

# Λεοντίδες 2002 – αποτελέσματα ελληνικών παρατηρήσεων

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των Ελληνικών παρατηρήσεων της καταιγίδας των Λεοντιδών για το έτος 2002. Η ανάλυση βασίζεται σε 875 καταγεγραμμένους διάττοντες και σε  $2\frac{1}{2}$  ώρες οπτικών παρατηρήσεων, μιας μικρής ομάδας παρατηρητών, την νύκτα 18-19/11/2002. Τα αποτελέσματα δείχνουν την εμφάνιση ενός απότομου μεγίστου δραστηριότητας με ZHR=3000 και FWHM=20min στις 4:10UT (αρκετά μικρότερο σε διάρκεια και λίγο καθυστερημένο σε σχέση με ότι προέβλεπαν τα θεωρητικά μοντέλα). Επιπλέον ο δείκτης πληθυσμού  $r$  εμφάνισε πολύ χαμηλές τιμές πριν το μέγιστο ( $r=1.2$ ) και αυξήθηκε μέσα σε αυτό ( $r=1.8$  – οι τυπικές τιμές για τις Λεοντίδες είναι  $r=2.0-2.5$ ).

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη των διαττόντων έκανε ένα μεγάλο άλμα τα τελευταία 3-4 χρόνια με την δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης της δραστηριότητας που παρουσιάζουν οι Λεοντίδες. Αυτό οφείλεται σε υπολογιστικά μοντέλα που λαμβάνοντας υπόψη την δυναμική εκτόξευσης των μετεωροειδών στο μεσοπλανητικό διάστημα και τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά από τον Ήλιο και τους πλανήτες υπολογίζουν την ακριβή μετέπειτα πορεία τους. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, μετά την πρώτη επιτυχή πρόβλεψη για την δραστηριότητα των Λεοντιδών του 1999 από τους Asher & McNaught, υπάρχουν αρκετοί ερευνητές οι οποίοι χρησιμοποιούν διάφορα μοντέλα για αυτό τον σκοπό, όπως οι Lyytinen & van Flandern, ο Jenniskens και ο Vaubaillon.

Για το έτος 2002 τα θεωρητικά μοντέλα αυτά προέβλεπαν δύο μέγιστα δραστηριότητας, ένα περίπου στις 4:00UT (ή λίγο νωρίτερα) και ένα μετά τις 10:30UT. Αυτό που θα μπορούσε να είναι παρατηρήσιμο από την Ελλάδα ήταν το πρώτο

## 3. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για την παρατήρηση των Λεοντιδών οργανώθηκε μια μικρή εξόρμηση από μια τριμελή ομάδα (Πέτρος Γεωργόπουλος, Γρηγόρης Μαραβέλιας και Νικηφόρος Γεωργιάδης), αρχικά προς τα Ιόνια νησιά, μια και το δυτικότερο γεωγραφικό πλάτος τους θα επέτρεπε παρατήρηση μεγαλύτερου μέρους του αναμενόμενου μεγίστου. Ωστόσο, ο καιρός δεν βοηθούσε ιδιαίτερα καθώς τις προηγούμενες μέρες παρουσιάζονταν ομίχλες, ενώ εικόνες μετεωρολογικού δορυφόρου έδειχναν ότι τα ξημερώματα της 19ης κακοκαιρία ερχόταν από την Ιταλία... Με αυτά τα δεδομένα το απόγευμα αποφασίστηκε να κατευθυνθούμε προς την Νότια Πελοπόννησο στο Όρος Ταΰγετος. Το βράδυ φεύγοντας από την Σπάρτη προς το βουνό διαπιστώσαμε ότι είχε αρχίσει να σχηματίζεται πυκνή ομίχλη, στα χαμηλά υψόμετρα. Η στάθμη συμπύκνωσης φαινόταν να είναι γύρω στα 1000μ, έτσι όταν ανεβήκαμε σε ένα ικανοποιητικό υψόμετρο ο ουρανός ήταν πολύ διαυγής και η υγρασία πολύ χαμηλή. Αυτό ήταν πολύ σημαντικό καθώς η βροχή των Λεοντιδών συνέπιπτε με την πανσέληνο και διαφορετικά το LM (Limiting Magnitude : το μέγεθος του αμυδρότερου αστέρα που μπορεί να δει κανείς) θα ήταν πολύ μικρό. Με αυτές τις εξαιρετικές (δεδομένου των περιστάσεων) συνθήκες είχαμε όλη την νύκτα ανέφελο ουρανό και LM=5,1 ακόμα και με την Σελήνη σχεδόν να μεσουραναί. Βεβαίως η τεχνική ήταν η παρατήρηση να γίνεται σε μεγάλες αποστάσεις από την Σελήνη η οποία πρέπει να είναι εκτός του οπτικού πεδίου του παρατηρητή... Ωστόσο η πανσέληνος δύσκολα μπορεί να αποφευχθεί και σίγουρα δημιούργησε πρόβλημα στην ακρίβεια των καταγραφών.



Η ομάδα παρατήρησης. Από αριστερά προς τα δεξιά: Γρηγόρης Μαραβέλιας, Πέτρος Γεωργόπουλος και Νικηφόρος Γεωργιάδης.

Οι καταγραφές έγιναν από μια τοποθεσία υψομέτρου 1230μ, με συντεταγμένες 37deg 04.5min N, 22deg 15.3min E, με την μέθοδο της απαρίθμησης των διαττόντων. Ο συγγραφέας χρησιμοποίησε κασσετοφωνάκι, ενώ ο Γρ. Μαραβέλιας αναγκάστηκε να χρησιμοποιήσει χαρτί και μολύβι λόγω εμπλοκής στο κασετόφωνο του από την αρχή της παρατήρησης. Αυτό είχε ως συνέπεια να μην προλαβαίνει να σημειώσει λαμπρότητες για τους διάττοντες από τις 4:03UT και έπειτα.

#### 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

Διεθνώς η ροή των διαττόντων (δηλ. διάττοντες ανά ώρα) μετριέται με βάση το ZHR (Zenithial Hourly Rate) το οποίο ορίζεται σαν ο αριθμός των διαττόντων που βλέπει ένας μέσος παρατηρητής σε ένα ουρανό με  $LM=6,5$  όταν το ακτινοβόλο σημείο βρίσκεται στο ζενίθ. Η αναγωγή των μετρήσεων σε ZHR είναι απαραίτητη για να μπορούν τα αποτελέσματα διαφόρων παρατηρητών να είναι μεταξύ τους συγκρίσιμα. Ωστόσο αυτή η αναγωγή προϋποθέτει τον υπολογισμό του δείκτη πληθυσμού  $r$ , ο οποίος ορίζεται σαν ο λόγος του αριθμού των διαττόντων που

παρατηρούνται με λαμπρότητες που διαφέρουν κατά  $+1\text{mag}$  – δηλ. αν  $N(m)$  η συνάρτηση που δίνει των αριθμό των διαττόντων συναρτήσει της λαμπρότητας  $m$ , τότε  $r = N(m+1)/N(m)$ . Με άλλα λόγια η κατανομή λαμπροτήτων των διαττόντων είναι γενικά εκθετική και το  $r$  είναι η βάση, δηλ.  $N(m)$  ανάλογο του  $r^m$ .

Όμως, η κατανομή που καταρτίζεται από την ανάλυση των παρατηρήσεων  $n(m)$  διαφέρει, μια και ένας παρατηρητής δεν ανιχνεύει με την ίδια ικανότητα διάττοντες όλων των λαμπροτήτων, αλλά όσο πιο αμυδρός ένας διάττοντας είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να του διαφύγει. Έτσι, αν η πιθανότητα ανίχνευσης δίνεται από την  $p(m-LM)$ , τότε  $n(m) = N(m)p(m-LM)$ .

Αν λοιπόν έχουμε δύο παρατηρητές με  $LM_1$  και  $LM_2 = LM_1 + x$  αντίστοιχα, τότε θα μετρούν ο ένας σχετικά με τον άλλο:

$$\begin{aligned}
 N_{LM_2} &= \sum_{m=LM_2}^{-\infty} N(m)p(LM_2 - m) = \sum_{m=LM_1+x}^{-\infty} N(m)p(LM_1 + x - m) \xrightarrow{m=j+x} \\
 N_{LM_2} &= \sum_{j=LM_1}^{-\infty} N(j+x)p(LM_1 - j) \xrightarrow{(\text{αφ}) N(j+x) = r^x N(j)} N_{LM_2} = r^x \sum_{j=LM_1}^{-\infty} N(j)p(LM_1 - j) \Rightarrow \\
 \Rightarrow N_{LM_2} &= r^x N_{LM_1} \Rightarrow N_{LM_2} = r^{LM_2 - LM_1} N_{LM_1} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Συνεπώς σύμφωνα με την σχέση (1) αν έχουμε παρατηρήσεις με  $LM_1 = LM$  και ανάγουμε σε  $LM_2 = 6,5$  για ZHR, τότε πολ/σιάζουμε με το διορθωτικό παράγοντα:

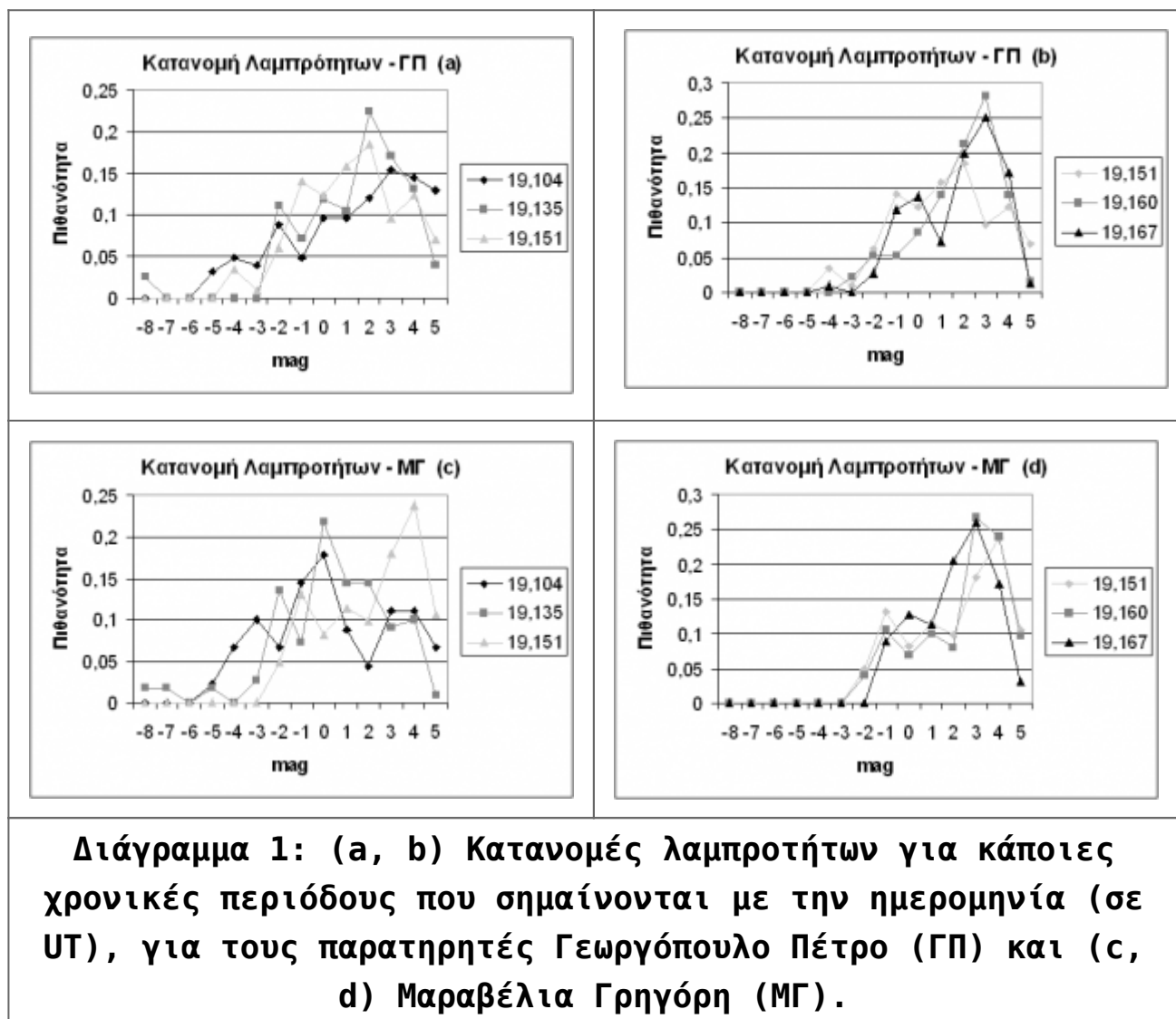
$$c_m = r^{6,5 - LM}$$

Επίσης όταν το ακτινοβόλο σημείο δεν είναι πολύ χαμηλά και ο παρατηρητής κοιτάζει ψηλά στον ουρανό (όχι κοντά στον ορίζοντα) τότε το κομμάτι της ατμόσφαιρας που παρατηρεί μπορεί να θεωρηθεί μια επίπεδη επιφάνεια και συνεπώς η ροή που παρατηρείται μεταβάλλεται με το νόμο του ημιτόνου του ύψους του ακτινοβόλου. Άρα για να ανάγουμε σε ακτινοβόλο στο ζενίθ πολ/σιάζουμε με τον διορθωτικό παράγοντα (όπου  $h$  το ύψος του ακτινοβόλου):

$$c_h = \frac{1}{\eta \mu(h)}$$

## 5. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ

Στα διαγράμματα 1.a-d παραθέτονται οι κατανομές λαμπρότητας ανά παρατηρητή για επιλεγμένες χρονικές περιόδους (βλ. πίνακα 1) και σημαίνονται για κάθε καμπύλη το μέσο της περιόδου σε ημερομηνία UT. Για εύκολη σύγκριση σε κάθε διάγραμμα έχουν τοποθετηθεί μαζί τρεις διαδοχικές χρονικές περιόδους, ενώ οι κατανομές έχουν κανονικοποιηθεί (για αυτό ο κατακόρυφος άξονας γίνεται πιθανότητα να παρατηρηθεί διάττοντας λαμπρότητας  $m$ ).

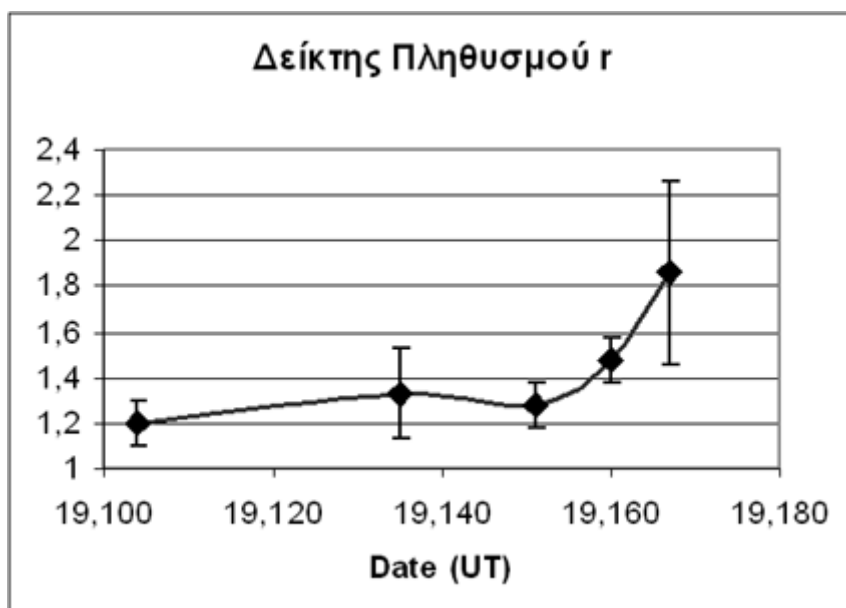


Από την σύγκριση των διαγραμμάτων 1a,1c που αναφέρονται στην περίοδο πριν το μέγιστο, με τα 1b,1d που δείχνουν τις κατανομές στην αρχή και μέσα στο μέγιστο, μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι στο μέγιστο υπάρχει σαφής ενίσχυση των αμυδρών διαττόντων. Ενώ, πριν από αυτό υπήρχε ένας πληθυσμός πολύ

λαμπρών διαττόντων (βολίδες, -4mag και λαμπρότεροι) που κατά το μέγιστο εξαφανίζεται εντελώς.

Περαιτέρω, ανάλυση των κατανομών έγινε για τον υπολογισμό του δείκτη πληθυσμού  $r$ , υπολογίζοντας την καμπύλη της μορφής  $f(x)=Ar^x$  που ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα (με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων). Βέβαια όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4, επειδή υπάρχει διαφορετική πιθανότητα ανίχνευσης ανάλογα τη λαμπρότητα του διάττοντα, το ταίριασμα περιορίστηκε μέχρι διάττοντες λαμπρότητας LM-3, δηλαδή +2mag.

Σύμφωνα με το [1] η πιθανότητα ανίχνευσης είναι 80% για LM-3, 30% για LM-2 και μόλις 7% για LM-1... Μάλιστα η μορφή που έχουν οι κατανομές των διαγραμμάτων 1b, 1d με την απότομη πτώση του αριθμού των διαττόντων μετά από ένα μέγιστο στο +3mag, οφείλεται ακριβώς στο ότι η πιθανότητα ανίχνευσης μειώνεται δραματικά και δεν πρόκειται για μια ιδιότητα της πραγματικής κατανομής λαμπροτήτων (και μαζών) των μετεωροειδών που προκαλούν τις Λεοντίδες. Επίσης, αξίζει να παρατηρηθεί ότι στα διαγρ.1a&1c οι αμυδροί διάττοντες μειώνονται πριν από το LM-2 που αναμένουμε – ιδίως στο 1c για τον ΜΓ. Αυτό κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στους πολύ φωτεινούς διάττοντες που αποσπούν την προσοχή του παρατηρητή και στο πολύ χαμηλό  $r$ . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στο διάγρ.2, όπου αποκαλύπτεται η σταδιακή αύξηση του  $r$  καθώς φτάνουμε το μέγιστο της δραστηριότητας.



Πίνακας 1

| UT Time & Date       | r          |
|----------------------|------------|
| 2:00-3:00 (19,10417) | 1,20 ± 0,1 |
| 3:00-3:30 (19,13542) | 1,33 ± 0,2 |
| 3:30-3:45 (19,15104) | 1,28 ± 0,1 |
| 3:45-3:55 (19,15972) | 1,48 ± 0,1 |
| 3:55-4:05 (19,16667) | 1,80 ± 0,4 |

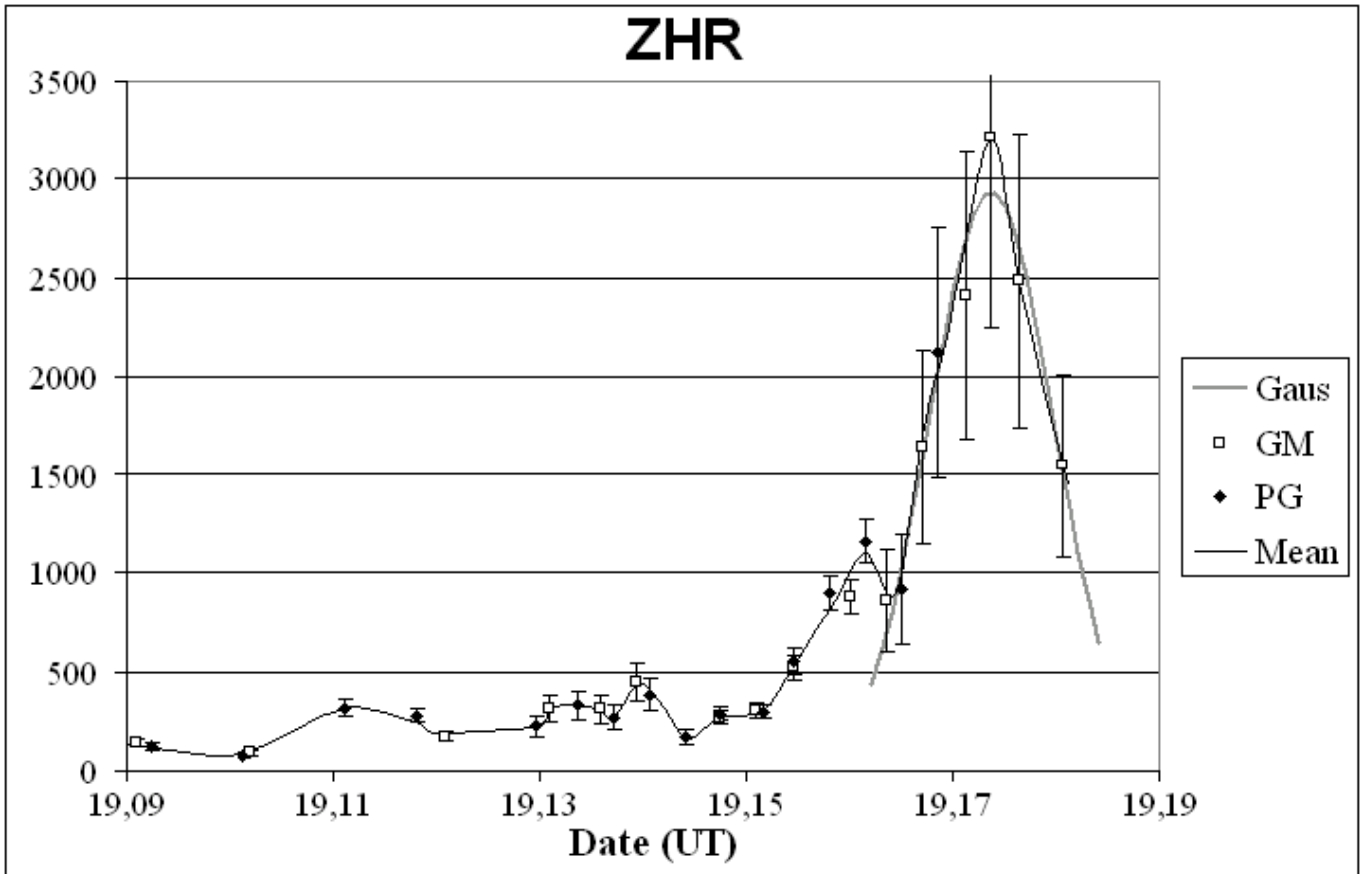
Διάγραμμα

μα 2: Η μεταβολή του δείκτη πληθυσμού  $r$  συναρτήσει του χρόνου.

Το φαινόμενο αυτό της αύξησης του  $r$  καθώς πλησιάζουμε σε μέγιστο δραστηριότητας έχει παρατηρηθεί και στις προηγούμενες καταγιίδες που παρουσίασαν οι Λεοντίδες τα προηγούμενα 3 χρόνια. Από ότι φαίνεται οι καταγιίδες δημιουργούνται με ενίσχυση του αριθμού των αμυδρότερων διαττόντων – ένα φαινόμενο που μέχρι τώρα δεν έχει εξηγηθεί...

#### 6. Η ΡΟΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Όπως εξηγήθηκε στην παράγραφο 4, η ροή των διαττόντων μετριέται με βάση ένα στάνταρ μέγεθος το ZHR. Στην ίδια παράγραφο αναπτύχθηκε η μεθοδολογία αναγωγής των παρατηρήσεων σε ZHR και οι διορθώσεις που πρέπει να εφαρμοστούν. Με βάση τον δείκτη πληθυσμού  $r$  που υπολογίστηκε από τις κατανομές λαμπρότητας στην παράγραφο 5 έγινε και ο υπολογισμός του ZHR, πρώτα ανά παρατηρητή και έπειτα υπολογίστηκε και το μέσο ZHR. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο διάγρ.3 όπου οι κουκίδες σημαίνουν τις τιμές που προκύπτουν από τα παρατηρησιακά δεδομένα και η μαύρη γραμμή είναι το μέσο ZHR. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί οι παρατηρήσεις είναι γενικά σε πάρα πολύ καλή συμφωνία μεταξύ τους και αποκαλύπτονται κάποια δευτερεύοντα μέγιστα...



Διάγραμμα 3: Το ZHR συναρτήσει του χρόνου. Οι κουκίδες δείχνουν τις παρατηρησιακές μετρήσεις, ενώ η μαύρη γραμμή το μέσο ZHR. Η γκρι καμπύλη είναι Γκαουσιανή που ταιριάχθηκε στις μετρήσεις γύρω από το μέγιστο.

Τα σφάλματα στο ZHR έχουν υπολογιστεί από την σχέση (όπου  $\Delta m = 6,5 - LM$ ):

$$\delta N = \sqrt{N + \left(\frac{\partial N}{\partial r} \delta r\right)^2} \xrightarrow{N = cr^{\Delta m}} \delta N = \sqrt{N + \left(\Delta m \frac{N}{r} \delta r\right)^2}$$

Όπου ο όρος  $N$  οφείλεται σε στατιστικά αίτια (στατιστική Poisson) ενώ ο δεύτερος όρος απλά εκφράζει το σφάλμα που εισάγεται λόγω του σφάλματος στην εκτίμηση του  $r$ .

Επίσης, στο προφίλ του μέγιστου της δραστηριότητας ταιριάχθηκε (με ελάχιστα τετράγωνα) Γκαουσιανή καμπύλη (παρουσιάζεται με την γκρι καμπύλη στο διαγρ.3) για την καλύτερη εκτίμηση της ροής και του χρόνου του μεγίστου, καθώς και για τον υπολογισμό του εύρους ημισείας τιμής του (FWHM). Το αποτέλεσμα ήταν:

$$ZHR_{\text{peak}} = 2930$$



$$T_{\text{peak}} = 18,17365 \text{ (4:10 UT)}$$

$$\sigma = 0,005967 \Rightarrow \text{FWHM} = 2.35\sigma = 20.2\text{min}$$

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν μια σημαντικότερη διαφορά σε σχέση με τα θεωρητικά μοντέλα, το FWHM είναι πολύ μικρότερο από ότι προβλεπόταν (20min αντί 2h). Ενώ το μέγιστο ήρθε με μια μικρή καθυστέρηση της τάξεως των 10-15min. Ωστόσο το  $ZHR_{\text{peak}}$  είναι αρκετά κοντά στην τιμή που προέβλεπαν ξεχωριστά οι Lyytinen και Vaubaillon (περίπου 3500).

Επίσης επαναλήφθηκε το φαινόμενο όπου πριν την καταιγίδα εμφανίζεται πολύ χαμηλός δείκτης πληθυσμού (και συνεπώς πολλοί λαμπροί διάττοντες), ενώ μέσα σε αυτή ο δείκτης αυξάνεται με αποτέλεσμα η καταιγίδα να δημιουργείται ουσιαστικά από τα μικρότερα σωματίδια. Αυτό δείχνει ότι η δυναμική των συγκεκριμένων ρευμάτων μετεωροειδών στο διάστημα είναι τέτοια που τα μικρά σωματίδια έχουν κρατηθεί καλά συγκεντρωμένα.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] «Determination of Spatial Number Density and Mass Index from Visual Meteor Observations», Ralf Koschack and Jurgen Rendtel.

[2] «Leonid Dust Trail Structure and Predictions for 2002», Rob. H. McNaught and David Asher, WGN (journal of IMO) 30:5 (2002).

[3] «Activity Level Prediction for the 2002 Leonids», Jeremie Vaubaillon, WGN 30:5 (2002).

[4] «Bulletin 18 of the International Leonid Watch: Preliminary Analysis of the 2002 Leonid Meteor Shower», Rainer Arlt, Vladimir Krumov, Andreas Buchmann, Javor Kac, Jan Verbert, WGN 30:6 (2002).

[5] «The 2002 Leonids in Poland – preliminary results», Arkadiusz Olech, WGN 31:1 (2003).