

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 8^{ΗΣ} ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2005

ΥΠΟΔΟΧΗ

ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ ΚΡΙΜΙΖΗ

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΥΠΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΕΔΡΟΥ κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΣΤΕΦΑΝΗ

Με ιδιαίτερη χαρά και συναισθήματα υπερηφάνειας, η Ακαδημία Αθηνών υποδέχεται σήμερα επίσημα το νέο τακτικό μέλος της τον κ. Σταμάτιο Κριμιζή, ο οποίος εξελέγη στις 4.11.2004 στην έδρα «Επιστήμη του Διαστήματος - Θεωρία και εφαρμογές». Η απουσία του Προέδρου κ. Ρούκουνα μου παρέχει τη δυνατότητα ως αντιπρόεδρου να προεδρεύσω στη σημερινή συνεδρίαση. Ο συνάδελφος κ. Κοντόπουλος θα εκθέσει από το βήμα λεπτομερώς τα βιογραφικά στοιχεία και τα επιστημονικά επιτεύγματα του κ. Κριμιζή. Εγώ στην προσφώνησή μου θα σταχυολογήσω ελάχιστα μόνο από τα επιτεύγματα αυτά για να σκιαγραφήσω προκαταρκτικά και να αναδείξω σε άδρες γραμμές την επιστημονική προσωπικότητα του κ. Κριμιζή και τη θέση που κατέχει ως μια ήγερτη φυσιογνωμία στον χώρο της διερεύνησης του διαστήματος.

Με αρχικό όρμητήριο το Πανεπιστήμιο της Iowa και τη μαθητεία του δίπλα στον διάσημο αστρονόμο Van Allen, ο κ. Κριμιζής πραγματοποίησε τις πρώτες σημαντικές έρευνητικές του εργασίες. Το βασικό του όμως έργο πραγματοποιήθηκε λίγο αργότερα και συνεχίζεται αδιάπτωτα μέχρι σήμερα στο Έργαστήριο Έφηρμοσμένης Φυσικής του Πανεπιστημίου Johns Hopkins, στο οποίο διετέλεσε διευθυντής του Τμήματος Διαστημικής από το 1991. Στα πλαίσια αυτού του εργαστηρίου διέπρεψε ως έρευνητής και ως συντονιστής εκατοντάδων άλλων επιστημόνων. Σ' αυτό καθιερώθηκε ως ένας από τους σημαντικούς έρευνητές διαστήματος στα πλαίσια δεκάδων διαστημικών προγραμμάτων κυρίως της

NASA, αλλά και του National Science Foundation. Ένδεικτικά αναφέρω τα προγράμματα έρευνας ουδέτερων και φορτισμένων σωματιδίων στις αποστολές των διαστημοπλοίων Voyager 1 και 2, Explorer, Ulysses κ.ά. σε μεγάλο αριθμό πλανητών.

Η αναγνώριση του έργου του αποτυπώνεται όχι μόνο στις εκατοντάδες των δημοσιεύσεων σε διεθνούς κύρους περιοδικά, αλλά και στις πολλές τιμητικές διακρίσεις που του απονεμήθηκαν. Από τις πολλές αναφέρω ένδεικτικά μόνο δύο πρόσφατες, το βραβείο COSPAR (Space Science Award) το 2002 και το βραβείο του Smithsonian Institution, επίσης το 2002, για την πρωταγωνιστική του συμβολή στην αποστολή NEAR στον αστεροειδή «ΕΡΩΤΑ». Χαρακτηριστικό άλλωστε είναι η Διεθνής Αστρονομική Ένωση ονόμασε έναν αστεροειδή με το όνομά του. Εύνοητη είναι η σημασία της διάκρισης αυτής, όταν γίνεται εν ζωή ενός επιστήμονα.

Η Ακαδημία Αθηνών με την εκλογή του κ. Κριμιζή ουσιαστικοποιεί στην πράξη τον σταθερό της προσανατολισμό να συντονίζεται με την πρόοδο των επιστημών στην εποχή μας και να περιλαμβάνει στους κόλπους της τους πιο διαπρεπείς Έλληνες επιστήμονες που πρωταγωνίστησαν στην πρόοδο αυτή.

Καλωσορίζω τον νέο Ακαδημαϊκό κ. Κριμιζή και του εύχομαι να συνεχίσει με επιτυχία το έργο του, και στην πατρίδα και μέσα στους κόλπους της Ακαδημίας μας. Τώρα τον καλώ να προσέλθει, προκειμένου να τον περιβάλω με το μεγάλο διάσημο της Ακαδημίας και να του επιδώσω το σχετικό ψήφισμα της εκλογής του.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΥ

Αισθάνομαι ιδιαίτερη χαρά παρουσιάζοντας σήμερα το νέο μέλος της Ακαδημίας Αθηνών κ. Σταμάτιο Κριμιζή.

Ο κ. Κριμιζής είναι ένας από τους πιο δραστήριους παγκοσμίως επιστήμονες στον τομέα του Διαστήματος με τεράστια διεθνή αναγνώριση και έχει τιμήσει ιδιαίτερα την Ελλάδα στο εξωτερικό.

Γεννήθηκε στη Χίο το 1938. Μετά τις γυμνασιακές του σπουδές μετέβη στις ΗΠΑ, όπου έλαβε πτυχίο Φυσικής από το Πανεπιστήμιο της Minnesota το 1961, Master's και PhD Φυσικής από το Πανεπιστήμιο της Iowa το 1963 και 1965, υπό τον καθηγητή James Van Allen (είναι αυτός που βρήκε τις ζώνες ακτινοβολίας Van Allen γύρω από τη γη).

Στή συνέχεια διετέλεσε έρευνητής (1965-1966) και επίκουρος καθηγητής (1966-1968) στο Πανεπιστήμιο της Iowa. Έκτοτε εργάσθηκε μέχρι το 2004 στο Έργαστήριο Έφαρμοσμένης Φυσικής του Πανεπιστημίου Johns Hopkins ως επίβλέπων και αργότερα ως Διευθυντής στο Τμήμα Διαστημικής. Από το 2004 είναι επίτιμος Διευθυντής του Τμήματος Διαστημικής.

Ως Διευθυντής του Διαστημικού Τμήματος είχε τήν ευθύνη ενός μεγάλου έργαστηρίου 600 ατόμων (έπιστημόνων και μηχανικών), που ανέπτυξαν τεχνολογία αιχμής των δορυφόρων και διαστημοπλοίων υπό τήν καθοδήγησή του.

Ο κ. Κριμιζής ήταν κύριος έρευνητής σε όκτώ διαστημικά προγράμματα. Μεταξύ αυτών είναι:

- Το πρόγραμμα Cassini (άποστολή στον Κρόνο και στον δορυφόρο του Τιτάνα).
- Η ανίχνευση ουδέτερων σωματίων και φορτισμένων σωματίων στον Δία, Κρόνο, Ουρανό και Ποσειδώνα.
- Η ανίχνευση σωματίων στη μαγνητόσφαιρα της γής.
- Η ανίχνευση ενεργητικών σωματίων (με τα διαστημόπλοια Galileo και Ulysses) και
- Η άποστολή του διαστημοπλοίου Messenger στον Έρμη.

Επίσης, είχε σημαντική συμβολή σε 5 ακόμη διαστημικά προγράμματα. Ύπηρεξε ή είναι ακόμη μέλος 47 Έπιτροπών, κυρίως στις ΗΠΑ, αλλά και στην Εύρώπη. Σε 9 από αυτές διετέλεσε πρόεδρος ή συμπρόεδρος.

Το 2002 ο κ. Κριμιζής πήρε το βραβείο της COSPAR (Space Science Award), το οποίο έχουν λάβει ελάχιστοι διακεκριμένοι έπιστήμονες (10). Επίσης, πήρε το βραβείο του Smithsonian Institution για τήν άποστολή δορυφόρου στον άστεροειδή Έρωτα το 2002. (Το ίδιο βραβείο είχε δοθεί προηγουμένως στους άστροναύτες του Apollo 11 για τήν έπιτυχή προσελήνωσή τους).

Πήρε δύο ακόμη βραβεία, για τήν άποστολή στον Έρωτα και για το πρόγραμμα άποστολής στον Πλούτωνα. Επίσης, ένα βραβείο της Διεθνούς Ακαδημίας Άστροναυτικής, 2 μετάλλια της NASA και 30 μικρότερα βραβεία (awards) της NASA και της ESA για διάφορες άποστολές στο διάστημα. Επίσης ο κ. Κριμιζής ήταν άναπληρωτής εκδότης (Associate Editor) του κυριώτερου περιοδικού γεωφυσικής *Journal of Geophysical Research* και διακεκριμένο μέλος (fellow) της American Geophysical Union και της American Physical Society.

Ήταν μέλος των όργανωτικών έπιτροπών πολλών άμερικανικών και διε-

θων συνεδρίων. Συνολικά έκαμε περίπου 1100 όμιλίες σε διάφορα Συνέδρια, Πανεπιστήμια και Ίνστιτούτα.

Μία ιδιαίτερα διάκριση ήταν ότι ή Διεθνής Αστρονομική Ένωση όνόμασε έναν άστεροειδή με τό όνομα «8323 Krimigis». Αύτή ή διάκριση σπανιώτατα δίνεται σε έπιστήμονες εν ζωή.

Ό κατάλογος τών έπιστημονικών έργασιών του κ. Κριμιζή περιλαμβάνει 386 έργασίες. Από αυτές, τό μεγαλύτερο μέρος είναι δημοσιευμένο σε αξιόλογο περιοδικά του Citation Index (*Journal of Geophysical Research, Science, Nature, Astrophysical Journal, Physical Review Letters*, κ.λπ.).

Μερικά από τά πιο σημαντικά έπιτεύγματα του κ. Κριμιζή είναι τά εξής:

A) Ήλιος και ήλιόσφαιρα

Μελέτησε τις ήλιακές κοσμικές ακτίνες και κατέληξε σε ένα μοντέλο διάδοσης τών ήλιακών πρωτονίων στο μεσοπλανητικό διάστημα. Έκαμε τις πρώτες παρατηρήσεις ήλεκτρονίων που προέρχονται από ήλιακές εκλάμψεις.

Έκαμε τις πρώτες παρατηρήσεις έπιταχύνσεως σωματιών στο διάστημα από κρουστικά κύματα.

Πρόσφατα (2000) ό κ. Κριμιζής και οι συνεργάτες του παρατήρησαν τό κρουστικό κύμα του τέλους τής ήλιόσφαιρας, πέραν του όποιου αρχίζει τό μεσοαστρικό διάστημα. Στο θέμα αυτό είναι αφιερωμένη ή σημερινή όμιλία του κ. Κριμιζή.

B) Μαγνητόσφαιρα τής Γής

Διεπίστωσε στις ζώνες Van Allen τήν παρουσία πυρήνων ήλίου. Μελέτησε τή σύνδεση τών φορτίων στους γήινους δακτυλίους ρεύματος. Στη συνέχεια με τήν ένεση (injection) πλάσματος στη γήινη μαγνητόσφαιρα δημιούργησε έναν τεχνητό κομήτη, και μελέτησε τόν τρόπο με τόν όποιον έμπλουτίζεται ή μαγνητόσφαιρα από τόν ήλιακό άνεμο.

Τέλος, παρατήρησε ότι στη γήινη μαγνητοσούρα (άντίθετα από τή διεύθυνση του ήλίου) παρουσιάζονται εκρηκτικά φαινόμενα.

Γ) Μαγνητόσφαιρες τών Πλανητών

Διεπίστωσε ότι δέν υπάρχουν ζώνες Van Allen στον Άρη ούτε στην Άφροδίτη.

Άνεκάλυψε ότι τό κύριο χαρακτηριστικό στις μαγνητόσφαιρες του Διός, του Κρόνου, του Ούρανού και του Ποσειδώνος είναι ένα πολύ θερμό πλάσμα. Η διαπί-

στώση αυτή ήταν αντίθετη με την μέχρι τότε ισχύουσα θεωρία, η οποία εβασίζετο σε ένα ψυχρό πλάσμα. Οι μετρήσεις με τον άνιχνευτή Κριμιζή έδωσαν θερμοκρασίες στις μαγνητόσφαιρες του Διός και του Κρόνου πάνω από 300.000.000° (τή μεγαλύτερη θερμοκρασία σε όλο τή ηλιακό σύστημα, πολύ μεγαλύτερη και από τή θερμοκρασία του κέντρου του ήλιου, που είναι 15.000.000°).

Ανεκάλυψε ένα νέφος αερίου γύρω από τόν Δία που προέρχεται από εκρήξεις ήφαιστείων στον δορυφόρο Ίω.

Επίσης ανέκάλυψε έναν αέριο δακτύλιο γύρω από τόν Δία κατά μήκος τής τροχιάς του δορυφόρου Εύρώπη.

Δ) Κατασκευή Όργάνων και Διαστημοπλοίων

Ο κ. Κριμιζής ανέπτυξε έναν πρωτότυπο άνιχνευτή για τήν παρατήρηση φορτισμένων σωματιών χαμηλής ενέργειας, ό οποίος συμπεριελήφθη στα διαστημόπλοια Voyager 1 και 2. Τό όργανο αυτό χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην ανακάλυψη του θερμού πλάσματος στη μαγνητόσφαιρα του Διός. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρήθηκαν στις μαγνητόσφαιρες άλλων πλανητών, του Κρόνου, του Ούρανου και του Ποσειδώνας. Κατασκεύασε μία ειδική κάμερα, για τή μελέτη των μαγνητοσφαιρών του Διός και του Κρόνου, αλλά και τής μαγνητόσφαιρας τής γής. Κατασκεύασε ειδικούς άνιχνευτές για τήν άνιχνευση πυρήνων ήλιου και βαρύτερων στοιχείων στις ζώνες Van Allen.

Έκαμε τά σχέδια για τήν κατασκευή των διαστημοπλοίων AMPTE (Active Magnetospheric Particle Tracer Explorers) που χρησιμοποιούν τεχνητές εκπομπές πλάσματος (τεχνητούς κομήτες) για τή μελέτη περιοχών τής μαγνητόσφαιρας.

Είχε τήν πρωτοβουλία του σχεδιασμού και τής πραγματοποίησεως του διαστημοπλοίου ACE (Advanced Composition Explorer) για τήν παρακολούθηση του διαστημικού καιρού.

Όργάνωσε τήν άποστολή ενός διαστημοπλοίου που έφθασε κοντά στον άστεροειδή Έρωτα, έγινε δορυφόρος του και τελικά προσεδάφισθηκε πάνω στον άστεροειδή αυτό (πρώτη φορά έγινε τέτοια προσεδάφιση).

Όργάνωσε τήν άποστολή του διαστημοπλοίου MESSENGER που άπεστάλη προς τόν πλανήτη Έρμη τό 2004, και τέλος, πέτυχε πρώτος στον διαγωνισμό για τήν πρώτη άποστολή διαστημοπλοίου στον Πλούτωνα που θά σταλεί τό 2006.

Υπάρχουν περίπου 6000 αναφορές τρίτων στις έργασίες του κ. Κριμιζή.

Οι έρευνητές που αναφέρονται στις εργασίες αυτές, όχι μόνον κάνουν θετικές κρίσεις, αλλά σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα του κ. Κριμιζή (θεωρητικά και παρατηρησιακά) για να προωθήσουν τις δικές τους εργασίες. Αναφέρω μόνον μία κρίση για το έργο του κ. Κριμιζή. Ο Διευθυντής της NASA, Daniel Goldin κατά την όμιλία του στο Πανεπιστήμιο Johns Hopkins το 2002 δήλωσε: «Πολλοί άνθρωποι φοβούνται την άποτυχία. Άλλα έσείς έχετε έναν επιστήμονα στο Applied Physics Laboratory που δεν φοβάται την άποτυχία, δεν φοβάται να ενεργήσει διαφορετικά... Ο Σταμάτης Κριμιζής είχε το κουράγιο να ενεργήσει σωστά, και το απέδειξε – έκανε το πρώτο «ταχύτερο, καλύτερο και φθηνότερο» πρόγραμμα και σε 26 μήνες αντί 36 –μās επέστρεψε μερικά εκατομμύρια δολάρια– επέτυχε την προσεδάφιση σε έναν αστροειδή, κάτι που δεν ήταν καν η αποστολή του».

(Αναφέρεται στην αποστολή διαστημοπλοίου στον Έρωτα, και στο ότι ο κ. Κριμιζής άλλαξε την τελευταία στιγμή το διαστημικό πρόγραμμα και πέτυχε την προσεδάφιση του διαστημοπλοίου στον Έρωτα, κάτι που δεν προεβλέπετο στο αρχικό πρόγραμμα).

Ο κ. Κριμιζής ως πρόεδρος της Επιτροπής Ηλιακής και Διαστημικής Φυσικής της National Academy of Sciences των ΗΠΑ έδημοσίευσε μια αναφορά προς το Κογκρέσο, που έγινε γνωστή ως «the Krimigis report», για τις διαστημικές αποστολές της NASA. Η αναφορά αυτή υιοθετήθηκε από το Κογκρέσο (κάτι που γίνεται σπάνια, όπως έπεσήμανε ο πρόεδρος της Ακαδημίας κ. Frank Press).

Άλλα ο κ. Κριμιζής έχει και άλλες σημαντικές δραστηριότητες εκτός από τις επιστημονικές.

Είναι ένα σημαντικό στέλεχος του Greek Lobby που παρακολουθεί και λαμβάνει ενεργό μέρος για τα έθνικά θέματα της Ελλάδος στο Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών.

Έχει άμεση επαφή με έλληνικές και διεθνείς οργανώσεις και πρόσωπα που προωθούν τα έλληνικά θέματα στις ΗΠΑ. Η προσωπική συμβολή του κ. Κριμιζή στα θέματα αυτά υπήρξε πολύ σημαντική και δεν μπορώ να δώσω ούτε μία περιληψη των πολλαπλών δραστηριοτήτων του.

Σημειώνω μόνο συμπερασματικά ότι ο κ. Κριμιζής δεν είναι μόνο ένας λαμπρός επιστήμων, αλλά και ένας αντιπρόσωπος της Ελλάδος που μās κάνει όλους περήφανους ως Έλληνες.

Καλώς όρισάτε στην Ακαδημία κ. Κριμιζή.

Η ΗΛΙΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ Η ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ ΤΗΣ
ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟΑΣΤΡΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

ΕΙΣΙΤΗΡΙΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ Μ. ΚΡΙΜΙΖΗ

Πρωτίστως θά ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αντιπρόεδρο της Ακαδημίας για την ευγενική του εισαγωγή και τον εξαίρετο συναδέλφο κ. Κοντόπουλο για την υπεργενναιόδωρη εξιστόρηση της επιστημονικής μου καριέρας.

Αισθάνομαι ευγνώμων απέναντι στους συναδέλφους που με εξέλεξαν μέλος του ανώτατου πνευματικού ιδρύματος της χώρας. Η Ακαδημία Αθηνών έχει το προνόμιο, λόγω της βαριάς της κληρονομιάς, να είναι αυτομάτως γνωστή σε όλόκληρο τον κόσμο και ως εκ τούτου αποτελεί ύψιστη και παγκόσμια τιμή να είναι κανείς μέλος της. Αισθάνομαι, όμως, ότι, ως μέλος, έχω την υποχρέωση να συμβάλω στο έργο της Ακαδημίας, όχι μονάχα με την μέχρι τώρα εργασία μου, αλλά και με μελλοντική προσφορά τόσο στο Ίδρυμα, όσο και στην προσπάθεια αποδησαύρισης της επιστημονικής γνώσης για την ανθρωπότητα.

Ός νεαρός φοιτητής είχα την τύχη να βρεθώ τον κατάλληλο χρόνο στον κατάλληλο τόπο, δηλαδή στο Πανεπιστήμιο της Αϊόβα με τον καθηγητή James Van Allen, που μόλις είχε ανακαλύψει τις ομώνυμες ζώνες ακτινοβολίας γύρω από τη Γη. Το γεγονός αυτό μου πρόσφερε την ευκαιρία να επωφεληθώ των ευκαιριών στο ξεκίνημα μιας νέας εποχής για την παγκόσμια ιστορία, καθώς η ανθρωπότητα έκανε τα πρώτα βήματα από το βάθος της προστατευτικής ατμόσφαιρας προς το διάστημα. Έτσι άρχισε μία ευχάριστη περιπέτεια που ακόμη συνεχίζεται.

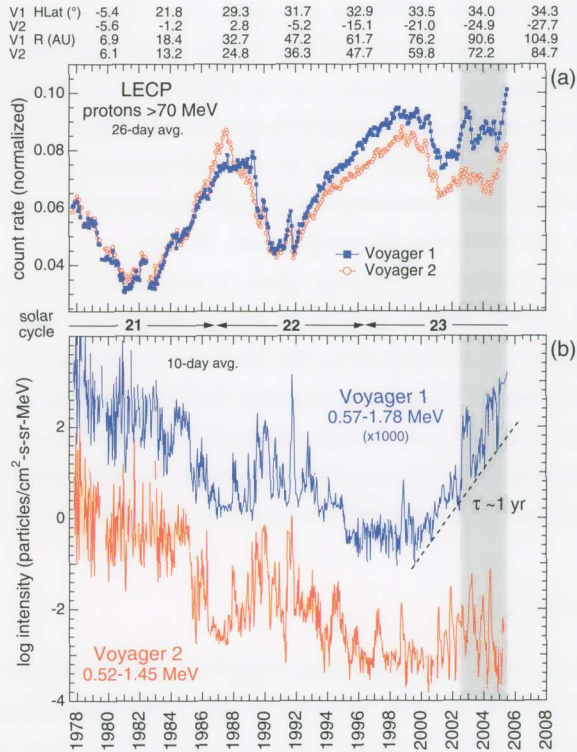
Το θέμα που θά σας παρουσιάσω απόψε αφορά ειδικά στην πράγματι κοσμοϊστορική αποστολή των διαστημοπλοίων Βόγιατζερ 1 και 2. Βέβαια δεν θά ασχοληθούμε με όλες τις ανακαλύψεις των Βόγιατζερς, αλλά με το τελευταίο επίτευγμα, την ανακάλυψη δηλαδή του Κρουστικού Κύματος Παύσης, που έγινε μόλις τον τελευταίο χρόνο και είναι ακόμη σε εξέλιξη. Άς αρχίσουμε λοιπόν την περιήγησή μας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Τὰ πρωτοπόρα διαστημόπλοια Voyager 1 και 2 ἔχουν ἀποστείλει ἕναν τεράστιο ὄγκο δεδομένων ἀπὸ τὸ ἐξώτερο ἡλιακὸ σύστημα τὰ τελευταῖα 28 χρόνια. Ἡ αὐξηση τῆς ἔντασης τῶν ἐνεργητικῶν σωματίων πού ἄρχισε νὰ παρατηρεῖται στὰ μέσα τοῦ 2002, ἐξελήφθη ὡς μιὰ πρώτη ἔνδειξη ὅτι τὸ Voyager 1 βρίσκεται κοντὰ στὸ ἀπὸ καιρὸ προσδοκώμενο κρουστικὸ κύμα παύσης τῆς ἡλιόσφαιρας (McDonald et al., 2003), ἡ ἀκόμη και πέρα ἀπὸ αὐτό (Krimigis et al., 2003).

Μιὰ σύνοψη τῆς ἱστορίας τῶν ἐνεργητικῶν σωματίων και τῶν γαλαξιακῶν κοσμικῶν ἀκτίνων (GCRs), ἀπὸ τὴν ἐκτόξευση τῶν Voyagers τὸ 1977, φαίνεται στὴν εἰκόνα 1. Τὸ ἐπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τὶς γαλαξιακὲς κοσμικὲς ἀκτίνες στὰ δύο διαστημόπλοια, μὲ τὴν ἐμφάνη ἐνδεκαετῆ διαμόρφωση τῆς ἡλιακῆς δραστηριότητας. Στὴ διάρκεια τῶν ἡλιακῶν κύκλων 22 και 23, οἱ μεταβολὲς στὶς GCRs πού καταγράφει τὸ Voyager 2 ἔγιναν ἀντιληπτές και στὸ Voyager 1, καθὼς τὸ τελευταῖο εἶχε ἤδη προωθηθεῖ σὲ ἐξώτερες περιοχὲς τῆς ἡλιόσφαιρας, λόγω τῆς μεγαλύτερης ταχύτητάς διαφυγῆς του (3,6 ἔναντι τῶν 3,3 AU/year τοῦ Voyager 2). Ἡ στενὴ αὐτὴ συσχέτιση διακόπηκε προσωρινὰ ἀπὸ τὰ μέσα τοῦ 2002 ὡς τὰ μέσα τοῦ 2004, ἀποκαταστάθηκε ὡστόσο στὴ διάρκεια τῶν τελευταίων μηνῶν, καθὼς ἡ ἐναρξὴ δραστηριότητας πού παρατηρήθηκε στὸ Voyager 2 στὰ μέσα τοῦ 2004 παρατηρήθηκε και στὸ Voyager 1 στὶς ἀρχὲς Νοεμβρίου τοῦ ἴδιου ἔτους, ὑποδεικνύοντας ἀκτινικὴ ταχύτητα διάδοσης ~ 200 km/s.

Τὸ κάτω διάγραμμα ἐμφανίζει τὰ πρωτόνια ἐνέργειας ~ 1 MeV νὰ αὐξομειώνονται κατὰ ὁλόκληρες τάξεις μεγέθους, ἀνταποκρινόμενα στὰ ἡλιακὰ ἐνεργητικὰ σωματίδια, μὲ τὰ ἐνεργητικὰ γεγονότα πού καταγράφει τὸ Voyager 2 νὰ ἐμφανίζονται στὸ Voyager 1 μετὰ ἀπὸ κάποιες ἀναμενόμενες καθυστερήσεις, μὲ τὴ γενικὴ ἡλιακὴ δραστηριότητα νὰ εἶναι ἀντισυσχετισμένη μὲ τὸ μέγιστο τῶν γαλαξιακῶν κοσμικῶν ἀκτίνων στὴ διάρκεια τοῦ 2000. Μὲ ἐναρξὴ τὸ ἴδιο ἔτος ὡστόσο, διακρίνεται μιὰ ἀδιαμφισβήτητη ἀνοδικὴ τάση στὴν ἔνταση πού καταγράφει τὸ Voyager 1, χωρὶς νὰ συνοδεύεται ἀπὸ κάποια ἀντίστοιχη στὸ Voyager 2, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ παρατηρεῖται ἀπόκλιση κατὰ ἕνα παράγοντα 1000 μέχρι και σήμερα. Ἡ ἀντίστοιχη ἐκθετικὴ σταθερὰ χρόνου εἶναι περίπου ἕνα ἔτος και ἀντιστοιχεῖ σὲ ἀπόσταση $\sim 3,5$ AU (ὑποθέτοντας ὅτι ἡ δομὴ εἶναι χρονικὰ ἀμετάβλητη). Παράλληλα μὲ τὴν αὐξητικὴ αὐτὴ τάση (σκιαγραφημένη περιοχή), ὑπάρχουν διακριτὲς αὐξήσεις στὰ μέσα τοῦ 2002, τὶς ἀρχὲς τοῦ 2004 και πὺ πρόσφατα στὰ τέλη τοῦ 2004, ἡ ὁποία διατηρεῖται ὡς σήμερα.



Εικόνα 1. Εποπτική παρουσίαση της έντασης των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων (GCRs) (a) και των χαμηλής ενέργειας (~ 1 MeV) πρωτονίων (b), από την εκτόξευση των Voyagers 1 και 2 στα τέλη του 1977. Οι ηλιογραφικές συντεταγμένες για τα δύο διαστημόπλοια αναφέρονται στο επάνω μέρος του διαγράμματος. Η περίοδος ενδιαφέροντος 2002,5 – 2005,5 είναι σκιαγραφημένη.

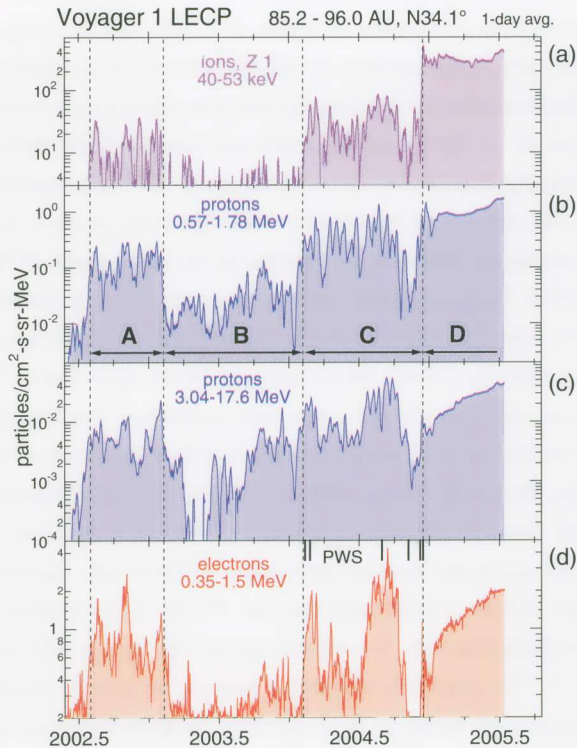
Η αύξηση στα μέσα του 2002 έρμηνεύτηκε (Krimigis et al., 2003) ως είσοδος του Voyager 1 σε μία περιοχή χαμηλής ταχύτητας του ηλιακού ανέμου, με κύριο χαρακτηριστικό την εξασθένιση της ταχύτητας ροής που συνοδεύεται από ισχυρές εφάπτομενικές και με κατεύθυνση προς τα έξω, σωματιδιακές ανισotropίες, παρατηρούμενες στις περισσότερες ενέργειες. Ο McDonald (McDonald et al., 2003) θεώρησε τις αυξήσεις αυτές γεγονότα έξω από το κρουστικό κύμα (upstream events), καθώς το φάσμα των ανώμαλων κοσμικών ακτίνων (ACR)

δεν είχε ανακαμφθεί, όπως θεωρητικά προβλέπεται, ενώ ο Burlaga (Burlaga et al., 2003) υποστήριξε ότι η αύξηση στη μέση τιμή του ηλιογραφικού μαγνητικού πεδίου (HGF) ($B2/B1 \sim 1,7$) ήταν ανεπαρκής ένδειξη κρουστικού κύματος, αν υποθέσουμε ότι η ιδανική μαγνητοϋδροδυναμική (MHD) μπορεί να εφαρμοστεί. Μετέπειτα εργασίες επαλήθευσαν ότι οι ισχυρές ροές ενεργητικών σωματιών ήταν εύθυγραμμισμένες με το πεδίο (Decker et al., 2004) και ότι η σωματιδιακή πίεση ήταν αντισυσχετισμένη με το μέτρο του πεδίου, ενώ επίσης υπερέβαινε και την πίεσή του (Krimigis et al., 2004).

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η συνέχιση των αναλύσεων των Krimigis et al. (2003, 2004), χρησιμοποιώντας δεδομένα ως και τον παρόντα χρόνο και η διερεύνηση του γεγονότος που ξεκίνησε την ημέρα 350 του 2004, το οποίο δείχνει να είναι το πιο εμφανές πέρασμα από το κρουστικό κύμα παύσης ως σήμερα (Decker et al., 2005a). Υποδεικνύουμε ότι οι σωματιδιακές ανισotropίες μειώθηκαν δραστικά στη διάρκεια της τελευταίας περιόδου και ότι η άκτινική συνιστώσα της ταχύτητας ροής πέφτει τελικά σε χαμηλές (0 ± 50 km/s) τιμές.

2. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις που εδώ αναφέρονται, ελήφθησαν με το όργανο Low Energy Charged Particle (LECP) των Voyagers 1 και 2 (Krimigis et al., 1977). Έν συντομία, το LECP έχει τη δυνατότητα να καταγράφει ιόντα στην περιοχή $0,04 < E < 50$ MeV/nuc και ηλεκτρόνια για $0,026 < E < 6$ MeV, συμπεριλαμβανομένης και της γωνιακής κατανομής τους προσεγγιστικά στο R-T επίπεδο, σε επτά τομείς των 45° οι όποιοι συνολικά καλύπτουν 315° . Ένας ογδοος τομέας παραμένει καλυμμένος και έχει σχεδιαστεί για να παρέχει έλεγχο και βαθμονόμηση του ανιχνευτή στη διάρκεια περασμάτων από περιοχές με πηγές ραδιοενεργού ακτινοβολίας και καταγραφές υποβάθρου για επιλεγμένα κανάλια. Η εικόνα 2 παρουσιάζει ημερήσιες μέσες τιμές επιλεγμένων καναλιών πρωτονίων, εκτεινόμενων σε ενεργειακό εύρος τουλάχιστον δύο τάξεων μεγέθους, με το επάνω διάγραμμα να ξεκινάει από τα 40 keV περίπου, ενώ το κάτω παρουσιάζει τα σχετικιστικά ηλεκτρόνια. Από τα κανάλια έχουν αφαιρεθεί οι καταγραφές υποβάθρου. Η επιλεγμένη περίοδος είναι από τα μέσα του 2002 ως σήμερα και έχει χωριστεί σε 4 διαστήματα, A-D, τα όποια γενικά αντιστοιχούν στο επίπεδο της έντασης και της κατεύθυνσης της ανισotropίας (δεν συμπεριλαμβάνεται στο διάγραμμα). Το πρώτο σημαντικό γεγονός (2002,58 - 2003,10) χαρακτηρίζεται



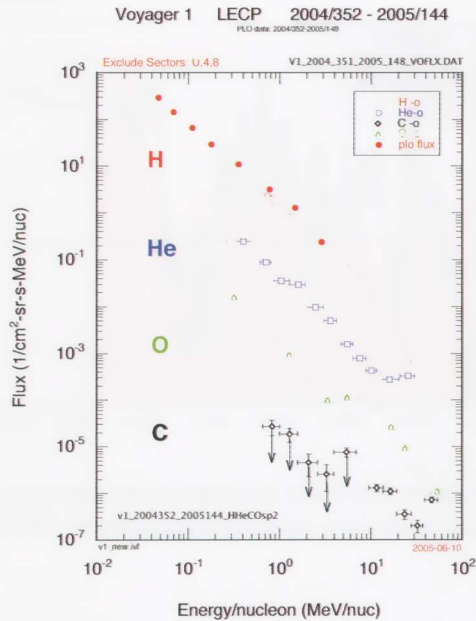
Εικόνα 2. Τέσσερις περίοδοι (A, B, C, D) που εικονίζουν αυξήσεις στη σωματιδιακή ένταση, οι οποίες πιστεύεται ότι σχετίζονται με το κρουστικό κύμα παύσης. Παρατηρείται σύμπτωση ανάμεσα στις αυξήσεις της έντασης και τις διακυμάνσεις, για ένα εύρος ταχυτήτων μεγαλύτερο από παράγοντα 100 (από επάνω προς τα κάτω). Οι μαύρες κατακόρυφες γραμμές στο επάνω μέρος του διαγράμματος d, υποδεικνύουν την εμφάνιση κυμάτων Langmuir που καταγράφονται από το όργανο PWS του Voyager 1.

από έντονοτατες αυξήσεις στα ιόντα και τα ηλεκτρόνια και κυρίως προς τα έξω κατευθυνόμενες άζιμουδιακές ανισotropίες (Krimigis et al., 2003). Η περίοδος B εμφανίζει άξιοσημείωτα χαμηλότερες εντάσεις, ειδικά στις πιο χαμηλές ενέργειες, καθώς και ανάμικτες ανισotropίες, κατευθυνόμενες κάποιες φορές άζιμουδιακά προς τα μέσα. Η περίοδος C, η οποία καλύπτει μεγάλο μέρος του 2004, προσομοιάζει στην περίοδο A, με μεγαλύτερες ωστόσο εντάσεις για τα ιόντα ενέργειας 740 keV και εμφανείς, επαναλαμβανόμενες διακυμάνσεις ανά ~13 και

~26 ημέρες. Η περίοδος D χαρακτηρίζεται από απότομη (~x10) αύξηση στην ένταση των ~40 keV, λιγότερο έντονη αύξηση στα άλλα κανάλια και ουσιαστικά απουσία αύξομειώσεων. Στην πραγματικότητα, υψηλότερες εντάσεις παρατηρούνται τόσο για τα ~3 MeV πρωτόνια όσο και για τα ~0,35 MeV ηλεκτρόνια, κατά τη διάρκεια της περιόδου C. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος $\mathcal{Z}(d)$ υπάρχουν επίσης οι περίοδοι κατά τις οποίες παρατηρούνται κύματα Langmuir από τον ανιχνευτή κυμάτων πλάσματος (plasma wave instrument (PWS), Gurnett and Kurth, 2005). Τέτοιου είδους ταλαντώσεις του ηλεκτρονικού πλάσματος είναι γνωστό ότι σχετίζονται με πλανητικά και διαπλανητικά κρουστικά κύματα (Kurth and Gurnett, 1993). Είναι εμφανές ότι τα τρία πρώτα PWS γεγονότα συμπίπτουν με αυξήσεις στην ένταση των σωματίων στην αρχή και τα μέσα του 2004, ενώ τα δύο τελευταία με την απότομη έναρξη κοντά στην ημέρα 250.

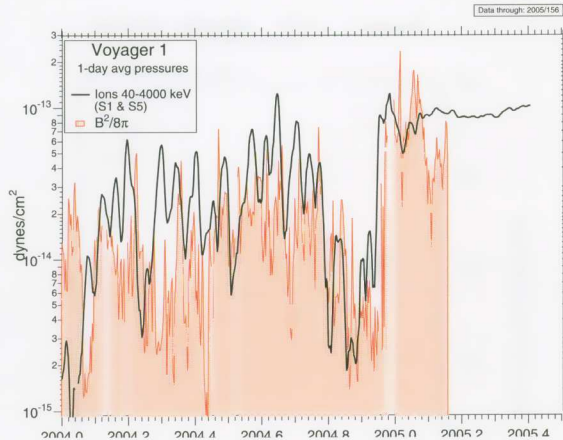
Ο Κριμιζής (Krimigis et al., 2003, 2004) παρουσίασε φάσματα ενεργητικών ιόντων που διευκρίνισαν ότι η σύνθεση των παρατηρούμενων αυξήσεων είναι συμβατή με πηγές ανώμαλων κοσμικών ακτίνων και παρασυρόμενων και επιταχυνόμενων ιόντων (ACR/pickup ion -PUI). Στην **εικόνα 3** παρουσιάζουμε παρόμοια φάσματα για την περίοδο μετά την ημέρα 250 του 2004, για H, He, O, και C. Τα χαμηλής ενέργειας σημεία (συμπαγή σύμβολα ~0.04-4 MeV), αντιστοιχούν σε ιόντα με $Z \geq 1$, ωστόσο τα προεκβαλλόμενα από υψηλότερες ενέργειες δεδομένα σύνθεσης απέδειξαν ότι αντιστοιχούν κατά κύριο λόγο (~80%) σε πρωτόνια. Τα φάσματα περιγράφονται ικανοποιητικά από τη σχέση $dj/dE = kE^{-\gamma}$, αρχίζουν ωστόσο να κάμπτονται για > 2 MeV/nuc. Το χαμηλής ενέργειας (<4 MeV) τμήμα του φάσματος πρωτονίων στην **εικόνα 3** πιθανότατα δεν αποτελεί αποτέλεσμα επιτάχυνσης στο κρουστικό κύμα. Η προσαρμογή K-κατανομής για πρωτόνια μέσα από το κρουστικό κύμα στα PLO κανάλια, είναι συμβατή με την πυκνότητα ηλεκτρονίων που προκύπτει έξω από το κρουστικό κύμα (Gurnett and Kurth, 2005).

Σε υψηλότερες ενέργειες το χαρακτηριστικό «όροπέδιο» των ανώμαλων κοσμικών ακτίνων (ACR) γίνεται εμφανές για το O στα 7 MeV/nuc και για το He στα ~25 MeV/nuc. Συνεπώς, η πρόβλεψη ότι το φάσμα των ανώμαλων κοσμικών ακτίνων παύει να κάμπτεται (γίνεται δηλαδή άμιγής νόμος δύναμης με την ενέργεια, Stone and Cummings, 2001) στο κρουστικό κύμα παύσης, δεν επιβεβαιώνεται. Παρατηρείται, επίσης, ότι ο λόγος C/O εξακολουθεί να είναι χαμηλός (<0.02), όπως επισημάναμε για την περίοδο A, δηλαδή η πηγή του τελευταίου πληθυσμού σωματίων είναι και πάλι συμβατή με τους μηχανισμούς PUI/ACR.



Εικόνα 3. Φάσμα που αντιστοιχεί στην περιοχή μετά το κρουστικό κύμα παύσης, σχεδιασμένο ως προς το λόγο energy / nucleon. Παρατηρούμε τη χαρακτηριστική «καμπούρα» των διαμορφωμένων ανώμαλων κοσμικών ακτίνων (ACR) για He, O και C. Οί χαμηλές ροές C σε σχέση με τις αντίστοιχες O, υποδεικνύουν ότι η προέλευση των σωματιών είναι συμβατή με τους μηχανισμούς PUI/ACR.

Η εικόνα 4 παρουσιάζει έναν υπολογισμό της συνιστώσας της σωματιδιακής πίεσης που είναι κάθετη στο τοπικό μαγνητικό πεδίο για ενέργειες μεταξύ 0,04 και 4,0 MeV. Γίνεται σύγκριση με το πεδίο για το 2004, όπως αυτό προκύπτει από προεκβολή των δεδομένων από το 2002 (Burlaga et al., 2003), θεωρώντας την κατά Parker σπειροειδή διαμόρφωση και την ανύψωση κατά ένα παράγοντα 2,43 μετά την ημέρα 350 (Burlaga et al., 2005). Οί περιοχές που αντιστοιχούν στις περιόδους C και D (έξω και μέσα από το κρουστικό κύμα παύσης αντίστοιχα) χαρακτηρίζονται αμφότερες από ύψηλο β (λόγος της σωματιδιακής προς τη μαγνητική πίεση), όπως και η περίοδος A νωρίτερα (Krimigis et al., 2004).



Εικόνα 4. Σύγκριση ανάμεσα στην πίεση των ενεργητικών σωματιών, όπως καταγράφηκε από το LECP και τη μαγνητική πίεση για το διάστημα 2004,00 – 2005,54.

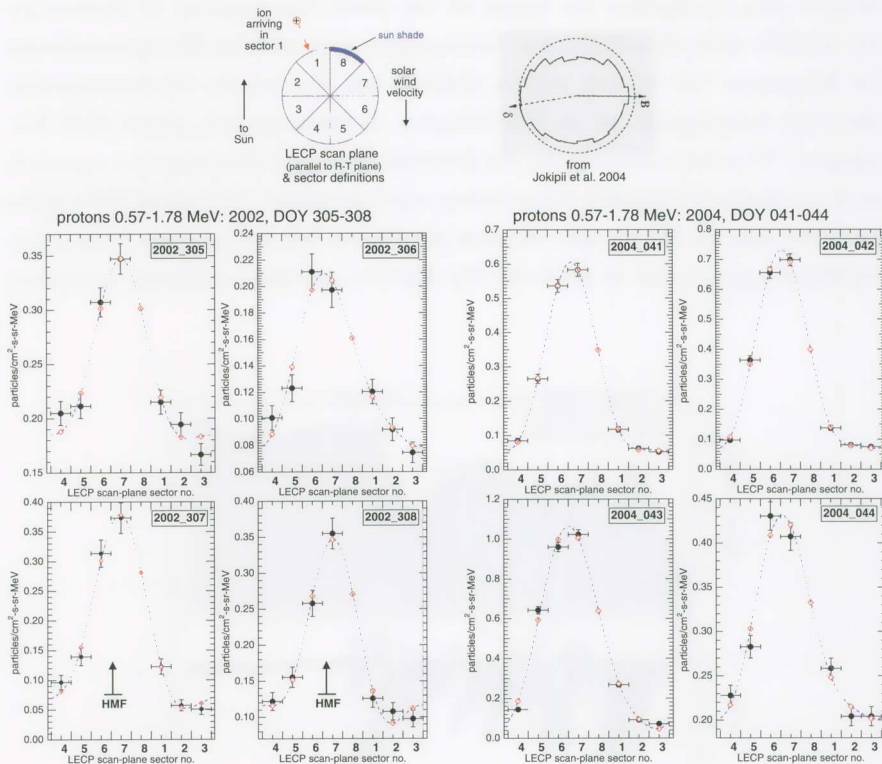
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

Στις έντάσεις από τους 7 ενεργούς τομείς προσαρμόστηκε με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων μία σειρά Fourier δευτέρου βαθμού για γωνίες σάρωσης

$$j(\phi) = A_0 + A_1 \cos(\phi - \phi_1) + A_2 \cos[2(\phi - \phi_2)] \quad (1)$$

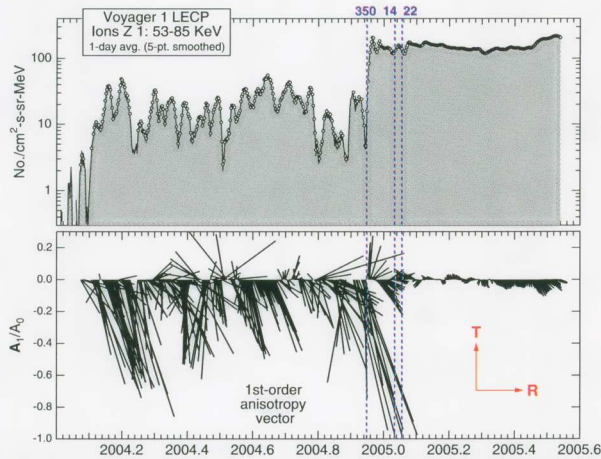
από την οποία προέκυψαν οι συντελεστές A_0 , A_1 , A_2 , ϕ_1 , ϕ_2 και η ένταση στον κλειστό τομέα 8. Παράδειγμα της γωνιακής κατανομής παρουσιάζεται στην εικόνα 5, για πρωτόνια ~ 1 MeV για τις περιόδους A και C. Το ένθετο στο κέντρο και άριστερά δεικνύει τον όρισμό των τομέων που αναφέρονται παραπάνω. Πρόκειται για ανισοτροπικές δέσμες, χαρακτηριστικές και για τις δύο περιόδους. Η μέγιστη ένταση εμφανίζεται συνήθως στον τομέα 7, δηλαδή έφαπτομενικά προς τα έξω σε σχέση με τον Ήλιο. Το ένθετο επάνω από το δεξιό διάγραμμα παρουσιάζει προβλέψεις των Jokipii et al. (2004), οι οποίες επιχειρούν να αναπαράγουν τις παρατηρήσεις, οδηγούν ωστόσο μονάχα σε ροές διπλής κατεύθυνσης. Η παρουσία και δεύτερης αρμονικής, συγκρίσιμης με την πρώτη, παράγει μονής κατεύθυνσης δέσμες αν οι αρμονικές είναι σε φάση (όπως στα δεδομένα του Voyager 1). Διπλής κατεύθυνσης κατανομή προκύπτει, όταν έχουν διαφορά φάσης 90° (όπως στις προσομοιώσεις των Jokipii et al., σε αντίθεση με τα δεδο-

μένα του Voyager 1). Για τις ημέρες 307 και 308 του 2002, παρουσιάζεται το άζιμουθιο του μαγνητικού πεδίου, ενώ η μέγιστη ένταση είναι γενικά εύθυραμισμένη με το πεδίο, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των περισσότερων ημερών, όπου το άζιμουθιο του ηλιογραφικού μαγνητικού πεδίου (HMF) είναι γνωστό (Decker et al., 2004). Τα άνοικτα σύμβολα αντιστοιχούν στην προσαρμογή των ελαχίστων τετραγώνων και, όπως φαίνεται, η καμπύλη προσεγγίζει αρκετά καλά τις μετρήσεις.

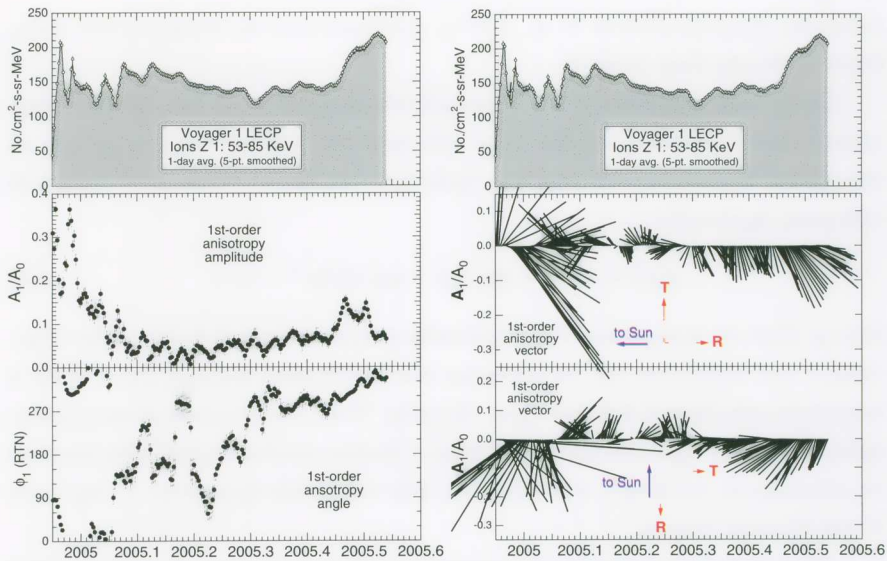


Εικόνα 5. Παράδειγμα γωνιακής κατανομής των ~1 MeV πρωτονίων για τα γεγονότα A, C (βλ. εικ. 2). Οι γραμμές υποδεικνύουν την προσαρμογή ελαχίστων τετραγώνων ανά εξίσωση (1). Το πλαίσιο επάνω άριστερά παρουσιάζει τον όρισμό των τομέων του LECP, ενώ το αντίστοιχο επάνω δεξιά, τις προσομοιωμένες ανισοτροπίες (Jokipii et al., 2004), οι οποίες, ωστόσο, είναι διπλής κατεύθυνσης και ασύμβατες με τις μετρήσεις.

Στήν **εικόνα 6a** παρουσιάζονται τὰ διανύσματα που προέκυψαν για τὴν περίοδο 2004 - 2005 για τὴν περιοχή ἐνεργειῶν 53-85 keV. Τὰ διανύσματα ὑποδεικνύουν τὴν κατεύθυνση πρὸς τὴν ὁποία κινούνται τὰ σωματία. Ἡ κυρίαρχη ροὴ εἶναι ἐφαπτομενική πρὸς τὰ ἔξω ὡς τὴν ἡμέρα 250 μὲ μεγάλα (>0.2) πλάτη διακύμανσης. Ὑπάρχουν ὀρισμένες περιπτώσεις ἐφαπτομενικῶν πρὸς τὰ μέσα ἢ ἀκτινικῶν πρὸς τὰ ἔξω ροῶν, κυρίως σὲ περιόδους ταχειῶν μεταβολῶν τῆς ἔντασης ἢ σὲ ἐλάχιστα (ἐπάνω διάγραμμα). Ἡ κατάσταση ἀλλάζει ἀπτότομα μετὰ τὴν ἡμέρα 250, διατηρώντας ὡστόσο μία πρὸς τὰ μέσα ἐφαπτομενική ροὴ μὲ μειωμένο εὖρος διακύμανσης, ἀκολουθούμενη ἀπὸ διαδοχικὲς πρὸς τὰ ἔξω καὶ πρὸς τὰ μέσα ροὲς ὡς περίπου τὴν ἡμέρα 22 τοῦ 2005. Προκειμένου νὰ ἐξετάσουμε τὴν περίοδο αὐτὴ σὲ μεγαλύτερη λεπτομέρεια, στήν **εικόνα 6b** παρουσιάζουμε ἓνα διάγραμμα τοῦ πρώτης τάξεως πλάτους καὶ τῆς γωνίας τῆς ἀνιστροπίας (ἀριστερὸ διάγραμμα) καὶ τὰ ἴδια δεδομένα σὲ διανυσματικὴ μορφή (δεξιὸν διάγραμμα). Ἡ μείωση στὸ πλάτος τῆς ἀνιστροπίας εἶναι ιδιαίτερα ἐντυπωσιακὴ μετὰ τὴν ἡμέρα 22 περίπου, ὅπως ἐπίσης καὶ ἡ μεταβολὴ τῆς γωνίας ἀπὸ σχεδὸν ἀκτινικὴ πρὸς τὰ ἔξω σὲ πρὸς τὰ μέσα ροὴ (κάτω δεξιὸν διάγραμμα). Ἡ ροὴ διατηρήθηκε χαμηλὴ γιὰ τὸ ὑπόλοιπο τῆς περιόδου ποὺ παρουσιάζεται, κινούμενη



Εικόνα 6a. Προφίλ τῆς ἔντασης τῶν ἰόντων γιὰ ἐνέργειες 53-85 keV γιὰ τὴν περίοδο 2004 - 2005,54 (ἐπάνω διάγραμμα) καὶ ἡ παρατηρούμενη κατεύθυνση τῆς πρώτης τάξεως ἀνιστροπίας. Τὰ διανύσματα ὑποδεικνύουν τὴ ροὴ τῶν σωματίων.



Εικόνα 6b. Αριστερό διάγραμμα: Προφίλ της έντασης των ιόντων για ενέργειες 53-85 keV για την περίοδο 2004 - 2005,54 (επάνω) και η παρατηρούμενη κατεύθυνση της πρώτης τάξης ανισotropίας (βλέπε κείμενο). Τα διανύσματα υποδεικνύουν τη ροή των σωματίων. Δεξί διάγραμμα: Λεπτομέρειες στην ανισotropία των σωματίων μετά την ημέρα 250 του 2004. Το πλάτος (στο μέσο) και η κατεύθυνση (κάτω) των πρώτης τάξης ανισotropιών παρουσιάζεται στο αριστερό διάγραμμα, ενώ η ίδια πληροφορία εικονίζεται σε διανυσματική μορφή στο δεξί διάγραμμα.

άκτινικά προς τα μέσα για αρκετές εβδομάδες, μεταπίπτοντας σε έφαπτομενική προς τα έξω τη χρονική στιγμή 2005,3 κοντά στο ελάχιστο της έντασης. Κοντά στην έναρξη της αύξησης στην ένταση τη στιγμή 2005,45, το πλάτος της ροής αυξήθηκε και η κατεύθυνσή της έγινε περισσότερο άκτινική.

Οι γωνιακές κατανομές, όπως αυτές της εικόνας 6, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της άκτινικής ταχύτητας ροής, υπό την προϋπόθεση ότι το μαγνητικό πεδίο είναι γνωστό. Τέτοιοι υπολογισμοί είναι πιο αξιόπιστοι, όταν η κατανομή της βηματικής γωνίας (pitch angle) είναι σχετικά ιστροπική, ενώ γίνονται πιο δύσκολοι για κατανομές δέσμης. Αναπτύξαμε, ωστόσο, μη γραμμικούς αλγόριθμους που επιτρέπουν τη χρήση και της πρώτης, αλλά και της δεύτερης άρμονικής στην κατανομή της βηματικής γωνίας στο σύστημα

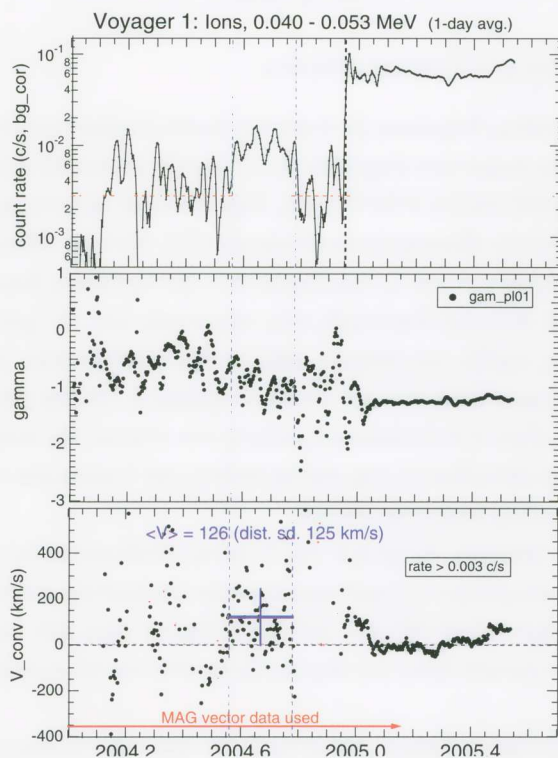
ἀναφοράς τῆς ροῆς (Roelof et al., 2005), χρησιμοποιώντας τὸ μαγνητικὸ πεδίο, ὅποτε αὐτὸ μᾶς εἶναι γνωστό.

Συνοπτικά, ὑποθέτουμε ὅτι ἡ κατευθυντικὴ ἔνταση γιὰ ἓνα δοσμένο ἐνεργειακὸ κανάλι ἰόντων στὸ σύστημα ποὺ κινεῖται μαζί με τὴ ροή, μπορεῖ νὰ περιγραφεῖ ἱκανοποιητικὰ ἀπὸ τοὺς τρεῖς πρώτους ὅρους τοῦ ἀναπτύγματος σὲ σφαιρικές ἀρμονικές:

$$j(\mu') = \alpha_0(v) + \alpha_1(v)\mu' + \alpha_2(v)(3\mu'^2 - 1)/2 \quad (2)$$

ὅπου μ' εἶναι τὸ συνημίτονο τῆς θηματικῆς γωνίας (γωνία ἀνάμεσα στὴν ταχύτητα v τῶν σωματίων καὶ τὸ διάνυσμα τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου), ἐνῶ v εἶναι ἡ ταχύτητα τῶν ἰόντων στὸ σύστημα τῆς ροῆς. Ἕνας Γαλιλαϊκὸς μετασχηματισμὸς ἀπὸ τὸ σύστημα τοῦ ἡλιακοῦ ἀνέμου σ' ἐκεῖνο τοῦ διαστημοπλοίου παράγει τὴ μετρούμενη κατανομὴ ἀνισοτροπίας, ἀπὸ τὴν ὁποία προκύπτει ἡ ταχύτητα V τοῦ ἡλιακοῦ ἀνέμου.

Ἡ εἰκόνα 7 παρουσιάζει τὴν ταχύτητα ροῆς γιὰ τὴ χρονικὴ περίοδο 2004 - 2005,54, ὅπως αὐτὴ ὑπολογίζεται μετὰ χρῆση τοῦ χαμηλότερης ἐνέργειας καναλιοῦ τοῦ LECP. Ἀξίζει νὰ σημειωθεῖ ὅτι ἡ ταχύτητα τῶν πρωτονίων στὴν περιοχὴ ἐνεργειῶν 40-53 keV εἶναι μονάχα 7 φορές μεγαλύτερη ἀπὸ ἐκεῖνη τοῦ ἡρεμοῦ ἡλιακοῦ ἀνέμου (400 km/s). Ἡ ἀξιοπιστία τῶν ἐκτιμήσεων γιὰ τὴ ροὴ πλάσματος ἐπηρεάζονται ἐπίσης ἀπὸ στατιστικὴ ἀβεβαιότητα στις ἐντάσεις καὶ ἀπὸ τὸ γεγονός ὅτι οἱ ἡμερήσιες μέσες τιμὲς τῆς ἔντασης τόσο τῶν σωματίων ὅσο καὶ τοῦ πεδίου, περιέχουν σημαντικές, μικρότερης χρονικῆς κλίμακας διακυμάνσεις, οἱ ὁποῖες δὲν γίνονται ἀντιληπτές. Στὸ ἐπάνω διάγραμμα ὑπάρχει μία ὀριακὴ γραμμὴ, κάτω ἀπὸ τὴν ὁποία ἡ στατιστικὴ ἀβεβαιότητα στὴν ἔνταση εἰσάγει ἐντονες διακυμάνσεις. Ὡστόσο, ἀκόμη καὶ ἐπάνω ἀπὸ τὴ γραμμὴ, ὑπάρχουν μεγάλες βαθμίδες στὴν ἔνταση, οἱ ὁποῖες διαταράσσουν τὶς ἀριθμητικὲς προσαρμογὲς καὶ ὁδηγοῦν σὲ μὴ ἀξιόπιστες ἐκτιμήσεις. Τὰ μεσαῖα διαγράμματα παρουσιάζουν τὴν κατὰ ἡμέρα διακύμανση τοῦ ἐνεργειακοῦ φασματικοῦ δείκτη γ . Ἐχοντας ὑπόψη τὰ προβλήματα αὐτά, παρουσιάζουμε στὸ κάτω διάγραμμα τὶς ὑπολογισμένες ἀκτινικές ταχύτητες. Παρατηρεῖται σημαντικὴ διασπορὰ στὰ δεδομένα μέχρι περίπου τὴν ἡμέρα 250, μετὰ ἀπὸ τὴν ὁποία τὸ πλάτος τῆς πρώτης τάξης ἀνισοτροπίας μειώθηκε δραματικά, ὅπως φαίνεται στὸ διάγραμμα βα.



Εικόνα 7. Η εκτιμώμενη ακτινική ταχύτητα για την περίοδο 2004 - 2005,54 όπως προκύπτει από το κανάλι 40-53 keV του LECP. Στο επάνω διάγραμμα φαίνεται η ένταση, στο μεσαίο ο αντίστοιχος φασματικός δείκτης γ , ενώ στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι ταχύτητες που προκύπτουν (βλ. κείμενο).

Πριν τη συγκεκριμένη στιγμή, μόνο η περίοδος 2004,56 - 2004,78 εμφανίζει σχετικά χαμηλή διασπορά, με μέση ταχύτητα ~ 126 km/s και μεγάλη διακύμανση μέσης τιμής. Υπάρχει, ωστόσο, αξιοσημείωτη ауτοργάνωση στις ταχύτητες μετά την ημέρα 250 (με παρόμοιες τιμές και τάσεις και για άλλα κανάλια που δεν παρουσιάζονται εδώ). Η ταχύτητα τελικά έπεσε στο μηδέν τη στιγμή 2005,05 (\sim ημέρα 22), στη συνέχεια έγινε αρνητική (δηλαδή ροή προς τα μέσα) για αρκετές εβδομάδες και ξαναέγινε θετική τη χρονική στιγμή $\sim 2005,3$, αυξάνοντας την τιμή της σε ~ 100 km/s μετά τη στιγμή $\sim 2005,45$.

4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι τρεις μεγάλης διάρκειας (> 6 μήνες) εκατονταπλασιασμοί της έντασης των ενεργητικών σωματίων (περίοδοι A, C, D στην εικόνα 2) επικαθήμενες σε μία αυξουσα γενική πορεία στην ένταση, παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες (A, C) αλλά και μερικές αξιοσημείωτες διαφορές (D). Τέτοιου είδους ομοιότητες, όπως στα διαστήματα A και C, περιλαμβάνουν ήμιπεριοδικές διακυμάνσεις της έντασης, έμφανη έλλειψη διασποράς στις ταχύτητες υπό τη χρονική ανάλυση της μίας ημέρας, σχεδόν ταυτόσημες προς τα έξω ανισοτροπίες, παρόμοια σύνθεση και ενεργειακά φάσματα και πλάσμα ύψηλου β . Οι πιό έντονες διαφορές στην περίοδο D είναι ή έντυπωσιακή μείωση στο πλάτος της ανισοτροπίας και ή μεταβολή στην κατεύθυνσή της, καθώς επίσης και ή κατά μία τάξη μεγέθους αύξηση των χαμηλής ενέργειας ιόντων.

Σε γενικές γραμμές, το προφίλ της έντασης υποδεικνύει ότι το Voyager 1 συνάντησε ένα νέο, μόνιμο συγκρότημα όριακών επιφανειών στην εξώτερη ήλιόσφαιρα, εκτεινόμενο από ~85 AU και συνεχιζόμενο πέρα από τις ~96 AU, με την εκάστοτε στιγμιαία θέση του να ρυθμίζεται από την ηλιακή δραστηριότητα (Stone, 2001).

Το παρατηρούμενο φάσμα χαρακτηρίζεται από νόμο δύναμης ως προς την ενέργεια με $\sim 1,7$ και μπορεί να εκφραστεί ως κατανομή K χρησιμοποιώντας μία θερμοική ταχύτητα 55 km/s (Decker et al., 2005b). Η κλασική έκφραση για την επιτάχυνση σωματίων σε κρουστικό κύμα που συνδέει την ισχύ r του κρουστικού κύματος με το φασματικό δείκτη γ είναι:

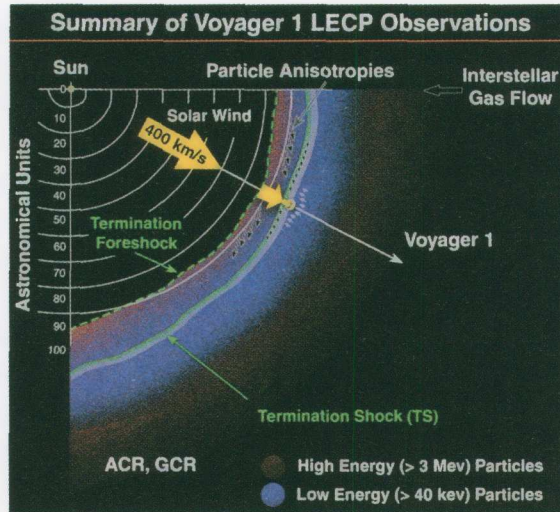
$$r=(2\gamma+2)/(2\gamma-1) \quad (3)$$

Χρησιμοποιώντας την παρατηρούμενη τιμή για το γ , προκύπτει για το κρουστικό κύμα ισχύς r 2,25, στα πλαίσια του εύρους τιμών που υπολογίστηκε για τη συμπίεση του μαγνητικού πεδίου (Burlaga et al., 2005). Μολαταύτα, με δεδομένες τις ισχυρές ανισοτροπίες, ή εφαρμοσιμότητα του μηχανισμού επιτάχυνσης στο κρουστικό κύμα είναι αμφιβόλου έγκυρότητας. Ο Gloeckler (Gloeckler et al., 2005) υποστηρίζει ότι τα ενεργητικά σωματλια στην περιοχή του κρουστικού κύματος παύσης για ενέργειες ως τουλάχιστον 10 MeV προέρχονται από την υπέρθερμη «ούρά» παρασυρόμενων και επιταχυνόμενων ιόντων (pickup ions), στην εξώτερη ήλιόσφαιρα.

Οί μεγάλοι πλάτους, εύθυγραμμισμένες με το πεδίο, έφαπτομενικές προς τὰ έξω άνισοτροπίες που παρατηρούνται στην πρό του κρουστικού κύματος παύσης περιοχή, είναι οί μεγαλύτερες που καταγράφηκαν ποτέ κατά μήκος των τροχιών και των δύο Voyagers για τὰ προηγούμενα ~25 χρόνια. Προσπάθειες άναπαραγωγής τους υπό τήν υπόθεση ότι το Voyager 1 συνδέοταν μαγνητικά με τήν περιοχή έξω από το κρουστικό κύμα παύσης, οδήγησαν σε κατανομές δέσμης διπλής κατεύθυνσης (Jokipii et al, 2004) σε αντίθεση με τὰ δεδομένα (βλ. εικ. 5). Αυτό συμβαίνει επειδή οί σπειροειδείς δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου έξω από το κρουστικό κύμα, πιθανότατα, συνδέονται με το κρουστικό κύμα παύσης και στα δύο τους άκρα, άναμένεται συνεπώς κάποια ροή προς τὰ πίσω όπως το μοντέλο υποδεικνύει, αλλά οί παρατηρήσεις άδυνατούν νά επιβεβαιώσουν. Η συμπεριφορά αυτή των δεδομένων θά πρέπει στο μέλλον νά έρμηγευτεί με πιό ίκανοποιητικό τρόπο.

Όλοκληρώνοντας, ή συμπεριφορά των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων (GCR) είναι άρκετά άσυνήθιστη. Όπως άναφέρθηκε και νωρίτερα, υπήρξε περιορισμένη συσχέτιση άνάμεσα στις εντάσεις του Voyager 1 και του Voyager 2 από το ~2002,5 ως το ~2004,5, όμως τότε ή συνήθης διαμόρφωση της έπαναφοράς από το ήλιακό μέγιστο επικράτησε και πάλι με τήν ένίσχυση των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων νά ξεκινάει στο Voyager 2 τή στιγμή ~2004,4 και νά έμφανίζεται στο Voyager 1 τή στιγμή ~2004,85. Άν υποθεθεί σφαιρική διάδοση, ή όποία δέν είναι άσύμβατη με τις GCR, προκύπτει άκτινική ταχύτητα διάδοσης ~200 km/s. Γνωρίζουμε ότι οί ταχύτερες στον πλασμοφλοιό της ήλιόσφαιρας (heliosheath), όπου βρισκόταν το Voyager 1, κυμαίνονταν από +100 ως -50 km/s, υπάρχει ώστόσο ή ύποψία ότι το κρουστικό κύμα παύσης κινούνταν προς τὰ μέσα (Decker et al, 2005b). Άν και είναι δύσκολο νά εκτιμήσουμε τήν ταχύτητα του ήλιακού άνέμου έξω από το κρουστικό κύμα παύσης, φαίνεται ότι ή διάβασή του δέν είχε καμία επίδραση στις γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες που κατέγραψε το Voyager 1.

Η **εικόνα 8** παρουσιάζει μία σύνθεση των παρατηρήσεων που συνέλεξε το LECP. Έμφανώς υπάρχει μία έσωτερική περιοχή που ξεκινάει από τις ~85 AU, ή όποία πιθανότατα είναι ή πρό του κρουστικού κύματος παύσης περιοχή. Μέσα σε αυτήν, ή ταχύτητα του ήλιακού άνέμου μειώνεται άξιοπρόσεκτα σε σχέση με τήν κανονική τιμή των 400 km/s, όπως υποδεικνύει το μικρό κίτρινο βέλος, ένω έμφανίζονται ισχυρές δέσμες σωματίων (μαύρα βέλη) οί όποιες είναι εύθυγραμμισμένες με το πεδίο, τουλάχιστον για τήν περίοδο A. Η ταχύτητα



Εικόνα 8. Συνοπτική παρουσίαση των παρατηρήσεων του LECP για την περίοδο 2002 – 2005,4. Οι καμπύλες γραμμές αντιπροσωπεύουν τις σπείρες του Άρχιμήδη, τα έντονα βέλη την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου (κατά προσέγγιση σε κλίμακα), ενώ τα μαύρα βέλη απεικονίζουν την κατεύθυνση της ανισοτροπίας των σωματίων. Η πρό του κρουστικού κύματος παύσης περιοχή εντοπίζεται στις ~ 85 AU, όπου το Voyager 1 για πρώτη φορά εντόπισε την έναρξη μεγάλων αύξησης στην ένταση των φορτισμένων σωματίων. Οι σκιασμένες περιοχές παριστούν τις σχετικές εντάσεις των υψηλής (>3 MeV, κόκκινο) και χαμηλής (>40 keV, μπλέ) ενέργειας σωματίων. Να σημειωθεί η απότομη αύξηση στα χαμηλής ενέργειας ιόντα στο θεωρούμενο κρουστικό κύμα παύσης. Οι γαλαξιακές (GCR) και οι ανώμαλες (ACR) κοσμικές ακτίνες χαρακτηρίζουν ολόκληρη την περιοχή.

του ηλιακού ανέμου που προκύπτει είναι σημαντικά χαμηλότερη (≤ 200 km/s) και τείνει σε ακόμη μικρότερες τιμές προς τα έξω, μέχρι που μία δεύτερη όριακή επιφάνεια (το κρουστικό κύμα παύσης) διασχίζεται. Έδω, παρατηρείται μία μεγάλη ($\times 10$) αύξηση στα χαμηλής ενέργειας (>40 keV) σωματίδια και το συνολικό πλάτος της ανισοτροπίας περιορίζεται σημαντικά (μικρά μαύρα βέλη). Η ταχύτητα πέφτει στα ~100 km/s. Η κατάσταση αυτή διατηρείται για ~30 ημέρες (~0.3 AU χρησιμοποιώντας την ταχύτητα του Voyager 1), οπότε και η ροή των σωματίων αντιστρέφεται και κατευθύνεται προς τα μέσα (δηλαδή προς τον Ήλιο, άσπρα βέλη), ενώ η ταχύτητα ροής πέφτει στο μηδέν (0 ± 50 km/s).

Ἡ ἔνταση τῶν ὑψηλῆς ἐνέργειας (>3 MeV) πρωτονίων μειώνεται πρὶν ἀπὸ τὴ διάβαση τοῦ κρουστικοῦ κύματος παύσης καὶ ἀκολούθως ἀποκαθίσταται μὲ ἀργό ρυθμὸ (ἀρκετοὶ μῆνες) στὶς πρὸ τῆς διάβασης τιμές της. Ἀντιθέτως, ἡ ἔνταση τῶν χαμηλῆς ἐνέργειας ἰόντων παραμένει σχεδὸν ἀμετάβλητη γιὰ ὀλόκληρη τὴν περίοδο.

Εἶναι καταφανὲς ἀπὸ τὰ δεδομένα ποὺ παρουσιάστηκαν παραπάνω, ὅτι ἡ διαχωριστικὴ περιοχὴ ἀνάμεσα στὴν ἡλιόσφαιρα καὶ τὸ τοπικὸ μεσοαστρικὸ ὕλικὸ εἶναι πολὺ πιὸ πολύπλοκη ἀπὸ ὅ,τι εἴχαμε φανταστῆ (e.g. Suess, 1992).

Φαίνεται νὰ ὑπάρχει μίᾳ ἐπιβράδυνση τοῦ ἡλιακοῦ ἀνέμου ἀρκετὰ πρὶν τὴν προσέγγιση τοῦ κρουστικοῦ κύματος παύσης, ὀφειλόμενη πιθανότατα στὰ παρασυρόμενα καὶ ἐπιταχυνόμενα ἰόντα (pickup ions), (Gloeckler et al., 2004). Ἐπιπλέον, ὑπάρχει μίᾳ προφανῆς ἀκτινικὴ συνιστώσα στὴν ταχύτητα μετὰ τὴ διάβαση τοῦ κρουστικοῦ κύματος παύσης, ἡ ὁποία διατηρεῖται γιὰ μίᾳ ἀπόσταση ~ 0.3 AU (ἢ μεγαλύτερη ἢ τὸ κρουστικὸ κύμα κινουῦνταν πρὸς τὸν Ἥλιο), ἡ ὁποία δὲν φαίνεται νὰ εἶναι συμβατὴ μὲ ἓνα ἰδανικὸ μαγνητοϋδροδυναμικὸ (MHD) κύμα κρούσης. Ἐπιπροσθέτως, ἡ ἀνάκαμψη καὶ εὐθυγράμμιση τοῦ φάσματος τῶν ἀνώμαλων κοσμικῶν ἀκτίνων στὸ κρουστικὸ κύμα παύσης δὲν προέκυψε ὅπως εἶχε προβλεφθεῖ (e.g. Jokipii, 1990). Ἡ χαμπὴ στὸ φάσμα τῶν ἀνώμαλων κοσμικῶν ἀκτίνων διατηρεῖται ἀνέπαφη καὶ εἶναι ἐμφανῆς ἢ ἀνάγκη ἀναπροσαρμογῆς τῶν μοντέλων ἐπιτάχυνσης καὶ διάδοσης τῶν ἀνώμαλων κοσμικῶν ἀκτίνων. Ἐμφανῶς, ἡ ἐπιτάχυνση στὸ κρουστικὸ κύμα παύσης, ὅπως φαίνεται ὑπὸ τὸ πρίσμα τῶν παρατηρούμενων ἔντονων ἀνισοτροπιῶν, δὲν ἀποτελεῖ τὴ μοναδικὴ ἀπάντηση. Οἱ μέσης κλίμακας ἀναταράξεις στὴν περιοχὴ αὐτὴ τοῦ διαστήματος μποροῦν ἐπίσης νὰ παίξουν σημαντικὸ ρόλο (Fisk, 2004). Ἐν τέλει, δὲν πρέπει νὰ μελετηθεῖ λεπτομερῶς κατὰ πόσο ἱκανοποιοῦνται οἱ συνοριακὲς συνθῆκες γιὰ τὴν περίπτωσι ἐνὸς ἰδανικοῦ μαγνητοϋδροδυναμικοῦ (MHD) κρουστικοῦ κύματος, ἔχοντας ὑπόψη τὰ μοντέλα ποὺ ὑποστηρίζουν ὅτι ἡ παρουσία τῶν παρασυρόμενων καὶ ἐπιταχυνόμενων ἰόντων (pickup ions) μπορεῖ νὰ τροποποιήσῃ δραστικὰ τέτοιου εἴδους συνθῆκες (Fahr and Scherrer, 2004, 2005, Gloeckler et al., 2005).

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έργασία στο Applied Physics Laboratory of Johns Hopkins University υποστηρίχτηκε εν μέρει από την Voyager Interstellar Mission, στα πλαίσια της υπ' αριθμ. NNG04GN62G χρηματοδότησης της NASA προς το Johns Hopkins University και από σύμβαση με το University of Maryland.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Burlaga, L. F., et al., Search for the heliosheath with Voyager 1 magnetic field measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (20), SSC 9-1, DOI 10.1029/2003GL018291, 2003.
- Burlaga, L. F. et al., Crossing the Termination Shock into the Heliosheath: Magnetic Fields, *Science*, 309, 2027-2029, 2005.
- Decker R. B, Krimigis S. M., and Roelof E. C., Voyager 1 near the Termination Shock: An Update on Energetic Ion and Electron Observations, *Geophys. Res. Abs.*, Vol. 5, EGU General Assembly 2005, Abstract EGU05-A-08874, 2005a.
- Decker R. B., Krimigis S. M., Roelof E. C., Hill M. E., Armstrong T. P., Gloeckler G., Hamilton D. C. And Lanzerotti L. J., Voyager 1 in the Foreshock, Termination Shock, and Heliosheath, *Science*, (submitted), 2005b.
- Decker, R. B., Krimigis S. M., Roelof E. C., Burlaga L. F., and Ness N. F. Pitch Angle Distributions of 0.6-1.8 MeV Protons Observed by Voyager 1 at 85-87 AU, *Physics of the Outer Heliosphere* Third International IGPP Conf., edited by V. Florinski, N. V. Pogorelov, and G. P. Zank, CP719, American Institute of Physics, 0-7354-0199-3/04, 150-156, 2004.
- Fahr, H. J. and Scherer, K., Diamagnetic solar wind ions changing the MHD conditions at the heliospheric termination shock, *J. Geophys. Res.*, 110, A2, CiteID A02103, 2005.
- Fahr, H. J., and Scherer, K., Diamagnetic effects of heliospheric Pick-up ions and magnetic fluxes in the outer heliosphere, *Astron. and Astrophys.*, 421, L9, 2004.
- Fisk, L. A., Mesoscale variations in the heliosphere magnetic field and their

- consequences in the outer heliosphere, *Physics of the Outer Heliosphere: Third International IGPP Conf.*, edited by V. Florinski, N. V. Pogorelov, and G. P. Zank, CP719, American Institute of Physics, 0-7354-0199-3/04, 150-156, 2004.
- Gloeckler, G., Geiss, J., and Fisk, L. A., Heating of Pickup and Solar Wind Ions at Jupiter's Bow Shock, *Physics of the Outer Heliosphere, AIP Conference Proceedings*, Vol. 719, held 8-13 February, 2004 in Riverside, California. Edited by Vladimir Florinski, N., Pogorelov V., and Zank G. P., Melville, NY: American Institute of Physics, p.201-206, 2004.
- Gloeckler, G., Fisk L. A., and Lanzerotti L.J., Acceleration of solar wind and pickup ions by shocks, *Physics of the Termination Shock and the Heliosheath: Voyager Observations*, in *Proceedings of Solar Wind 11/SOHO 16 Meeting: Connecting Sun and Heliosphere, ESA SP-592*, B. Fleck and T. H. Zurbuchen (eds), pp 15-22, 2005.
- Gurnett, D. A., and W. S. Kurth, Electron plasma oscillations upstream of the solar wind termination shock, *Science*, 309, 2025, 2027, 2005.
- Jokipii, J. R., The anomalous component of cosmic rays, in *Physics of the outer heliosphere*, *Proceedings COSPAR Colloquium*, Pergamon Press, 169-178, 1990.
- Jokipii, J. R., J. Giacalone, and J. Kota, Transverse Streaming Anisotropies of Charged Particles Accelerated at the Solar Wind Termination Shock, *Astrophys. J.*, 611, L141, 2004.
- Krimigis S. M., R. B. Decker, E. C. Roelof, and M. E. Hill, Energetic Particle Observations Near the Termination Shock, *Physics of the Outer Heliosphere: Third International IGPP Conference*, edited by V. Florinski, N. V. Pogorelov, and G. P. Zank, CP719, American Institute of Physics, 0-7354-0199-3/04, 133-138, 2004.
- Krimigis, S. M., et al., Voyager 1 exited the solar wind at a distance of ~85 AU from the sun, *Nature*, 426, 45, 2003.
- Krimigis, S. M., T. P. Armstrong, W. I. Axford, C. O. Bostrom, C. Y. Fan, G. Gloeckler, and L. J. Lanzerotti, The Low Energy Charged Particle (LECP) experiment on the Voyager spacecraft, *Space Sci. Rev.*, 21, 329, 1977.

- Kurth, W. S., and D. A. Gurnett, Plasma waves as indicators of the termination shock, *J. Geophys. Res.*, 98, 15,129, 1993.
- McDonald, F. D., et al., Enhancement of energetic particles near the heliospheric termination shock, *Nature*, 426, 48, 2003.
- Roelof, E. C., et al., Velocity extraction from angular distributions of energetic particles (in preparation), 2005.
- Stone, E. C., and A. C. Cummings, Estimate of the Location of the Solar Wind Termination Shock, *Proceedings of the 27th Internat Cosmic Ray Conf.*, 07, 2001.
- Stone, E. C., News from the Edge of Interstellar Space, *Science*, 293, 55, 2001.
-