

10^o ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ
ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ,
ΤΑΣΕΙΣ,
ΕΠΙΤΕΥΓΜΑΤΑ
ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ
ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΟΣ Β'

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ
ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ
ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ**

**ΕΝΩΣΗ
ΕΛΛΗΝΩΝ
ΦΥΣΙΚΩΝ**

ΛΟΥΤΡΑΚΙ 2004

Ηλιακή διαπλανητική και γεωμαγνητική καταιγίδα της 28ης Οκτωβρίου 2003: Παρατηρήσεις ηλιακών φαινομένων και επακόλουθων γεγονότων Forbush από τον ηλιακό φασματογράφο Artemis-IV και το μετρητή νετρονίων του Πανεπιστημίου Αθηνών

Κ. Καρούμπαλος⁽¹⁾, Ξ. Μονάζ⁽²⁾, Ε. Μαυρομιχαλάκη⁽³⁾, Π. Πρέκα-Παπαδήμα⁽²⁾, Γ. Σουβατζόγλου⁽³⁾, Χ. Σαρλάνης⁽³⁾, Α. Χείλαρης⁽²⁾, Α. Κοντογεώργος⁽⁶⁾, Π. Τουτουπής⁽⁶⁾, Ι.Μ. Πολυγιαννάκης⁽²⁾, Μ. Γεροντίδου⁽³⁾, Χ. Πλαΐνηκη⁽³⁾, Κ. Αλυσανδράκης⁽⁴⁾, Σ. Τάτσης⁽⁴⁾, J.L.Bougeret⁽⁵⁾, G. Dumas⁽⁵⁾

1. Dept. of Informatics, University of Athens, Panepistimiopolis Zografos, GR-15783, Athens, Greece
2. Section of Astrophysics, Astronomy and Mechanics, Dept. of Physics, University of Athens, Panepistimiopolis Zografos, GR-15784, Athens, Greece.
3. Nuclear and Particle Physics Section, Dept. of Physics, University of Athens, Panepistimiopolis Zografos, GR-15783 , Athens, Greece.
4. Section of Astro-Geophysics, University of Ioannina, GR-45110, Ioannina, Greece.
5. Observatoire de Paris, Dept. De Recherche Spatial, CNRS UA 264, F-92195 Meudon Cedex, France.
6. Dept. Of Electrical Engineering , Technological Education Institute of Lamia, Lamia, Greece.

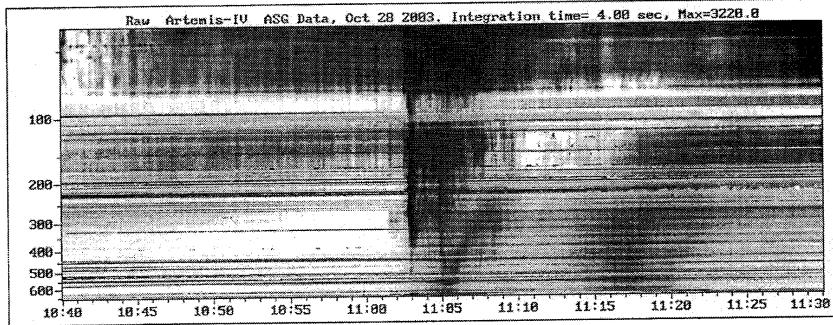
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσπάθεια πρόγνωσης του διαστημικού καιρού (δηλαδή των μεταβολών στο διαστημικό περιβάλλον που επηρεάζουν τη Γη), συνίσταται στη μελέτη αφ' ενός των έκτακτων φαινομένων της ηλιακής δραστηριότητας και αφ' ετέρου στην επίδραση των εξ αυτών διαπλανητικών διαταραχών στη μαγνητόσφαιρα και το γήινο περιβάλλον. Οι πλέον έντονες γεωμαγνητικές καταιγίδες προέρχονται από στεμματικές εκροές μάζας (CMEs) και εκλάμψεις οι οποίες συχνά αλλά όχι πάντα συνοδεύονται ή προηγούνται ηλιακών φασματογράφων τύπου II και IV. Αποτέλεσμα μεγάλων ηλιακών εκρήξεων και των εξ αυτών διαπλανητικών διαταραχών που κατευθύνονται προς τη Γη είναι η καταγραφή έκτακτων φαινομένων της κοσμικής ακτινοβολίας στους επίγειους μετρητές νετρονίων (μειώσεις Forbush, αυξήσεις της ακτινοβολίας στη Γη κ.λπ.). Οι μετρητές νετρονίων καταγράφουν την αδρονική συνιστώσα της δευτερογενούς ακτινοβολίας η οποία συνδέεται με τις πρωτογενείς κοινωνικές ακτίνες. Από τον Νοέμβριο 2000 λειτουργεί ο σταθμός κοινωνικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών και παρέχει δεδομένα στο διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο. Οι μετρήσεις της κοινωνικής ακτινοβολίας είναι σημαντικότατες για την μελέτη του διαστημικού καιρού. Επίσης ο ηλιακός φασματογράφος ARTEMIS-IV του Πανεπιστημίου Αθηνών καταγράφει την ηλιακή φασματογράφη στην περιοχή συγνοτήτων 20-650 MHz. Ένας από τους στόχους των δύο ερευνητικών ομάδων είναι ο συνδυασμός των παρατηρήσεων των δύο οργάνων με σκοπό την συνδυασμένη μελέτη των έκτακτων φαινομένων της ηλιακής δραστηριότητας με αντίστοιχα φαινόμενα διαστημικού καιρού στην γήινη μαγνητόσφαιρα. Στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας παρουσιάζουμε για πρώτη φορά τα έκτακτα ηλιακά γεγονότα της 28ης Οκτωβρίου 2003, όπως αυτά καταγράφηκαν από το ARTEMIS-IV και το μετρητή νετρονίων του Πανεπιστημίου Αθηνών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλιακή δραστηριότητα προκαλεί διαπλανητικά και γεωμαγνητικά φαινόμενα, καταιγίδες κοινωνικών ακτίνων (KA) και διαταραχές στο διαστημικό καιρό. Η μελέτη αυτών των φαινομένων απαιτεί συνδυασμένες παρατηρήσεις των διαφόρων γεγονότων. Οι φασματογράφεις τύπου II δηλώνουν το πέρασμα ενός μαγνητούδροδυναμικού κύματος κρούσης διαμέσου του ηλιακού στέμματος. Οφειλονται είτε σε ενεργητικά ηλεκτρόνια που επιταχύνονται στο μέτωπο κρούσης, είτε σε διαταραχές του πλάσματος που προέρχονται από ηλιακή έλαμψη ή από CME. Φασματογράφεις τύπου IV. Οι φασματογράφεις τύπου IV αντιπροσωπεύουν την ακτινοβολία ενεργητικών ηλεκτρόνιων μέσα σε μαγνητικές δομές, CMEs και πλασμοειδή. Οι CMEs είναι εκροές πλάσματος από την ηλιακή ατμόσφαιρα που εκτινάσσονται στο διαπλανητικό χώρο. Όταν υπάρχουν ταυτόχρονα CMEs και μέτωπα κρούσης, το αποτέλεσμα στην κοινωνική ακτινοβολία είναι μειώσεις Forbush που καταγράφονται από τους μετρητές νετρονίων του Παγκοσμίου Δικτύου. Ένα άλλο φαινόμενο που παρατηρείται στην κοινωνική ακτινοβολία είναι οι μικρής κλίμακας αυξήσεις της έντασης της KA γνωστές σαν GLEs, που συνδέονται με τις φοιτητικές σημειώσεις στην ηλιακή φασματογράφη της Γης.

Ο πολυκαναλικός ραδιοφασματογάρφος ARTEMIS-IV βρίσκεται στο διορυφορικό σταθμό του OTE Θερμοτήλων (Σκάρφεια) και χρησιμοποιείται από το Παν/μίο Αθηνών. Καλύπτει την περιοχή συχνοτήτων από 20-650 MHz χρησιμοποιώντας δύο δέκτες παράλληλα: α) Τον «Global Spectral Analyser (ASG)» που είναι φασματογράφος σάρωσης (sweep frequency) και καλύπτει όλη την περιοχή 20-650 MHz με ρυθμό δειγματοληψίας 10 κατεργαστές ανά δευτερόλεπτο και β) Τον «Acousto-Optic Spectrograph (SAO)» που είναι πολυκαναλικός ακουστο-οπτικός δεκτής μεγάλης ευασθθσίας και υψηλού ρυθμού δειγματοληψίας (100 καταγραφών ανά δευτερόλεπτο) στην περιοχή 265-450 MHz. Ο ημερήσιος όγκος δεδομένων ανέρχεται στα 1.2 GB (Caroubalos et al, 2001).



Σχήμα 1 Δυναμικό φάσμα του ARTEMIS IV στα 650 MHz – 20 MHz. Στο κατακόρυφο ύξονα φαίνεται η συχνότητα που αντιστοιχεί σε κάποιο στράμα εκπομπής. Η ένταση σε κάθε σημείο του σχήματος είναι ανάλογη της φορής ακτινοβολίας σε κάθε χρονική στιγμή και συχνότητα. Η σκοτεινή περιοχή γύρω στα 100 MHz είναι φίλτρο αποκοπής παρεμβολών από τη ζώνη των FM.

Ο Μετρητής Νερονίων του Παν/μίου της Αθήνας είναι ένας σύγχρονος σταθμός συνεχούς καταμέτρησης της αδρονικής συνιστώσας της κοσμικής ακτινοβολίας (κατώφλι δυσκαμψίας 8.53 GV), παρέχοντας δεδομένα πραγματικού χρόνου στο διαδίκτυο (<http://cosray.phys.uoa.gr>). Οι μετρήσεις του σταθμού επεξεργάζονται αυτόματα με τη βοήθεια αλγορίθμων και αιωνιούν κατάλληλη μορφή και συμβατότητα με τα δεδομένα άλλων σταθμών έτσι ώστε να συνεκτιμώνται στην προσπάθεια πρόγνωσης που γίνεται στα παγκόσμια επίπεδο. Πρόσφατα ο σταθμός αυτός έγινε το κέντρο του Παγκοσμίου δικτύου Μετρητών Νερονίων 'πραγματικού χρόνου' με σκοπό την πρόβλεψη ενεργητικών σωματιδίων που δημιουργούν προβλήματα στα επίγεια τεχνολογικά και διορυφωτικά συστήματα. Αποτελείται από έξι αναλογικούς απαριθμητές τύπου BP28 Chalk River Canada, που περιέχουν BF3 επιλογτισμένο με το ισότοπο B¹⁰ (Simpson, 2000). Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για τη μελέτη ανισοτροπιών των KA, ενεργειακών φασμάτων, μαγνητοσφαιρικών φαινομένων κ.λ.π (Mavromichalaki et al, 2001).

Σ' αυτή την έργασία παρασκεύαστονται τα φαινόμενα της 28ης Οκτωβρίου 2003 που είναι το αποτέλεσμα αυστηρής μεγάλης ηλιακής δραστηριότητας, όπως αυτά καταγράφηκαν από τον ραδιοφασματογάρφο ARTEMIS-IV και το Μετρητή Νερονίων του Παν/μίου Αθηνών.

ΑΣΥΝΗΘΙΣ ΕΞΑΡΣΗ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

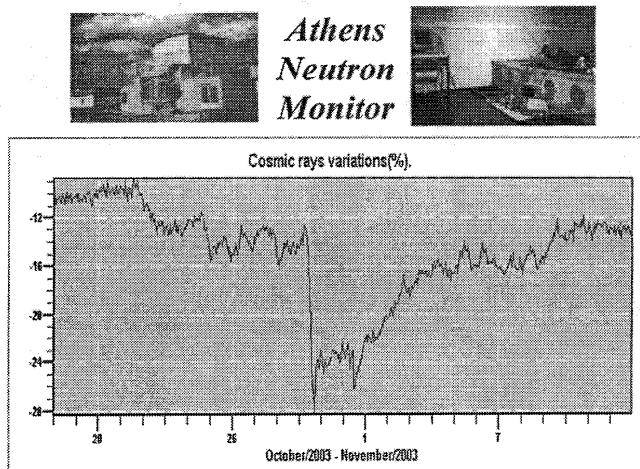
Από τα μέσα του Ιουνίου μέχρι και το πρώτο μισό του Οκτωβρίου 2003 η ηλιακή δραστηριότητα ήταν σχετικά χαμηλή, γεγονός αναμενόμενο δεδομένον ότι ο παρόν ηλιακός κύκλος βρίσκεται στη φθίνουσα φάση του. Στο χρονικό διάστημα αυτό δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες ή πολύπλοκης δομής ηλιακές κηλίδες, ούτε και μεγάλες εκλαμψίες. Η κατάσταση άλλαξε απότομα στο δεύτερο ημίτονο του Οκτωβρίου 2003 με την εμφάνιση της ομάδας κηλίδων 484 στο ανταποκριτικό κέλιο του Ήλιου. Στις 22-23 Οκτωβρίου το μέγεθος της ομάδας 484 είχε αυξηθεί αιχόμα περισσότερο, ενώ έκανε την εμφάνιση της στην ορατή πλευρά του ήλιου μία ακόμα μεγαλύτερη ομάδα κηλίδων, η 486. Στις συγκεκριμένες ομάδες παρατηρήθηκαν τις επόμενες μέρες πολλές εκλαμψίες εκ των οποίων η έκλαμψη της 23ης Οκτωβρίου (ταξινόμηση GOES X5.4) αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εκλαμψίες των τελευταίων ετών. Επίσης στις 26 Οκτωβρίου 2003 εμφανίστηκαν δύο μεγάλες εκλαμψίες στις 06:50 UT και 18:15 UT αντίστοιχα και κάθε μία από αυτές συνοδεύτηκε από CME κατευθυνόμενη προς τη γη. Η ένταση του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου ήταν 12.3pT, ενώ η συνιστώσα είχε διεύθυνση προς νότο και μέτρο 1.7pT.

Τις πρωινές ώρες της 28ης Οκτωβρίου παρατηρήθηκε μία από τις ισχυρότερες εκλαμψίες που έχουν καταγραφεί εδώ και χρόνια, και σίγουρα η μεγαλύτερη έκλαμψη των τελευταίων δύο ετών (X17.2) στην ομάδα 486. Η έκλαμψη άρχισε στις 9:51UT, εμφάνισε μέγιστο στις 11:10 UT και συνοδεύτηκε από CME κατευθυνόμενη προς τη γη. Μία ραδιοέξαρση τύπου II στις 11:02:57 UT ακολούθηκε από ραδιοέξαρση τύπου IV στις 11:04:48 UT, όπως καταγράφηκε στην περιοχή συχνοτήτων από 300MHz μέχρι 20MHz, από το ARTEMIS-IV δίνεται στο σχήμα

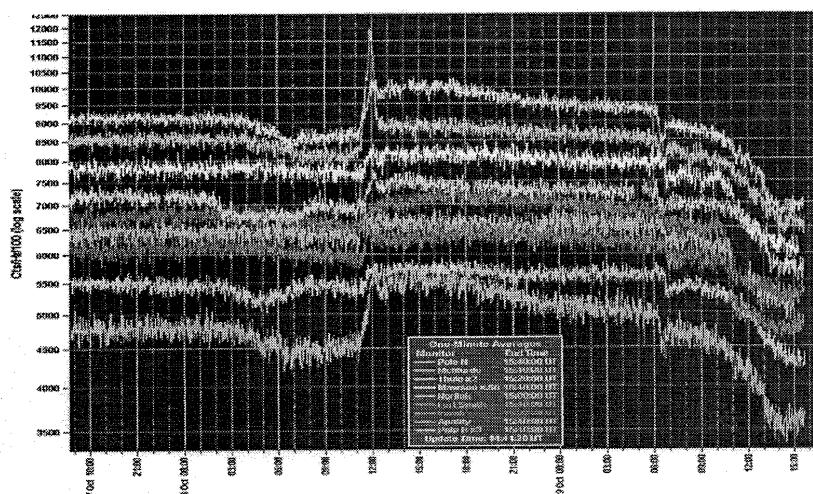
1. Πρίν την έξαρση τύπου II (10:33 UT) παρατηρείται έντονη δραστηριότητα αποτελούμενη από ραδιοέξαρσεις τύπου III. Η ραδιοέξαρση τύπου IV συνεχίζεται και μετά τις 11:40 UT για αρκετές ώρες. Σημειώνεται ότι η έναρξη της ραδιοέξαρσης σχεδόν ταυτίζεται με την έναρξη της Halo CME (~10:24 UT) η οποία έπειτα της έναρξης της έκλαψης (9:51 UT) περίπου ~30 min. Το μέγιστο της έκλαψης (~11:10 UT) συμπίπτει σχεδόν με το ξεκίνημα της ραδιοέξαρσης τύπου IV.

Στο χρονικό διάστημα μεταξύ 9:00-12:00 UT άρχισε να καταγράφεται από το δορυφόρο GOES-12 μία αύξηση στη δορή των πρωτονίων >10000 pfu, για πρωτόνια ενέργειας >10 MeV. Το αποτέλεσμα ήταν ένας ισχυρός καταγραμμός ηλιακής ακτινοβολίας κατηγορίας S4. Λίγο αργότερα καταγράφηκε από τους επίγειους σταθμούς καταμέτρησης της κοσμικής ακτινοβολίας μεγάλη αύξηση στη δορή των πρωτονίων και των νετρονίων.

Το αποτέλεσμα όλης της δραστηριότητας στον Ήλιο είναι η καταγραφή αλλεπάλληλων μειώσεων Forbush στους μετρητές νετρονίων που αρχίζουν από την 22a Οκτωβρίου και συνεχίζονται μέχρι τις 10 Νοεμβρίου 2003 (σχήμα 2). Η συνολική μείωση που κατεγράφη στο σταθμό της Αθήνας ήταν πλάτους 21%, πρωτοφανής στις μετρήσεις των Μετρητών Νετρονίων μεσαίου πλάτους. Η καταγραφή μιας μείωσης Forbush πλάτους 16%



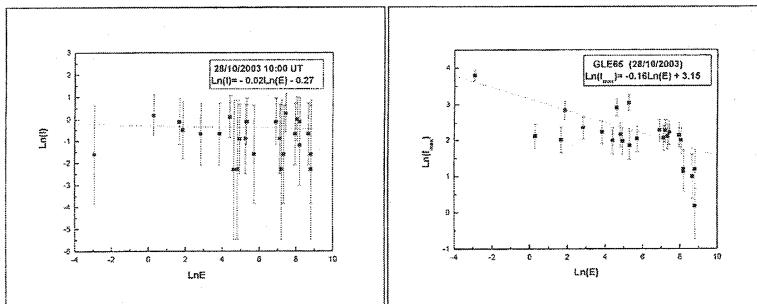
Σχήμα 2 Μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας όπως καταγράφηκαν στο σταθμό κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας από 18/10 – 12/11/2003



Σχήμα 3 Η μεγάλη επίγεια αύξηση της έντασης κοσμικής ακτινοβολίας που καταγράφηκε στους Μετρητές Νετρονίων του Παγκοσμίου δικτύου την 28η Οκτωβρίου 2003 γύρω στις 11:00 UT προερχόμενη από τη μεγάλη έκλαψη στον ήλιο (GLE 65, Greek effect) μία μέρα μετά τη μεγάλη ηλιακή έκλαψη (29 Οκτωβρίου) και στη συ-

νέχεια ενός δεύτερου GLE στις 21.00 UT δείχνει το μέγεθος της ηλιακής δραστηριότητας. Συνολικά καταγράφηκαν τρία GLEs (28 και 29 Οκτωβρίου, 2 Νοεμβρίου) μέσα σε μια εβδομάδα! Το μεγάλο GLE65 της 28ης Οκτωβρίου 2003 που ονομάστηκε "Greek effect" από την συνεργαζόμενη ομάδα του IZMIRAN φαίνεται στο σχήμα 3.

Το ενεργειακό φάσμα του GLE65 με δεδομένα από 25 σταθμούς ΚΑ στην περιοχή μαγνητικής δυσκαμψίας 0.01-7.60 GV μία ώρα πριν την έναρξη (αριστερά) και κατά το μέγιστο (δεξιά) του γεγονότος της 28ης Οκτωβρίου 2003 φαίνεται στο σχήμα 4. Η αύξηση της κλίσης κατά τη διάρκεια του γεγονότος από -0.02 σε -0.16 επιβεβαιώνει την άφιξη σωματιδίων υψηλών ενεργειών.



Σχήμα 4 Ενεργειακό φάσμα του GLE 65 πρίν την έναρξη του γεγονότος (αριστερά) και κατά το μέγιστο του γεγονότος (δεξιά)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Συνδυασμένες παρατηρήσεις του Ηλιακού Ραδιοφασματογράφου ARTEMIS-IV στις Θερμοπύλες και του Σταθμού Κοσμικής Ακτινοβολίας στην Πανεπιστημιούπολη της Αθήνας δίνουν μια εξαιρετική δυνατότητα μελέτης στον Ελληνικό χώρο έκτακτων φαινομένων της ηλιακής δραστηριότητας και των αντίστοιχων φαινομένων στη γη, με σκοπό την πρόβλεψη αντών, όπως ήδη άρχισε να εφαρμόζεται στο σταθμό ΚΑ της Αθήνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Caroubalos, C., Maroulis, D., Patavalis, N. et al.: 2001 Experimental Astronomy., 11, 23.
Mavromichalaki, H., Sarlanis, C., Souvatzoglou, G., Tatsis, S., Belov, A., Eroshenko, E., Yanke, V. and Pchelkin, A.: 2001, Proc. 27th ICRC, Hamburg, 4099.
Simpson, J.A.: 2000 Space Sci. Rev. 93, 11.

Ηλιακός ραδιοφασματογράφος ARTEMIS IV: Ελληνική συμμετοχή στο διαστημικό πρόγραμμα STEREO.

**K. Καρούμπαλος⁽¹⁾, Ξ. Μουσάς⁽²⁾, Π. Πρέκα-Παπαδήμα⁽²⁾, Α. Κοντογεώργος⁽³⁾, Π. Τσιτσιπής⁽³⁾,
Χελιαρης Α.⁽²⁾, Κ. Αλυσανδράκης⁽⁴⁾, J.L.Bougeret⁽⁵⁾, G. Dumas⁽⁵⁾, Πολυγιαννάκης Ι.⁽²⁾**

1. Τμήμα Πληροφοριακής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, Αθήνα
2. Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου , Αθήνα, 15783
3. Τμήμα Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Λαμίας, Λαμία 35100
4. Τομέας Αστρο-Γεωφυσικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα 45110
5. Observatoire de Paris, LESIA, CNRS UA 264, F-92195 Meudon Cedex, France

Περιληψη

Ο ηλιακός ραδιοφασματογράφος ARTEMIS IV λαμβάνει και καταγράφει το δυναμικό φάσμα των ηλιακών ραδιοεκπομπών στην περιοχή 20 – 650MHz. Αποτελείται από μία ακίνητη κεραία 20 – 100 MHz και μια που παρακολουθεί τον ήλιο 100-650 MHz. Το λαμβανόμενο σήμα τροφοδοτεί έναν κλασσικό αναλυτή φάσματος για την πειρική 20-650 MHz με ρυθμό 10 φάσματα/sec και έναν ακουστοοπτικό για την πειρική 270-470 MHz με ρυθμό 100

