

4ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο (Καλαμπάκα) 2001

ΓΑΛΑΞΙΑΚΗ ΚΟΣΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΝ ΙΟΥΛΙΟ ΤΟΥ 1987

Ε. Μαυρομιχαλάκη¹ και Β. Πετρόπουλος²

- ¹ Τομέας Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων, Τμήμα Φυσικής, Παν/μιο Αθήνας, Παν/πολη-Ζωγράφου 15771 ΑΘΗΝΑ
² Κέντρο Ερευνών Αστρονομίας και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών της Ακαδημίας Αθηνών, Αναγνωστοπούλου 14, 10673 ΑΘΗΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταβολή της έντασης της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας (ΚΑ) στις ενέργειες των Μετρητών Νετρονίων (Ρώμη NM-64, 6.32 GV) ερευνήθηκε κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών κατά τα έτη 1986-1987 που συμπίπτει με το ελάχιστο του 22^{ου} ηλιακού κύκλου, αλλά και με την περίοδο του μεγάλου καύσωνα που παρατηρήθηκε στην Αθήνα (Ιούλιος 1987). Οι μεταβολές αυτές συσχετίστηκαν με εκείνες των ηλιακών φαινομένων (αριθμό κηλίδων και 10.7cm ηλιακή ροή) καθώς και των κλιματικών φαινομένων (θερμοκρασία, αέρα και επιφάνειας της γης). Προέκυψαν αξιόλογα συμπεράσματα τα οποία επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η κατάσταση της ηλιόσφαιρας επιδρά στο κλίμα της γης ακόμα και σε μικρής χρονικής κλίμακας μεταβολές, όπως πιστεύεται ότι συμβαίνει και στις μακρόχρονες μεταβολές του.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μετρητές Νετρονίων, νέφωση, ηλιακή δραστηριότητα.

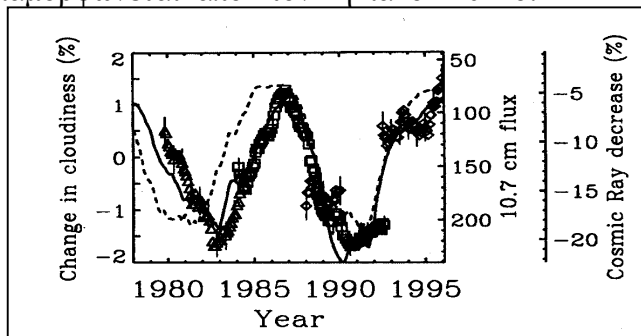
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φυσική αιτία της μεταβολής του κλίματος της Γης δεν είναι ακόμα γνωστή. Υπάρχουν αρκετοί φυσικοί παράγοντες που επιδρούν στο κλίμα της, όπως α) τροχιακές μεταβολές της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο που πιστεύεται ότι δημιουργούν εποχές παγετώνων, β) εσωτερικές μεταβολές στο κλιματικό σύστημα, όπως αλλαγές στην κυκλοφορία των ανέμων της ατμόσφαιρας και των ρευμάτων των ωκεανών, γ) μεγάλες ηφαιστειακές εκροές που προκαλούν ξαφνικά ψύξη διάρκειας 2-3 ετών, δ) μεταβολές στη συγκέντρωση των αερίων που διατηρούν τη ζωή, όπως η αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ που απορροφά την μεγάλη μήκους κύματος ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνδυαζόμενη με την αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους της γης που είναι 0.7° C κατά τη διάρκεια των 100 τελευταίων ετών οδηγούν σε θερμότερο κλίμα και ε) μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας που ιστορικά παίζουν σπουδαίο ρόλο στο κλίμα της γης και που μας απασχολούν σ' αυτή την εργασία^{1,2,3}.

Ο πλέον εμφανής και άμεσος τρόπος που η ηλιακή δραστηριότητα επιδρά στο κλίμα της γης είναι οι μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι μετρήσεις όμως των δορυφόρων τα τελευταία είκοσι χρόνια έδειξαν ότι οι μεταβολές αυτές είναι πολύ μικρές (0.1% = 0.3 Wm⁻² σε ένα κύκλο) και δεν μπορούν να εξηγήσουν τις μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας της γης⁴. Οι μεταβολές όμως της UV ακτινοβολίας του ηλιακού φάσματος, που είναι απαραίτητη για το σχηματισμό του όζοντος, προκαλούν θέρμανση στην στρατόσφαιρα η οποία μεταφέρεται δυναμικά στην τροπόσφαιρα⁵.

Οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες αποτελούν τη δεύτερη υπόθεση της επίδρασης της ηλιακής δραστηριότητας στο κλίμα της γης. Αποτελούμενες από πολύ ενεργητικά σωματίδια (κυρίως πρωτόνια) εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της γης, παράγουν δευτερογενή σωματίδια μέσω των καταγισμών και εισχωρούν ακόμα βαθύτερα. Ο ιονισμός της ατμόσφαιρας κάτω των 35 km οφείλεται αποκλειστικά στις ΚΑ, εκτός από το 1 km πάνω από την ξηρά που

οφείλεται στα ραδιενεργά αέρια. Ο ιονισμός από τις ΚΑ που μεταβάλλει τις φυσικές παραμέτρους της κατώτερης ατμόσφαιρας διαμορφώνεται από τον ηλιακό κύκλο. Η



Σχ. 1 Μεταβολές της νέφωσης της γης (Earth's cloud cover) από τέσσερις σειρές δορυφορικών δεδομένων νεφών (▽ πρόγραμμα Nimbus-7 CMATRIX, □ ISCCP, ◇ DMSP) με τις ελαττώσεις της ΚΑ από το σταθμό Climax και την ηλιακή ροή των 10.7cm.

μεταβολή του ιονισμού μπορεί να επιδράσει δυναμικά στην οπτική διαφάνεια της ατμόσφαιρας είτε μεταβάλλοντας το σχηματισμό αερίων, είτε επιδρώντας στις διάφορες φάσεις του νερού^{7,6,8}. Πρόσφατα δείχθηκε με μετρήσεις των δορυφόρων της NOAA ότι το κάλυμμα των νεφών της γης κατά τη διάρκεια του τελευταίου ηλιακού κύκλου ακολουθεί τις μεταβολές της ΚΑ καλύτερα από τις μεταβολές της ηλιακής ροής στα 10.7cm (Σχ.1). Είναι γνωστό ότι τα νέφη παίζουν σπουδαίο ρόλο στο ισοζύγιο ακτινοβολίας της γης ώστε κάθε ηλιακή επίδραση στην ολική νέφωση να παίζει δυναμικό ρόλο στο κλίμα της γης⁶. Οι Κ.Α. δείχνουν μια αρνητική συσχέτιση με τον κύκλο των ηλιακών κηλίδων διότι το μαγνητικό πεδίο του ήλιου είναι ισχυρότερο κατά τη διάρκεια του μέγιστου και θωρακίζει τη Γη από τις κοσμικές ακτίνες. Η μακρόχρονη μεταβολή των ηλιακών δραστηριοτήτων που εκφράζεται με αρνητική συσχέτιση με την ένταση της ΚΑ, παρουσιάζει μεταβολές στη θερμοκρασία της γης κατά την περίοδο 1937-1994, όπως φαίνεται από άμεσες μετρήσεις της έντασης της ΚΑ^{9,10}.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να δείξουμε ότι αντίστοιχες μεταβολές της ΚΑ ακόμα και σε μικρότερη χρονική κλίμακα είναι πιθανόν να επιδράσουν στην θερμοκρασία της γης, όπως προκύπτει από τη καταγραφή της αδρονικής συνιστώσας της ΚΑ στις ενέργειες των Μετρητών Νετρονίων κατά τους θερινούς μήνες του έτους 1987, όπου συνέβη ο μεγάλος καύσωνας της Αθήνας.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

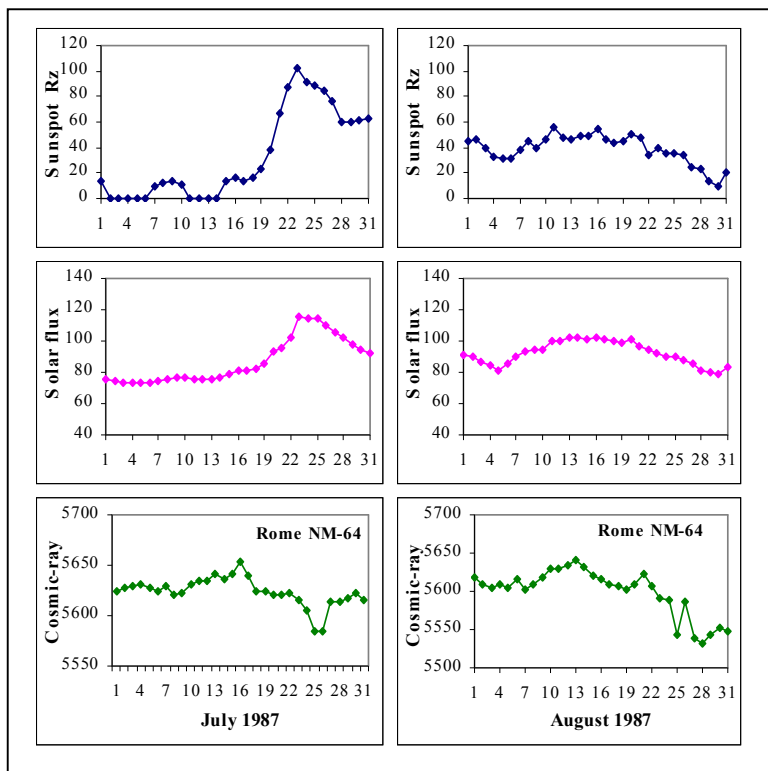
Οι Μετρητές Νετρονίων είναι επίγειοι σταθμοί που μετρούν μεταβολές της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας από 500 MeV ως 20 GeV. Το ποσοστό του πρωτογενούς φάσματος των κοσμικών ακτίνων που φθάνει στην ατμόσφαιρα της γης ελέγχεται από την μαγνητική δυσκαμψία από την τιμή 0 GV στους Πόλους μέχρι 15 GV στις Ισημερινές περιοχές. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας μελετήθηκαν μεταβολές της έντασης της γαλαξιακής κοσμικής ακτινοβολίας για τον Ιούλιο και Αύγουστο 1987, εποχή που συμπίπτει με το ελάχιστο του 22^{ου} ηλιακού κύκλου, αλλά και με την περίοδο του μεγάλου καύσωνα στην Ελλάδα (1500 θάνατοι). Οι θάνατοι αυτοί του αστικού πληθυσμού αντιστοιχούν στις τελευταίες μέρες (21 έως 27) του μηνός Ιουλίου.

Προς τούτο χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

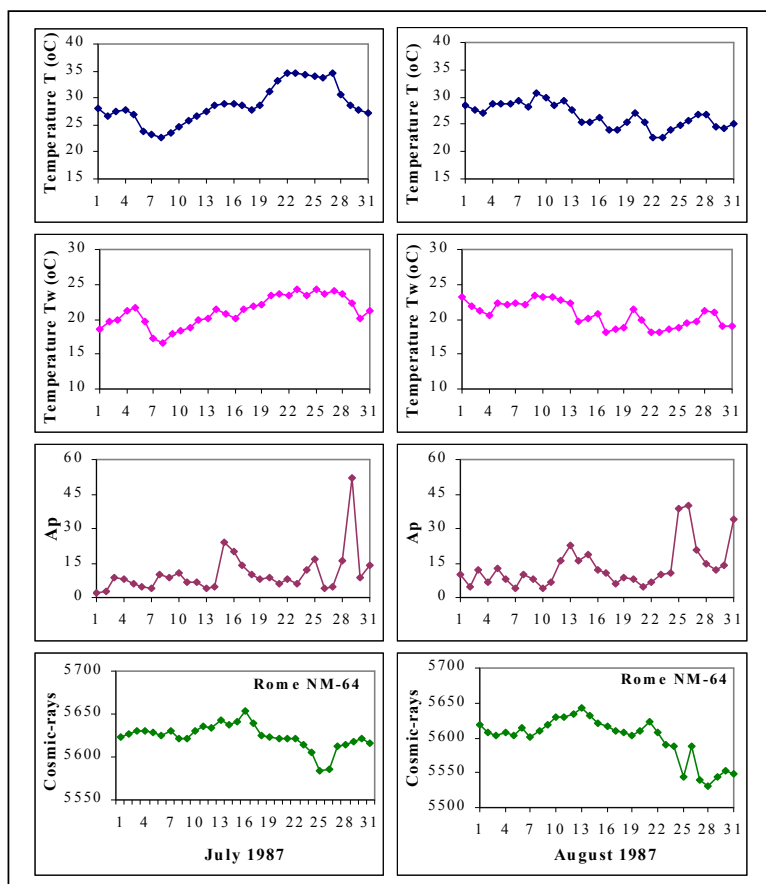
- Ωριαίες τιμές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας του σταθμού της Ρώμης (Super NM-64, μαγνητική δυσκαμψία 6.32 GV) που είναι ο πλησιέστερος σταθμός στην Αθήνα
- Ηλιακή ροή στα 10.7 cm (Ottawa 2800 MHz). (Solar Geophysical Data)
- Μέσος γεωμαγνητικός δείκτης A_p
- Θερμοκρασία αέρα T για το λεκανοπέδιο Αττικής (Climatological Bulletin of the Meteorological Institute του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών)

- Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_w (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

Η μείωση της έντασης της ΚΑ στο σταθμό της Ρώμης κατά το β' 15ήμερο του Ιουλίου έφθασε στο 2.9% στις 24 Ιουλίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Τούτο είναι γνωστό σαν



Σχ.2 Μέσες ημερήσιες τιμές του αριθμού των ηλιακών κηλίδων, της ηλιακής ροής και της έντασης της ΚΑ για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο 1987.



Σχ.3 Μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου, του δείκτη A_p και της έντασης της ΚΑ από το σταθμό της Ρώμης για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο 1987

φαινόμενο Forbush της ΚΑ το οποίο προέρχεται από έντονη ηλιακή δραστηριότητα. Πράγματι ο αριθμός των κηλίδων και η ηλιακή ροή (10.7 cm) δείχνουν μια πολύ μεγάλη αύξηση με μέγιστο στις 22 Ιουλίου, ενώ προκάλεσαν τη μείωση Forbush στους Μετρητές Νετρονίων. Αντίθετα κατά τον Αύγουστο 1987 δεν παρουσιάζεται κάποιο αντίστοιχο φαινόμενο, αλλά η μικρή μείωση της ηλιακής δραστηριότητας κατά το β' 15ήμερο του Αυγούστου, συνοδεύεται και από μείωση της κοσμικής ακτινοβολίας.

Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας συγκρίνεται με τη θερμοκρασία του αέρα και τη θερμοκρασία του εδάφους για τους αντίστοιχους μήνες στο σχήμα 3. Αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας εδάφους κατά το διάστημα 25-27 Ιουλίου συνοδεύεται με τη μείωση Forbush της ΚΑ. Ο γεωμαγνητικός δείκτης A_p παρουσιάζει επίσης ένα έντονο μέγιστο στις 27-28 Ιουλίου που δηλώνει γεωμαγνητική καταιγίδα. Κατά τον Αύγουστο 1987 παρατηρείται μείωση γενικά της θερμοκρασίας με ένα μικρό μέγιστο στις 28 Αυγούστου που αντιστοιχεί επίσης σε μείωση της ΚΑ, η οποία όμως δεν χαρακτηρίζεται ως μείωση Forbush. Συσχέτιση της ΚΑ με τον αριθμό των κηλίδων στο δείχνει αρνητική τάση της ευθείας παλινδρόμησης κατά το β' 15μερο του μηνός Ιουλίου και μεγάλο συντελεστή συσχέτισης ($r=-0.72$) όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Το α' 15ήμερο που δεν υπήρχε καύσωνα, η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης είναι αρνητική, αλλά με μικρότερη απόλυτη τιμή και ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ μικρότερος ($r = -0.32$). Η συσχέτιση της ΚΑ με τη θερμοκρασία δείχνει σαφώς αρνητική κλίση της ευθείας παλινδρόμησης, κατά το β' 15ήμερο του Ιουλίου και παρουσιάζει αρκετά μεγάλο απόλυτο συντελεστή συσχέτισης ($r = -0.68$). Αντίθετα το α' 15ήμερο η κλίση είναι θετική και ο συντελεστής συσχέτισης είναι απόλυτα μικρότερος. Το στατιστικό σφάλμα στις μετρήσεις της έντασης της ΚΑ είναι 1% και δεν επιδρά στην άνω ανάλυση.

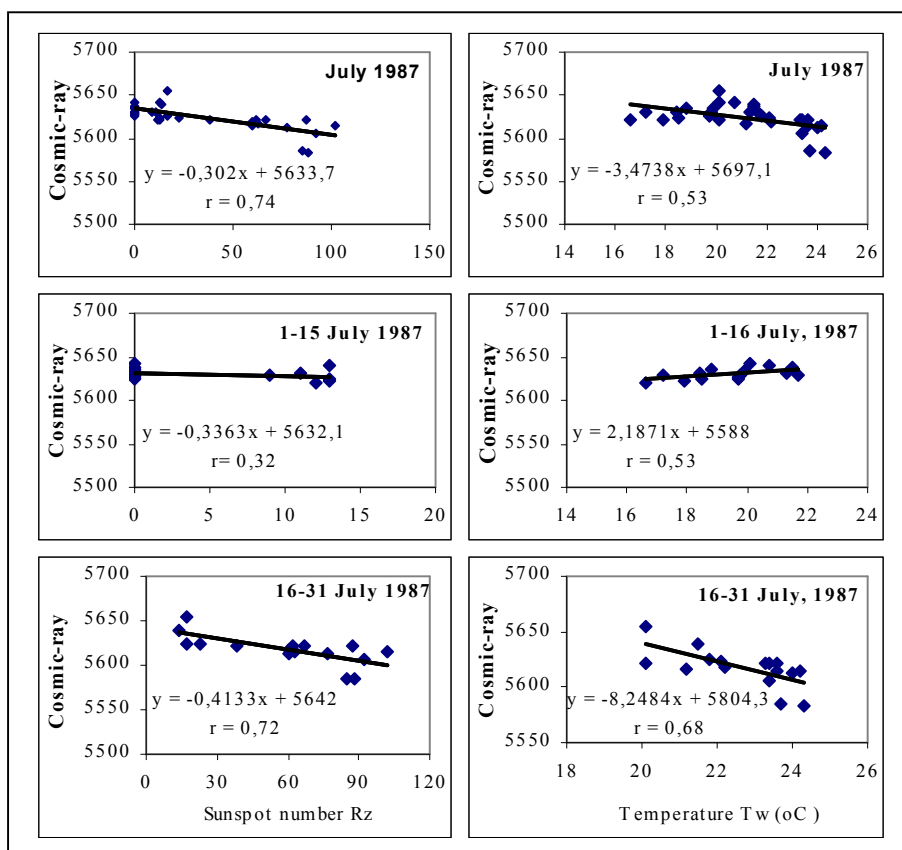
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των δεδομένων ηλιακής δραστηριότητας, των κοσμικών ακτίνων και της θερμοκρασίας επιφανείας καταλήγουμε στα εξής:

1. Βρέθηκε μια πολύ καλή συσχέτιση ($r=-0.68$) μεταξύ Κοσμικής Ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας της Αθήνας για το δεύτερο 15ήμερο του Ιουλίου 1987, δηλαδή την εποχή του καύσωνα της Αθήνας, όπου οι θερμοκρασίες ξεπέρασαν τους 40° C.
2. Επίσης η συσχέτιση μεταξύ ηλιακής δραστηριότητας (αριθμός κηλίδων) και Κοσμικής Ακτινοβολίας βρέθηκε αρνητική και ισχυρή ($r=0.74$), όπως άλλωστε αναμενόταν κατά τον Forbush.
3. Οι συσχετίσεις μεταξύ Κ.Α. και των διαφόρων ηλιακών και κλιματικών παραμέτρων είναι καλύτερες στην εποχή του καύσωνα (15-31 Ιουλίου) απ' ότι στα άλλα χρονικά διαστήματα που εξετάσαμε σ' αυτή την εργασία.

Κατά τον Henrik Svenmark (2000)⁶ ελάττωση της Κ.Α. έχει άμεσο αποτέλεσμα στην ελάττωση των νεφών και επομένως εντονότερη επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στη Γη με αύξηση της θερμοκρασίας επιφανείας. Στα ίδια συμπεράσματα έχει καταλήξει και ο Thomas (1992)¹¹ για τη μεταβολή της θερμοκρασίας της Ρώμης με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων για το χρονικό διάστημα 1925-1992 συνδέοντας τα κλιματικά φαινόμενα της Μεσογείου με τις μεταβολές της θερμοκρασίας στον Ατλαντικό Ωκεανό, τη δημιουργία του φαινομένου Ελ-νίνο και την άμεση επίδραση των θαλασσιών ρευμάτων που φθάνουν στην Μεσόγειο και επιδρούν στη θερμοκρασία της Ρώμης.

Τελικά πιστεύουμε ότι η επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας στη θερμοκρασία της Αττικής κατά την περίοδο του καύσωνα ήταν άμεση και όχι έμμεση, όπως αποδεικνύεται και από την ταυτόχρονη ελάττωση της έντασης της γαλαξιακής ΚΑ στις ενέργειες των Μετρητών Νετρονίων. Η μελέτη θα πρέπει να συνεχιστεί ώστε να δειχθεί σε ποια κατηγορία νεφών επιδρά περισσότερο η ΚΑ και ποιος είναι ο φυσικός μηχανισμός που τα δημιουργεί.



Σχ. 4 Καμπύλες συσχέτισης της ΚΑ με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων και τη θερμοκρασία T_w για το μήνα Ιούλιο 1987

Ευχαριστίες: Ευχαριστούμε την ομάδα ΚΑ της Ρώμης για τα δεδομένα του Σταθμού ΚΑ, ως επίσης την κ. Π. Νιχωρίτου για την τεχνική βοήθεια της εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Friis-Christensen, E. and Lassen, K.; 1991 Science 254, 698-700.
- [2] Lassen, K. and Friis-Christensen, E.: 1995 J. Atmospheric Terr. Phys. 57, 835-845.
- [3] Beer, J. : 2000 Space Sci. Rev. 93, 107-119.
- [4] Lean, J., Beer, J., and Bradley, R.: 1995 Geophys. Res. Lett. 22, 3195-3198.
- [5] Shindell, D., Rind, D., Balabhandran, N., Lean, J. and Lonergan, P.: 1999 Science 284, 305-308
- [6] Svensmark, H.: 2000 Space Sci. Rev. 93, 175-185.
- [7] Tinsley, B. A.: 1996 J. Geomagn. Geoelectr. 48, 165
- [8] Svensmark, H. and Friis-Christensen, E.: 1997 J. Atmosph. Terr. Phys. 59, 1225-1232.
- [9] Ahluwalia, H. S.: 1997 Proc. 25 th ICRC 2, 109-112.
- [10] Mavromichalaki, H., Marmatsouri, L., Vassilaki, A.: 1995 Astrophys. Space Sci. 232, 395.
- [11] Thomas, R. G.: 1992 J. Atmosph. Terr. Phys. 55, 155-164.