πυκνότητες των ηλεκτρονίων και η πίεση της ιονόσφαιρας μειώνεται εκθετικά με το σε συνάρτηση με το ύψος (Verigin et. al.1997). Το δεύτερο στρώμα ιόντων εμφανίζεται περίπου στα 120 km και δημιουργούνται κυρίως από τις μαλακές ακτίνες X του Ηλίου. Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 6.2.6. τα ιόντα του οξυγόνου βρίσκονται σε αφθονία σε μεγαλύτερα υψόμετρα, ενώ μόριο οξυγόνου βρίσκονται σε χαμηλότερα υψόμετρα. Η σύνθεση και η συμπεριφορά της ιονόσφαιρας του Άρη αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, αλλά και τη γεωγραφική θέση. Σε αυτή τη συμπεριφορά συμβάλουν οι μεταβολές του Ηλιακού Ανέμου, η σύνθεση και η δυναμική της ατμόσφαιρας και το ανομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στην επιφάνεια του πλανήτη.

Οι περισσότερες μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ιονόσφαιρας από προηγούμενες αποστολές έγιναν με μία τεχνική που ονομάζεται απόκρυψη ραδιοσημάτων (Radio Occultation). Το πείραμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί όταν το διαστημικό σκάφος περνάει πίσω από τον πλανήτη, όπως φαίνεται από τη Γη. Τα ραδιοσήματα που στέλνει ο δορυφόρος στη Γη περνάνε πρώτα από την ιονόσφαιρα και μετά διαδίδονται διαμέσου του πλανήτη μεταφέροντας έτσι πληροφορίες σχετικά με το πώς η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων της ιονόσφαιρας ποικίλει ανάλογα με το υψόμετρο. Γενικότερα για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την ιονόσφαιρα θα πρέπει να ανιχνεύσουμε τα ιόντα από τα οποία αποτελείται. Παρόλο που η αποστολή του Mars Global Surveyor έκανε πολλές διελεύσεις από την περιοχή αυτή, δεν είχε τα απαραίτητα όργανα για την ανίχνευση των πρωτονίων και των ιόντων αυτών.

Αν όμως χρησιμοποιήσουμε τη θεωρία ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου σε στενές ελικοειδείς τροχιές, ακτίνες μερικών μόνο χιλιομέτρων, τότε μπορούμε να πάρουμε κάποιες πληροφορίες. Καταγράφοντας τη ροή των ηλεκτρονίων τότε μπορούμε να πάρουμε μια εικόνα των τοπικών κινήσεων του πλάσματος αλλά και κάποιων χαρακτηριστικών του. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον ανακλαστήρα ηλεκτρονίων (ER) του Mars Global Surveyor, το οποίο έχει τη δυνατότητα να μετρήσει τη ροή των ηλεκτρονίων σε 19 ενεργειακά κανάλια μεταξύ της περιοχής 10 eV.

Από τον Μάρτιο του 1998 έως το Σεπτέμβριο του ίδιου χρόνου, ο δορυφόρος κατέγραψε 205 διαβάσεις από την ιονόπαυση του Άρη. Η συμπεριφορά των ηλεκτρονίων που ανιχνεύτηκε στο διάστημα αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.7. Οι διαβάσεις αυτές εμφανίζονται με τη μορφή ζευγών εισόδου – εξόδου και παρατηρείται μια απότομη μείωση της ροής των ηλεκτρονίων σε ενέργειες μεγαλύτερες των 100 eV. Στο διάγραμμα εμφανίζεται επίσης η Μαγνητική Περιοχή Συσσώρευσης (Magnetic Pileup Region), η οποία χαρακτηρίζεται από ροή ηλεκτρονίων της τάξης μερικών εκατοντάδων eV, ενώ στην περιοχή της ιονόσφαιρας τα ηλεκτρόνια εμφανίζουν μικρότερη ροή της τάξης των 1,5 eV περίπου. (Σέργης 2006)



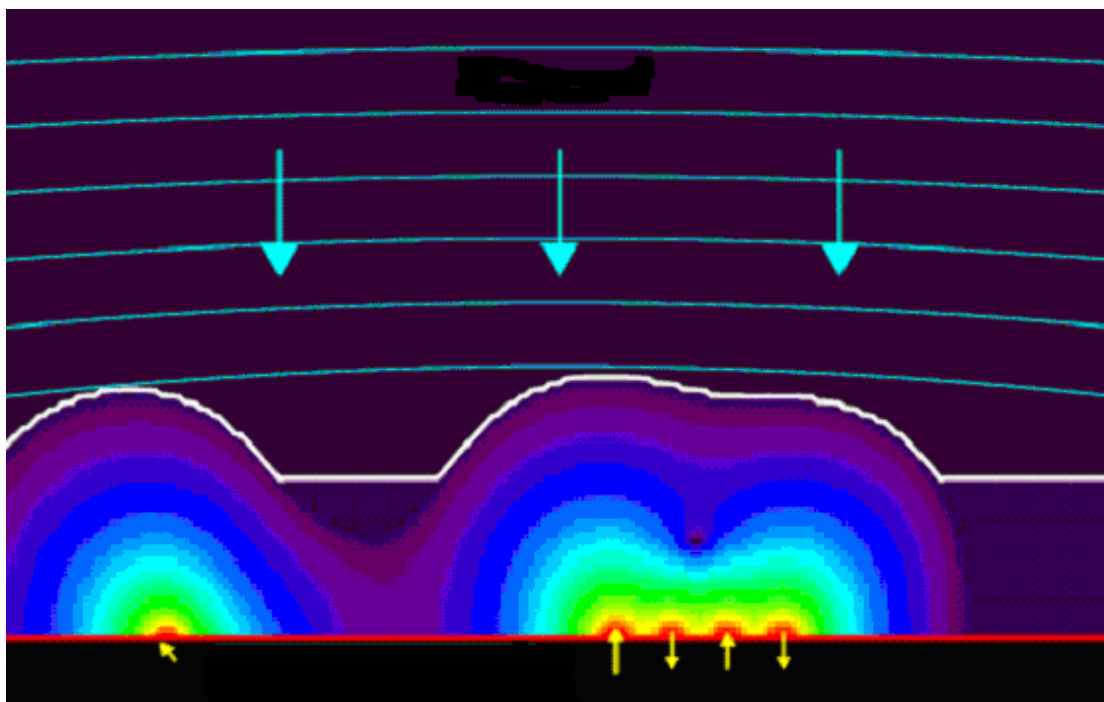
Σχήμα 6.2.7. Απεικόνιση της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων καθώς το Mars Global Surveyor διέρχεται από την Μαγνητική Περιοχή Συσσώρευσης στην ιονόσφαιρα του Άρη. Η είσοδος και έξοδος του δορυφόρου από την ιονόπαυση παρουσιάζεται με μπλε βέλος.

Γενικά η δομή της είναι αρκετά ευαίσθητη, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο Άρης δεν έχει ένα ενδογενές κεντρικό δίπολο. Η έλλειψη αυτή της μαγνητικής θωράκισης αφήνει την ιονόσφαιρα εκτεθειμένη στον ηλιακό άνεμο. Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ιονόσφαιρα θα πρέπει να διαμορφώνεται από τον Ηλιακό άνεμο, αλλά και από το ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο που εμφανίζεται στην

επιφάνεια του Άρη. (Shinagawa 2000, Σέργης 2006). Μελέτες με δεδομένα από το Mars Global Surveyor απέδειξαν το ύψος της ιονόπαυσης εξαρτάται από την περιστροφή του πλανήτη, αλλά και από τα μεμονωμένα μαγνητικά πεδία στην επιφάνεια του Άρη (Brain 2000).

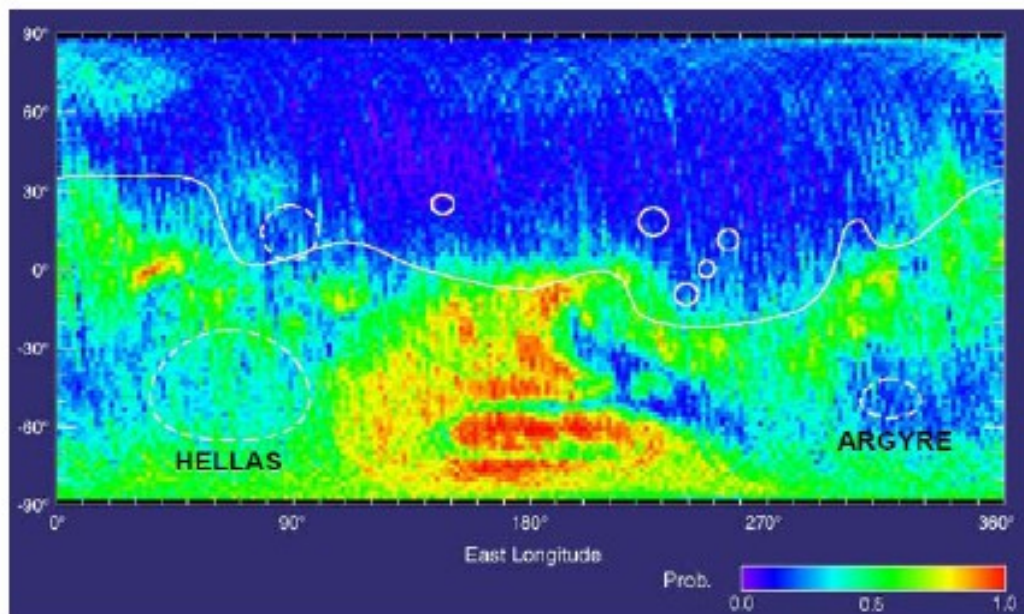
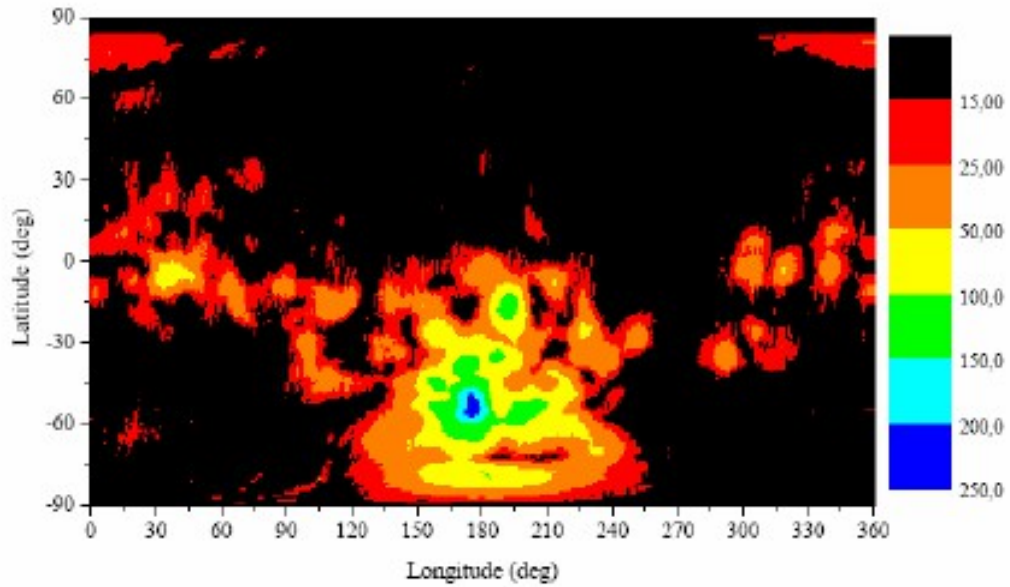
Η ιονόπαυση είναι το όριο της ιονόσφαιρας, όπου η εσωτερική πίεση της ιονόσφαιρας έρχεται σε ισορροπία με την πίεση του πλάσματος της μαγνητοθήκης. Η πίεση της ιονόσφαιρας αποτελείται από τη θερμική πίεση των σωματίων της ιονόσφαιρας και από τη μαγνητική πίεση ενός συνόλου μαγνητικών πεδίων. Το σύνολο των μαγνητικών αυτών πεδίων συμπεριλαμβάνει το μαγνητικό πεδίο της ιονόσφαιρας, όπως αυτό επάγεται από τον ηλιακό άνεμο και το μαγνητικό πεδίο των τοπικά μαγνητισμένων περιοχών που εμφανίζονται στην επιφάνεια του Άρη. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν το ύψος της ιονόπαυσης, και ιδιαίτερα η τοπική διαμόρφωση του διανύσματος του μαγνητικού πεδίου. Αυτό συμβαίνει διότι η οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου συμβάλει στην ενίσχυση και κατά συνέπεια στην αύξηση της πίεσης της ιονόσφαιρας, με αποτέλεσμα να θωρακίζεται και να αυξάνεται το ύψος της ιονόσφαιρας, αφού η κάθετη ροή πλάσματος καθίσταται σχεδόν απαγορευμένη.

Σημαντικό ρόλο όμως στην πίεση της ιονόσφαιρας εμφανίζουν οι επιφανειακές μαγνητικές πηγές. Συμβάλλουν άλλοτε στην ενίσχυση κι άλλοτε στην εξασθένηση της συνολικής ιονοσφαιρικής πίεσης. Η αλληλεπίδραση αυτή εξαρτάται κάθε φορά από τον σχετικό προσανατολισμό ανάμεσα του μαγνητικού πεδίου της επιφανειακής πηγής και του μαγνητικού πεδίου της ιονόσφαιρας στο ύψος της ιονόπαυσης. Ενίσχυση της συνολικής πίεσης της ιονόσφαιρας έχουμε όταν οι δύο κατευθύνσεις των πεδίων είναι παράλληλες, με αποτέλεσμα να η ιονόπαυση να παρατηρείται σε μεγαλύτερο ύψος. Όταν οι κατευθύνσεις των πεδίων είναι κάθετες τότε το συνολικό μαγνητικό πεδίο εξασθενεί και μάλιστα μπορεί να μηδενιστεί στην περίπτωση όπου τα πεδία μεταξύ τους εξουδετερώνονται. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρείται η ιονόπαυση παρατηρείται σε μικρότερο ύψος και η ιονόσφαιρα συμπιέζεται. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.2.8 στον Άρη οι μαγνητικές επιφανειακές πηγές έχουν συνήθως ενισχυτικό χαρακτήρα.



Σχήμα 6.2.8. Απεικόνιση της δυναμικής ισορροπίας στην ιονόπαυση. Οι μαγνητικές πηγές στην επιφάνεια του Άρη ενισχύουν τη συνολική πίεση της ιονόσφαιρας προκαλώντας τοπική ανύψωση της ιονόπαυσης (Σέρρης 2006).

Παρατηρούμε τελικώς ότι οι μαγνητικές περιοχές στην επιφάνεια του Άρη μπορούν να αυξήσουν την ιονόπαυση τοπικά πάνω από 400 km, που είναι το μέσο ύψος της ιονόπαυσης. Συνεπώς και η περιστροφή του πλανήτη επηρεάζει το ύψος και το σχήμα της ιονόπαυσης. Στα Σχήματα 6.2.9 απεικονίζεται η συσχέτιση του ύψους της ιονόπαυσης με την κατανομή των μαγνητικών ανωμαλιών του Άρη (Brain, Bagenal, Acuna and Connerney 2003).

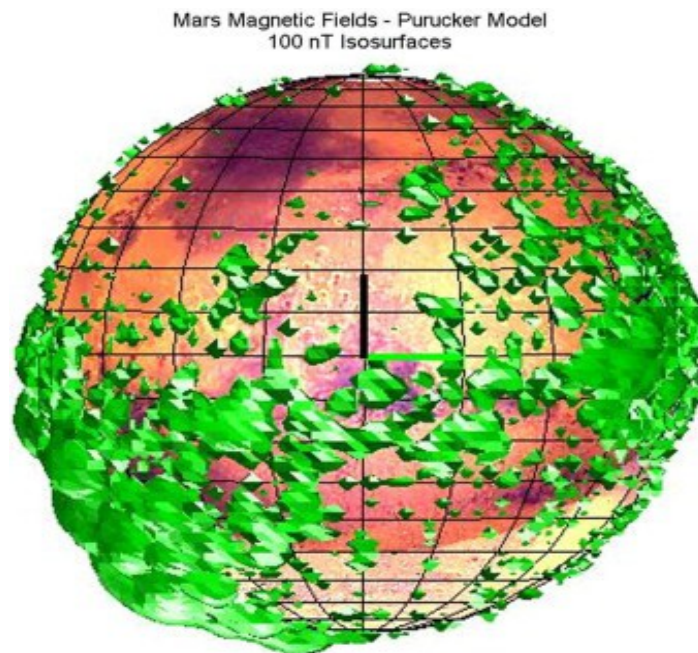


Σχήμα 6.2.9.. Πάνω: Χρωματικός χάρτης της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε ύψος 400 km πάνω από την επιφάνεια του Άρη, στο αερογραφικό σύστημα συντεταγμένων. Η κλίμακα της έντασης είναι σε nT. **Κάτω:** Χρωματικός χάρτης που εικονίζει την πιθανότητα η ιονόσφαιρα του Άρη να βρεθεί σε ύψος μεγαλύτερο από εκείνο των 400 km. Οι δύο χάρτες έχουν κατασκευαστεί με βάση τα στοιχεία που το Mars Global Surveyor συνέλεξε από τις κυκλικές του τροχιές σε ύψος 400 km πάνω από την επιφάνεια του πλανήτη. (Σέρρης 2006)

7. ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΡΗ

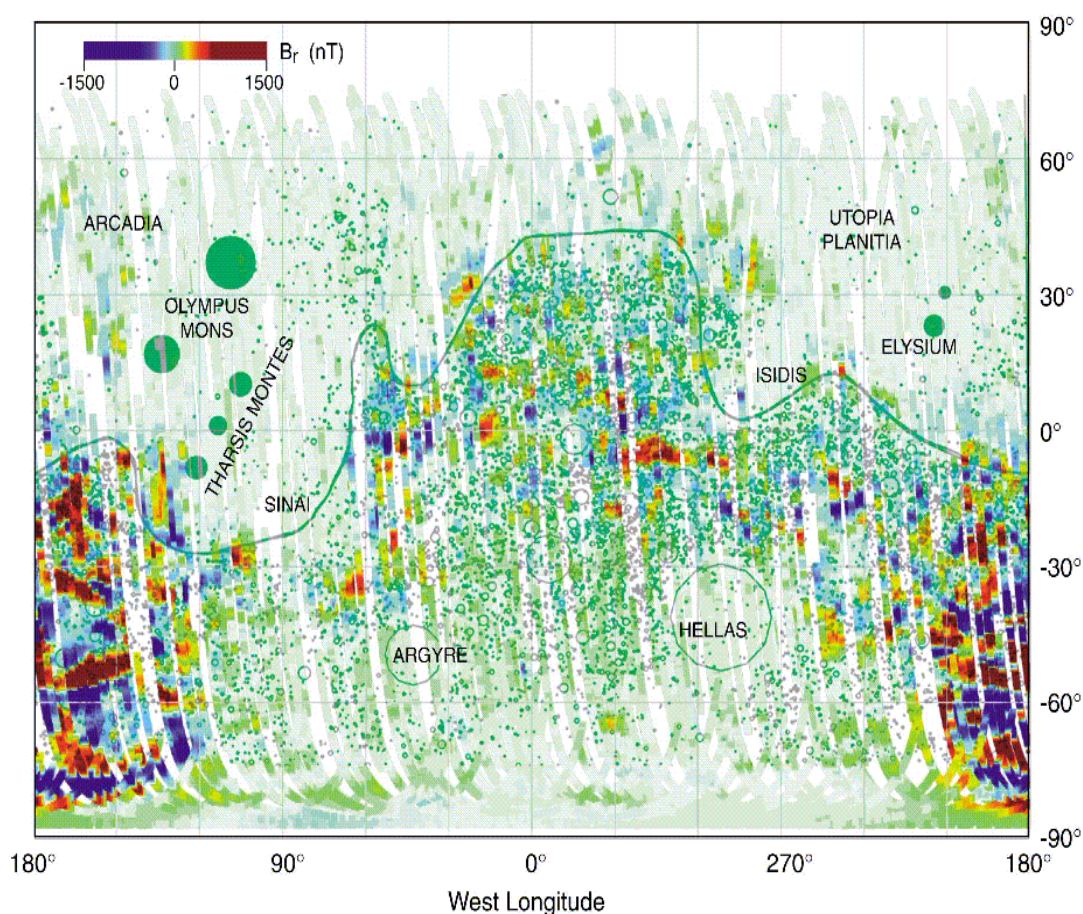
Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη του μαγνητικού πεδίου στον Άρη. Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενες ενότητες, ο Άρης δεν έχει μαγνητικό πεδίο στο κέντρο του. Παρόλα αυτά εμφανίζεται αρκετή μαγνητική δραστηριότητα στην επιφάνειά του ανά περιοχές. Το έδαφος του Άρη αποτελείται κυρίως από βασαλτικά πετρώματα, τα οποία δημιουργήθηκαν είτε λόγω παρελθοντικών ηφαιστειακών γεγονότων, είτε από τις συγκρούσεις με αστεροειδείς.

Από την αποστολή του Mars Global Surveyor, παρατήρησαν και μέτρησαν το μαγνητικό πεδίο αυτών των μαγνητισμένων περιοχών. Η αποστολή Mars Global Surveyor τέθηκε σε περιφορά γύρω από τον Άρη με σκοπό την καταμέτρηση του μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια, αλλά και άλλες μελέτες σχετικά με την ατμόσφαιρά του.



Εικόνα 7.1. Το μαγνητικό πεδίο του Άρη με το μοντέλο του M. Purucker, όπου απεικονίζονται οι μεμονωμένες μαγνητικές περιοχές στην επιφάνεια του πλανήτη. (Shinagawa H. 2004)

Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι τέτοιες μαγνητικά εντοπισμένες περιοχές βρίσκονται τόσο στο Βόρειο όσο και στο Νότιο Ημισφαίριο. Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε τις τοπικά μαγνητισμένες περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου του Άρη. Στη διαδικασία αυτή, θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε αν τα μαγνητικά δίπολα βρίσκονται ή όχι στην επιφάνεια του πλανήτη και κατόπιν θα διερευνήσουμε για να προσδιορίσουμε το βάθος τους.

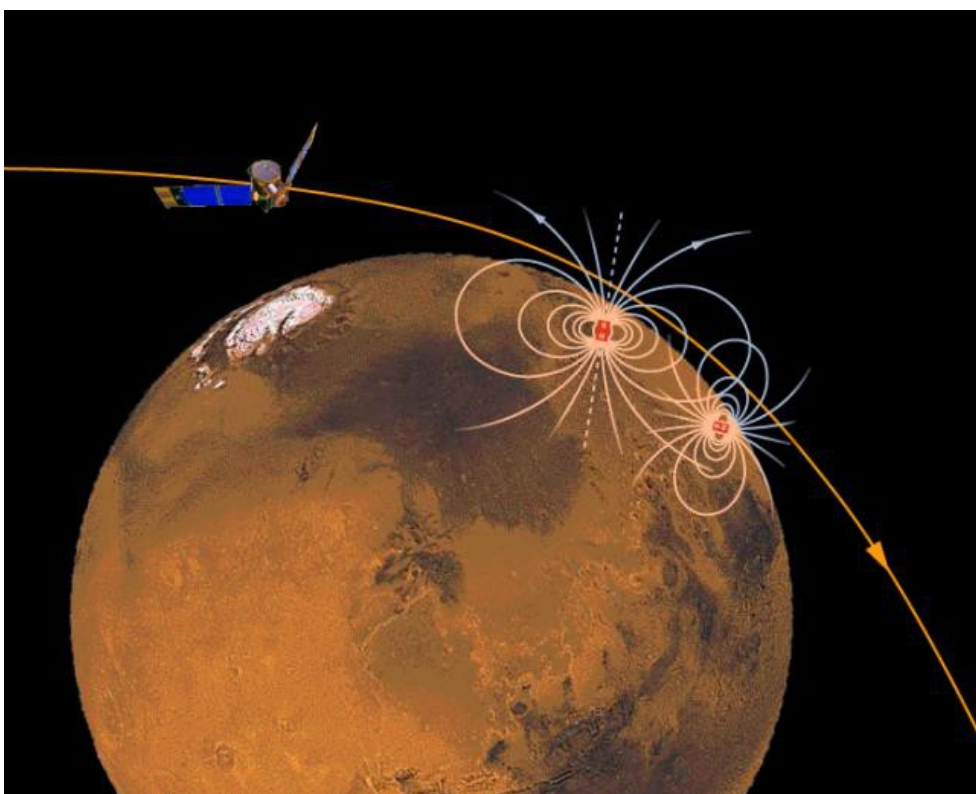


Con.199605.009

Εικόνα 7.2. Χάρτης που δείχνει την κατανομή μαγνητικών πηγών του φλοιού επάνω σε ένα χάρτη που δείχνει την κατανομή κρατήρων άνω των 15 km σε διάμετρο και το όριο διχοτόμησης (συνεχής γραμμή). Το διαστημόπλοιο καταγράφει σε υψόμετρο κάτω από 200 km και αποτυπώνεται στην εικόνα με παχιές γραμμές χρώματος πράσινου ανοιχτού, οι οποίες δείχνουν την τροχιακή κάλυψη. Η μετρούμενη ακτινική (κάθετη) συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου απεικονίζεται με μια κλίμακα χρωμάτων, η οποία αποκαλύπτει τη τοποθεσία σημαντικών μαγνητικών πηγών που ανιχνεύτηκαν ανεξάρτητα από την ένταση. Σημειώνεται η αντιστοιχία της περιοχής, όπου εμφανίζονται οι μαγνητικές πηγές στο φλοιό με την περιοχή όπου εμφανίζει μεγάλη πυκνότητα κρατήρων και την απουσία των μαγνητικών «αποτυπωμάτων» εντός των περιοχών “Ελλάς”, “Αργυρή” και “Ισις” (“Hellas”, “Argyre” και “Isidis”), οι οποίες είναι περιοχές που προκλήθηκαν από μετεωρίτες. Δεν έχουν βρεθεί μαγνητικά ίχνη στα βουνά, “Ηλίσια”, “Όλυμπος” και “Θαρσίς” (“Elysium”, “Olympus” και “Tharsis”. (Acuna et al. 1999)

7.1. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

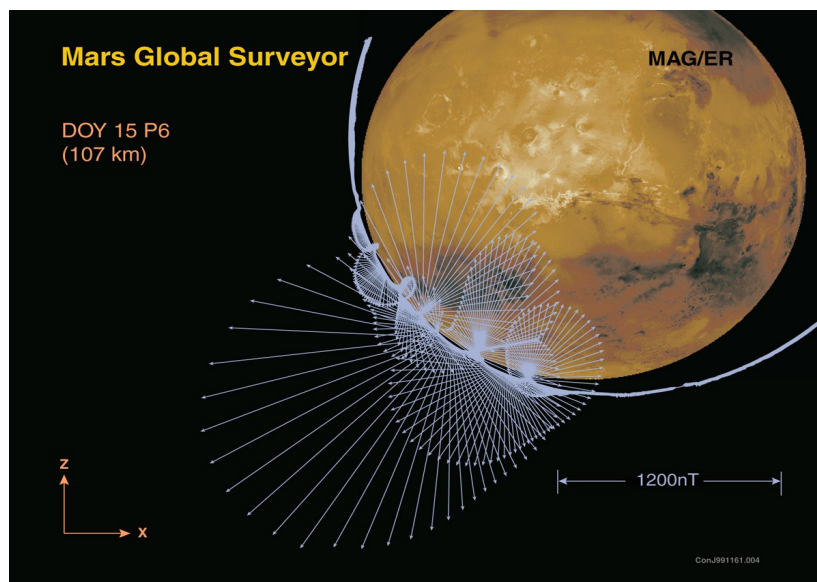
1) Από τα αποτελέσματα που στάλθηκαν από το Mars Global Surveyor, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε κάποιες μεμονωμένες περιοχές του Άρη, τοπικά το μαγνητικό πεδίο, δηλαδή οι τρεις συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου (B_x , B_y , B_z) αλλά και το μέτρο του μαγνητικού πεδίου (B) μεταβάλλεται όμοια με ένα δίπολο. Συνεπώς μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η πηγή που προκαλεί το μαγνητικό πεδίο σε μία περιοχή είναι κατά προσέγγιση σημειακό δίπολο.



Εικόνα 7.1.1. Σχηματική αναπαράσταση της τροχιάς του Mars Global Surveyor καθώς ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο του φλοιού του Άρη. Οι μαγνητικές πηγές αναπαρίστανται σαν σημειακά μαγνητικά δίπολα. (NASA/JPL)

2) Γενικά γνωρίζουμε ότι στα παραμαγνητικά (βασαλτικά πετρώματα) και διαμαγνητικά υλικά η συμβολή των στοιχειωδών μαγνητικών διπόλων στο ολικό πεδίο είναι πολύ μικρή. Ως εκ τούτου, η επίδραση της μαγνητικής διαπερατότητας μ στις ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις είναι επίσης πολύ μικρή ($\mu=1$). Εξάίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις υψηλών συγκεντρώσεων μαγνητίτη, πυρροτίτη και ιλμενίτη (Τζάνη 2003).

3) Όπως σε κάθε μέτρηση υπάρχουν σφάλματα έτσι κι εδώ. Εκτός από τα συστηματικά σφάλματα, όπως τα σφάλματα του οργάνου, έχουμε και το μαγνητικό υπόβαθρο Y . Το μαγνητόμετρο του Mars Global Surveyor στην πορεία της τροχιάς που βρίσκεται καταγράφει με αρκετή ευκρίνεια την μεταβολή του μαγνητικού πεδίου B . Παρόλα αυτά όμως καταγράφεται κι ένα σήμα θορύβου των γύρω “μαγνητισμένων” περιοχών, στο οποίο δεν γνωρίζουμε τον τρόπο διάδοσης του για να το συμπεριλάβουμε εξ αρχής σε συστηματικό σφάλμα. Συνεπώς, μπορούμε μόνο να το τοποθετήσουμε ως ελεύθερη παράμετρο, από την οποία θα εξαρτάται το μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό αυτό υπόβαθρο αποτελείται από τρεις αντίστοιχες συνιστώσες για την κάθε κατεύθυνση, Y_x , Y_y , Y_z .



Εικόνα 7.1.2. Απεικόνιση της τροχιάς του Mars Global Surveyor γύρω από τον Άρη, καθώς καταγράφει την κατεύθυνση και την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο φλοιό του πλανήτη. Σε αυτή τη περίπτωση παρουσιάζονται οι διαφορετικές κατευθύνσεις των μεμονωμένων μαγνητισμένων περιοχών στο Νότιο Ημισφαίριο του Άρη. (NASA/JPL)

7.2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΔΙΠΟΛΟΥ

Σύμφωνα με όλα τις παραπάνω παραδοχές που αναφέραμε στην Παράγραφο 7.1, θεωρούμε την πηγή ως σημειακό δίπολο που περιβάλλεται από παραμαγνητικό υλικό ($\mu \approx 1$). Το διανυσματικό μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το σημειακό δίπολο μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη σχέση:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} [3(\vec{m} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{r} - \vec{m}] \quad (5)$$

με μαγνητική διαπερατότητα κενού, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$

με μαγνητική διπολική ροπή, $\vec{m} \equiv (m_x, m_y, m_z)$

με μοναδιαίο διάνυσμα θέσης ως προς το δίπολο, $\vec{r} \equiv \frac{\vec{r}}{r^2}$

και $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

Ενώ το συνολικό μαγνητικό πεδίο που θα καταγράφει το Mars Global Surveyor θα συμπεριλαμβάνει και το μαγνητικό υπόβαθρο \vec{Y} που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} [3(\vec{m} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{r} - \vec{m}] + \vec{Y} \quad (6)$$

όπου $\vec{Y} \equiv (Y_x, Y_y, Y_z)$ το μαγνητικό υπόβαθρο.

7.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

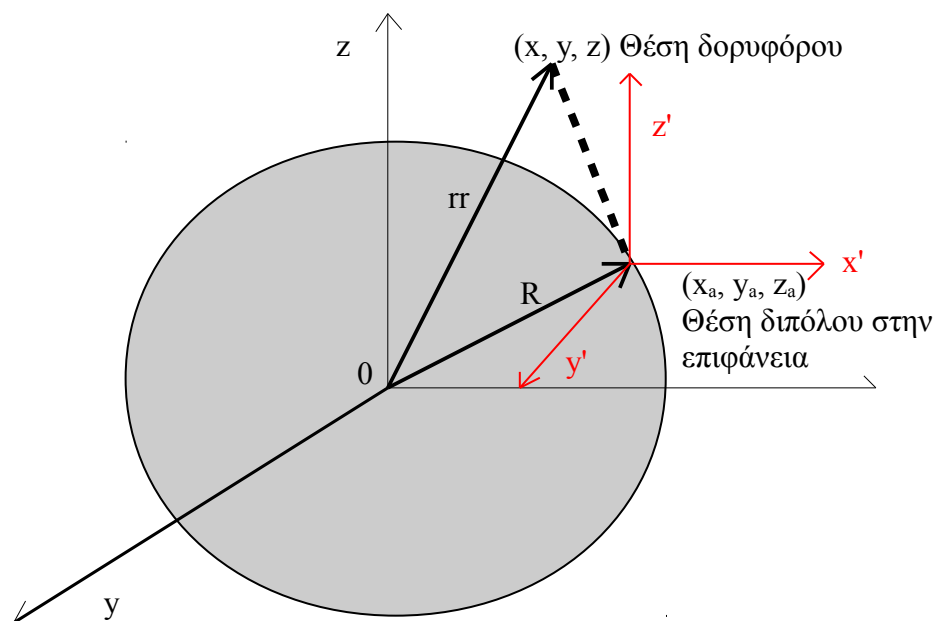
Η αποστολή Mars Global Surveyor μας εφοδιάζει με όλα τα απαραίτητα δεδομένα που θα χρειαστούμε για αυτή μας την μελέτη. Με το μαγνητόμετρο που διέθετε το διαστημόπλοιο, παίρνουμε στοιχεία για τις τρεις συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου (B_x , B_y , B_z). Καταγράφοντας επίσης κάθε στιγμή τον χρόνο t (έτος, μέρα, ώρα, δευτερόλεπτα), που καταγράφει το μαγνητικό πεδίο και τις αντίστοιχες συντεταγμένες της θέσης του δορυφόρου (x , y , z) ως προς το κέντρο του πλανήτη.

Όπως περιγράψαμε και στην Παράγραφο 3., το Mars Global Surveyor χρησιμοποιεί δύο συστήματα συντεταγμένων, το ηλιοστατικό και το πλανητοκεντρικό σύστημα συντεταγμένων. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου (B_x , B_y , B_z) και οι αντίστοιχες συντεταγμένες θέσης (x , y , z) του δορυφόρου είναι σε πλανητοκεντρικό σύστημα. Δηλαδή ως κέντρο αναφοράς θεωρείται το κέντρο του πλανήτη.

7.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε τη μελέτη μας και να συγκρίνουμε τα πειραματικά δεδομένα του Mars Global Surveyor με τη θεωρία μας, πρώτα θα πρέπει να βρίσκονται και τα δύο στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Θα πρέπει λοιπόν να μετατρέψουμε τις πλανητοκεντρικές συντεταγμένες σε σύστημα συντεταγμένων διπόλου.

Αυτή η αλλαγή συντεταγμένων γίνεται με μία παράλληλη μετατόπιση των αξόνων. Δηλαδή, φέρνουμε το κέντρο των αξόνων στο σημείο (x_a, y_a, z_a) στην επιφάνεια του πλανήτη, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 7.4.1..



Σχήμα 7.4.1. Παράλληλη μετατόπιση αξόνων, από το κέντρο του πλανήτη (x, y, z) στην επιφάνεια (x', y', z') .

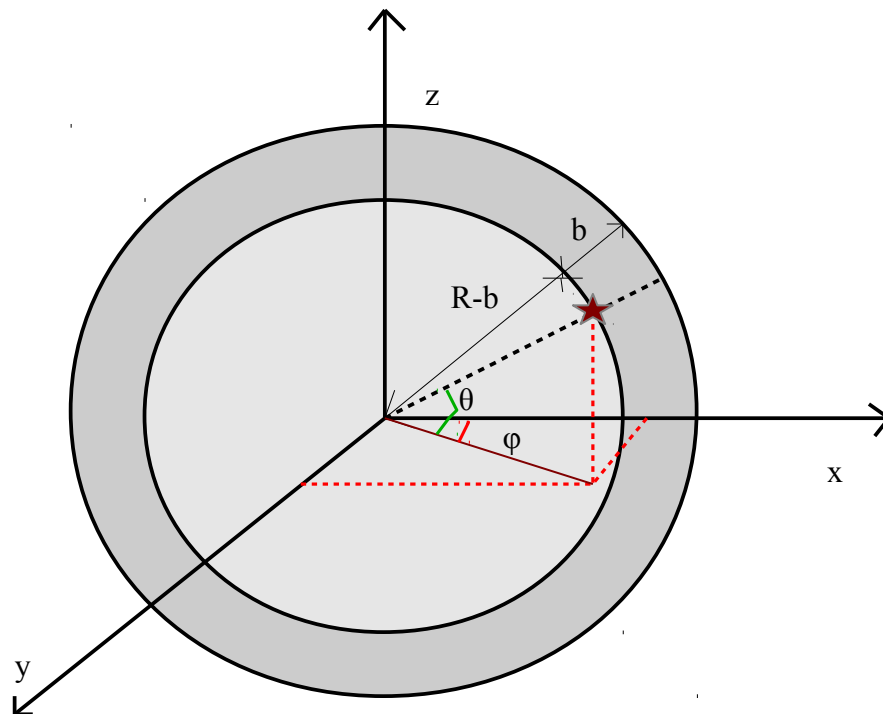
Με την μετατόπιση αυτή οι συντεταγμένες σε καρτεσιανό επίπεδο γίνονται:

$$\begin{aligned}x' &= x - x_a \\y' &= y - y_a \\z' &= z - z_a\end{aligned}\quad (6)$$

με αντίστοιχη ακτίνα r' ίση με: $r' = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$ (7)

Στο σημείο αυτό θέλουμε όμως να διερευνήσουμε το βάθος στο οποίο θα μπορούσε να βρίσκεται το δίπολο. Ακόμα κι αν βρίσκεται στην επιφάνεια τότε το βάθος ως μεταβλητή θα είναι μηδενικό.

Έστω ότι το υποθετικό μας δίπολο βρίσκεται σε ένα βάθος b , όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 7.4.2..



Σχήμα 7.4.2. Σφαιρικές συντεταγμένες διπόλου σε βάθος b .

Η ακτίνα του Άρη είναι ίση με **R = 3397,2 km**

Οι συντεταγμένες του διπόλου μπορούν να περιγραφούν με τις αντίστοιχες σφαιρικές συντεταγμένες (R- b, θ, φ). Όπου R- b είναι η ακτίνα, φ είναι το αρεογραφικό μήκος και θ είναι το αντίστοιχο αρεογραφικό πλάτος.

$$\begin{aligned}x_a &= (R - b) \cos \theta \cdot \cos \varphi \\y_a &= (R - b) \cos \theta \cdot \sin \varphi \\z_a &= (R - b) \sin \theta\end{aligned}\quad (8)$$

Άρα οι σχέσεις (8) θα γίνουν ως εξής:

$$\begin{aligned}x' &= x - (R - b) \cos \theta \cdot \cos \varphi \\y' &= y - (R - b) \cos \theta \cdot \sin \varphi \\z' &= z - (R - b) \sin \theta\end{aligned}\quad (9)$$

7.5. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Αντίστοιχα το μαγνητικό πεδίο της σχέσης (5) αναπτύσσεται ως εξής:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} \left[3 \frac{(\vec{m} \cdot \vec{r}) \cdot \vec{r}}{r^2} - \vec{m} \right] + \vec{Y}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} \left[3 \frac{(m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot \vec{r}}{r^2} - \vec{m} \right] + \vec{Y}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} 3 \frac{(m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot \vec{r}}{r^2} - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} \vec{m} + \vec{Y}$$

$$\vec{B} = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot \vec{r} - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \vec{m} + \vec{Y}$$

γίνεται της μορφής : $\vec{B} = A \cdot \vec{r} - A_1 \cdot \vec{m} + \vec{Y}$ (10)

με αντίστοιχα $A = \frac{3\mu_0}{4\pi r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z')$ (11)

$$A_1 = \frac{\mu_0}{4\pi r^3}$$

Για κάθε μια συνιστώσα ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} B_x &= A \cdot x' - A_1 \cdot m_x + Y_x \\ B_y &= A \cdot y' - A_1 \cdot m_y + Y_y \\ B_z &= A \cdot z' - A_1 \cdot m_z + Y_z \end{aligned} \quad (12)$$

και το μέτρο του μαγνητικού πεδίου υπολογίζεται με τη σχέση:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (13)$$

Με τις εξισώσεις (12) των συνιστωσών του μαγνητικού πεδίου (B_x , B_y , B_z) μπορούμε να προσδιορίσουμε τα μαγνητικά δίπολα θεωρητικά. Παρατηρούμε όμως ότι μέσα σ' αυτές συμπεριλαμβάνονται άγνωστες μεταβλητές, όπως είναι η μαγνητική διπολική ροπή m και το μαγνητικό υπόβαθρο Y . Να σημειώσουμε επίσης ότι οι αερογραφικές συντεταγμένες (φ , θ) του διπόλου μπορούν να προσδιοριστούν και θα αναφέρουμε τη διαδικασία παρακάτω στην Παράγραφο 8.

Για να προσδιορίσουμε αυτές τις μεταβλητές θα πρέπει να συγκρίνουμε τις θεωρητικές εξισώσεις του μαγνητικού πεδίου με τα πειραματικά δεδομένα του Mars Global Surveyor. Αυτό θα το καταφέρουμε θεωρώντας τις μεταβλητές αυτές ως ελεύθερες παραμέτρους.

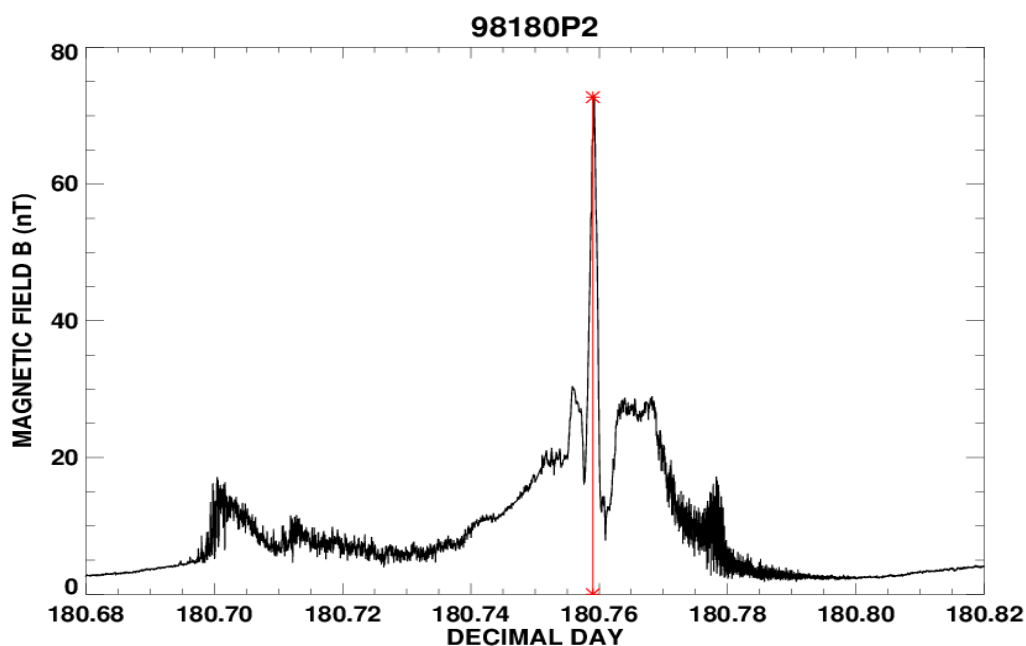
8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΔΙΠΟΛΟΥ (φ, θ)

Από τα δεδομένα του Mars Global Surveyor και την σχέση (13) υπολογίζουμε το μέτρο του μαγνητικού πεδίου B . Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως οι συντεταγμένες του Mars Global Surveyor έχουν ως σημείο αναφοράς το κέντρο του Άρη.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (14)$$

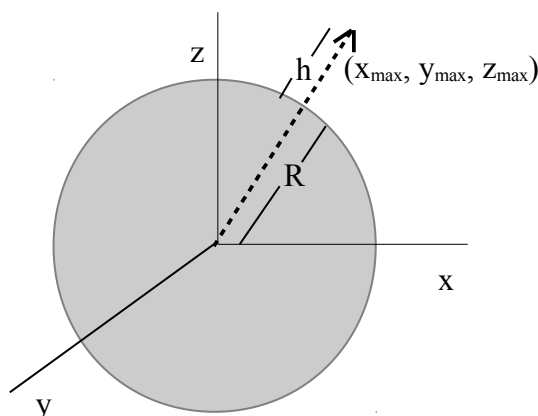
Όπου r είναι η απόσταση του Mars Global Surveyor ως προς το κέντρο του πλανήτη.

Κάνοντας το διάγραμμα (Σχήμα 8.1.) του μέτρου του μαγνητικού πεδίου B συναρτήσει του χρόνου t , παίρνουμε μια εικόνα του μαγνητικού πεδίου που καταγράφει το Mars Global Surveyor στη διάρκεια μιας τροχιάς.



Σχήμα 8.1. Διάγραμμα του μαγνητικού πεδίου B (nT) συναρτήσει του χρόνου t (decimal day) του Mars Global Surveyor της τροχιάς 98180P2.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω γράφημα 8.1. το μαγνητικό πεδίο B εμφανίζει μια απότομη μεταβολή, με μέγιστο στο σημείο r_{\max} . Αυτό το μέγιστο είναι το σημείο που το Mars Global Surveyor συναντάει το δίπολο. Στη συνέχεια καταγράφουμε τις αντίστοιχες συντεταγμένες $(x_{\max}, y_{\max}, z_{\max})$, τις οποίες βρίσκουμε μέσα από τα δεδομένα που ήδη έχουμε από το Mars Global Surveyor. Με την προϋπόθεση ότι το Mars Global Surveyor βρίσκεται ακτινικά (κάθετα) πάνω από το δίπολο, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε το ύψος h που βρίσκεται ο δορυφόρος (Σχήμα 8.2).



Σχήμα 8.2. Η θέση του Mars Global Surveyor πάνω από το δίπολο.

$$\vec{R} + \vec{h} = \vec{r}_{\max} \quad (15)$$

Όπου R είναι ακτίνα του Άρη και είναι ίση με: **$R = 3397.2 \text{ km}$**

Από τις αντίστοιχες σφαιρικές συντεταγμένες του Άρη,

$$\begin{aligned} x_{\max} &= (R + h) \cos \theta \cdot \cos \varphi \\ y_{\max} &= (R + h) \cos \theta \cdot \sin \varphi \\ z_{\max} &= (R + h) \sin \theta \end{aligned} \quad (16)$$

μπορούμε να βρούμε το αερογραφικό πλάτος θ και το αερογραφικό μήκος φ του διπόλου.

$$\begin{aligned}\varphi &= \tan^{-1} \left(\frac{y_{\max}}{x_{\max}} \right) \\ \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{z_{\max}}{R+h} \right)\end{aligned} \quad (17)$$

9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

9.1. ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Από τις θεωρητικές εξισώσεις του μαγνητικού πεδίου (12), θέλουμε να προσδιορίσουμε τις ελεύθερες παραμέτρους που υπάρχουν μέσα σ' αυτές. Οι εξισώσεις αναλυτικά αναφέρονται παρακάτω.

$$\begin{aligned}\vec{B}_x &= \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot x' - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} m_x + Y_x \\ \vec{B}_y &= \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot y' - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} m_y + Y_y \\ \vec{B}_z &= \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot z' - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} m_z + Y_z\end{aligned}\quad (18)$$

Ως ελεύθερες παραμέτρους θεωρούμε το βάθος b , τη μαγνητική διπολική ροπή m και το μαγνητικό υπόβαθρο Y . Και τα δύο τελευταία μεγέθη είναι διανυσματικά, συνεπώς θα πρέπει να δώσουμε προσοχή στις αντίστοιχες συνιστώσες τους.

Παρατηρώντας τις εξισώσεις (18) οι τρεις συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου (B_x , B_y , B_z) παρουσιάζουν ομοιότητες και διαφορές στις ελεύθερες παραμέτρους τους. Δηλαδή και οι τρεις τους εξαρτώνται από το βάθος b και τις τρεις συνιστώσες της μαγνητικής διπολικής ροπής (m_x , m_y , m_z), αλλά κάθε μία εξαρτάται από την αντίστοιχη συνιστώσα του μαγνητικού υποβάθρου (Y_x , Y_y , Y_z).

Για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε τις ελεύθερες παραμέτρους θα πρέπει να συγκρίνουμε το πείραμα με τη θεωρία. Δηλαδή τις πειραματικές μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου από το Mars Global Surveyor με τις εξισώσεις (18) της θεωρίας μας.

Αυτή τη διαδικασία σύγκρισης (προσαρμογής) θα την αναλύσουμε περισσότερο στην Παράγραφο 9.3.

9.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

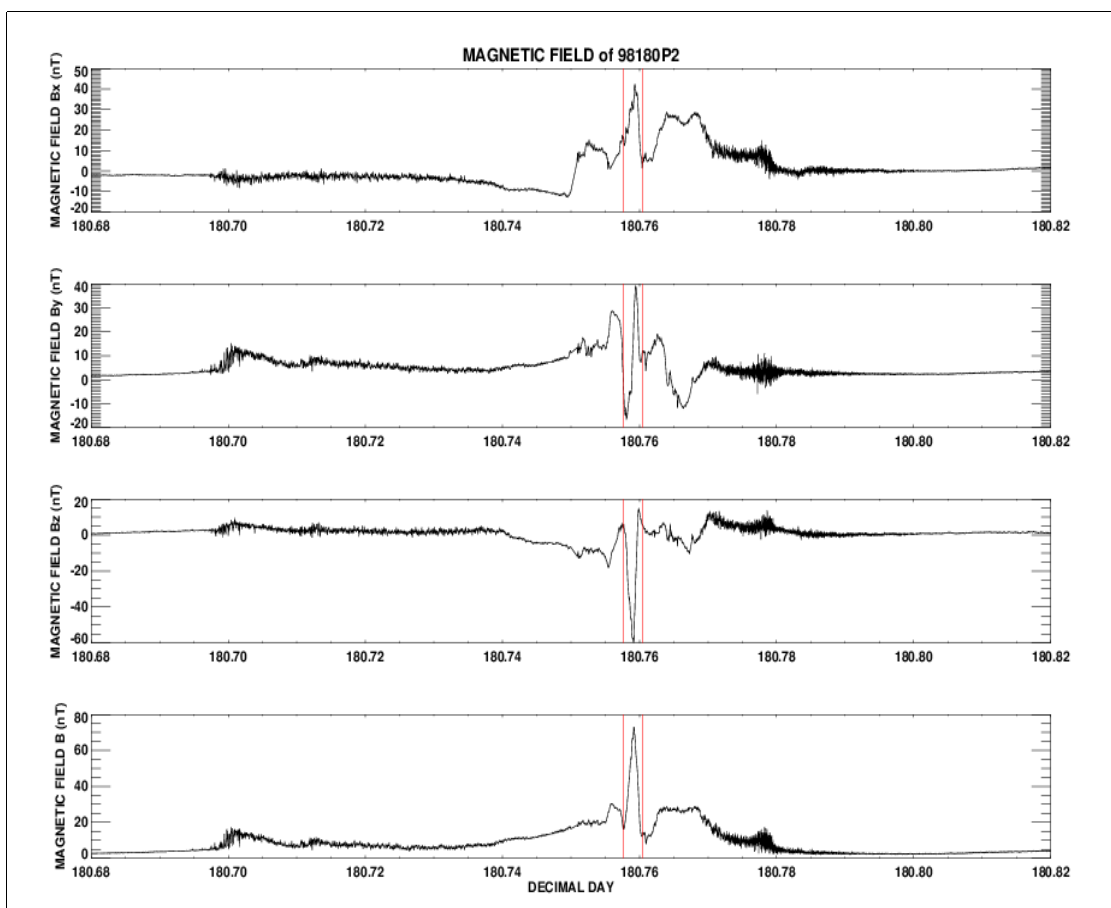
Από τα δεδομένα του Mars Global Surveyor φτιάχνουμε τα διαγράμματα του μαγνητικού πεδίου συναρτήσει του χρόνου, όπως απεικονίζονται και Σχήμα 9.2.1.

$$B_x = f(t)$$

$$B_y = f(t)$$

$$B_z = f(t)$$

$$B = f(t)$$



Σχήμα 9.2.1. Απεικόνιση γραφικής παράστασης του μαγνητικού πεδίου και των συνιστωσών του συναρτήσει του χρόνου, της τροχιάς 98180P2. Μεταξύ των δύο κάθετων γραμμών εμφανίζεται το μαγνητικό πεδίο του διπόλου που θα μελετήσουμε.

Από τις γραφικές αυτές παραστάσεις παρουσιάζεται το μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύει το Mars Global Surveyor στη διάρκεια μιας τροχιάς του. Παρατηρούνται οι περιοχές του κρουστικού κύματος, περιοχή της μαγνητοθήκης, η Μαγνητική Περιοχή Συσσώρευσης όπως έχουμε αναφέρει λεπτομερέστερα στην Παράγραφο 6. Για τη μελέτη μας όμως θα επικεντρωθούμε στην περιοχή όπου εμφανίζεται το μαγνητικό πεδίο του διπόλου που θα μελετήσουμε. Όπως φαίνονται και στο Σχήμα 9.2.1, η περιοχή αυτή βρίσκεται ανάμεσα στις δύο κόκκινες κάθετες γραμμές, όπου εμφανίζεται ένα μέγιστο στο μαγνητικό πεδίο.

9.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ

Η διαδικασία προσαρμογής είναι η προσπάθεια μας να ταιριάξουμε τις θεωρητικές εξισώσεις του μαγνητικού πεδίου (18) και (13), με τις μετρήσεις που έχει λάβει το Mars Global Surveyor από τον Άρη. Σκοπός μας είναι μέσα από την διαδικασία αυτή να προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τις τιμές των ελεύθερων παραμέτρων. Για να επιτευχθεί αυτή η προσέγγιση θα ακολουθήσουμε μια σειρά βημάτων, η οποία θα δοκιμάσει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των ελευθέρων παραμέτρων στις θεωρητικές εξισώσεις του μαγνητικού πεδίου (18) και (13).

Βήμα 1:

Επιλέγουμε την τροχιά που παρουσιάζει μαγνητική διαταραχή και θέλουμε να μελετήσουμε.

Βήμα 2:

Προσδιορίζουμε το αντίστοιχο πλάτος θ και μήκος φ του διπόλου της τροχιάς αυτής, όπως αναφέρουμε στην Παράγραφο 8.

Βήμα 3:

Διαλέγουμε το εύρος των δεδομένων που μας ενδιαφέρει, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 9.2 και καταγράφουμε τον αριθμό των δεδομένων αυτών (N).

Βήμα 4:

Διαλέγουμε μια σταθερή τιμή για το βάθος b και βρίσκουμε τις αντίστοιχες συντεταγμένες (x', y', z') από τις εξισώσεις (9) στην Παράγραφο 7.4.

Συνεπώς στις εξισώσεις (18) και (13) έχουμε πλέον τέσσερις ελεύθερες παραμέτρους από τις πέντε που είχαμε πριν (Παράγραφος 9.1.).

Βήμα 5:

Μελετάμε την κάθε εξίσωση ξεχωριστά.

- Για την B_x συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου έχουμε:

$$\vec{B}_x = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot x' - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} m_x + Y_x \quad (19)$$

με ελεύθερες παραμέτρους τις τρεις συνιστώσες της μαγνητικής ροπής (m_x, m_y, m_z) και την συνιστώσα Y_x του μαγνητικού υποβάθρου.

- A) Διαλέγουμε μια αρχική τιμή (i- initial), μια τελική τιμή (f- final) και μία τιμή βήματος (D) για κάθε ελεύθερη παράμετρο.

$$m_x : m_{x_i}, m_{x_f}, D_m$$

$$m_y : m_{y_i}, m_{y_f}, D_m$$

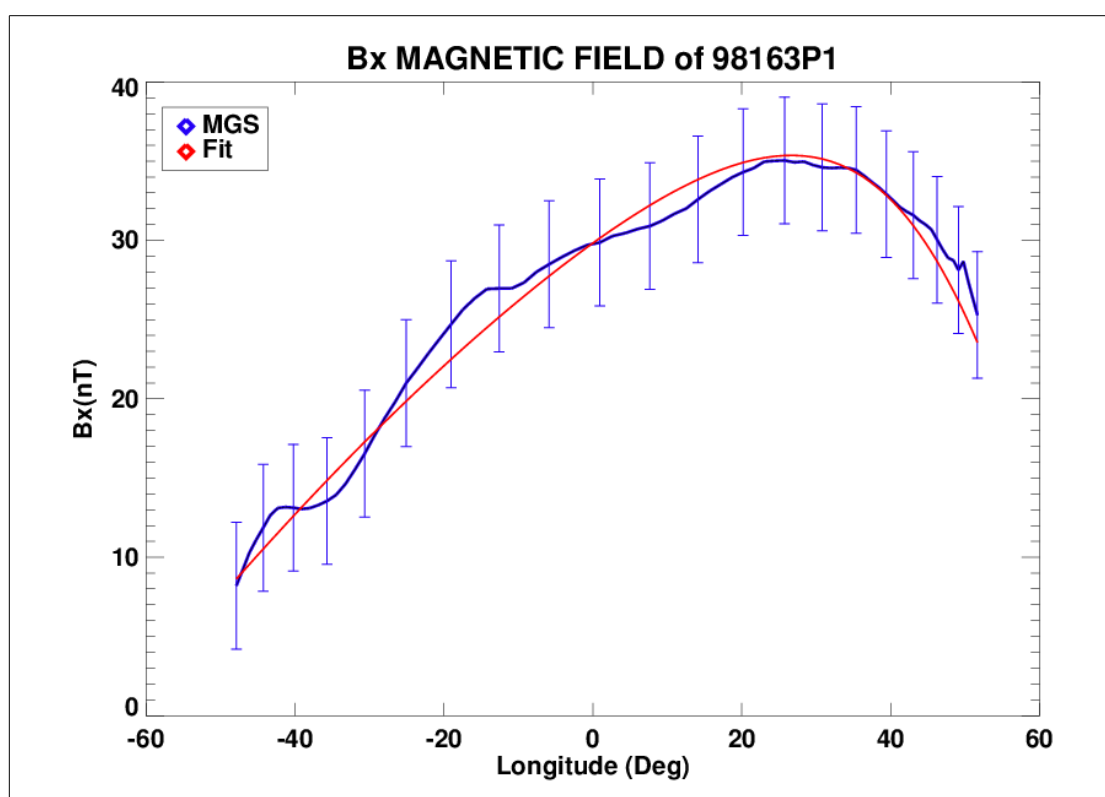
$$m_z : m_{z_i}, m_{z_f}, D_m$$

$$Y_x : Y_{x_i}, Y_{x_f}, D_Y$$

B) Εφαρμόζουμε τον κάθε ένα συνδυασμό τιμών, με βάση το προηγούμενο βήμα Α, στην εξίσωση (19).

Συνεπώς με κάθε συνδυασμό παραμέτρων παίρνουμε και μια νέα στήλη δεδομένων ($B_{x_θεωρητική}$).

Αυτή τη νέα στήλη θεωρητικών τιμών της B_x συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου, μπορούμε να την αναπαραστήσουμε σε γράφημα συναρτήσεως του αερογραφικού μήκους και να τη συγκρίνουμε με την αντίστοιχη γραφική των δεδομένων του Mars Global Surveyor. Ένα παράδειγμα εμφανίζεται στην γραφική παράσταση 9.3.1..



Εικόνα 9.3.1. Γραφική παράσταση της B_x του μαγνητικού πεδίου συναρτήσεως του αερογραφικού μήκους. Η θεωρητική καμπύλη απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα, ενώ η καμπύλη του Mars Global Surveyor με σφάλμα οργάνου $\pm 4nT$ απεικονίζεται με μπλε χρώμα.

C) Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση για κάθε συνδυασμό από τον τύπο:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(B_{x_{\text{θεωρητικό}}} - B_{x_{MGS}} \right)^2}{N}} \quad (20)$$

Γνωρίζουμε γενικά ότι όσο μικρότερη η απόκλιση, τόσο καλύτερη και πιο ακριβής είναι η σύγκριση της θεωρητικής με την πειραματική καμπύλη. Αυτό όμως δεν ισχύει για την συγκεκριμένη προσαρμογή κι αυτό γιατί μελετάμε μόνο τη μία συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου.

D) Γι αυτό το λόγο καταγράφουμε τα αποτελέσματα, δηλαδή τους διάφορους συνδυασμούς παραμέτρων, των οποίων η τυπική απόκλιση είναι κάτω από μία τιμή που ορίζουμε.

- Για την B_y συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου έχουμε:

$$\vec{B}_y = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} (m_x x' + m_y y' + m_z z') \cdot y' - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} m_y + Y_y \quad (21)$$

με ελεύθερες παραμέτρους τις τρεις συνιστώσες της μαγνητικής ροπής (m_x, m_y, m_z) και την συνιστώσα Y_y του μαγνητικού υποβάθρου.

Επαναλαμβάνουμε τα όλα τα στάδια (A- D) του βήματος 5 που κάναμε για την B_x συνιστώσα με τις εξής διαφορές:

- A) Δεν χρειάζεται να δοκιμάσουμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς αυτή τη φορά. Από την προηγούμενη προσαρμογή έχουμε ήδη καταγράψει τους πιο αποδεκτούς συνδυασμούς παραμέτρων ($m_x, m_y, m_z, Y_x, \sigma_x$). Σ' αυτή τη περίπτωση θα διαλέξουμε μόνο μια αρχική τιμή (i- initial), μια τελική τιμή (f- final) και μία τιμή βήματος (D) για το μαγνητικό υπόβαθρο της Y_y συνιστώσας.

$$Y_y : Y_{y_i}, Y_{y_f}, D_Y$$

- B) Εφαρμόζουμε τον κάθε ένα συνδυασμό τιμών, με βάση το προηγούμενο βήμα A, στην εξίσωση (21) ($B_{y_θεωρητική}$).
- C) Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση για κάθε συνδυασμό από τον τύπο:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(B_{x_{\text{θεωρητικό}}} - B_{x_{MGS}} \right)^2}{N}} \quad (22)$$

- Ομοίως και για την B_z συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου έχουμε:

$$\vec{B}_z = \frac{3\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^5} \left(m_x x' + m_y y' + m_z z' \right) \cdot z' - \frac{\mu_0}{4\pi r^3} m_z + Y \quad (23)$$

με ελεύθερες παραμέτρους τις τρεις συνιστώσες της μαγνητικής ροπής (m_x, m_y, m_z) και την συνιστώσα Y_z του μαγνητικού υποβάθρου.

Επαναλαμβάνουμε τα όλα τα στάδια (A- D) του βήματος 5 που κάναμε για την B_y συνιστώσα με τις εξής διαφορές:

- A) Από την προηγούμενη προσαρμογή έχουμε ήδη καταγράψει τους πιο αποδεκτούς συνδυασμούς παραμέτρων ($m_x, m_y, m_z, Y_x, Y_y, \sigma_x, \sigma_y$). Διαλέγουμε μια αρχική τιμή (i- initial), μια τελική τιμή (f- final) και μία τιμή βήματος (D) για το μαγνητικό υπόβαθρο της Y_z συνιστώσας.

$$Y_z : Y_{z_i}, Y_{z_f}, D_Y$$

- B) Εφαρμόζουμε τον κάθε ένα συνδυασμό τιμών, με βάση το προηγούμενο βήμα A, στην εξίσωση (23) ($B_{z_θεωρητική}$).
- C) Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση για κάθε συνδυασμό από τον τύπο:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(B_{x_θεωρητικό} - B_{x_MGS} \right)^2}{N}} \quad (24)$$

- D) Στο τέλος καταγράφουμε σε ένα αρχείο τους αποδεκτούς συνδυασμούς ($m_x, m_y, m_z, Y_x, Y_y, Y_z, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$).

- Για το μέτρο του μαγνητικού πεδίου B έχουμε τον τύπο:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (25)$$

Αντίστοιχα το κάνουμε και σε αυτή τη περίπτωση. Τώρα όμως για αποδεκτούς συνδυασμούς έχουμε το τελικό αρχείο ($m_x, m_y, m_z, Y_x, Y_y, Y_z, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) που δημιουργήσαμε ψάχνοντας τις θεωρητικές τιμές της B_z συνιστώσας. Από κει υπολογίζουμε τις αντίστοιχες συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου (B_x, B_y, B_z) για να μπορέσουμε στη συνέχεια να υπολογίσουμε το μέτρο του μαγνητικού πεδίου B από τον τύπο (25).

Επιπλέον σε αυτή τη περίπτωση δεν υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση όπως προηγουμένως, αλλά από τον τύπο διάδοσης σφάλματος έχουμε:

$$\sigma_B = \frac{\sqrt{B_x^2 \cdot \sigma_x^2 + B_y^2 \cdot \sigma_y^2 + B_z^2 \cdot \sigma_z^2}}{N \cdot B} \quad (26)$$

Τέλος η μικρότερη απόκλιση αντιστοιχεί στην καλύτερη προσέγγιση της θεωρητικής καμπύλης του μαγνητικού πεδίου στα δεδομένα του Mars Global Surveyor. Κατά συνέπεια και ο αντίστοιχος συνδυασμός παραμέτρων θα είναι και πιο ακριβής.

Καταγράφουμε σε ένα νέο αρχείο τα τελικά αποτελέσματα.

- ❖ Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 4 και 5 για διαφορετικά βάρη κάθε φορά και καταγράφουμε τα τελικά αποτελέσματα στο τελικό μας αρχείο.
- ❖ Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία, από το βήμα 1 έως το τέλος, για κάθε τροχιά που θέλουμε να μελετήσουμε ξεχωριστά.

10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

10.1. ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΟΥ MARS GLOBAL SURVEYOR

Το Mars Global Surveyor πραγματοποιεί μία περιφορά γύρω από τον Άρη σε χρόνο περίπου ίσο με 12 ώρες. Συνεπώς κατά τη διάρκεια μιας μέρας ο δορυφόρος περνάει πάνω από την ίδια περιοχή δύο φορές. Η περιστροφή του Άρη όμως είναι λίγο μεγαλύτερη από 24 ώρες και για αυτό το λόγο υπάρχουν περιπτώσεις όπου το Mars Global Surveyor μπορεί να πραγματοποιήσει τρία περάσματα σε μία μέρα.

A) ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΧΙΩΝ

Οι ερευνητές χρησιμοποιώντας μια σειρά αριθμών και γραμμάτων χαρακτήρισαν τα δεδομένα της εκάστοτε τροχιάς. Για παράδειγμα θα αναφέρουμε την τροχιά 98180P1.

- Οι δυο πρώτοι αριθμοί αντιπροσωπεύουν το έτος διέλευσης του δορυφόρου. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε οι αριθμοί 98 υποδηλώνουν ότι η τροχιά πραγματοποιήθηκε το έτος 1998.
- Τα επόμενα τρία ψηφία αντιπροσωπεύουν την μέρα στην διάρκεια του έτους. Δηλαδή το 180 μας υποδεικνύει ότι η μέτρηση πραγματοποιήθηκε την 180η μέρα του έτους, ή αλλιώς στις 29 Μαΐου.
- Ο τελικός συμβολισμός P1 και P2 προέρχεται από την αγγλική ορολογία passing (διέλευση) και υποδηλώνει αν ήταν η πρώτη ή η δεύτερη διέλευση του Mars Global Surveyor από το σημείο αυτό στην διάρκεια της μέρας. Υπάρχουν βέβαια κάποιες περιπτώσεις όπου θα συναντήσουμε και τον συμβολισμό P3 που δηλώνει την τρίτη διέλευσή του.

B) ΔΙΑΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΤΡΟΧΙΩΝ)

Το Mars Global Surveyor τέθηκε σε τροχιά γύρω από τον Άρη, από τα μέσα του Σεπτεμβρίου 1997 έως και το Νοέμβριο του 2005. Κατά τη φάση της αεροπέδησης (aerobraking) και των τροχιών της «Επιστημονικής Παρατήρησης» (Science Phase), τα πειράματα του Mars Global Surveyor συγκέντρωσαν έναν ικανοποιητικό πλήθος καταγραφών του διανύσματος του μαγνητικού αλλά και του ηλεκτρικού πεδίου με το μαγνητόμετρο (MAG) και τον ανακλαστήρα ηλεκτρονίων (ER). Τα δεδομένα λόγω και της διπλής ή και τριπλής διέλευσης του Mars Global Surveyor από τον Άρη πολλαπλασιάζονται. Η μελέτη των μαγνητογραμμάτων για το Βόρειο Ημισφαίριο του πλανήτη αποκάλυψε την παρουσία δύο εντοπισμένων μαγνητικών περιοχών, με χαρακτηριστικό στοιχείο την έντονη αύξηση του μέτρου του μαγνητικού πεδίου, με επίκεντρα σε αερογραφικές συντεταγμένες 85° Βόρεια – 28° Ανατολικά και 63° Βόρεια – 23° Ανατολικά. Από αυτό το πλήθος δεδομένων θα πρέπει να προσδιορίσουμε τις αντίστοιχες τροχιές, από τις οποίες μπορούμε να εξάγουμε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα για την μελέτη μας (Διαλυνάς 2006).

- I. Μιας και σκοπός μας είναι η μελέτη των μαγνητικών διαταραχών, κυριότερο μέλημά μας είναι η κορύφωση που παρουσιάζει το μαγνητικό πεδίο να διακρίνεται καθαρά. Με αυτή τη προϋπόθεση βρέθηκαν επτά τροχιές:

98153P1, 98154P1, 98163P1, 98164P1, 98165P1, 98179P2, 98180P2

- II. Διερευνώντας τις τροχιές αυτές διαπιστώθηκε κι από προηγούμενες μελέτες ότι κάποιες από αυτές παρουσιάζουν σημαντικά σφάλματα σε μία ή και περισσότερες συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου (Διαλυνάς Κ. 2003). Με σκοπό τον προσδιορισμό του βάθους του διπόλου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο τις εξής τροχιές:

98153P1, 98154P1, 98163P1, 98180P2

- III. Στην παρούσα εργασία δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τις τέσσερις τροχιές για την διερεύνηση προσανατολισμού του διπόλου. Η τελευταία τροχιά (98180P1) παρουσιάζει σημαντική απόκλιση, η

οποία δεν μας επιτρέπει να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. Άρα έχουμε τελικά μόνο τρεις τροχιές από τις οποίες μπορούμε να μελετήσουμε το βάθος και τον προσανατολισμό του διπόλου. Στον επόμενο Πίνακα IV παρουσιάζονται οι τροχιές με τις θέσεις των διπόλων σε αερογραφικές συντεταγμένες

ΠΙΝΑΚΑΣ IV
Επιλεγμένες Τροχιές

ΤΡΟΧΙΕΣ	98153P1	98154P1	98163P1
Αερογραφικό μήκος (μοίρες)	17,97	27.57	32
Αερογραφικό πλάτος (μοίρες)	84.79	85.45	85,53

10.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Σύμφωνα με την Παράγραφο 8., μπορούμε να προσδιορίσουμε τις συντεταγμένες (φ , θ) των διπόλων της κάθε τροχιάς. Παρόλο που οι δύο τροχιές (98153P1- 98154P1) είναι πολύ κοντά, αυτό δεν σημαίνει ότι και οι συντεταγμένες του διπόλου είναι ακριβώς ίδιες. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με τις συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν και υπολογίστηκαν για την κάθε τροχιά. (Πίνακας V)

ΠΙΝΑΚΑΣ V
Πλανητοκεντρικές Συντεταγμένες Διπόλου

ΤΡΟΧΙΑ	98153P1	98154P1	98163P1
r_{\max} (km)	3575,24	3569,41	3559,36
x_{\max} (km)	308,793	250,842	235,72
y_{\max} (km)	100,182	130,992	147,083
z_{\max} (km)	3560,526	3558,175	3548,49
h (km)	178,040	172,210	162,160
φ (μοίρες)	0,313717	0,481257	0,558334
θ (μοιρες)	1,48004	1,49143	1,49262

10.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ **ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ**

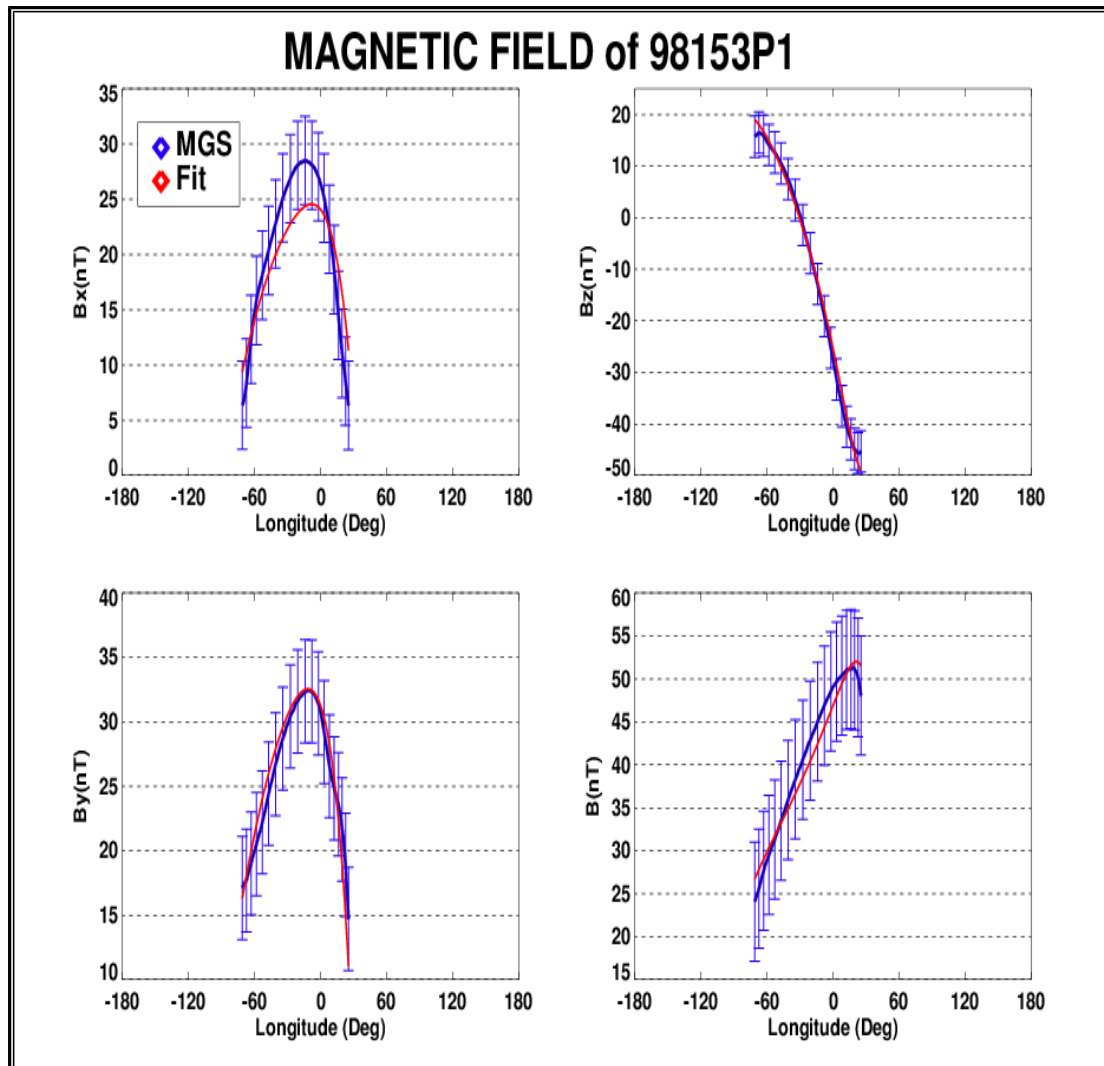
Για προσδιορισμό των ελεύθερων παραμέτρων, όπως αναλύουμε και στην Παράγραφο 9., χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα προγραμματισμού IDL. Για να μελετήσουμε τη διαδικασία προσαρμογής επιλέξαμε ένα εύρος περιοχής τιμών ($n_m * D_m$) για την κάθε ελεύθερη παράμετρο. Τις αρχικές (initial) και τελικές (final) τιμές που διερευνήσαμε, τον βηματισμό (D), τον αριθμό βημάτων (n) και το εύρος της περιοχής που καλύψαμε για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται στον Πίνακα VI.

Στους υπολογισμούς μας και στις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις έχουμε λάβει υπόψιν μας το σφάλμα του οργάνου. Συγκεκριμένα το μαγνητόμετρο (MAG) του Mars Global Surveyor καταγράφει στο διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου με μέγιστη συχνότητα 32 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο και σφάλμα ± 4 nT.

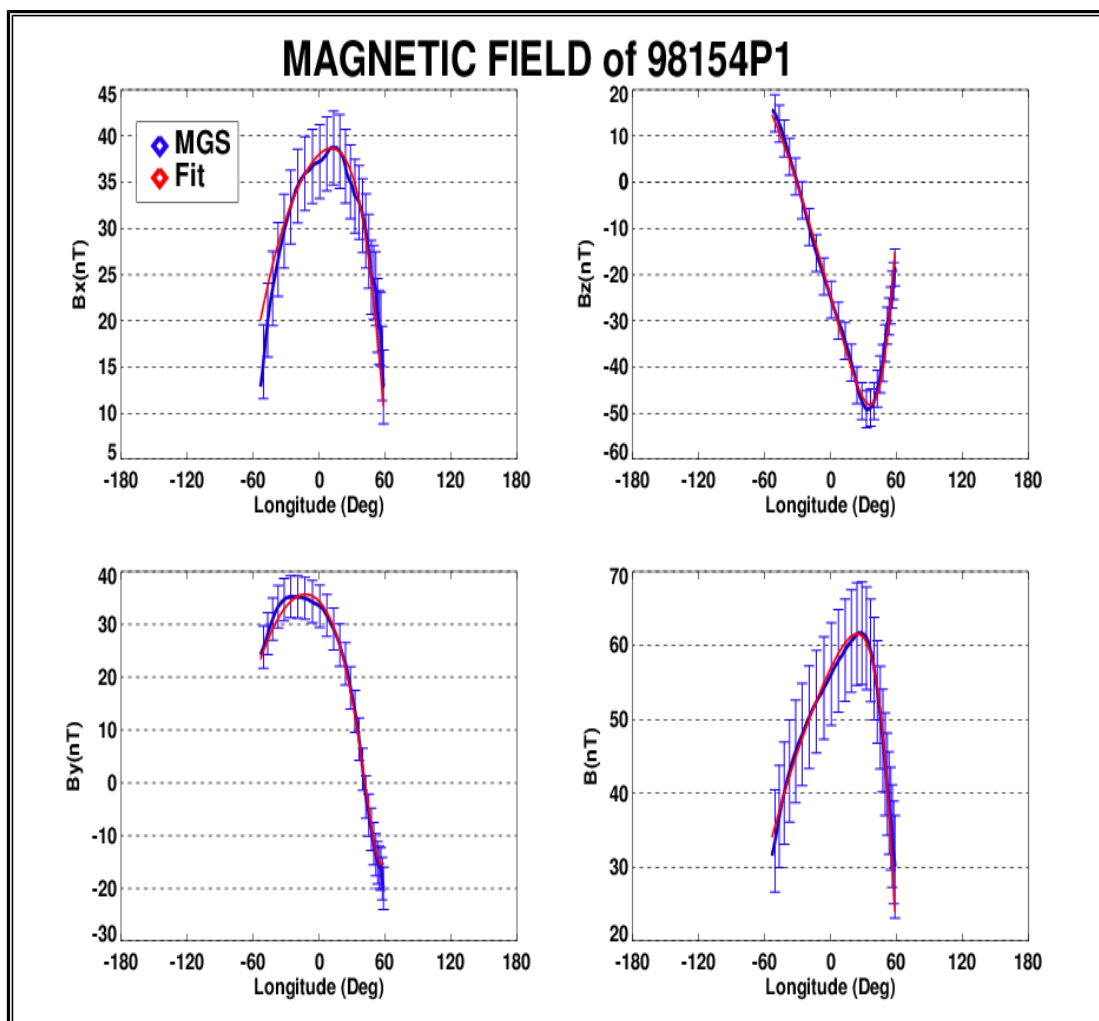
Στη συνέχεια ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα προσαρμογής των τριών συνιστωσών του μαγνητικού πεδίου (B_x , B_y , B_z) και του μέτρου του μαγνητικού πεδίου (B), για την κάθε τροχιά. Τα διαγράμματα αυτά είναι σε διαφορετικό βάθος για την κάθε τροχιά. Αυτό συμβαίνει γιατί η κάθε τροχιά παρουσιάζει σε διαφορετικό βάθος ελάχιστη απόκλιση.

ΠΙΝΑΚΑΣ VI
Εύρος Τιμών των Ελεύθερων Παραμέτρων

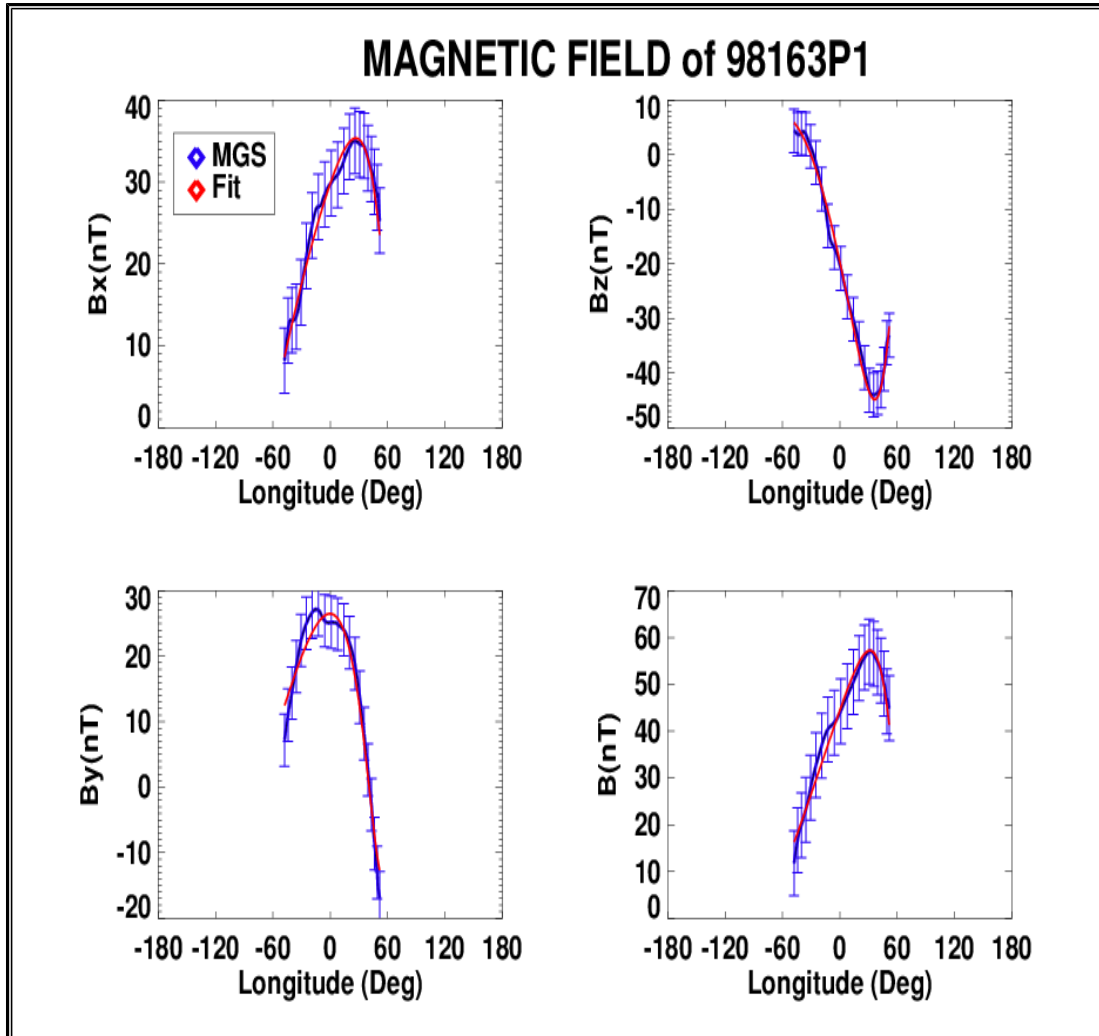
	Μαγνητικές Συνιστώσες (m_x, m_y, m_z)	Συνιστώσες Μαγνητικού Υποβάθρου (Y_x, Y_y, Y_z)	Βάθος (b)
Αρχική τιμή	$-1 \cdot 10^{17}$ (A·m ²)	-20 (nT)	20 (km)
Τελική τιμή	$+1 \cdot 10^{17}$ (A·m ²)	+20 (nT)	400 (km)
Βήμα	$0.5 \cdot 10^{15}$ (A·m ²)	4 (nT)	20 (km)
Εύρος τιμών	$2 \cdot 10^{17}$ (A·m ²)	40 (nT)	380 (km)
Αριθμός βημάτων	400	10	19



Γράφημα 10.3.1. Οι μαγνητικές συνιστώσες B_x , B_y (αριστερά) και B_z , B (δεξιά) των θεωρητικών εξισώσεων με κόκκινο χρώμα και των πειραματικών δεδομένων από το MGS με μπλε χρώμα. Δεδομένα της τροχιάς 98153P1 για 360 km βάθος.



Γράφημα 10.3.2. Οι μαγνητικές συνιστώσες B_x , B_y (αριστερά) και B_z , B (δεξιά) των θεωρητικών εξισώσεων με κόκκινο χρώμα και των πειραματικών δεδομένων από το MGS με μπλε χρώμα. Δεδομένα της τροχιάς 98154P1 για 320 km βάθος.



Γράφημα 10.3.3. Οι μαγνητικές συνιστώσες B_x , B_y (αριστερά) και B_z , B (δεξιά) των θεωρητικών εξισώσεων με κόκκινο χρώμα και των πειραματικών δεδομένων από το MGS με μπλε χρώμα. Δεδομένα της τροχιάς 98163P1 για 200 km βάθος.

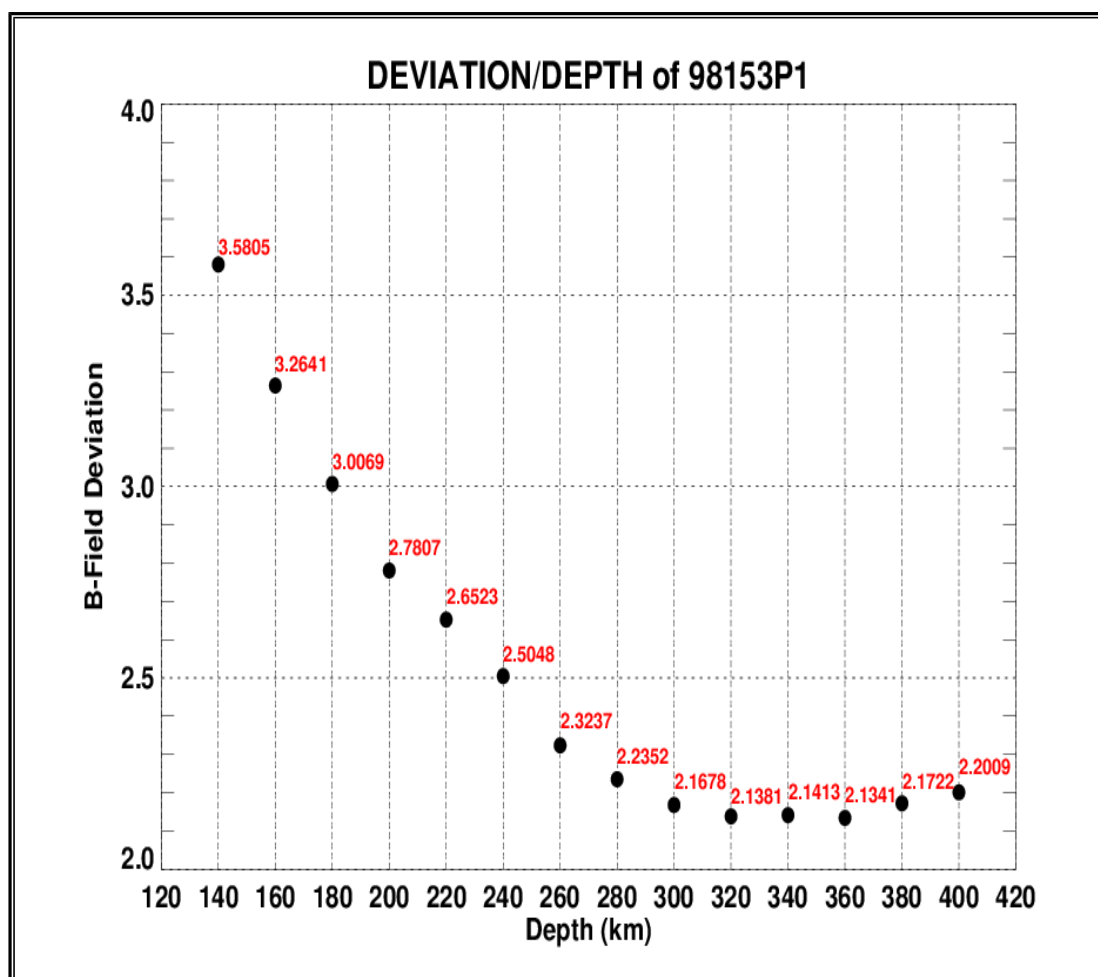
Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις (10.3.1.-10.3.3) με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η πλησιέστερη καμπύλη που υπολογίσαμε σύμφωνα με τις θεωρητικές μας εξισώσεις. Με μπλε χρώμα παρουσιάζεται το μαγνητικό πεδίο των δεδομένων του Mars Global Surveyor. Με βάση την μικρότερη απόκλιση μπορούμε να προσδιορίσουμε τις τιμές των ελεύθερων παραμέτρων. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας προσαρμογής βρίσκονται στον επόμενο Πίνακα VII.

ΠΙΝΑΚΑΣ VII
Προσδιορισμός Ελεύθερων Παραμέτρων

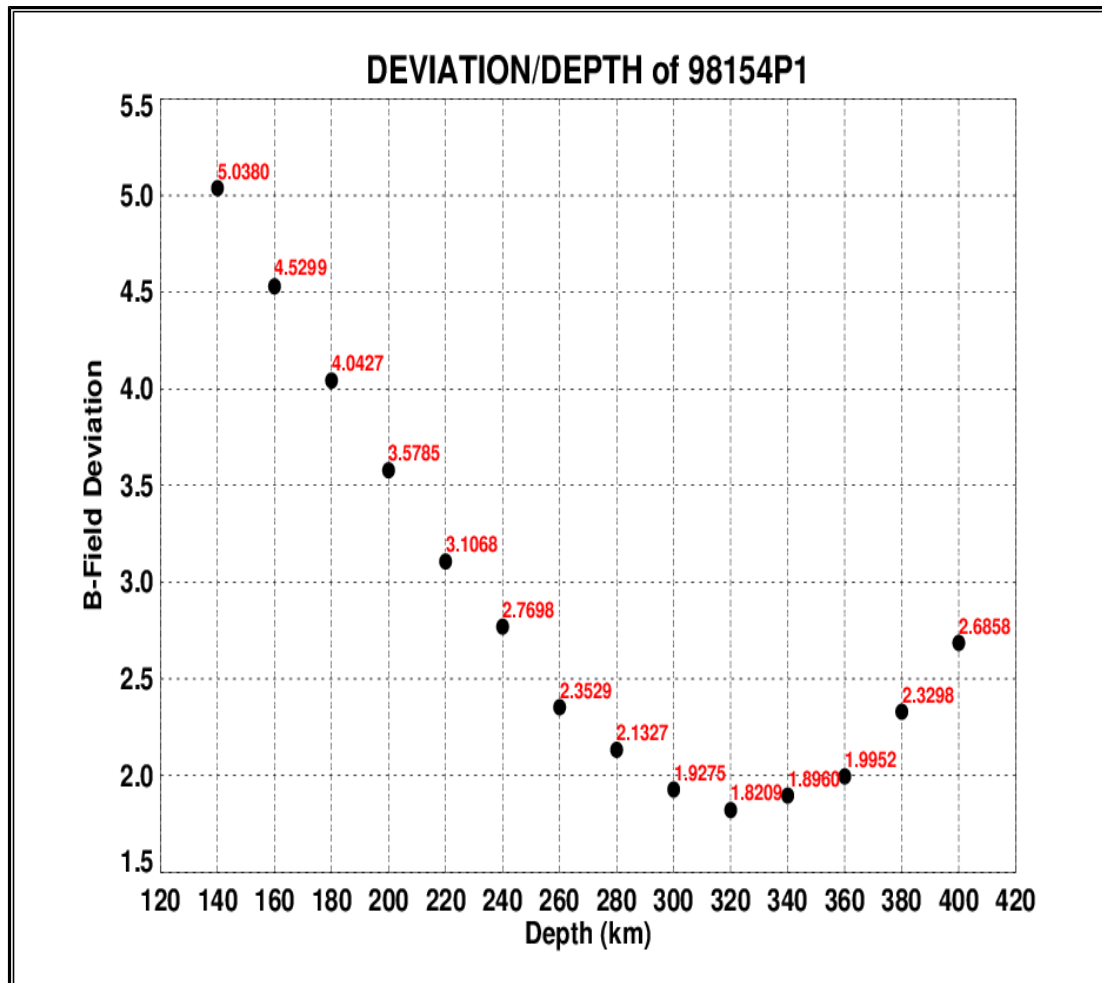
ΤΡΟΧΙΑ	98153P1	98154P1	98163P1
m_x (A·m ²)	-5.00·10 ¹⁶	-6.00·10 ¹⁶	-2.25·10 ¹⁶
m_y (A·m ²)	-2.30·10 ¹⁶	-1.60·10 ¹⁶	-4.50·10 ¹⁵
m_z (A·m ²)	-3.5·10 ¹⁶	-2.75·10 ¹⁶	-9.00·10 ¹⁵
Y_x (nT)	-8.00	-8.00	-8.00
Y_y (nT)	8.00	8.00	4.00
Y_z (nT)	8.00	12.00	4.00
Ελάχιστη απόκλιση	2.1341	1.8209	1.5602

10.4. ΒΑΘΟΣ

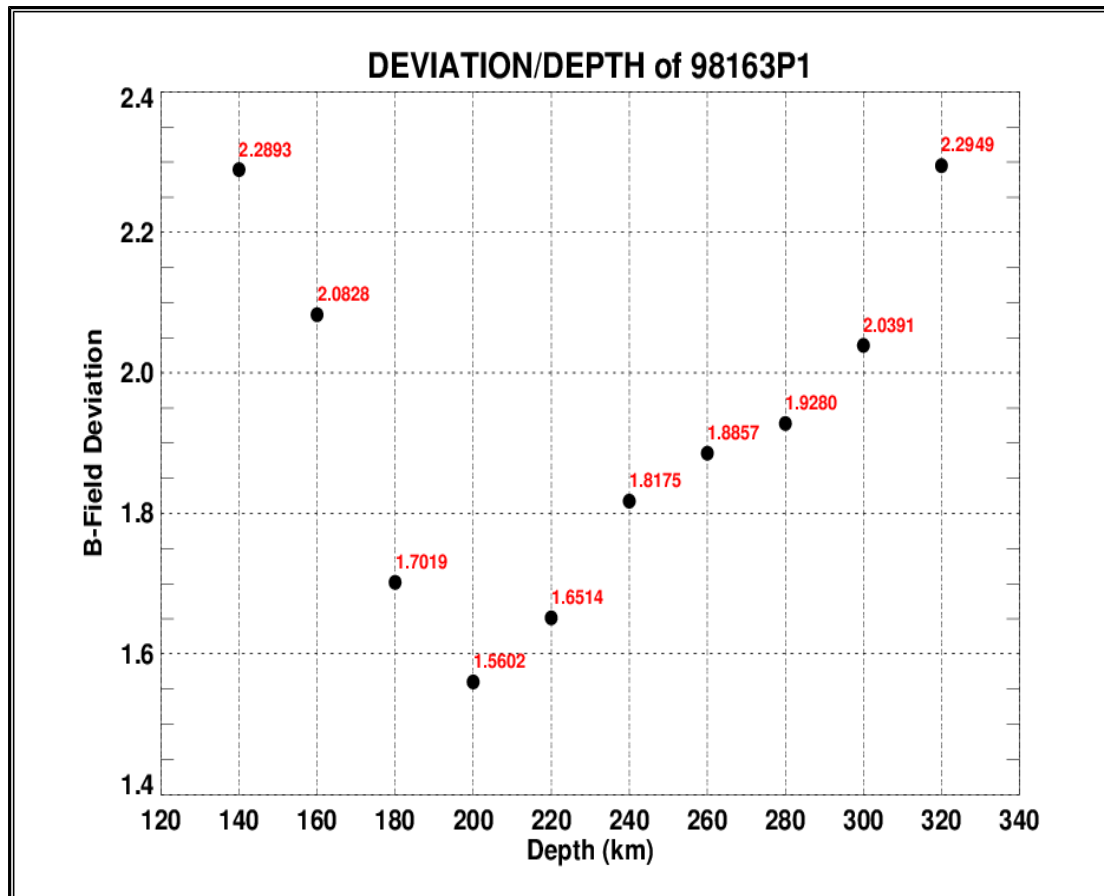
Από τα τελικά αρχεία που καταγράψαμε στη διαδικασία προσαρμογής (Παράγραφος 9.3) έχουμε τις τιμές των ελεύθερων παραμέτρων ($m_x, m_y, m_z, Y_x, Y_y, Y_z$), τις τιμές του κάθε βάθους και τις ελάχιστες αποκλίσεις για κάθε μια προσαρμογή ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_B$). Από την απόκλιση του μέτρου του μαγνητικού πεδίου σ_B και τα αντίστοιχα βάθη μπορούμε να φτιάξουμε τη γραφική παράσταση της απόκλισης συναρτήσει του βάθους, όπως φαίνεται στα Γραφήματα 10.4.1- 10.4.3..



Γράφημα 10.4.1. Απόκλιση του μέτρου του μαγνητικού πεδίου σ_B συναρτήσει του βάθους, της τροχιάς 98153P1. Ελάχιστο παρουσιάζεται στο σημείο 360km με απόκλιση 2.1341.



Γράφημα 10.4.2. Απόκλιση του μέτρου του μαγνητικού πεδίου σ_B συναρτήσει του βάθους, της τροχιάς 98154P1. Ελάχιστο παρουσιάζεται στο σημείο 320km με απόκλιση 1.8209.



Γράφημα 10.4.3. Απόκλιση του μέτρου του μαγνητικού πεδίου σ_B συναρτήσει του βάθους, της τροχιάς 98163P1. Ελάχιστο παρουσιάζεται στο σημείο 200km με απόκλιση 1.5602.

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις (10.4.1- 10.4.3) παρατηρούμε ότι οι καμπύλες έχουν σχεδόν παραβολική συμπεριφορά. Υπάρχει σε κάθε καμπύλη μια ελάχιστη περιοχή όπου φαίνεται σχεδόν σαν να σταθεροποιείται η γραφική. Σε εκείνη τη περιοχή η προσαρμογή μας έχει τις μικρότερες αποκλίσεις και κατά συνέπεια η διαδικασία είναι αποδοτικότερη. Στο σημείο όπου η καμπύλη εμφανίζει ελάχιστο εκτιμούμε ότι αντίστοιχα είναι το βάθος του διπόλου. Τα αποτελέσματα των τροχιών αυτών αναφέρονται στον Πίνακα VIII.

ΠΙΝΑΚΑΣ VIII
Εκτίμηση Βάθους του Διπόλου

ΤΡΟΧΙΑ	98153P1	98154P1	98163P1
Περιοχή Ελάχιστης απόκλισης (km)	300-380	300-360	180-220
Ελάχιστο βάθος (km)	360	320	200
Ελάχιστη τυπική απόκλιση (nT)	2,1341	1,8209	1,5602

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή προκύπτει ότι η μέση τιμή του βάθους του διπόλου βρίσκεται στα 290 km με σφάλμα μέτρησης ίσο με 50 km. Αντίστοιχα υπολογίζοντας την μέση τιμή της περιοχής όπου παρουσιάζεται η ελάχιστη απόκλιση (Πίνακας VIII) βρίσκουμε το πάχος της “ζώνης μαγνήτισης” του διπόλου ίσο με περίπου 60 km.

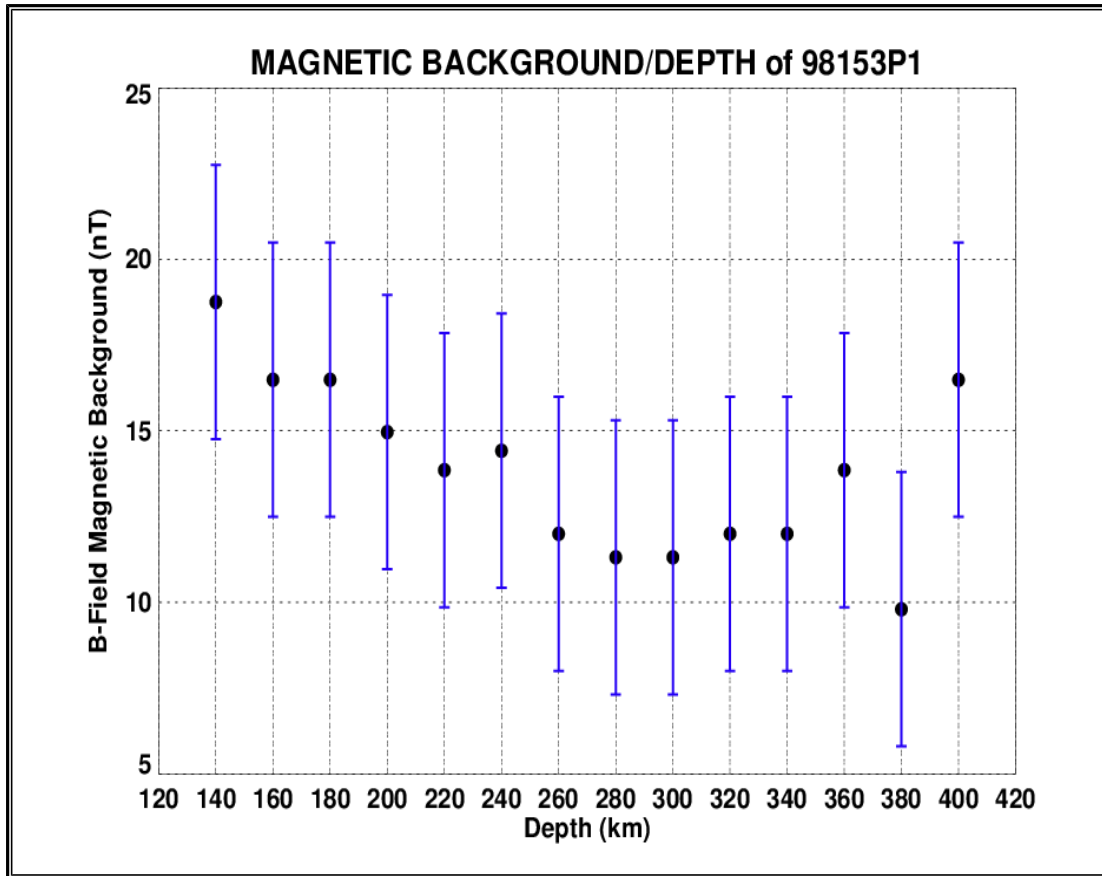
Καταλήγουμε τελικά στο συμπέρασμα ότι οι μαγνητικές διαταραχές που καταγράφηκαν από το Mars Global Surveyor δεν βρίσκονται στο φλοιό του πλανήτη Άρη αλλά στο εσωτερικό του, συγκεκριμένα στη λιθόσφαιρα του.

10.5. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

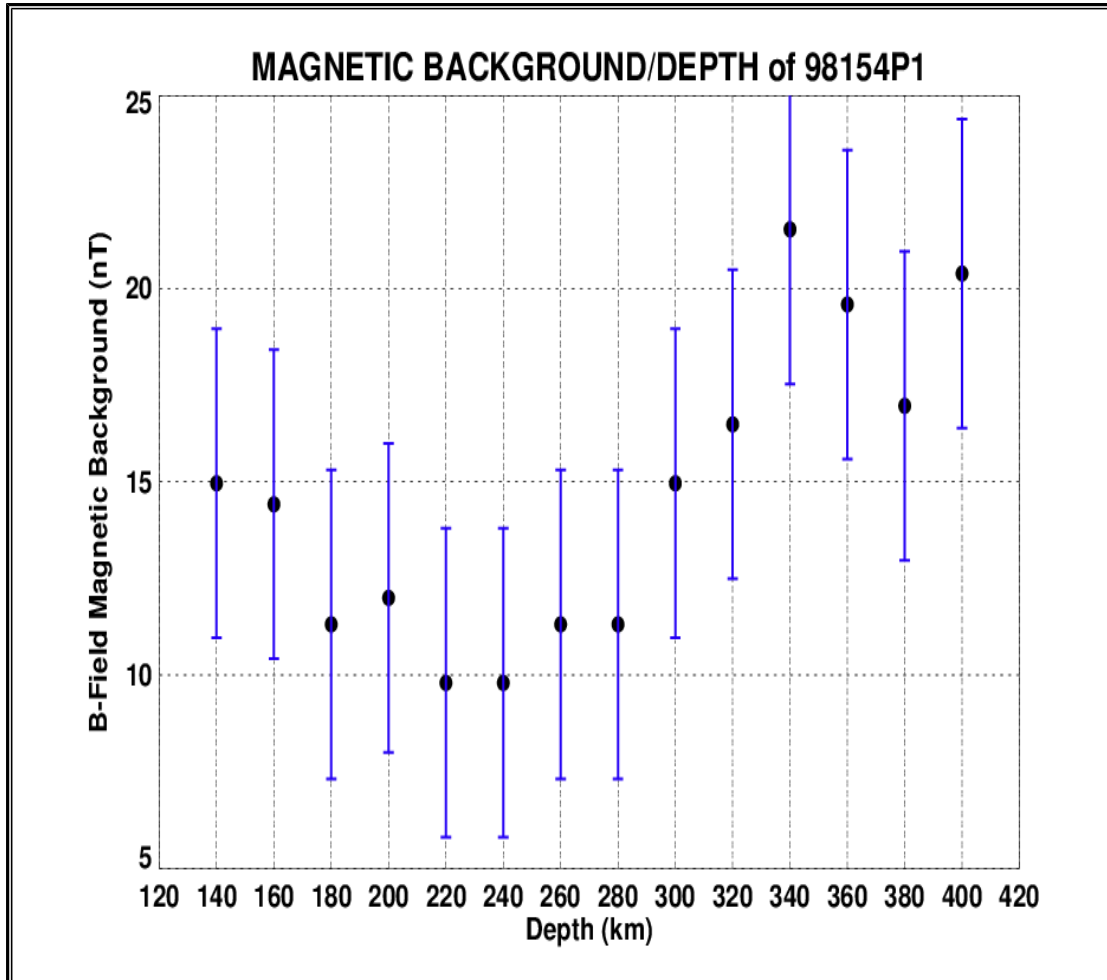
Από τα τελικά αρχεία που καταγράψαμε στη διαδικασία προσαρμογής (Παράγραφος 9.3.) έχουμε τις τιμές των ελεύθερων παραμέτρων ($m_x, m_y, m_z, Y_x, Y_y, Y_z$), τις τιμές του κάθε βάθους και τις ελάχιστες αποκλίσεις για κάθε μια προσαρμογή ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_B$). Φτιάχνουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα του μαγνητικού υποβάθρου Y συναρτήσει του βάθους για την κάθε τροχιά, όπως παρουσιάζονται στα γραφήματα 10.5.1.- 10.5.3..

$$Y = \sqrt{Y_x^2 + Y_y^2 + Y_z^2} \quad (27)$$

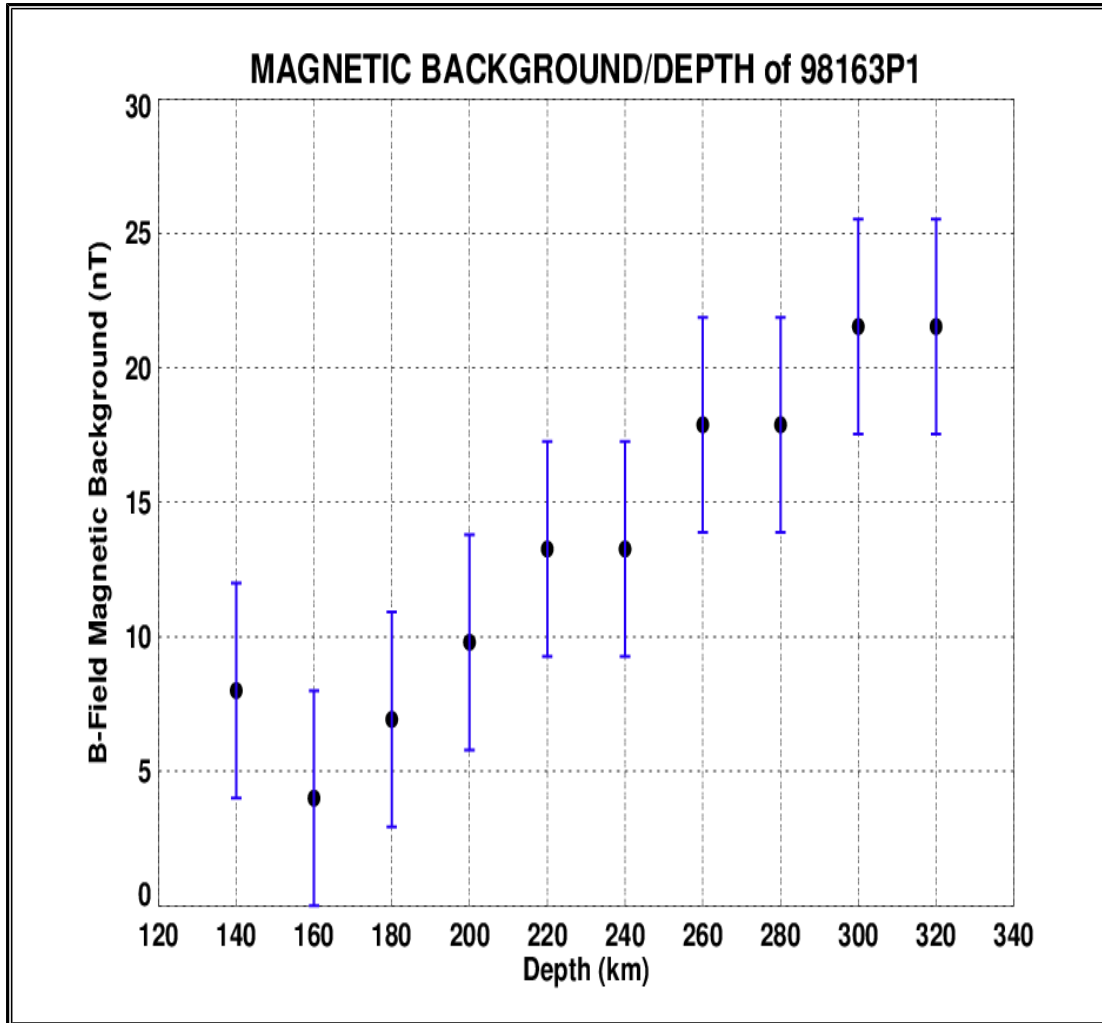
Στα διαγράμματα αυτά παρατηρείται επίσης μια αυξομείωση των σημείων. Το μαγνητικό υπόβαθρο Y περιλαμβάνει τον μαγνητικό θόρυβο αλλά και οποιοδήποτε σφάλμα προκύπτει από την μέθοδο προσαρμογής. Σε συνδυασμό με τα γραφήματα της τυπικής απόκλισης (Παράγραφος 10.4.) μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από το βάθος του διπόλου τόσο θα αυξάνεται και το σφάλμα που θα οφείλεται στην προσαρμογή.



Γράφημα 10.5.1. Απεικόνιση μαγνητικού υποβάθρου Υ συναρτήσεως του βάθους, της τροχιάς 98153P1.



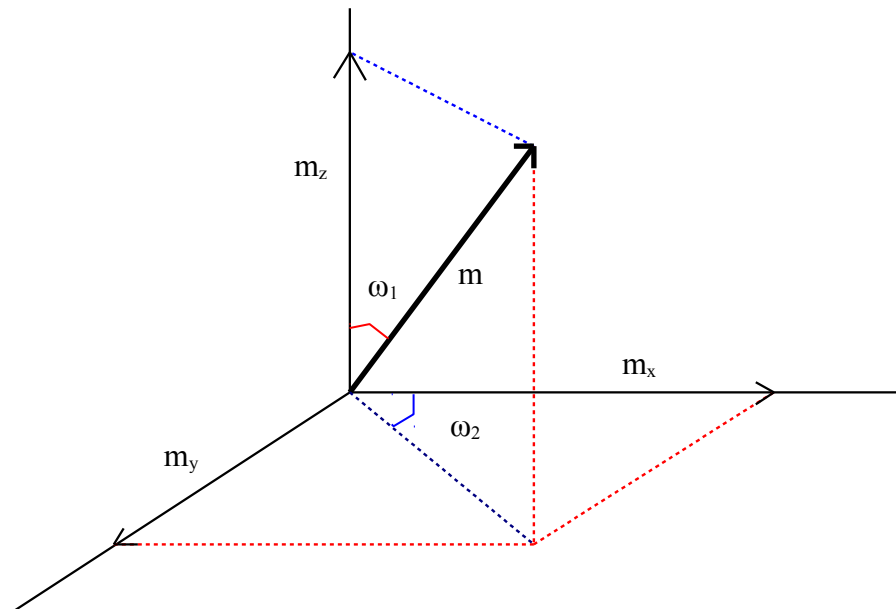
Γράφημα 10.5.2. Απεικόνιση μαγνητικού υποβάθρου Y συναρτήσει του βάθους, της τροχιάς 98154P1.



Γράφημα 10.5.3. Απεικόνιση μαγνητικού υποβάθρου Y συναρτήσει του βάθους, της τροχιάς 98163P1.

10.6. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΔΙΠΟΛΟΥ

Η μαγνητική διπολική ροπή m χαρακτηρίζεται από τις τρεις συνιστώσες m_x , m_y , m_z σε ορθοκανονικό σύστημα (Σχήμα 10.6.1.). Για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού του διπόλου ορίζουμε δύο γωνίες ω_1 και ω_2 . Ως γωνία ω_1 ορίζουμε την γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα της μαγνητικής διπολικής ροπής m με τον άξονα Oz . Ενώ η γωνία ω_2 βρίσκεται στο επίπεδο Oxy και ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει η προβολή της μαγνητικής ροπής m με τον άξονα Ox .



Σχήμα 10.6.1. Απεικόνιση μαγνητικής διπολικής ροπής ενός διπόλου.

Από το ορθοκανονικό αυτό σύστημα ισχύει ότι:

$$\begin{aligned}\cos \omega_1 &= \frac{m_z}{m} \\ \sin \omega_1 &= \frac{\text{προβολή της } m}{m}\end{aligned}\quad (28)$$

και

$$\begin{aligned}\cos \omega_2 &= \frac{m_x}{\text{προβολή της } m} \\ \sin \omega_2 &= \frac{m_y}{\text{προβολή της } m}\end{aligned}\quad (29)$$

Από τις εξισώσεις (28) και (29) λύνουμε ως προς τις γωνίες ω_1 και ω_2 και έχουμε:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \cos^{-1}\left(\frac{m_z}{m_x}\right) \\ \omega_2 &= \cos^{-1}\left(\frac{m_x}{m \cdot \sin \omega_1}\right)\end{aligned}\quad (30)$$

Υπολογίζοντας τα ω_1 και ω_2 για κάθε τροχιά στο αντίστοιχο ελάχιστο βάθος έχουμε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα ΙΧ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΧ
Προσανατολισμός Διπόλου

ΤΡΟΧΙΑ	98153P1	98154P1	98163P1	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
ω_1 (μοίρες)	-121,33	-113,89	-111,42	-115,55
ω_2 (μοίρες)	155,30	165,07	168,69	163,02
Βάθος (km)	360	320	200	293,33

Βρίσκουμε τελικά ότι το δίπολο έχει προσανατολισμό περίπου $\omega_1 = -116^\circ$ και $\omega_2 = 163^\circ$ σε βάθος 290 km.

ΣΥΝΟΨΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία στηρίχθηκε στην μεταπτυχιακή εργασία του Διαλυνά (2006) και μελετήθηκαν οι μαγνητικές περιοχές στο Βόρειο Ημισφαίριο του Άρη. Συγκεκριμένα αναλύθηκαν τρεις τροχιές του Mars Global Surveyor που διακρίνονταν καθαρότερα το μαγνητικό πεδίο για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Θεωρήσαμε τη μαγνητική πηγή ως σημειακό μαγνητικό δίπολο και ως ελεύθερες παραμέτρους την μαγνητική διπολική ροπή m , το μαγνητικό υπόβαθρο Y και το βάθος b . Με το πρόγραμμα της IDL κάναμε τη διαδικασία προσαρμογής και παρατηρήσαμε ότι οι τροχιές έδιναν συγκριτικά παρόμοιες τιμές. Παρόλο τις διαφορετικές τροχιές τα αποτελέσματα αυτά μας έδωσαν την εικόνα μιας “ζώνης μαγνήτισης” σε βάθος περίπου στα 290 km, με μαγνητική διπολική ροπή ίση με $9,4 \cdot 10^{16} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ και κατεύθυνση $\omega_1 = -116^\circ$ και $\omega_2 = 163^\circ$.

Μελέτες για την μελέτη και χαρτογράφηση των ,μαγνητικών περιοχών στο Βόρειο Ημισφαίριο του Άρη έχουν πραγματοποιηθεί από τους Hood and Zakharian (2001), Διαλυνά (2006), Σέργη (2006). Στις μελέτες αυτές θεώρησαν την μαγνητική πηγή ως σημειακό δίπολο, ενώ συγκεκριμένα στις μελέτες των Διαλυνά και Σέργη (2006) χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Τα αποτελέσματά μας έρχονται σε συμφωνία με τις μελέτες των Διαλυνά και Σέργη (2006), παρόλο που οι Hood and Zakharian (2001) απέρριψαν τα αποτελέσματα με το μοντέλο του σημειακού διπόλου γιατί εμφάνιζαν μεγάλο βάθος.

Όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως στον Παράγραφο 6, οι μαγνητικές διαταραχές που εμφανίζονται στην επιφάνεια του Άρη επηρεάζουν το ύψος της ιονόσφαιρας και της κίνησης του πλάσματος της ιονόσφαιρας. Συνεπώς με την χαρτογράφηση μοντελοποίηση των μαγνητικών περιοχών του πλανήτη μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικά με την ιονόσφαιρα του Άρη. Επίσης πληροφορίες μπορούμε να πάρουμε με την σύνδεση που μπορεί να γίνει μεταξύ του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου και του επιφανειακού μαγνητικού πεδίου (Brain et al. 2003).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acuna M.H. et al., 1999a, *Global Distribution of Crustal Magnetism Discovered by the Mars Global Surveyor MAG/ER Experiment*, Science, Vol. 284, Iss. 5415, p. 790-793
- Acuna M.H. et al., 1999b, *Mars Crustal Magnetism- Global Distribution, Morphology and Source Models*, American Astronomical Society, DPS Meeting 31, 59.07. Bulletin of the American Astronomical Society, vol. 31, 1584
- Acuna M.H. et al., 2001, *The Magnetic Field of Mars: Summary of Results From the Aerobraking and Mapping Orbits*, J. Geophys. Res. 106, 23403
- Albee A.L. et al., 1998, *Mars Global Surveyor Mission: Overview and Status*, Science, Vol. 279 no. 5357, pp. 1671-1672
- Ανδρέα Τζάνη, 2003, *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ*
- Andrews Hanna J.C. And Zuber M.T., 2008, *THE DICHOTOMY- FORMING IMPACT ON MARS: EVIDENCE AND IMPLICATIONS*, 2008LPICo1439... 13A
- Banerdt W.B., Smrekar S., Lognonne P., Spohn T., Asmar S.W., Banfield D., Boschi L., Christensen U., Dehant V., Folkner W., and 20 coauthors, 44th Lunar and Planetary Science Conference 2013, *Insight: A Discovery Mission to*

Explore the Interior of Mars, 2013LPICo1719.1915B

Bertuccio C., Mazellea C., Acuna M., 2005, *Structure and variability of the Martian magnetic pileup boundary and bow shock from MGS MAG/ER observations*, 2005AdSpR..36.2066B

Bleacher J.E., Richardson P.W., Garry W.B., Zimbelman J.R., Williams D.A., Orr T.R., 42nd Lunar and Planetary Science Conference (2011), *Identifying Lava Tubes and Their Products on Olympus Mons, Mars and Implications for Planetary Exploration*, 2011LPI...42.1805B

Brain D.A. et al., 2000, *Martian Magnetic Morphology from MGS MAG Data*, American Astronomical Society, DPS Meeting #32, #58.05; *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 32, p.1111.

Brain D.A. et al., 2003, *Martian magnetic morphology: Contributions from the solar wind and crust*, *J. Geophys. Res.*, 108, Issue A12, pp. SMP 8-1

Coradini A., Orosei R., 2011, *The exploration of Mars: past and future*, 2011MmSAI..82..321C

Crider D., et al., 2000, *Evidence of electron impact ionization in the magnetic pileup boundary of Mars*, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 27, Issue 1, 45- 48

Crider D., et al. 2002, *Observations of the latitude dependence of the location of the Martian Magnetic Pile-up Boundary*, *Geophys. Res. Lett.* 29(8), 10.1029/ 2001 GL 013860

D. de Niema, Kührta E., Morbidelli A., Moshmanna U., 2012, *Atmospheric erosion and replenishment induced by*

impacts upon the Earth and Mars during a heavy bombardment, 2012Icar..221..495D

Διαλυνάς Κ., Αθήνα 2003, *ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΤΟΥ ΑΡΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΒΑΘΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΣΗΣ*

Διαλυνάς Κ., *Σύζευξη της ιονόσφαιρας του πλανήτη Άρη με το υπερκείμενο στρώμα πλάσματος, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΚΠΑ, Τμήμα Φυσικής, Αθήνα 2006*

Dubinin E.M., et al. 1993A, *Ion acceleration in the Martian tail: The Phobos observations*, J. Geophys. Res. 98, 3991

Dubinin E.M., et al. 1993B, *Cold ions at the bow shock: Phobos observations*, J. Geophys. Res. 98, 5617

Fox J.L and Dalgarno A., 1979, *Ionization, luminosity, and heating of the upper atmosphere of Mars*, Geophys. Res., vol. 84, 7315- 7333

Hanson W.B. et al., 1977, *The Martian ionosphere as observed by the Viking retarding potential analyzers.*, J.Geophys. Res., vol. 82, p. 4351-4363.

Hood L.L. and Zakharian A., 2001, *Mapping and modeling of magnetic anomalies in the northern polar region of Mars*, J. Geophys. Res. 106, E7, 14601-14620.

Johnston M.D. Et al., 1998, *Mars Global Surveyor Aerobraking at Mars*, AAS 98-112

Keller T, Tackley P.J., European Planetary Science Congress 2008, *Towards self- consistent modelling of the Martian dichotomy: The influence of one- ridge convection on crustal thickness distribution*, 2008epsc.conf..675K

- Luhmann J.G. and Brace L.H., 1991, *Near- Mars space*, *Rev. Geophys.*, 29,121
- Mahaffy Paul, 2008, *Exploration of the Habitability of Mars: Development of Analytical Protocols for Measurement of Organic Carbon on the 2009 Mars Science Laboratory*, *Space Science Reviews*, Volume 135, Issue 1- 4, pp. 255-268
- Marinova, Margarita M., Aharonson Oded, Asphaug Erik, 2008, *MEGA- IMPACT FORMATION OF THE MARS HEMISPHERIC DICHOTOMY*, *Nature*,453, pp.1216-1219
- McElroy M.B. et al., 1977, *Composition and Structure of the Mars' Upper Atmosphere: Results from the Neutral Mass Spectrometers on Viking 1 and 2*, *J.Geophys. Res.* 82, 4241
- Mitchell D.L., et al., 2002a, *Oxygen Auger electrons observed in Mars' ionosphere*, *Geophys. Res. Lett.*,27,1871- 1874
- Nagy A.F., et al. 2004, *The Plasma Environment of Mars*, *Space Science Reviews* 111: 33- 114
- Nilsson H., Slapak R., Stenberg G., Yamauchi M., Barabash S., Lundin R., 09/2012, *Solar wind- ionosphere interaction at Mars and Venus as compared to Earth*, 2012espc.conf..403N
- Nimmo F., Hart S.D., Korycansky D.G., Agnor C.B., 2008, *Implications of an impact origin for the Martian hemispheric dichotomy*, *Nature*, 453, 1220-1223
- Parker E.N., 1958, *Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields*, *Astrophysical Journal*, 128, 664- 676

- Riedler W. et al., 1989, *Magnetic Fields near Mars: First Results.*, *Nature* 341, 604
- Sergis and Karvounis, 2000. *The interaction of Mars with the solar wind and the role of the past volcanic activity.* Proceedings of the NATO-ASI on Space Storms and Space Weather Hazards, Crete, Greece.
- Sergis N., Moussas, X., 2001, *On the smooth surface of the northern bow shock of Mars, based on Mars Global Surveyor's measurements*, *Solar Phys.* 202, 191-200.
- Σέργης Νίκος, Αθήνα 2006, *Αλληλεπίδραση του Άρη με τον Ηλιακό Άνεμο*, Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ
- Shinagawa H., 2000, *Our current understanding of the ionosphere of Mars*, *Adv. Space Res.* 26, 1599
- Shinagawa H., 2004, *The ionospheres of Venus and Mars*, 2004AdSpR..33.1924S
- Stewart S.T. And Mukhopadhyay S., 2013, *LATE IMPACTS AND ORIGINS OF THE ATMOSPHERE ON VENUS, EARTH, AND MARS*, 2013LPICo1719.2419S
- Trainer M.G., Franz H.B., Wong M.H., Manning H.L.K., Stem J.C., Raaen E., Atreya S.K., Leshin L.A., Mahaffy P.R., Owen T.C., and MSL Science Team, 2013, *MEASURING THE MARTIAN ATMOSPHERIC COMPOSITION WITH THE SAMPLE ANALYSIS AT MARS (SAM) QUADRUPOLE MASS SPECTROMETER*, 2013LPICo1719.2781J
- Trotignon J.G., Grard R. and Skalsky A., 1993, *Position and shape of the Martian bow shock. The Phobos 2 plasma wave system observations.*, *Planet. Space Sci.*, 41, 189.

- Tyler G. L. et al., 1992, *Radio science investigations with Mars Observer*, J. Geophys. Res., 97, No. E5 7759-7779
- Tyler G. L. et al., 2001, *Radio science observations with Mars Global Surveyor: Orbit- insertion through one Mars year in mapping orbit*, Res., 106, No. E10, 23327-23348
- Verigin, et al. 1997, *Quantitative Model of the Martian Magnetopause Shape and its Variation with the Solar Wind Ram Pressure Based on Phobos 2 Observations*, J Geophys. Res. 102, 2147
- Vignes D. et al., 2000, *The Solar Wind Interaction with of Mars: locations and shapes of the Bow Shock and the Magnetic Pile-up Boundary from the observations of the MAG?ER experiment onboard Mars Global Surveyor*, Geophys. Res., 27, 49-52
- Witasse O., Opgenoorth H., Andrews D., Lester M., Fraenz M., Morgan D., Withers P., Frahm R.A., Leblanc F., Barabash S., and 7 coauthors, 09/2012, *Mars Express aeronomy and solar wind observation campaigns: Overviews and selection of results*, 2012espc.conf..438W