

## Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στην πρόγνωση του διαστημικού καιρού: Διεθνής Βάση δεδομένων του Πανεπιστημίου της Αθήνας

Ελένη Χριστοπούλου-Μαυρομιχαλάκη, Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και  
Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής Πανήμενου Αθηνών

### Περίληψη

Οι σύγχρονες εξελίξεις στη Φυσική με τη χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών επιτρέπουν την παρακολούθηση και πιθανόν την πρόγνωση διαδικασιών επικίνδυνων για το γήινο περιβάλλον. Εκρηκτικά φαινόμενα που συμβαίνουν στον Ήλιο, όπως ηλιακές εκλάμψεις και στεμματικές εκπομπές μάζας προκαλούν διαταραχές στο διαπλανητικό χώρο και στη γήινη μαγνητόσφαιρα και επηρεάζουν όχι μόνο την αξιοποίηση και λειτουργία των δορυφορικών και επίγειων τεχνολογιών συστημάτων, το κλίμα και τον καιρό της Γης, αλλά και την καθημερινή μορφή πάνω στη Γη.

Πρόσφατα αναπτύχθηκε ένα καινούργιο πεδίο πρόγνωσης γεγονότων του Διαστημικού περιβάλλοντος (*Space Weather*) μέσω των κοσμικών ακτίνων που αποτελούν μοναδική ενκαίρια διερεύνησης των χαρακτηριστικών του διαπλανητικού χώρου και της γήινης ατμόσφαιρας. Στο σταθμό συνεχούς καταμέτρησης κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας κατασκευάστηκε και λειτουργεί το Παγκόσμιο Δίκτυο Μετρητών Νετρονίων «πραγματικό χρόνου» παρέχοντας στο Διαδίκτυο επεξεργασμένα τα δεδομένα 21 σταθμών κοσμικής ακτινοβολίας (<http://cosray.phys.uoa.gr>), με σκοπό να δώσει προειδοποιητικό σήμα για την άφιξη επικίνδυνης ροής ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων (*Proton events/Ground level enhancements*) ή διαπλανητικής διαταραχής. Ο συνδυασμός των μετρήσεων των σταθμών κοσμικής ακτινοβολίας με τις μετρήσεις των δορυφόρων σε πραγματικό χρόνο θα δώσει την πρόβλεψη των μαγνητικών καταιγίδων του Διαστημικού καιρού με τεράστιες εφαρμογές στη σύγχρονη κοινωνία.

### Εισαγωγή

Η εποχή που διανύουμε σήμερα δικαίως έχει ονομαστεί εποχή της πληροφόρησης. Βασικό στοιχείο πλέον δεν είναι η πληροφορία αυτή καθ' αυτή, αλλά η άμεση μετά-

δοσή της με ασφάλεια και ποιότητα σε κάθε γωνιά του πλανήτη μας. Σήμερα τεχνολογικά έχουμε τη δυνατότητα να μεταφέρουμε όχι μόνο μεμονωμένο κείμενο ή εικόνα σε μεγάλες αποστάσεις αλλά και το συνδυασμό τους με τη μορφή βίντεο, με πολύ μεγάλη ευκρίνεια. Το πρόβλημα της μετάδοσης έχει λυθεί εδώ και πολύ καιρό, και αυτό που απασχολεί πλέον είναι η γρήγορη, ασφαλής και καλής ποιότητας μετάδοση. Η καλή ποιότητα των δεδομένων που μεταδίδονται εξαρτάται από τα συστήματα μετάδοσης που χρησιμοποιούμε, δηλαδή την αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας, τη μέθοδο οργάνωσης της μεταφοράς των δεδομένων, αλλά και από το μέσο μεταφοράς του σήματος. Στην περίπτωση όμως της ασύρματης επικοινωνίας τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Από την εποχή του ασύρματου ξέρουμε τα προβλήματα της ασύρματης μετάδοσης, όπου η χρήση των FM κυμάτων βελτίωσε την κατάσταση στο ραδιόφωνο, η ψηφιακή μετάδοση στη συνδρομητική τηλεόραση έλυσε και αυτή τα προβλήματα της αναλογικής μετάδοσης του σήματος. Σήμερα απασχολεί η μετάδοση βίντεο με τα κινητά τηλέφωνα και η καλή μετάδοση σήματος από τους δορυφόρους που είναι σε τροχιά.

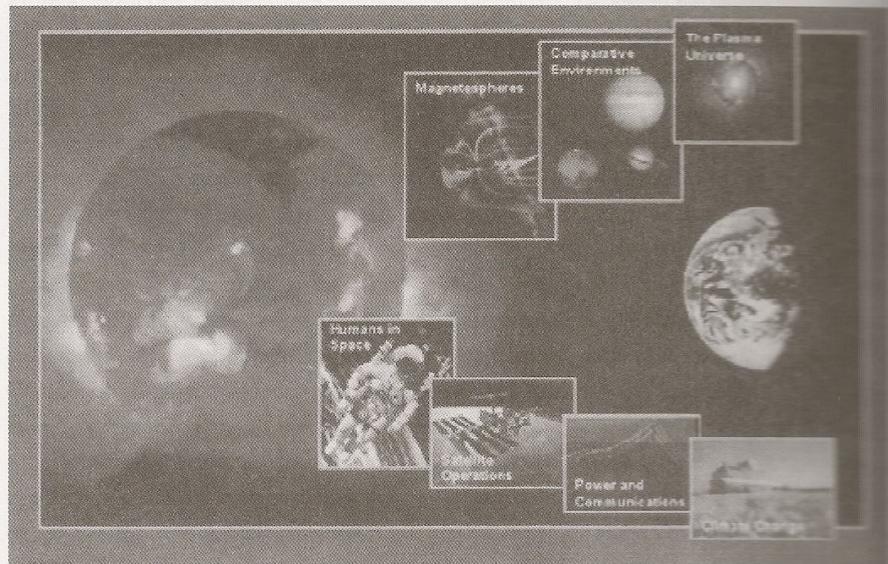
Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών που αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς οδηγεί τις εξελίξεις στη σύγχρονη εποχή. Τα κινητά τηλέφωνα και ο μεγάλος αριθμός των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων που βρίσκονται ήδη σε τροχιά είναι ουσιαστικά η αιχμή της τεχνολογίας. Τα προβλήματα της μετάδοσης του σήματος ειδικά στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων είναι αρκετά γνωστά στο ευρύ κοινό ακόμα και τα δορυφορικά τηλέφωνα έχουν προβλήματα σε ακραίες καταστάσεις. Όμως και τα κινητά αλλά και οι δορυφόροι ως ασύρματα μέσα μεταφοράς δεδομένων μέσα στη Γή ή ατμόσφαιρα έχουν να αντιμετωπίσουν και όλα εκείνα τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διάδοση των σημάτων σε ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα, όπως η ατμόσφαιρα. Οι παρεμβολές στα συστήματα τηλεπικοινωνιών ξέρουμε σήμερα ότι μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και σε διακοπή τους ανάλογα με τα φυσικά φαινόμενα που είναι σε εξέλιξη. Λαμβάνοντας υπόψη μας τη διείσδυση που έχουν σήμερα οι τηλεπικοινωνίες στην καθημερινή ζωή καταλαβαίνουμε τη σημασία που έχει η ομαλή και συνεχής λειτουργία τους.

Πηγή όλων των προβλημάτων που εμφανίζονται σήμερα στη μετάδοση των τηλεπικοινωνιακών σημάτων στην ατμόσφαιρα είναι η έντονη ηλιακή δραστηριότητα. Οι ιονοσφαιρικές στοιβάδες για παράδειγμα μεταβάλλουν το ύψος και την πυκνότητά τους ανάλογα με την ηλιακή δραστηριότητα και επηρεάζουν τη διάδοση των ραδιοφωνικών κυμάτων. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι είναι μερικά από τα πρώτα της θύματα, σήμερα γνωρίζουμε ότι τουλάχιστον τέσσερις τέτοιοι δορυφόροι έχουν καταστραφεί ή κάποιοι άλλοι έχουν υποστεί τροχιακή μετατόπιση από έντονες ηλιακές φαινόμενα.

Ο Ήλιος είναι το πιο κοντινό μας άστρο, στο εσωτερικό του οποίου η παραγωγή της ενέργειας γίνεται με θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Η παραγόμενη ενέργεια μεταφέρεται από το εσωτερικό του στην επιφάνεια και από εκεί διαδίδεται έξω από την ατμόσφαιρα του ώστε και πέρα από την τροχιά του Πλούτωνα τον τελευταίον πλανήτη του ηλιακού μας συστήματος. Ας δούμε όμως σε τι μορφή ακτινοβολείται και διαδίδεται η ενέργεια από τον ήλιο και πώς αυτή δημιουργεί προβλήματα. Πρώτα απ' όλα είναι φωτόνια με ταχύτητες σχετικιστικές, στη μεγαλύτερη πλειοψηφία πρωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ενεργειών, νετρόνια, ηλεκτρόνια και μια μικρή ομάδα από πυρήνες στοιχείων. Όλα τα παραπάνω ξεκινούν από την ηλιακή ατμόσφαιρα και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου. Στην πορεία τους θα συναντήσουν και τη Γη και πολλά από αυτά θα καταγραφούν σε ένα μεγάλο αριθμό από μετρητές που έχουμε σε λειτουργία, αφού αρχικά αντιδράσουν με τα στοιχεία της γήινης ατμόσφαιρας. Μερικοί από τους ανιχνευτές αυτούς είναι τα τηλεσκόπια μιονίων, οι ανιχνευτές cherenkov, οι μετρητές νετρονίων, όπως αυτός που διαθέτει το Πανεπιστήμιο Αθηνών, κ.ά. Η ασπίδα προστασίας της γης σε ότι αφορά τα φορτισμένα σωματίδια είναι η μαγνητόσφαιρα της, ενώ για τα φωτόνια κυρίως η απορρόφησή τους γίνεται κυρίως από τα διάφορα στοιχεία που είναι σε τροχιά στην ατμόσφαιρα. Όμως η μαγνητόσφαιρα, λόγω της έντονης μεταβλητότητάς της, δεν είναι πάντοτε αποτελεσματική στο να προστατέψει τη γη από τη ροή των σωματιδίων που αναφέραμε. Ειδικά στην περίπτωση που στον ήλιο έχουμε πολύ έντονα φαινόμενα, όπως εκλάμψεις (flares) ή στεμματικές εκροές μάζας (CMEs) ή μαγνητικές καταιγίδες, τότε ο αριθμός των σωματιδίων αυξάνεται αρκετά. Αυτά τα σωματίδια ξέρουμε ότι αν φτάσουν μέχρι τη γήινη επιφάνεια μπορούν να προκαλέσουν σε ορισμένες περιπτώσεις καταστροφές.

Τα σωματίδια αυτά είναι επικίνδυνα για πολλούς λόγους. Πρώτα απ' όλα γνωρίζουμε ότι η ροή τους αυξάνει τον ιονισμό της ατμόσφαιρας, τόσο στη γη οπότε και επηρεάζει τη ζωή, όσο και στην ανώτερη ατμόσφαιρα στα στρώματα εκείνα που υπάρχουν οι δορυφόροι ή ακόμα και διαστημικά λεωφορεία που εκτελούν πειράματα σε τροχιά. Έχουμε πολλάνες ειδών προβλήματα από την αυξημένη ροή ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων, οι αστροναύτες κινδυνεύουν από την ακτινοβολία και υπάρχουν περίοδοι όπου λόγω της έντονης ηλιακής δραστηριότητας απαγορεύεται η εργασία στο διαστημικό περιβάλλον, αφενός γιατί η στολή δεν μπορεί να προστατέψει πλήρως και αφετέρου τα ηλεκτρονικά είναι και αυτά ευαίσθητα στην ακτινοβολία. Σε ένα δορυφόρο τα προβλήματα μπορούν να είναι αρκετά σοβαρά σε σημείο που να οδηγήσουν στην καταστροφή του, όπως έχει γίνει στο παρελθόν. Ας δούμε μερικά από αυτά. Τα σωματίδια που φτάνουν στο δορυφόρο είναι κατά κύριο λόγο φορτισμένα πρωτόνια τα οποία κατανέμονται στην επιφάνεια του. Ο δορυφόρος έχει ηλεκτροστατική θωράκιση η οποία είναι ικανοποιητική για να τον προστατέψει από αυτά, σε περιπτώ-

σεις όμως που ο αριθμός των σωματιδίων αυξηθεί αρκετά, λόγω έκτακτων τρίπολων φαινομένων, αυτή μπορεί να «τρυπήσει» και τα σωματίδια πλέον με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος αρκετών Ampere να αρχίσουν να διαρρέουν το εσωτερικό πλανήτη με αποτέλεσμα την καταστροφή των ηλεκτρονικών συστημάτων του. Αν κάπου από τα συστήματα που καταστράφηκε ευθυνόταν για την επικοινωνία του με τη γη ή για τη διατήρησή του στην τροχιά, το αποτέλεσμα είναι προφανές. Επιπλέον ακόμα και με μονωμένα υψηλοενεργειακά σωματίδια μπορεί να περάσουν το περίβλημά του κακό ποδημιούργησουν προβλήματα σε μεμονωμένα ηλεκτρικά στοιχεία των κυριολεπτών του οποία να επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία του. Ας μην ξεχνάμε ότι η εκτροπή από συνόλου από τηλεφωνικές συνδιαλέξεις για παράδειγμα από ένα δορυφόρο σε άλλο, μπορεί να απαιτεί κάποιο χρόνο και κάποια χρηματικά ποσά, η απόλειτη θάνατος ολόκληρου του δορυφόρου έχει τεράστιες συνέπειες τόσο στην απώλεια του πλανήτη όσο και στο κενό που εμφανίζεται στις διατιθέμενες γραμμές, υπηρεσίες, κ.λ. (Σημ. II).



**Σχήμα 1:** Συνέπειες του Διαστημικού καιρού στις ανθρώπινες δραστηριότητες

Στη γη εκτός από το έντονο σέλας τα προβλήματα εμφανίζονται σε μεγάλου μεγέθους διατάξεις. Με τον όρο αυτό εννοούμε για παράδειγμα αγωγούς πετρελαίου και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος. Σε ότι αφορά τους πετρελαιαγωγούς χρησιμοποιούμε «διορθωτικές τάσεις» για να τους προστατέψουμε από την εμφάνιση επαγγελματικών ρευμάτων τα οποία στην περίπτωση έντονων ηλιακών φαινομένων πρέπει

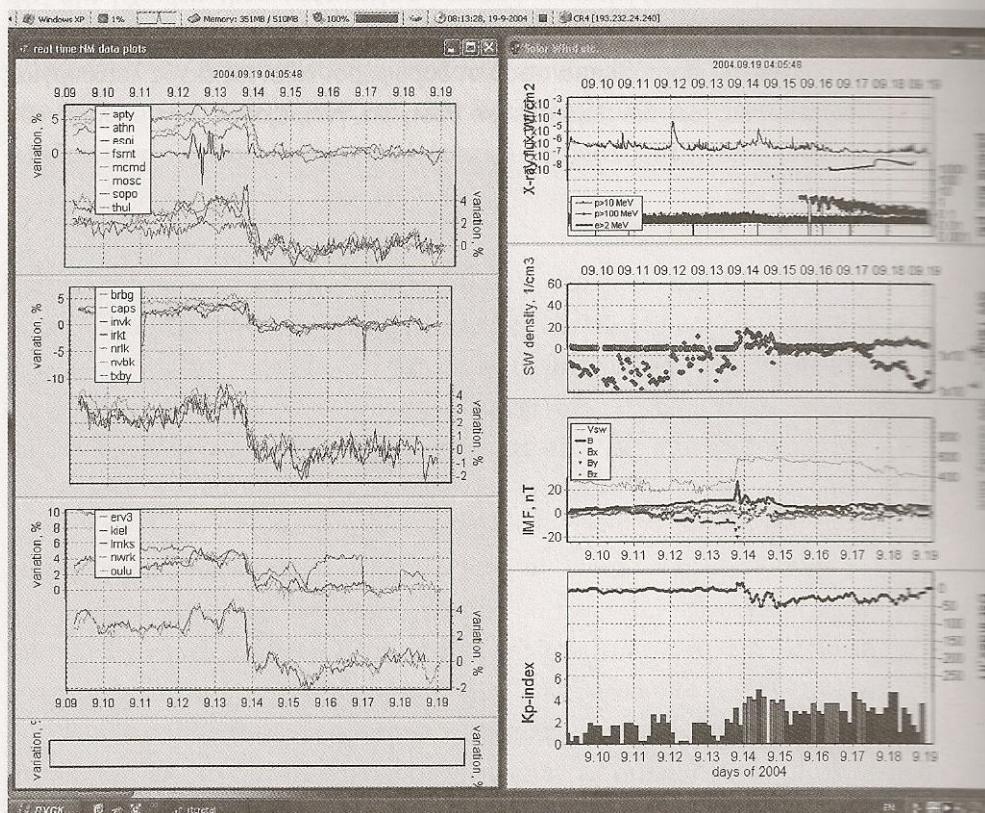
να ενισχύονται και δεύτερον στο γεγονός ότι επαγωγικά ρεύματα στις γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν οδηγήσει ακόμα και σε καταστροφές των μετασχηματιστών, όπως συνέβη στον Καναδά το 1989. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και συνδυάζοντας με το γεγονός ότι η βιομηχανία ηλεκτρονικών κατασκευάζει τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα με όλο και μεγαλύτερη πυκνότητα ολοκλήρωσης τα οποία είναι πιο ευπαθή στην ακτινοβολία, καταλαβαίνουμε ότι στο μέλλον αναμένουμε προβλήματα και στις μνήμες των υπολογιστών, αλλά και σε συσκευές που μπορεί να τα χρησιμοποιούν τόσο στη γη όσο και σε τροχιά. Από τα ανωτέρω φαίνεται ότι υπάρχει η ανάγκη της δημιουργίας ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για την άφιξη των ενεργητικών ηλιακών σωματιδίων στην περιοχή της γης. Τα υπάρχοντα σήμερα τέτοια προγράμματα βασίζονται κυρίως σε δορυφορικά δεδομένα, κάτι το οποίο αποτελεί πρόβλημα αφού οι δορυφόροι τίθενται εκτός λειτουργίας σε αυτές τις περιπτώσεις και δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την εξέλιξη του φαινομένου με κίνδυνο την επαναφορά σε λειτουργία των συστημάτων στην κορύφωση του φαινομένου.

### Παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου

Η ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας αξιοποιώντας το παγκόσμιο δίκτυο Μετρητών Νετρονίων το οποίο έχει στη διάθεσή της, έχει ξεκινήσει μια φιλόδοξη προσπάθεια η οποία στοχεύει στην παραγωγή ενός όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης. Στόχος είναι η προφύλαξη ενός μεγάλου αριθμού δορυφορικών και επίγειων τεχνολογικών συστημάτων τα οποία είναι εναίσθητα στην επίδραση των ενεργητικών ηλιακών σωματιδίων. Το σύστημα βασίζεται στην αξιοποίηση του Παγκόσμιου δικτύου Μετρητών Νετρονίων «πραγματικού χρόνου» που έχει αναπτυχθεί και είναι σε διαρκή λειτουργία από το Δεκέμβριο του 2003. Ας σημειωθεί παράλληλα ότι από την ίδια περίοδο η Αθήνα έχει γίνει και παγκόσμιο κέντρο συλλογής των δεδομένων των Μετρητών Νετρονίων «πραγματικού χρόνου» χάρη στη νέα βάση δεδομένων που έχει αναπτύξει και διαχειρίζεται.

Ας δούμε δόμως τι είναι ο μετρητής νετρονίων που αποτελεί την καρδιά του συστήματός μας. Οι μετρητές νετρονίων (Super NM64) είναι αναλογικοί απαριθμητές τύπου BP28 Chalk River που περιέχουν  $BF_3$ , με πρόσμιξη  $^{10}B$ . Περιβάλλονται από πολυαιθυλένιο που μετριάζει τις ενέργειες των σωματιδίων στις θερμικές ενέργειες και μολύβδινη θωράκιση που δρα σαν παραγωγός σωματιδίων. Τέλος ένα περίβλημα πολυαιθυλενίου ανακλά τις άλλες συνιστώσες της κοσμικής ακτινοβολίας και καταγράφεται μόνο η αδρονική συνιστώσα. Τα νετρόνια της κοσμικής ακτινοβολίας (γαλαξιακά και ηλιακά) που φθάνουν στην επιφάνεια της Γης καταγράφονται από τους μετρητές μας.

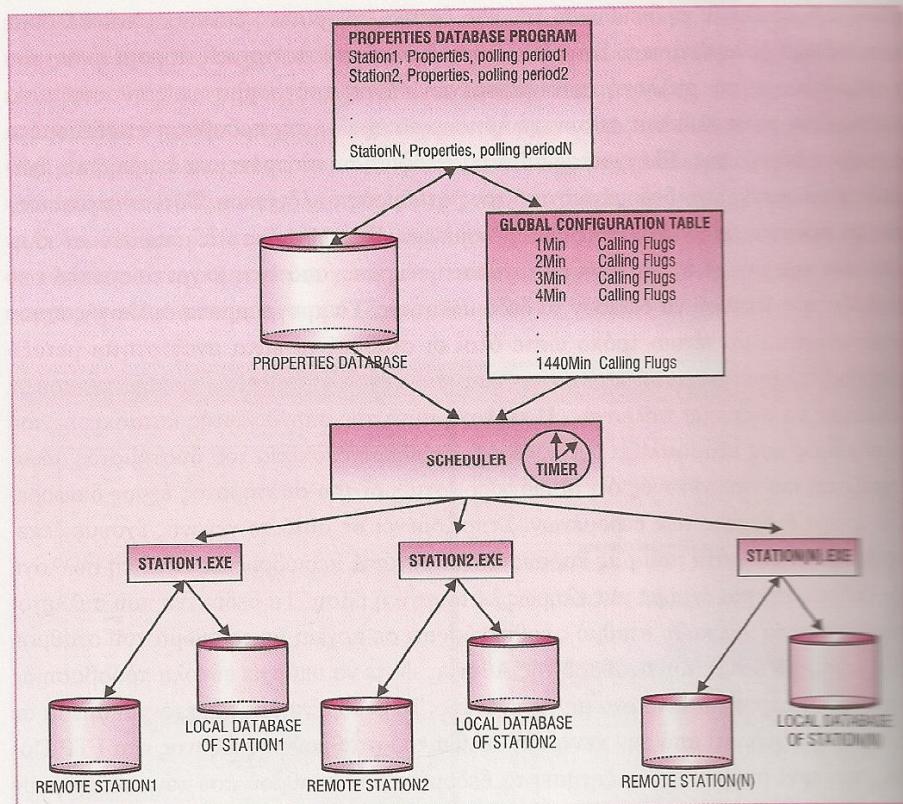
Ο Σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας της Αθήνας είναι ο έκτος παγκοσμίως που συγχρονίστηκε με παροχή δεδομένων στο διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο. Οικούμενοι και περισσότεροι σταθμοί ανανεώνουν το σύστημα καταγραφής τους. Η τεχνολογία «πραγματικού χρόνου» έχει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς τα δεδομένα είναι σε νεχή ροή, αξιόπιστα, συγκρίσιμα με άλλων σταθμών, και ουσιαστικά ακολουθούν φαινόμενα που μας απασχολούν τη στιγμή που αυτά πραγματικά εξελίσσονται. Επίσημα δεδομένα από 25 σταθμούς κοσμικής ακτινοβολίας που βρίσκονται κατανεμημένα σε ολόκληρο τον πλανήτη συγκεντρώνονται στο σταθμό της Αθήνας, έτοιμα για φαρμογές στο Διαστημικό καιρό (Σχήμα 2).



**Σχήμα 2:** Διαχρόνιμα *on-line* α) της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας από το Παρατηρητήριο

όνομα του σταθμού, τη διεύθυνσή του στο δίκτυο, το χρονικό διάστημα που θέλουμε να κατεβάζει δεδομένα, κ.ά. Στην ίδια βάση έχουμε και τις αρχικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη συλλογή των δεδομένων. Ένα πρόγραμμα με την ονομασία «Scheduler» το οποίο είναι σε συνεχή λειτουργία έχει άμεση πρόσβαση στα δεδομένα της παραπάνω βάσης. Ελέγχοντας αυτά θα αποφασίσει αν πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία συλλογής των δεδομένων από τους σταθμούς του δικτύου. Τότε ενεργοποιούνται τα προγράμματα συλλογής των δεδομένων. Σημειώνουμε ότι μπορούν να κληθούν ανά πάσα στιγμή, ανάλογα με τις απαιτήσεις μας, από ένας μέχρι το σύνολο των σταθμών του δικτύου να δώσουν τα δεδομένα τους. Τα προγράμματα συλλογής έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε όλοι οι σταθμοί να είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, οπότε αν εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα σε έναν από αυτούς να μην καταρρέει ολόκληρο το σύστημα συλλογής. Η επιλογή αυτή της σπονδυλωτής κατασκευής του συστήματός μας εξασφαλίζει όχι μόνο την καλύτερη εποπτεία του συστήματος, αλλά στηρίζεται και στο γεγονός ότι οι διάφοροι σταθμοί του συστήματος έχουν διαφορετικό τρόπο διάθεσης των δεδομένων. Στηριζόμενοι σε αυτό το γεγονός έχουμε ξεπέρασει τα προβλήματα που μας παρουσιάστηκαν κατά περιόδους ως προς τη συλλογή των δεδομένων και έχουμε μια πλήρως λειτουργική βάση. Τα δεδομένα που συλλέγονται ξεχωριστά για κάθε σταθμό αποθηκεύονται σε αρχεία με το όνομα του σταθμού στον κεντρικό server του σταθμού της Αθήνας, ώστε να υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αυτά για επεξεργασία ανάλογα με τις ανάγκες. Τα δεδομένα μας παρέχονται άμεσα σε όποιον ενδιαφέρεται από την κεντρική σελίδα του σταθμού της Αθήνας στο FTP Domain και εκεί μπορεί να αναζητήσει τα δεδομένα του σταθμού που τον ενδιαφέρουν και να τα κατεβάσει στο δικό του υπολογιστή (Σχήμα 3).

Στις υπηρεσίες που παρέχονται άμεσα εκτός των δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, δίνονται γραφήματα που ανανεώνονται συνεχώς με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από τους μετρητές νετρονίων, και δορυφορικά δεδομένα όπως τη ροή στις ακτίνες  $X$ , αγρίων σαμαριών, τη θέρμοκρασία του ηλιακού ανέμου, την πυκνότητα του ηλιακού ανέμου, την ένταση του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου, την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου, και τους γεωμαγνητικούς δείκτες  $K_p$  και  $D_{st}$  τα δεδομένα αυτά δίνουν μια πλήρη εικόνα για το διαπλανητικό χώρο. Ένα παράδειγμα δίνεται στο σχήμα 2. Στα πλαίσια της ανάλυσης που πραγματοποιύμε μέσω της Παγκόσμιας Φασματογραφικής Μεθόδου χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του δικτύου, έχουμε αποτελέσματα ως προς την πυκνότητα της Κοσμικής Ακτινοβολίας, τις φασματικές παραμέτρους αυτής και τις τρεις συνιστώσες του διανύσματος της ανισοτροπίας για κάθε ώρα. Αρκετά από αυτά τα δεδομένα παρέχονται στο δίκτυο σε πραγματικό χρόνο για την περιγραφή, όσο το δυνατό καλύτερα, του τι συμβαίνει στην ηλιόσφαιρα. Τέλος έχουμε αναπτύξει το πρόγραμμα GLE ALERT για την πρόγνωση των επανζήσεων της έντα-



**Σχήμα 3:** Διάταξη των συστήματος συλλογής δεδομένων του Παγκοσμίου Δίκτυου Μετρητών Νετρονίων «πραγματικού χρόνου» του Πανεπιστημίου Αθηνών.

σης της κοσμικής ακτινοβολίας, οι οποίες είναι υπεύθυνες για όλα τα προβλήματα στην ηλεκτρονικά, τις τηλεποικινώνεις, τις γραμμές μετάδοσης ενέργειας κ.ά. Στο πρόγραμμα GLE ALERT αξιοποιούμε τα δεδομένα που μας παρέχει το δίκτυο των μετρητών νετρονίων που έχουμε κατασκευάσει και με βάση τα δεδομένα των σταθμών που έχουμε είμαστε σε θέση να παρέχουμε ένα ασφαλές και έγκαιρο σήμα συναγερμού που σωματίδια τα οποία θα φτάσουν στην επιφάνεια της γης.

### Μέθοδος πρόβλεψης επικίνδυνων σωματιδίων

Κατά τη διεθνή βιβλιογραφία τα επικίνδυνα φαινόμενα που μπορούν να παρουσιασθούν και να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας υψηλής ανάλυσης, σύμφωνα με την ταξινόμηση της NOAA, είναι οι κλίμακες SS

(Extreme Solar Radiation Storms), S4 (Severe Solar Radiation Storms) και S3 (Strong Solar Radiation Storms). Οι καταγίδες αυτές ενέχουν βιολογικούς κινδύνους (υψηλές δόσεις ακτινοβολίας για πληρώματα διαστημοπλοίων και αεροπλάνων με επιβάρυνση ανάλογη με 100 ακτινογραφίες θώρακος). Επίσης προκαλούν καταστροφικά αποτελέσματα στη λειτουργία δορυφόρων και αεροπλάνων. Στο παρελθόν καταγράφηκαν απώλειες δορυφόρων εξαιτίας της καταστροφής της μνήμης του τμήματος πλοιόγησης, μόνιμες βλάβες στους συλλέκτες ηλιακής ενέργειας, απώλεια HF επικοινωνίας και σφάλματα στον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης του δορυφόρου.

Οι μέχρι σήμερα προσπάθειες πρόγνωσης βασίστηκαν σε μετρήσεις από αισθητήρες δορυφόρων. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν δύο βασικά μειονεκτήματα. Δεν μπορούν να ανιχνεύσουν τα πολύ μεγάλης ενέργειας σωμάτια, τα οποία όμως αποτελούν και τους βασικότερους πρόδρομους του φαινομένου και δεν έχουν μεγάλη ενεργό διατομή και επομένως παρέχουν μετρήσεις μεγάλου στατιστικού σφάλματος.

Η δυσκολία να εντοπιστούν έγκαιρα και με μεγάλη ακρίβεια τα σωματίδια που είναι πρόδρομοι ενός μεγάλου πρωτονικού γεγονότος μπορεί να ξεπεραστεί χρησιμοποιώντας μετρήσεις από τους επίγειους σταθμούς κοσμικής ακτινοβολίας. Εκμεταλλευόμενοι τη μεγάλη τους ενεργό επιφάνεια (μερικών τ.μ.) και το γεγονός ότι μπορούν να καταγράψουν σωματίδια μεγαλύτερης ενέργειας από αυτά που καταγράφουν οι δορυφόροι, είναι δυνατό να εντοπιστεί γρηγορότερα η αρχή ενός τέτοιου γεγονότος και επομένως να επιτευχθεί πιο έγκαιρη πρόγνωση.

Η μέθοδος πρόβλεψης που άρχισε να εφαρμόζεται στο σταθμό της Αθήνας έχει δύο σκέλη:

- α) πρόβλεψη του χρόνου έναρξης των GLEs και**
- β) πρόβλεψη των μαγνητικών καταιγίδων**

Η βασική ιδέα του πρώτου σκέλους στηρίζεται στο πρότυπο Dorman (2004) κατά το οποίο σωματίδια πολύ υψηλών ενέργειών ( $> \text{GeV/nucleon}$ ) που οφείλονται σε μεγάλες ηλιακές εκλάμψεις, έχουν πολύ μεγαλύτερο συντελεστή διάχυσης και φθάνουν στη Γη 8-20 min μετά την επιτάχυνσή τους, ενώ ο μεγάλος όγκος των σωματιδίων μικρής και μεσαίας ενέργειας που προκαλούν επικίνδυνες καταστάσεις στα ηλεκτρονικά συστήματα φθάνουν 30-60 min αργότερα.

Το δεύτερο σκέλος στηρίζεται στις προσπάθειες που έχουν γίνει από την ομάδα του IZMIRAN για πρόβλεψη των μειώσεων Forbush (FDs) μελετώντας την ανισοτροπία των κοσμικών ακτίνων που εμφανίζεται πριν από αυτά τα γεγονότα (pre-dreases και preincrease effects) χρησιμοποιώντας την μέθοδο της «global spectrograph survey» και «ring of stations» του Παγκόσμιου Δικτύου Μετρητών Νετρονίων.

Οι μετρητές νετρονίων (Super NM64) έχουν μεγάλο ρυθμό καταμέτρησης και είναι πολύ ευαίσθητοι και αξιόπιστοι και καθιστούν δυνατή την παρατήρηση και μικρής

κλίμακας μεταβολών. Η τοποθέτηση πολλαπλών ανιχνευτών στο σταθμό της Αθήνας έχει αυξήσει το ρυθμό καταμέτρησης. Ένα επιπλέον κριτήριο επιλογής της μεθόδου αυτής αποτελεί και η θέση του σταθμού της Αθήνας. Ο σταθμός έχει κατακόρυφο πετώφλι δυσκαμψίας 8.53 GeV που αντιστοιχεί σε ενέργειες 10 έως 30 GeV πρωτογενών κοσμικών ακτίνων και επομένως μπορεί να διακρίνει ηλιακά από γαλαξιακά νετρόνια, δεδομένου ότι το άνω όριο των σωματιδίων που επιταχύνονται στον ήλιο κυματίζουν από 5 έως 10 GeV (μεγάλα πρωτονικά γεγονότα).

## Συμπεράσματα

Το Παγκόσμιο Δίκτυο των επίγειων σταθμών μπορεί να δίνει αξιόπιστη πληροφορία για τις κοσμικές ακτίνες, αλλά τουλάχιστον ένα έτος μετά τις παρατηρήσεις και χρειάζονται τουλάχιστον δύο χρόνια για τη συλλογή των δεδομένων και τον υπολογισμό της διαφορικής πυκνότητας και ανισοτροπίας των κοσμικών ακτίνων. Η χρήση επομένων αυτών των δεδομένων σε τόσο καθυστερημένη μορφή είναι αδύνατη για την άμεση παρακολούθηση του Διαστημικού καιρού. Η εγκατάσταση σύγχρονων σταθμών κοσμικής ακτινοβολίας από το 1997, όπου συλλέγονται, αναλύονται και πρέχονται οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας σε «πραγματικό χρόνο» αποτελεί το αρχικό βήμα για την ένταξη των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων στις μελέτες του Διαστημικού καιρού. Η χρήση δεδομένων «πραγματικού χρόνου» είναι τελείως διαφορετική από τα αρχειοθετημένα δεδομένα και πιο αποδοτική.

Το Παγκόσμιο Δίκτυο Μετρητών Νετρονίων «πραγματικού χρόνου» που έγινε στο Πανεπιστήμιο Αθηνών είναι μια πρωτοποριακή και σύγχρονη εφαρμογή των δυνατότήτων που μας παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία. Στην ανάπτυξή του έχουν αξιοποιηθεί όλες οι δυνατότητες που μας παρέχει το δίκτυο ως προς τη διασύνδεση των σταθμών που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία του πλανήτη. Χρησιμοποιούνται όλες οι σύγχρονες τεχνολογίες για την κατασκευή και σωστή λειτουργία και διαχείριση της βάσης δεδομένων που έχει δημιουργηθεί. Λαμβάνοντας υπόψη μας ότι η χώρα μας διθέτει πλέον ένα τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο σε τροχιά, έναν αγωγό φυσικού αερίου και ένα υπό κατασκευή αγωγό πετρελαίου στο έδαφός της, στα πλαίσια της προστασίας των τεχνολογικών συστημάτων από την έντονη ηλιακή δραστηριότητα με τη χρήση ενός πιο εξελιγμένου συστήματος από αυτά που υπάρχουν σε λειτουργία σήμερα από τις κρατικές και μη υπηρεσίες, η προσπάθεια της ομάδας κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας μέσω της χρήσης του δικτύου που έχει αναπτύξει για επιστημονική έρευνα, γίνεται όλο και πιο αναγκαία και επίκαιρη. Ήδη απεταιρείες Space Imaging Europe (Διαστημικής απεικόνισης μέσω του δορυφόρου IKONOS) και Com-Tonet (μεταφοράς δεδομένων εμπορικών δικτύων) συμμετέχουν

στα προγράμματα του σταθμού και ενδιαφέρονται για το προειδοποιητικό σήμα.

## Ευχαριστίες

Η έρευνα αυτή υποστηρίζεται από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Πανεπιστημίου Αθηνών και τη Γενική Γραμματεία Έρευνας Τεχνολογίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στις ομάδες κοσμικής ακτινοβολίας του IZMIRAN της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών (Drs. A. Belov, E. Eroshenko, V. Yanke) και στην αντίστοιχη ομάδα του Πανεπιστημίου Αθηνών (Μ. Γεροντίδου, Γ. Μαριάτος, Α. Παπαϊωάννου, Χ. Πλαΐνακη, Χ. Σαρλάνης, Γ. Σουβατζόγλου, Σ. Τάτσης, Π. Νιχωρίτη) για την πρωτοποριακή σε παγκόσμια κλίμακα δουλειά τους.

## Βιβλιογραφία

- Dorman, L.I., Pustilnik, A., Sternlieb, A., Zukerman, I.G., Belov, A. Eroshenko, E., Yanke, V., Mavromichalaki, H., Sarlanis, C., Souvatzoglou, G., Iucci, N., Villoresi, G., Fedorov, Yu., Shakhov, B.A. and Murat, M.: «Monitoring and Forecasting of great solar proton events using the Neutron Monitor Network in real time», *IEEE for Plasma Science* 32, 4, 1, 2004.
- Mavromichalaki H., Sarlanis, C., Souvatzoglou, G., Tatsis, S., Belov, A., Eroshenko, E., Yanke, V. and Pchelkin, A.: «Athens Neutron Monitor and its aspects in the cosmic-ray variations» *Proc. 27<sup>th</sup> ICRC 2001 (Hamburg)* 10, 4099, 2001.
- Mavromichalaki H., Yanke, V., Dorman, L., Iucci, N., Chillingarian, A. and Kryakunova, O.: «Neutron Monitor Network in Real Time and Space Weather» *NATO Science Series monograph «Effects of Space Weather on Technology Infrastructure»*, 176, 301, 2004.