

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 9<sup>ΗΣ</sup> ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1987

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΠΟΝΗ

---

ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ. — **Συχνότητες τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν (Sector boundaries) στὸ διαπλανητικὸ χῶρο**, ὑπὸ *I.N. Ξανθάκη* καὶ *B. Π. Τριτάκη\** [Κέντρον Ἑρευνῶν Ἀστρονομίας καὶ Ἐφαρμοσμένων Μαθηματικῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν], διὰ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Ἰωάννου Ξανθάκη.

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἡ ἀποψη ἢ ὁποία ἐπικρατοῦσε γιὰ τὸ διαπλανητικὸ χῶρο γιὰ πολλὰ χρόνια ἦταν ὅτι ὁ χῶρος αὐτὸς χαρακτηρίζεται ἀπὸ ἀπόλυτο κενὸ καὶ σκοτάδι. Ἡ ἀποψη αὕτη ἦταν τόσο καλὰ ἐδραιωμένη ὥστε ἀξιόλογες ἀπόπειρες γνωστῶν ἐπιστημόνων νὰ διαμορφώσουν μία ἄλλη εἰκόνα γιὰ τὸ χῶρο αὐτὸ νὰ μὴν γίνουιν ἀποδεκτές. Ἦδη ἀπὸ τὸ 1672 ὁ Cassini διατύπωσε τὴν ἀποψη ὅτι τὸ ζωδιακὸ φῶς ὀφείλετο σὲ ἓνα ἀσύμμετρο νέφος σκόνης γύρω ἀπὸ τὸν ἥλιο. Ἐπίσης οἱ Newton-Enke κατὰ τὸν 17ον αἰῶνα καὶ ὁ Bessel τὸ 1835 προσπάθησαν νὰ ἐξηγήσουν τὸ σχῆμα τῆς οὐρᾶς τῶν Κομητῶν ἀποδεχόμενοι τὴν ὑπαρξὴ ὕλης στὸ διαπλανητικὸ χῶρο.

Μὲ τὴν ἀνατολὴ τοῦ 20οῦ αἰῶνα ὁ Sir Oliver Lodge στὸ πρωτοποριακὸ γιὰ τὴν ἐποχὴ του ἄρθρο «Sunspots, Magnetic Storms, Comet Tails, Atmospheric Electricity and Aurorae» ἔγραψε ὅτι οἱ μαγνητικὲς θύελλες ὀφείλοντο σὲ ἓνα χεῖμαρρο ἢ νέφος φορτισμένων ἀτόμων ἢ ἰόντων, ἢ ταχύτης τῶν ὁποίων εἶχε ὑπολογιστεῖ ἀπὸ τὸν

---

\* J. XANTHAKIS-V. TRITAKIS, *Sector Boundary Occurrences in the Interplanetary Medium.*

FitzGerald τὸ 1892 σὲ 300 μίλια ἀνὰ δευτερόλεπτο περίπου. Ἡ ἰδέα τοῦ Lodge καὶ οἱ ὑπολογισμοὶ τοῦ FitzGerald δὲν ἔγιναν δεκτά.

Ἡ σχέσηη ὁμως μεταξὺ τῆς γεωμαγνητικῆς δραστηριότητος καὶ τοῦ ἡλιακοῦ κύκλου γρήγορα ἐπισημάνθηκε ἀπὸ πολλοὺς ἐρευνητὲς ὅπως ὁ Lord Kelvin. Ἐγίνε δὲ τελικὰ ἀποδεκτὴ μετὰ τὶς πρωτοποριακὰς ἐργασίαις τοῦ Bartels, τοῦ Chapman καὶ τοῦ Bierman.

Ἀποφασιστικῆς σημασίας ὑπῆρξε ἡ παρατήρηση τοῦ Bartels τὸ 1932 ὅτι μαγνητικὲς καταιγίδες μεσαίου μεγέθους ἔχουν τὴν τάση νὰ ἐπαναλαμβάνονται κάθε εἴκοσι ἐπτὰ ἡμέρες. Γιὰ νὰ ἐξηγήσει τὸ φαινόμενο αὐτὸ ὁ Bartels ὑπέθεσε τὴν ὑπαρξὴ ἐνεργῶν περιοχῶν ἐπάνω στὴν ἡλιακὴ ἐπιφάνεια οἱ ὁποῖες προκαλοῦσαν μαγνητικὰ διαταραχὰς· τὶς περιοχὰς αὐτὰς ὀνόμασε M-περιοχὰς, σήμερα δὲ γνωρίζουμε ὅτι οἱ ὑποθετικὲς αὐτὰς περιοχὰς τοῦ Bartels ταυτίζονται μὲ τὶς στεμματικὰς ὀπές (Coronal holes), οἱ ὁποῖες ἀνακαλύφθηκαν ἀπὸ τὸ διαστημόπλοιο Skylab τὸ 1973.

Στὶς ἀρχὰς τῆς δεκαετίας τοῦ '50 εἶχε πλέον γίνε ἀπὸ ὅλους ἀποδεκτὸ ὅτι ὑπῆρχε μίαι συνεχῆς ἡλιακὴ σωματιδιακὴ ἐκπομπὴ ἢ ὁποῖα εἶναι ὑπεύθυνη γιὰ πολλὰ φαινόμενα τόσο στὸ γήινο περιβάλλον ὅσο καὶ στὸ διαπλανητικὸ χῶρο γενικότερα.

Τὰ πρῶτα μοντέλα τῆς ἡλιακῆς σωματιδιακῆς ἀκτινοβολίας διατυπώθηκαν στὰ μέσα τῆς δεκαετίας τοῦ '50 ἀπὸ τοὺς Bierman καὶ Chapman, ἡ τελικὴ ὁμως διατύπωση τῶν μηχανισμῶν τῆς ἐκπομπῆς αὐτῆς ἔγινε ἀπὸ τὸν Parker μὲ μίαι σειρὰ ἐρευνῶν ποὺ ἄρχισαν τὸ 1958. Κεντρικὸ σημεῖο τῆς θεωρίας τοῦ Champan εἶναι ὅτι ἡ ὑψηλὴ θερμοκρασία τοῦ ἐξωτερικοῦ ἡλιακοῦ στέμματος ἀνατρέπει τὴν ὑδροστατικὴ ἰσορροπία στὴν ὁποῖα βρίσκονται οἱ ἐσωτερικὲς ἡλιακὲς στοιβάδες καὶ ἔτσι τὸ στέμμα ὑφίσταται ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωση. Ἡ ἐκτόνωση αὐτὴ προκαλεῖ συχνὴ ἐκροὴ ἡλιακῆς μάζας μὲ ὑπερηχητικὴ ταχύτητα πρὸς ὅλες τὶς κατευθύνσεις, τὴν ὁποῖα ὁ Parker ὀνόμασε «ἡλιακὸ ἄνεμο».

Τὰ βασικὰ ἀριθμητικὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ ἡλιακοῦ ἀνέμου τὰ ὁποῖα δεχόμεστε σήμερα εἶναι: α) μέση ταχύτης 300-400 Km/sec, ἡ ὁποῖα σὲ ἐποχὰς μεγάλης ἡλιακῆς δραστηριότητος μπορεῖ νὰ φτάσει τὸ 1000 Km/sec, β) μέση πυκνότης 5 πρωτόνια / cm<sup>3</sup>, 5 ἠλεκτρόνια / cm<sup>3</sup> καὶ μικρὸ ποσοστὸ σωματιδίων ἄλφα καὶ ἄλλων βαρύτερων ἰόντων, γ) διεύθυνση ἡλιακοῦ ἀνέμου σχεδὸν ἀκτινική, δ) θερμοκρασία ἠλεκτρονίων 1.5 × 10<sup>5</sup> K, πρωτονίων 5 × 10<sup>4</sup> K, σωματιδίων ἄλφα 1,5-2 × 10<sup>5</sup> K, ε) ἀπόσταση στὴν ὁποῖα φτάνει ὁ ἡλιακὸς ἄνεμος, 50-100 AU.

Τὸ ἡλιακὸ στέμμα ὅμως ἐκτὸς ἀπὸ θερμὸ καὶ πολὺ ἀγώγιμο ἡλιακὸ πλάσμα περιέχει καὶ μαγνητικὸ πεδίο. Ἐπιπλέον ἡ μαγνητοϋδροδυναμικὴ θεωρία διδάσκει ὅτι μαγνητικὸ πεδίο μέσα σὲ θερμὸ, ὑψηλῆς ἀγωγιμότητος πλάσμα βρίσκεται σὲ «παγωμένη» κατάσταση (frozen-in field). Ἡ ἔννοια «παγωμένο» πεδίο σημαίνει ὅτι σχετικὲς κινήσεις μεταξύ πλάσματος καὶ πεδίου δὲν εἶναι δυνατές, ὅποτε τὰ σωματῖα τοῦ πλάσματος μποροῦν νὰ κινοῦνται μόνον κατὰ μῆκος τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν σὰν χάντρες περασμένες σὲ κλωστή. Ἀπὸ τὸ γεγονός αὐτό, ὅπως περιγράφεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωσιν τοῦ Maxwell, προκύπτει ὅτι τὸ θερμὸ πλάσμα ποὺ ἐκπέμπεται ἀπὸ τὸ ἡλιακὸ στέμμα ἔχει μαζί του καὶ τὸ μαγνητικὸ πεδίο τοῦ στέμματος. Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ τὸ ἡλιακὸ μαγνητικὸ πεδίο ποὺ ἔχει τὴν πηγὴν του στὰ κέντρα δράσεως τῆς ἡλιακῆς ἐπιφάνειας καὶ διαπερνᾷ τὴν ἡλιακὴ ἀτμόσφαιρα, τελικὰ μεταφέρεται ἀπὸ τὸν ἡλιακὸ ἄνεμο στὸ διαπλανητικὸ χῶρο.

Ὁ συνδυασμὸς ὀρισμένων παραμέτρων ὅπως ἡ ἀκτινικὴ κίνηση τοῦ «παγωμένου» συστήματος ἡλιακὸς ἄνεμος — ἡλιακὸ μαγνητικὸ πεδίο ἀφ' ἑνὸς καὶ ἡ περιστροφικὴ κίνηση τοῦ ἡλίου ὑποχρεώνουν τὴν μαγνητικὴν γραμμὴν νὰ διαγράφουν γεωμετρικὰ σχήματα ποὺ περιγράφονται ἀπὸ τὴν ἐξίσωσιν τῆς σπείρας τοῦ Ἀρχιμήδη.

Ἡ θεωρία τοῦ Parker ποὺ προβλέπει συνεχῆ ἐκτόξευση τοῦ ἡλιακοῦ στέμματος μέσα στὸ διαπλανητικὸ χῶρο καὶ τὴν διαμόρφωση τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν σὲ σπείρες τοῦ Ἀρχιμήδη ἐξαιτίας τῆς ἡλιακῆς περιστροφῆς ἐπιβεβαιώθηκε ἀπὸ τὴν πρῶτην μετρήσειν μὲ δορυφόρους ποὺ ἔγιναν στὴν ἀρχὴν τῆς δεκαετίας τοῦ 60 (Wilcox and Ness, 1965; Coleman et al, 1966, 1967; Fairfield and Ness, 1967). Οἱ πρῶτες αὐτὲς μετρήσεις μὲ δορυφόρους ἀπεκάλυψαν ἕνα ἀσταθὲς μαγνητικὸ πεδίο μερικῶν γάμμα ποὺ ἦταν χωρισμένο σὲ δύο ἢ τέσσερις κυκλικοὺς τομεῖς. Μέσα σὲ κάθε κυκλικὸ τομέα ἡ φορὰ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἐναλλάσσεται ἀπὸ τὸν ἥλιο πρὸς τὴν γῆ καὶ ἀπὸ τὴν γῆ πρὸς τὸν ἥλιο.

Οἱ διαδοχικοὶ τομεῖς τοῦ διαπλανητικοῦ πεδίου χωρίζονται ἀπὸ λεπτοὺς οὐδέτεροους μαγνητοφλοιοὺς, μέσα στοὺς ὁποίους τὸ πεδίο μεταβάλλει τὴν φορὰν του κατὰ  $180^\circ$ . Οἱ μαγνητοφλοιοὶ αὗτοι ὀνομάζονται ὀριακὲς ἐπιφάνειες (sector boundaries) καὶ παρουσιάζουν πολὺ μεγάλο ἐνδιαφέρον λόγῳ τῶν συσχετίσεων ποὺ φαίνεται νὰ ἔχουν μὲ διάφορα γεωμαγνητικά, ἰονοσφαιρικὰ καὶ μετεωρολογικὰ φαινόμενα.

Τὸ κύριον θέμα ποὺ θὰ μᾶς ἀπασχολήσῃ στὴν παρούσα ἐργασία εἶναι ἡ μελέτη τῆς συμπεριφορᾶς τῶν ὀριακῶν αὐτῶν ἐπιφανειῶν τοῦ διαπλανητικοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τῶν πρώτων δορυφορικῶν μετρήσεων μέχρι τὸ τέλος τοῦ 20οῦ ἡλιακοῦ κύκλου τὸ 1976.

## 2. Η ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ἡ διέλευση ὀριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ ἡλιοσφαιρικοῦ ρευματοφλοιοῦ πλησίον τῆς γῆς, γίνεται ἀντιληπτὴ ἀπὸ τὴν ἀπότομη ἢ βαθμιαία ἀλλαγὴ (ἀνάλογα μὲ τὸ πάχος τῆς ὀριακῆς ἐπιφάνειας) τῆς ἀζιμουθιακῆς γωνίας τοῦ ἀνύσματος τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου κατὰ  $180^\circ$  περίπου σὲ σύστημα συντεταγμένων GSE. Σύμφωνα μὲ τὸ σύστημα αὐτό, τὸ κέντρο, τοῦ ὁποίου βρίσκεται στὴ γῆ, ὁ ἄξων OX κατευθύνεται πρὸς τὸν ἥλιο, ὁ ἄξων OZ πρὸς τὸ βόρειο ἐκλειπτικὸ πόλο, καὶ ὁ ἄξων OY συμπληρώνει ἓνα δεξιόστροφο Καρτεσιανὸ σύστημα.

Ἡ πρώτη συλλογὴ παρατηρήσεων τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ διαπλανητικοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἔγινε ἀπὸ τὸν Svalgaard (1976), ὁ ὁποῖος καθόρισε καὶ τοὺς βασικοὺς κανόνες παρατήρησης τῶν ἐπιφανειῶν αὐτῶν. Σύμφωνα μὲ τὴν τεχνικὴ τοῦ Svalgaard, μία μεταβολὴ στὴ διεύθυνση τοῦ διαπλανητικοῦ πεδίου κατὰ  $180^\circ$  περίπου θεωρεῖται ὀριακὴ ἐπιφάνεια τοῦ ἡλιοσφαιρικοῦ ρευματοφλοιοῦ, ἂν ἡ πολικότης τοῦ διαπλανητικοῦ πεδίου διατηρεῖται σταθερὴ τουλάχιστον τέσσερις ἡμέρες πρὶν καὶ τέσσερις μετὰ τὴ μεταβολὴ αὐτῆ. Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ διακρίνονται οἱ ὀριακὲς ἐπιφάνειες ἀπὸ μικρῆς κλίμακος νήματα ἢ τυχαῖες ἀντιστροφές.

Ἡ συλλογὴ τῶν παρατηρήσεων τοῦ Svalgaard ἀποτελεῖται ἀπὸ ἡμερήσιες ἐνδείξεις τῆς πολικότητος τοῦ διαπλανητικοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἀπὸ τὸν Ἰανουάριο τοῦ 1947 ἕως τὸ τέλος τοῦ 1975. Ἀπὸ τὶς πολικότητες δὲ αὐτὲς προκύπτουν οἱ ὀριακὲς ἐπιφάνειες. Τὰ δεδομένα μετὰ ἀπὸ τὸ 1964 βασίζονται σὲ ἄμεσες παρατηρήσεις τοῦ διαπλανητικοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ποὺ ἔγιναν μὲ δορυφόρους. Ἀντίθετα, τὸ διάστημα 1947 ἕως τὶς ἀρχὲς τοῦ 1964 καλύπτεται ἀπὸ ἔμμεσες παρατηρήσεις, οἱ ὁποῖες προέκυψαν ἀπὸ ἐπίγειες παρατηρήσεις τῶν μεταβολῶν τοῦ γεωμαγνητικοῦ πεδίου ποὺ ἔγιναν ἀπὸ τοὺς μαγνητομετρικοὺς σταθμοὺς μεγάλου πλάτους Thule, Godhavn καὶ Dumont D'Urville.

3. Η ΣΥΧΝΟΤΗΣ ΤΩΝ ΟΡΙΑΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΠΛΑΝΗΤΙΚΟΥ  
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΝΑ ΗΛΙΑΚΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ

Σὲ προηγούμενη ἐργασία μας μελετήσαμε τὴ συχνότητα τῶν πολικότητων τοῦ διαπλανητικοῦ μαγνητικοῦ πεδίου (ΔΜΠ) ποὺ προέρχονται ἀπὸ ἔμμεσες γήινες παρατηρήσεις κατὰ τὸ χρονικὸ διάστημα 1947-1964 (Xanthakis et al 1981). Ἡ μελέτη ἐκείνη ἔδειξε ὅτι στὴν περιοχὴ τοῦ μεγίστου καὶ τοῦ ἐλάχιστου τῆς ἡλιακῆς δραστηριότητος ἢ συχνότητος ἐμφάνισέως τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ διαπλανητι-

κοῦ μαγνητικοῦ πεδίου παρουσιάζει περιοδικότητες 27 καὶ 14 ἡμερῶν, ἐνῶ κατὰ τὸν καθοδικὸ κλάδο τῆς ἡλιακῆς δραστηριότητος ἐμφανίζονται περιοδικότητες μόνον 14 ἡμερῶν. Εἰς τὴν παρούσα ἐργασία, διὰ λόγους ὁμοιογενείας τοῦ δείγματος τῶν μετρήσεων, θὰ λάβουμε ὑπ' ὄψιν μόνον τὶς παρατηρήσεις ποὺ ἔγιναν ἀπὸ δορυφόρους κατὰ τὸ διάστημα 1964-1975, καὶ τὸ ὁποῖο διάστημα συμπίπτει μὲ τὸν εἰκοστὸ ἡλιακὸ κύκλο. Ἡ παρούσα μελέτη ἀναφέρεται εἰς τὴ μεταβολὴ τῆς συχνότητος ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ ΔΜΠ τόσο μέσα σὲ κάθε ἡλιακὴ περιστροφή Bartels ὅσο καὶ σὲ κάθε μῆνα τοῦ χρονικοῦ διαστήματος 1964-1975. Ἐπειδὴ οἱ συχνότητες αὐτὲς μεταβάλλονται ἀπότομα μεταξὺ διαδοχικῶν ἡλιακῶν περιστροφῶν, ὑπολογίσαμε καὶ χρησιμοποίησαμε τοὺς ἀνὰ πέντε περιστροφὲς Bartels μέσους κινητοὺς ὄρους τῶν παρατηρήσεων τοὺς ὁποίους παριστοῦμε μὲ τὸ σύμβολο SB (5).

Εἰς τὴν εἰκόνα 1α οἱ μικροὶ κύκλοι παριστοῦν ἀκριβῶς τὶς τιμὲς τῶν πενταετῶν μέσων κινητῶν ὄρων ποὺ ἀναφέραμε προηγουμένως.

Οἱ διαφορὲς τῶν τιμῶν αὐτῶν ἀπὸ τὴ μέση τιμὴ 2,3 δὲν φαίνεται νὰ εἶναι τυχαῖες ἀλλὰ παρουσιάζουν σποραδικὰς περιοδικὰς μεταβολὰς μὲ περιόδους 14 καὶ 28 ἡλιακῶν περιστροφῶν Bartels. Οἱ περιοδικότητες αὐτὲς παρίστανται στὴν εἰκόνα 1α ὑπὸ τῶν συνεχῶν ἡμιτονοειδῶν καμπύλων, ὅπου κάθε μία ἐξ αὐτῶν ἐπικάθεται μερικὰ ἐπὶ τῆς ἄλλης.

Ἡ ἀναλυτικὴ ἔκφραση τῶν περιοδικότητων αὐτῶν παρίσταται ἀπὸ τὴ σχέση 1

$$SB(5)^{comp} = 2,3 + A_n \sin \frac{2\pi}{28} T + B_n \sin \frac{2\pi}{14} T \quad (1)$$

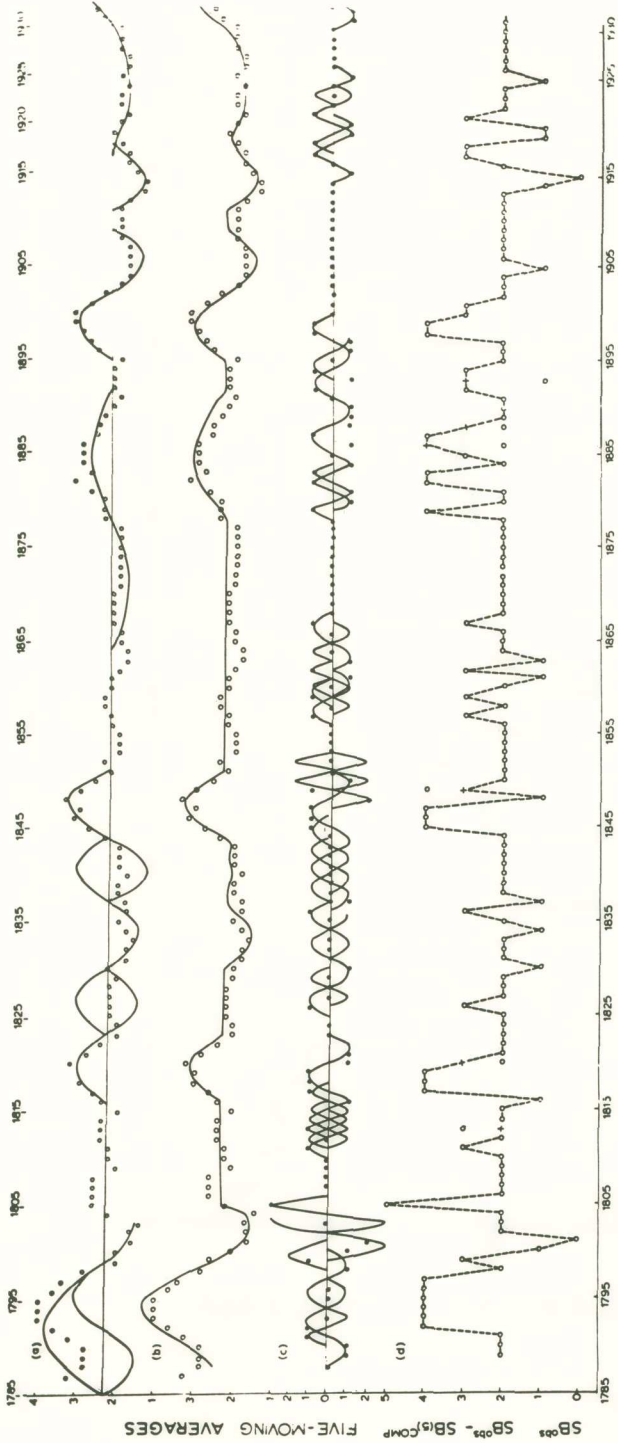
ὅπου τὸ εὖρος  $A_n$ ,  $B_n$  καὶ ἡ χρονικὴ περίοδος  $T$  παρέχονται ἀπὸ τὸν πίνακα I.

Στὴν εἰκόνα 1b οἱ μικροὶ κύκλοι παριστῶν καὶ πάλι τοὺς πενταετείς μέσους κινητοὺς ὄρους, ἡ δὲ συνεχῆς γραμμὴ παριστᾷ τὶς τιμὲς ποὺ ὑπολογίζονται ἀπὸ τὴ σχέση (1).

Ἡ ἀπόκλιση (standard deviation) τῆς διαφορᾶς  $SB(5) - SB(5)^{comp}$  εἶναι  $\sigma = \pm 0.22$

Ἡ μελέτη τῆς χρονοσειρᾶς τῶν διαφορῶν  $SB^{obs} - SB(5)^{comp}$  ὅπου  $SB^{obs}$  οἱ ἐτήσιες τιμὲς τῆς συχνότητος ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν παρουσιάζει ἰδιαιτέρο ἐνδιαφέρον.

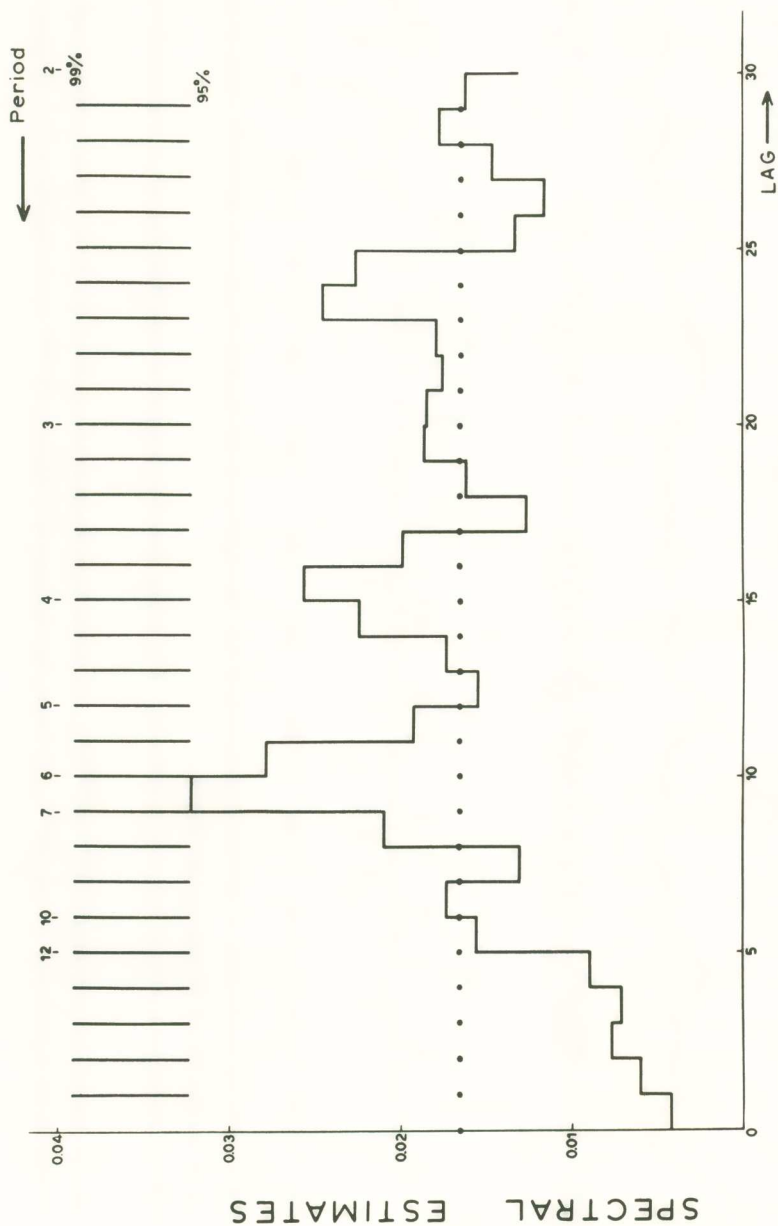
Πράγματι ἡ φασματικὴ ἀνάλυση τῆς χρονοσειρᾶς  $SB^{obs} - SB(5)^{comp}$  δείχνει ὅτι ἡ χρονοσειρὰ αὐτὴ παρουσιάζει περιοδικότητες 6 καὶ 4 ἡλιακῶν περιστροφῶν Bartels, ἐκ τῶν ὁποίων ἡ πρώτη εἶναι στατιστικὰ σημαντικὴ σὲ ἐπίπεδο ἐμπιστοσύνης 95%, ἐνῶ ἡ δεύτερη εἶναι σημαντικὴ σὲ ἐπίπεδο ἐμπιστοσύνης λίγο χαμηλότερο τοῦ 95%. (βλ. σχ. 2).



Σχήμα 1.— Στο επίπεδο (α) παρίστανται οι πενταετείς μέσοι κινητοί όροι τής συχρότητας των δριακών έπιφανειών του ΔΜΠ, στους οποίους έχουν εφαρμοστεί περιοδικοί όροι 14 και 28 περιστροφών Bartels.

Στο επίπεδο (β) παρίστανται πάλι οι τιμές του έπιπέδου (α), στις οποίες όμως έχει εφαρμοστεί περιοδική έκφραση που υπολογίζεται από τή σχέση (1).

Στο επίπεδο (γ) παρίστανται οι διαφορές SBobs-SBcomp(5), στις οποίες έχουν εφαρμοστεί περιοδικοί όροι 6 και 4 ήλιακων περιστροφών Bartels. Τέλος στο επίπεδο (δ) παρίστανται οι τιμές SBobs, στις οποίες έχει εφαρμοστεί ή έκφραση SBcomp που υπολογίζεται από τή σχέση (3).



Σχήμα 2.— Δυναμικό φάσμα τής χρονοσειράς SBobs-SB(5) comp στο όποιο φαίνεται η στατιστικώς σημαντική περιοδικότητα δ και η μή σημαντική τών 4 περιτροφών Bartels.

ΠΙΝΑΞ Ι

$A_n$	T
+1.5	1985-1799
-0.5	1864-1898, 1917-1931
$B_n$	T
-0.8	1785-1803, 1911-1918
+0.8	1816-1830, 1823-1844, 1895-1904, 1931-1938
-1.0	1837-1853

Στην εικόνα 1c οι πλήρεις κύκλοι παριστούν τις τιμές  $SB^{obs}-SB^{comp}(5)$ , οι δε συνεχείς ήμιτονοειδείς καμπύλες παριστούν τους περιοδικούς όρους με περιόδους 6 και 4 ήλιακες περιστροφές Bartels. Οι περιοδικοί αυτοί όροι επικάθηνται ως επί το πλεϊστον οι μὲν ἐπὶ τῶν δέ, σχηματίζοντας μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ ἓνα πλέγμα περιοδικότητων.

Οἱ περιοδικότητες αὐτὲς τῶν 6 καὶ 4 περιστροφῶν Bartels παρίστανται ἀναλυτικὰ ἀπὸ τῆ σχέση

$$W = a_n \sin \frac{2\pi}{6} t + b_n \sin \frac{2\pi}{4} t \quad (2)$$

ὅπου τὸ εὖρος  $a_n$   $b_n$  καὶ ἡ χρονικὴ περίοδος  $t$  παρέχονται ἀπὸ τὸν πίνακα II.

Τελικὰ οἱ μέσες ἐτήσιες τιμὲς τῆς συχνότητος ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν  $SB^{comp}$  μποροῦν νὰ ὑπολογιστοῦν ἀπὸ τῆ σχέση

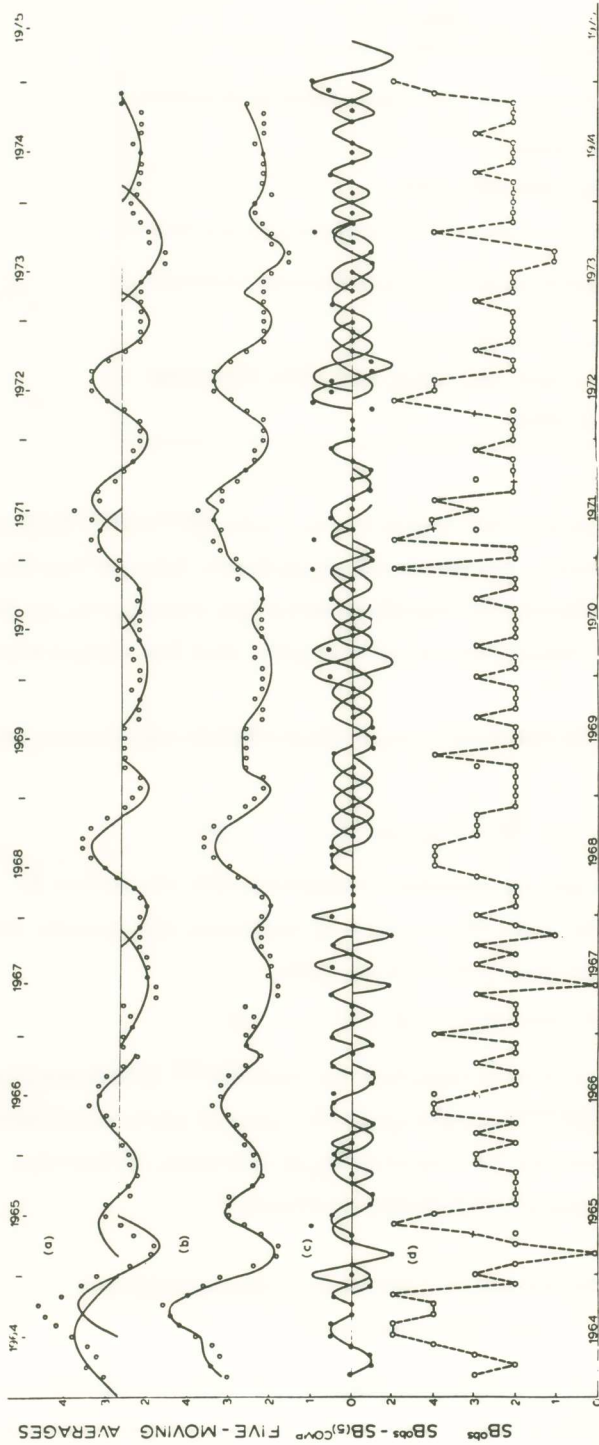
$$SB^{comp} = SB(5)^{comp} + W \quad (3)$$

Στην εικόνα 1d οἱ μικροὶ κύκλοι παριστούν τις τιμὲς  $SB^{obs}$ , ἡ δὲ διακεκομμένη γραμμὴ παριστᾷ τις τιμὲς  $SB^{comp}$ . Παρατηροῦμε ὅτι μόνο σὲ πέντε περιπτώσεις οἱ διαφορὲς  $SB^{obs}-SB^{comp}$  εἶναι  $\pm 1$  καὶ παρίστανται μὲ σταυρούς. Ἡ ἀνωτέρω ἀνάλυση περιέχει 98 παραμέτρους μὲ 49 βαθμοὺς ἐλευθερίας.

#### 4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΙΑΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

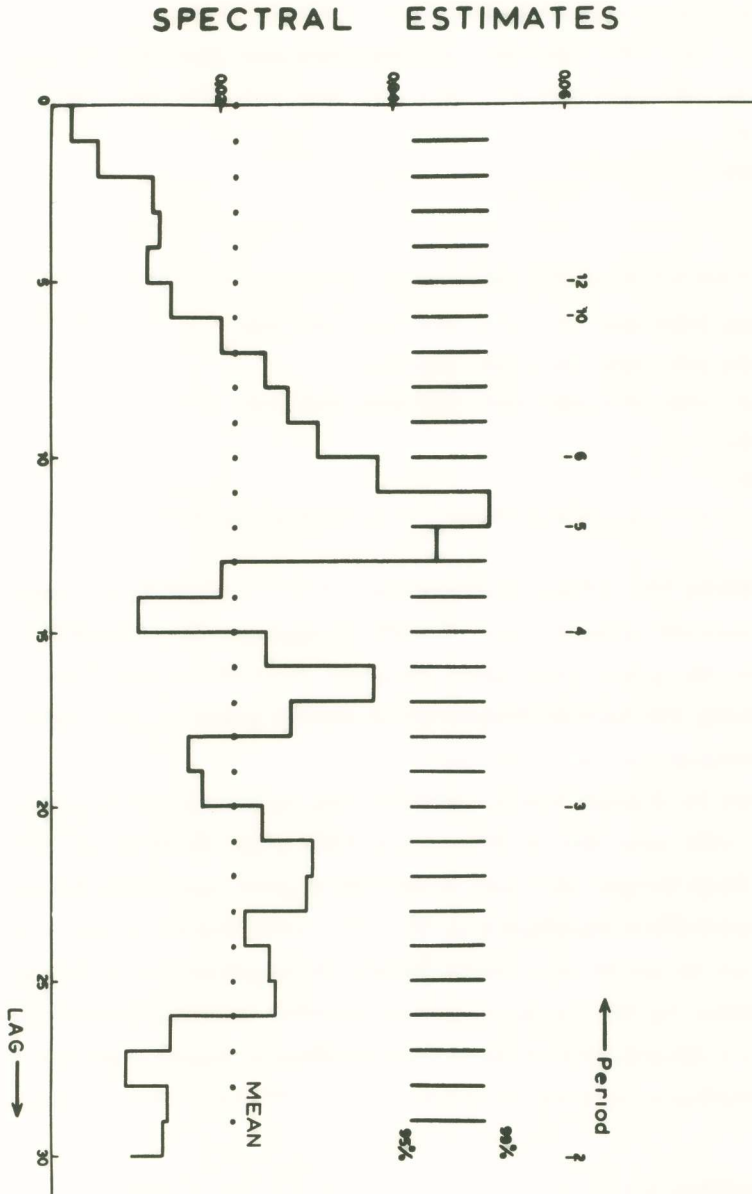
Πολλοὶ ἐρευνητὲς ἔχουν διατυπώσει ἀπόψεις ὅτι ἡ ἐμφάνιση ὀριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ ΔΜΠ συνδέεται μὲ διάφορα γεωφυσικὰ φαινόμενα ὅπως ἐλάττωση τοῦ





Σχήμα 3.— Στο επίπεδο (α) παρίστανται οι πενταετείς μέσοι κινητοί όροι  $SB(5)$ , στους οποίους έχουν εφαρμοστεί περιοδοικοί όροι 12 και 24 μηνών. Στο επίπεδο (β) παρίστανται και πάλι οι τιμές  $SB(5)^{obs}$ , στις οποίες έχει εφαρμοστεί ή περιοδική έκφραση  $SB(5)^{comp}$  ή όποια δίνεται από τη σχέση (1).

Στο επίπεδο (c) παρίστανται οι διαφορές  $SB^{obs} - SB^{comp}(5)$ , στις οποίες έχουν εφαρμοστεί ήμιτονοειδείς περιοδοικοί όροι 6 και 4 μηνών. Τέλος στο επίπεδο (d) παρίστανται οι τιμές  $SB^{obs}$ , στις οποίες έχει εφαρμοστεί ή έκφραση  $SB^{comp}$  που υπολογίζεται από τη σχέση (6).



Σχήμα 4.— Δυναμικό φάσμα τής χρονοσειράς SB-SB(5) comp, στο οποίο φαίνεται η στατιστικώς σημαντική περιodicότητα 6 και η μη σημαντική τών 4 μηνών.-

ΠΙΝΑΞ II

$a_n$	t
-1.0	1988-1797, 1831-1837, 1836-1851, 1837-1846, 1838-1845, 1862-1868, 1930-1933
+1.0	1745-1801, 1867-1823, 1825-1835, 1856-1863, 1858-1861, 1885-1900, 1903-1907
+3.0	1798-1801
-3.0	1799-1803
$b_n$	t
+1.0	1790-1794, 1810-1816, 1811-1815, 1812-1818, 1863-1867, 1878-1874, 1917-1921, 1922-1926, 1932-1936
-1.0	1811-1817, 1826-1830, 1857-1861, 1859-1863, 1879-1885, 1914-1924
-2.0	1847-1853
+2.0	1849-1853

ατμοσφαιρικού δείκτη VAI, αύξηση γεωμαγνητικών δεικτών, εμφάνιση φαινομένων ανασύνδεσης μαγνητικών γραμμών κ.λπ. Έπειδή τὰ γήινα φαινόμενα εκφράζονται με μονάδα χρόνου τὴν ἡμέρα, μήνα, χρόνο, θεωροῦμε ἀναγκαῖο νὰ εκφράσουμε τὴ συχνότητα ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν με μονάδα χρόνου τὸ μήνα ὥστε νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ σύγκρισή τους με τὰ φαινόμενα αὐτά.

Εἰς τὴν εἰκόνα 3α οἱ μικροὶ κύκλοι παριστοῦν τοὺς πενταετείς μέσους κινητοὺς ὄρους SB(5) γιὰ κάθε μήνα ἀπὸ τὸ Μάρτιο τοῦ 1964 μέχρι τὸ τέλος τοῦ 1974. Εἶναι προφανές ὅτι οἱ ἀποχῆς τῶν τιμῶν αὐτῶν ἀπὸ τὴ μέση τιμὴ (2,70) δὲν εἶναι τυχαῖες ἀλλὰ παρουσιάζουν περιοδικότητες 12 καὶ 24 μηνῶν ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὶς περιοδικότητες τῶν 14 καὶ 28 περιστροφῶν Bartels. Οἱ περιοδικότητες αὐτὲς παρίστανται, στὴν εἰκόνα 3α ἀπὸ τὶς ἡμιτονοειδεῖς καμπύλες οἱ ὁποῖες ἐμφανίζονται ἄλλοτε πλήρεις καὶ ἄλλοτε κατὰ τὸ ἥμισυ ἐπιπροσθιθέμενες μερικὰ ἢ μία ἐπὶ τῆς ἄλλης. Ἡ ὑπολογιζόμενη τιμὴ τῆς ποσότητας SB(5)<sup>comp</sup> παρίσταται ἀναλυτικὰ ἀπὸ τὴ σχέση

$$SB(5)^{comp} = 2,70 + A_n \sin \frac{2\pi}{24} T + B_n \sin \frac{2\pi}{12} T \quad (4)$$

ὅπου τὸ εὖρος  $A_n$ ,  $B_n$  καὶ οἱ περιοδικότητες  $T$  παρέχονται ἀπὸ τὸν πίνακα III.

Στὴν εἰκόνα 3b οἱ μικροὶ κύκλοι παριστοῦν τὶς τιμὲς τῆς ποσότητας SB(5) ἢ δὲ συνεχῆς γραμμὴ τὶς τιμὲς τῆς ποσότητας SB(5)<sup>comp</sup> οἱ ὁποῖες δίδονται ἀπὸ τὴ

ΠΙΝΑΞ III

$A_n$	T
+1.0	1964I-1965I
-0.7	1966XII-1967XII, 1969VIII-1970VII
-1.0	1973III-1974III
0.5	1974I-1975I
$B_n$	T
+1.0	1964VII-1965VII,
+0.5	1965III-1966XI,
-0.7	1967X-1969V
-0.5	1970VI-1971VI
-0.7	1971IV-1973IV

σχέση, (1). 'Η τυπική απόκλιση (Standard deviation) τής χρονοσειράς SB(5)-SB(5)<sup>comp</sup> είναι  $\pm 0,17$ .

Τέλος, όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, μελετήσαμε τις διαφορές SB<sup>obs</sup>-SB(5)<sup>comp</sup>. Από τη φασματική ανάλυση που εφαρμόσαμε προκύπτει ότι οι διαφορές αυτές δεν είναι τυχαίες αλλά παρουσιάζουν περιοδικότητες 6 και 4 μηνών. Έκ τῶν περιοδικότητων αὐτῶν ἡ πρώτη ἔχει ἐπίπεδο ἐμπιστοσύνης 99%, ἐνῶ ἡ δεύτερη δὲν παρουσιάζεται σημαντικὴ στὸ ἐπίπεδο 95% (βλ. σχ. 4).

Στὴν εἰκόνα 3c οἱ πλήρεις κύκλοι παριστοῦν τὶς διαφορὲς SB<sup>obs</sup>-SB(5)<sup>comp</sup> οἱ δὲ ἡμιτονοειδεῖς καμπύλες τὶς περιοδικότητες 6 καὶ 4 μηνῶν. Οἱ περιοδικότητες αὐτὲς παρίστανται ἀπὸ τὴ σχέση

$$W = a_n \sin \frac{2\pi}{6} t + b_n \sin \frac{2\pi}{4} t \quad (5)$$

ὅπου τὸ εὖρος  $a_n$ ,  $b_n$  καὶ ἡ χρονικὴ περίοδος  $t$  παρέχονται ἀπὸ τὸν πίνακα IV.

Ὅπως στὴν προηγούμενη περίπτωση, ἔτσι καὶ ἐδῶ οἱ ὑπολογιζόμενες τιμὲς τοῦ SB(5)<sup>comp</sup> δίδονται ἀπὸ τὴ σχέση

$$SB^{comp} = SB(5)^{comp} + W \quad (6)$$

ὅπου οἱ ποσότητες SB(5)<sup>comp</sup> καὶ W ὑπολογίζονται ἀπὸ τὶς σχέσεις (4), (5).

Στὴν εἰκόνα 1d οἱ μικροὶ κύκλοι παριστοῦν τὶς τιμὲς SB<sup>obs</sup>, ἐνῶ ἡ διακεκομ-

## ΠΙΝΑΞ IV

$a_n$	t
-1.0	1964III-64IX, 1965IV-1966X, 1965V-65VIII, 1968V-1969V 1968VII-1969IV, 1968IX-1969VI, 1970IV-70 VIII, 1970X-1971I, 1971II-71VI, 1971IV-71X, 1972X-73I, 1973IV-73X,
-1.0	1964XI-1965II, 1969V-1970II, 1969VII-1970I, 1970III-1970XII 1972V-1973XII, 1972IX-73VI
+2.0	1969XII—1970III, 1970II-70IV, 1972IV-72X, 1972VI-72IX, 1974XI-1975II
-2.0	1970I-70IV
$b_n$	t
+1.0	1964X-1969II, 1966I-66V, 1966IX-67I, 1966XII-1967VI, 1970XI-1971III 1973IX-1974III, 1973XI-1975I, 1974IX-1975I
-1.0	1965X-1966II, 1967VII-67XI, 1970XII-1971IV, 1971IX-1972I
+2.0	1964XII-1965IV
-2.0	1967V-67IX, 1967X-1968II

μένη γραμμή τις τιμές  $SB^{comp}$  που υπολογίζονται από τη σχέση (6). Παρατηρούμε ότι μόνο σε πέντε περιπτώσεις, που σημειώνονται στην εικόνα 1d με σταυρούς, οι διαφορές μεταξύ παρατηρουμένων και υπολογιζομένων τιμών τής ποσότητας SB είναι  $\pm 1$ .

Ἡ ἀνωτέρω ἀνάλυση περιέχει 111 παραμέτρους με 21 βαθμούς ἐλευθερίας.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ἡ ἀνάλυση τῆς μέσης συχνότητας ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν (sector boundaries) τοῦ ΔΜΠ τόσο ἐντὸς ἡλιακῶν περιστροφῶν Bartels ὅσο καὶ σὲ μηνιαῖα χρονικὰ διαστήματα μᾶς ὡδήγησαν στὰ ἀκόλουθα συμπεράσματα:

1. Ἡ μεταβολὴ τῆς μέσης συχνότητας ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν που υπολογίζεται ἀνὰ πέντε περιστροφές Bartels παρουσιάζει σποραδικές περιοδικές μεταβολές με περιόδους 14 καὶ 28 περιστροφῶν Bartels, δηλαδή ἐτήσιες καὶ διετείς μεταβολές, ὅταν ἀντὶ γιὰ περιστροφές Bartels οἱ μεταβολές αὐτὲς ἐκφράζονται σὲ μηνιαῖες τιμές.

2. Οι διαφορές  $W$  τῆς μέσης συχνότητας  $SB(5)^{comp}$  ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες τιμές παρατήρησης  $SB^{obs}$  ( $SB^{obs}-SB(5)^{comp}=W$ ) δείχνει ὅτι ἡ χρονοσειρὰ αὐτὴ παρουσιάζει περιόδους 6 καὶ 4 περιστροφῶν Bartels ἐκ τῶν ὁποίων ἡ πρώτη εἶναι στατιστικὰ σημαντικὴ σὲ ἐπίπεδο ἐμπιστοσύνης 95% ἐνῶ ἡ δεύτερη εἶναι σημαντικὴ σὲ ἐπίπεδο λίγο χαμηλότερο τοῦ 95%.
3. Ἡ ἀναλυτικὴ ἔκφραση τόσο τῶν περιοδικότητων 14 καὶ 28 περιστροφῶν Bartels ὅσο καὶ τῶν βραχυτέρων 6 καὶ 4 περιστροφῶν Bartels μᾶς παρέχει μὲ πολὺ ἱκανοποιητικὴ ἀκρίβεια τὶς παρατηρούμενες τιμές τῆς μέσης συχνότητας ἐμφάνισης τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν ἀνὰ ἡλιακὴ περιστροφή.

Ἐνάλογα συμπεράσματα ἰσχύουν ὅταν ἀντὶ τῶν ἡλιακῶν περιστροφῶν Bartels χρησιμοποιηθεῖ σὰν μονάδα χρόνου ὁ μῆνας.

#### REFERENCES

1. J. Bartels, Terr. Mag. Atm. Elect., 37, 1, 1932.
2. J. Bartels, J. Geophys. Res. 54, 296, 1949.
3. F. W. Bessel, A.M. 13, 185, 1836.
4. L. Biermann, Zs. f. Astrophys., 29, 274, 1951.
5. J. D. Cassini, Mem. Acad. Sci., Paris, 8, 121, 1666-1699.
6. S. Chapman, Smithsonian Contrib. Astrophys. 2, 1, 1957.
7. Coleman et al., J. Geophys. Res. 71, 2831, 1966.
8. Coleman et al., J. Geophys. Res. 72, 1637, 1967.
9. D. H. Fairfield and N. F. Ness, J. Geophys. Res. 72, 2379, 1967.
10. G. F. FitzGerald, The Electrician 30, 481, 1892.
11. O. Lodge, The Electrician 46, 249, 1900.
12. E. N. Parker, Ap. J. 128, 664, 1958.
13. L. Svalgaard, SUIPR, Report No. 648, Stanford University, 1976.
14. J.M. Wilcox and N. F. Ness, J. Geophys. Res. 77, 5385, 1965.
15. J. Xanthakis, V. P. Tritakis and Ch. Zerefos, J. Interdiscipl. Cycle Res. 12, 205, 1981.

#### SUMMARY

##### **Sector Boundary Occurrences in the Interplanetary Medium.**

The Analysis of the mean frequency of occurrence of the sector boundaries of the interplanetary magnetic field within successive Bartels rotations have revealed spora-

dic periodicities of 14 and 28 Bartels rotations which correspond to yearly and biennial variations. In addition, the differences of the five moving average time series of the sector boundary occurrences from the mean frequency sector boundary occurrences show significant periodicities of 6 and 4 Bartels rotations.

We have pointed out that an analytical expression which contains periodic terms of 28, 14, 6 and 4 Bartels rotations can approximate in a high accuracy level the observed values of the mean frequency of the sector boundary occurrences. Similar conclusions can be derived if we analyse sector boundary occurrences in a monthly calendar instead of a 27-days Bartels rotation one.