



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ — ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΝΕΦΟΚΑΛΥΨΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ
ΟΡΟΥΣ ΧΕΛΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟΥ

ΑΡΙΣΤΑΡΧΟΣ

ΝΙΚΟΣ ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ — ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΧΡΙΣΤΟΣ ΓΟΥΔΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ — ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2008

*Η παρούσα εργασία αφιερώνεται σε αυτούς
που προσπαθούν πάντα να εκπληρώσουν τα όνειρά τους
υπερπηδώντας όλα τα εμπόδια που τους παρουσιάζονται...*

Πρόλογος

Το νέο ελληνικό Τηλεσκόπιο Αρίσταρχος, στην κορυφή του όρους Χελμός στην Πελοπόννησο, αποτελεί αναμφισβήτητη τη ναυαρχίδα του Ινστιτούτου Αστρονομίας και Αστροφυσικής του Εθνικού Αστεροσκοπίου Αθηνών. Με τη χρήση του, ανοίγονται νέα παράθυρα για την ελληνική αστρονομική και αστροφυσική κοινότητα, αφού πλέον έχει στα χέρια της ένα πολύ ισχυρό εργαλείο που ενισχύει αφάνταστα τις προσπάθειες παρατήρησης εξωτικών ουράνιων αντικειμένων.

Από το 2004, οπότε και ο Αρίσταρχος έριξε τις πρώτες ματιές στο σύμπαν, μέχρι και το 2007, πραγματοποιήθηκαν αναρίθμητοι έλεγχοι του τηλεσκοπίου, ώστε να βελτιωθεί κατά το δυνατόν η ποιότητα των αστρονομικών παρατηρήσεων. Η εργασία αυτή αποτελεί ένα μικρό μέρος της προσπάθειας αυτής, αφού σκοπός της είναι η μελέτη των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην περιοχή του αστεροσκοπίου και ιδιαίτερα ο υπολογισμός του ποσοστού νεφοκάλυψης της περιοχής.

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων της περιοχής του ελλαδικού χώρου. Αρχικά λήφθηκαν εικόνες από αρκετές διαδικτυακές πηγές, όπως ο ιστότοπος του Meteo France, του weathernoline, της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας κ.α.. Οι περισσότεροι όμως από αυτούς δεν ήταν ιδιαίτερα αξιόπιστοι, είτε λόγω της μη περιοδικότητας λήψης δορυφορικών εικόνων, είτε λόγω της μη ύπαρξης αρχείου, από το οποίο να είναι δυνατή η απόκτηση των εικόνων. Μετά από επιστάμενη προσπάθεια και κατόπιν συνεργασίας με τον ερευνητή κ. Παναγιώτη Μπούμη του Ινστιτούτου Αστρονομίας και Αστροφυσικής, αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση των δορυφορικών εικόνων που παρέχονται από τον ιστότοπο www.sat.dundee.sc.uk, οι οποίες εμφανίζουν περιοδικότητα 6 ωρών και καταγράφονται σε αρχείο. Η λήψη των εικόνων πραγματοποιήθηκε από τον δορυφόρο MeteoSat 7 στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος, όπου είναι ιδιαίτερα εμφανής η οποιαδήποτε νέφωση.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μία στατιστική μελέτη των δεδομένων που λήφθηκαν από το δορυφόρο, απ' όπου προέκυψαν τα ποσοστά νεφοκάλυψης ανά μήνα και ανά ώρα. Συγκριτικά πραγματοποιήθηκε η ίδια μελέτη και για την περιοχή της Πεντέλης, για την οποία υπάρχει αρχείο δεδομένων με τα οποία μπορεί να ελεγχθεί η ακρίβεια της μελέτης.

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Χρίστο Γούδη για την εμπιστοσύνη που επέδειξε προς το πρόσωπό μου, την Λέκτορα κα. Παναγιώτα-Ελευθερία Χριστοπούλου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου και τους ερευνητές του Ινστιτούτου Αστρονομίας και Αστροφυσικής κ. Παναγιώτη Μπούμη και κ. Μανόλη Ξυλούρη για την άπογη συνεργασία τους αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

I	Τηλεσκόπιο Αρίσταρχος: Παρατηρήσεις	11
1	Το τηλεσκόπιο Αρίσταρχος	13
1.1	Το τηλεσκόπιο Αρίσταρχος	13
1.2	Τα όργανα του τηλεσκοπίου	16
1.2.1	Τα φίλτρα του τηλεσκοπίου	16
1.2.2	Η CCD Camera	17
1.2.3	Ο φασματογράφος ATS	18
1.2.4	Ο φασματογράφος MES – AT	18
1.2.5	Η CCD Camera VEC	19
2	Αστρονομικές μετρήσεις	21
2.1	Μετρήσεις της θέσης ενός αντικειμένου	21
2.2	Συστήματα μεγέθους	21
2.3	Συστήματα αναφοράς μεγέθους	22
2.4	Πολυχρωματική φωτομετρία	23
2.5	Βολομετρικά μεγέθη	25
2.6	Διαταραχές λόγω της ατμόσφαιρας	25
2.6.1	Η ατμοσφαιρική διάθλαση	25
2.6.2	Το αστρονομικό seeing	28
2.6.3	Η μέθοδος DIMM για τη μέτρηση του seeing	29
2.6.4	Η ατμοσφαιρική απορρόφηση	32
2.7	Φωτογραφική φωτομετρία	33
2.8	Φωτοηλεκτρική φωτομετρία	34
2.9	Πολωσιμετρία	35
2.10	Φασματομετρία	35
3	Παρατηρησιακά δεδομένα	39
3.1	Δορυφορικές εικόνες	39
4	Στατιστική ανάλυση των δεδομένων	129
4.1	Ανάλυση ανά έτος	129
4.2	Ανάλυση ανά μήνα	135
4.3	Ανάλυση ανά μήνα και ανά ώρα	139
4.4	Γραφική Ανάλυση	152
II	Τηλεσκόπιο Αρίσταρχος: Εφαρμογές	155
5	Οι γαλαξίες	157
5.1	Οι κανονικοί γαλαξίες	157
5.1.1	Η αντιπαράθεση των Shapley - Curtis	158
5.1.2	Η ταξινόμηση των γαλαξιών κατά Hubble	161
5.2	Οι ενεργοί γαλαξίες	164
5.2.1	Γαλαξίες Seyfert	164
5.2.2	Αντικείμενα BL Lac	165
5.2.3	Ραδιογαλαξίες	167
5.2.4	Quasars	169

5.2.5	Γιγάντιες μελανές οπές	171
5.2.6	Ανίχνευση γιγάντιων μελανών οπών	174
5.3	Σμήνη γαλαξιών	178
5.3.1	Αλληλεπιδρώντες διπλοί γαλαξίες	178
5.3.2	Συγχωνεύσεις γαλαξιών	178
5.3.3	Ιεραρχική ομαδοποίηση	181
Βιβλιογραφία		187

Περίληψη

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο έχει ως κύριο σκοπό τον υπολογισμό του ποσοστού νεφοκάλυψης στην περιοχή του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος για την βελτιστοποίηση της ποιότητας εικόνας.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μία συνοπτική περιγραφή του νέου ελληνικού τηλεσκοπίου Αρίσταρχος και των οργάνων που αυτό χρησιμοποιεί. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται ο τρόπος που πραγματοποιούνται οι αστρονομικές παρατηρήσεις και οι δυσκολίες που παρουσιάζονται σε αυτές. Το κύριο βάρος δίνεται στις ατμοσφαιρικές διαταραχές λόγω της τύρβης της ατμόσφαιρας και της διαφορετικής πυκνότητας που αυτή παρουσιάζει στα διάφορα στρώματά της. Στις τελευταίες παραγράφους του κεφαλαίου υπάρχει μία συνοπτική εικόνα του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιούνται οι φωτομετρικές μετρήσεις καθώς και η χρησιμότητά τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο υπάρχει αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων που λήφθηκαν με τη βοήθεια του δορυφόρου MeteoSAT 7. Στους πίνακες που περιέχει παρατίθεται αναλυτικά η νεφοκάλυψη για τις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης. Τα δεδομένα αναφέρονται στα έτη 2004 έως και 2007 ανά μήνα και ανά έξι ώρες, στις 00:00 UTC, στις 06:00 UTC, στις 12:00 UTC και στις 18:00 UTC.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχει αναλυτική μελέτη των δεδομένων του τρίτου κεφαλαίου και υπολογισμός του ποσοστού νεφοκάλυψης για τις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης, ανά ώρα, ανά μήνα, ανά έτος και συνολικά. Στο τέλος του κεφαλαίου υπάρχουν και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις με τις οποίες γίνεται πιο σαφής η εικόνα της μελέτης.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας αναφέρεται σε μία από τις κυριότερες εφαρμογές του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος: στη μελέτη των ενεργών γαλαξιακών πυρήνων. Έτσι, παρουσιάζονται αναλυτικά οι ιδιότητες τόσο των κανονικών όσο και των ενεργών γαλαξιών. Στη συνέχεια αναφέρεται εκτενώς η θεωρία περί ύπαρξης γιγάντιων μελανών οπών στους πυρήνες των ενεργών γαλαξιών, οι οποίες πιθανότατα αποτελούν τον κύριο μηχανισμό παραγωγής των τεράστιων ποσών ενέργειας που αυτοί εκπέμπουν, καθώς και οι προσπάθειες που γίνονται για την ανίχνευσή τους. Στο τέλος, υπάρχει αναφορά στα γαλαξιακά σμήνη και στις συγκρούσεις μεταξύ των γαλαξιών, οι οποίες πιθανότατα ευθύνονται για την τροφοδοσία των ανενεργών γιγάντιων μελανών οπών με νέα καύσιμη ύλη καθιστώντας τις και πάλι ενεργές.

Μέρος Ι

Τηλεσκόπιο Αρίσταρχος: Παρατηρήσεις

Το τηλεσκόπιο Αρίσταρχος

1.1 Το τηλεσκόπιο Αρίσταρχος

Εδώ και πολλά χρόνια, υπήρχε η επιθυμία από το Ινστιτούτο Αστρονομίας και Αστροφυσικής (ΙΑΑ), για την κατασκευή ενός οπτικού τηλεσκοπίου μεσαίου μεγέθους, το οποίο θα είχε πολύ υψηλότερες δυνατότητες από το τηλεσκόπιο του Κρυονερίου.

Το σχέδιο αυτό εγκρίθηκε προτάθηκε στη Γενική Γραμματεία τεχνολογίας και Έρευνας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αρχικά τον Μάρτιο του 1997 και τελικά τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Η αρχική έγκριση του σχεδίου ήρθε σχεδόν αμέσως, το Νοέμβριο του 1997. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ένας διαγωνισμός ανάθεσης του έργου της κατασκευής του τηλεσκοπίου, τον οποίο κέρδισε η γερμανική εταιρία Carl Zeiss Jena (CZJ) τον Μάρτιο του 1998. Η τελική έγκριση του έργου ήρθε 3 μήνες αργότερα, τον Ιούνιο του 1998, με τον αρχικό προϋπολογισμό να φτάνει στα 5 περίπου εκατομμύρια ευρώ. Τον Ιούλιο του ίδιου έτους υπογράφηκε και η σύμβαση μεταξύ του ΙΑΑ και της CZJ.

Η επιλογή της τοποθεσίας στην οποία θα κατασκευαζόταν το τηλεσκόπιο δεν ήταν εύκολη υπόθεση. Τελικά, επιλέχθηκε η τοποθεσία του όρους Χελμός στην Πελοπόννησο, με συντεταγμένες $L\ 22^{\circ}\ 23'\ E$ και $Lat\ 37^{\circ}\ 59'\ N$, λόγω της εύκολης οδικής πρόσβασης, της γενικότερης υποδομής, των καλών ατμοσφαιρικών συνθηκών και της μικρής σχετικά απόστασης που την Αθήνα και το αεροδρόμιο των Σπάτων.



Εικόνα 1.1

Αριστερά: Εξωτερική όψη του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος (Πηγή: www.kalavrita-hotels.gr)

Δεξιά: Εξωτερική όψη του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος και του κέντρου ελέγχου κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Πηγή: vraχni.blogspot.com).

Επόμενο στάδιο ήταν η κατασκευή του κτιρίου του τηλεσκοπίου και του κέντρου ελέγχου του, το οποίο βρίσκεται 35 *m* μακριά από το κεντρικό κτίριο και η συναρμολόγηση του τηλεσκοπίου από την ανάδοχο εταιρία η οποία ολοκληρώθηκε το 2002. Η κατασκευή του κύριου κτιρίου ξεκίνησε το 2001 από την ΠΡΩΤΕΡ ΑΤΕ και αποτελείται από δύο ανεξάρτητες δομές, έτσι ώστε οι ανθρώπινες δραστηριότητες και οι διάφορες πηγές θερμότητας να μην επηρεάζουν την απόδοση του τηλεσκοπίου. Η κατασκευή του εξωτερικού μέρους ολοκληρώθηκε το 2003, οπότε και ήταν πλέον εφικτή η εγκατάσταση στο χώρο αυτό του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος, η οποία ολοκληρώθηκε το καλοκαίρι του 2004.

Ο Αρίσταρχος έριξε τα πρώτα του βλέμματα στον ουρανό στις 15 Σεπτεμβρίου του 2004 και μεταξύ άλλων παρατηρήθηκαν τα πλανητικά νεφελώματα Saturn και Ring σε απόσταση 3.000 και 2.300 ετών φωτός αντίστοιχα, προκειμένου να προσδιοριστούν οι ακριβείς δυνατότητες του τηλεσκοπίου. Στη συνέχεια λήφθηκαν οι πρώτες εικόνες και πραγματοποιήθηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα διάφοροι έλεγχοι των οργάνων του τηλεσκοπίου, οι οποίοι τερματίστηκαν τον Σεπτέμβριο του 2007 καθιστώντας πλέον το τηλεσκόπιο πλήρως λειτουργικό.

Με τη διάμετρο του πρωτεύοντος κατόπτρου να είναι ίση με 2.3 *m* και εστιακό λόγο $f/8$, το νέο ελληνικό τηλεσκόπιο Αρίσταρχος είναι το μεγαλύτερο στη νοτιοανατολική Ευρώπη. Συνδυάζει άψογα τη σύγχρονη τεχνολογία με τις υψηλές παρατηρησιακές δυνατότητες και αναμένεται να προωθήσει σημαντικά στην Ελλάδα την παρατηρησιακή Αστρονομία και Αστροφυσική.

Στον πίνακα 1.1 φαίνονται τα γενικά χαρακτηριστικά του τηλεσκοπίου.



Εικόνα 1.2

Πανοραμική φωτογραφία του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος στο όρος Χελμός (Πηγή: www.snowclub.gr).

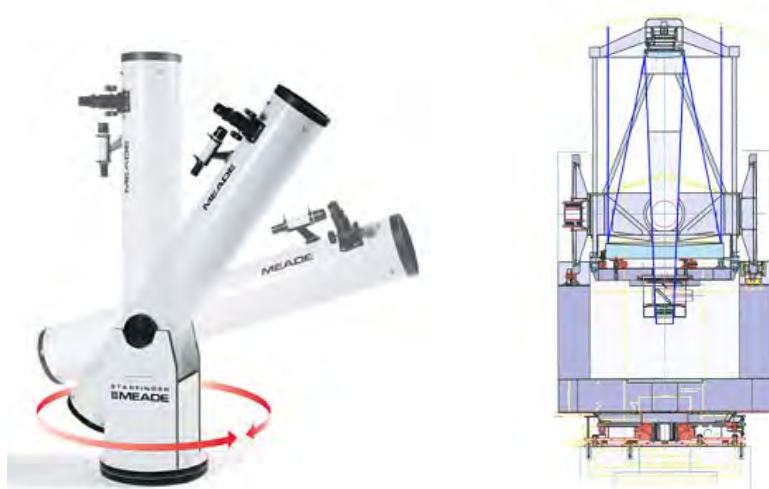
Πίνακας 1.1

Γενικά χαρακτηριστικά του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος

Κύρια χαρακτηριστικά	
Ύψος	9.0 m
Πλάτος	6.5 m
Βάρος φορητών οργάνων	29 tn
Συνολικό βάρος	34 tn
Σύστημα στήριξης	Αλταζιμουθιακό

Οπτικά στοιχεία	
Οπτικό σύστημα	Ritchey-Chretien
Διάμετρος πρωτεύοντος κατόπτρου	2.280 mm
Εστιακός λόγος πρωτεύοντος	$f/2,4$
Διάμετρος δευτερεύοντος κατόπτρου	740,7 mm
Εστιακός λόγος δευτερεύοντος	$f/3,1$
Συνολικός εστιακός λόγος	$f/8$
Οπτικό άνοιγμα	2.200 mm
Εστιακό μήκος	17.714,45 για διορθωμένο πεδίο 17.630,05 για μη διορθωμένο πεδίο
Οπτικό πεδίο	1,04 deg

Απόδοση	
Εύρος κίνησης	$\pm 200\ deg$ αζιμουθιακά
Εύρος κίνησης	$\pm 90\ deg$ υψομετρικά
Ταχύτητα κίνησης	2 deg προς κάθε κατεύθυνση
Συνολικό βάρος πρόσθετου εξοπλισμού	300 kg
Θερμοκρασίες λειτουργίας	Από $-10\ C$ έως $+35\ C$
Εύρος υγρασίας	Μέχρι 80%
Αντοχή σε ανέμους	Μέχρι 15 m/s

**Εικόνα 1.3**

Αριστερά: Το αλταζιμουθιανό σύστημα στήριξης. Ο άξονας του τηλεσκοπίου μπορεί να κινηθεί προς δύο διευθύνσεις, μία παράλληλη προς τον ορίζοντα του τόπου και μία κάθετη σε αυτόν. **Δεξιά:** Ο σχεδιασμός του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος.

**Εικόνα 1.4**

Εσωτερικές όψεις του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος (Πηγές: www.voanews.com, www.styga.gr).

1.2 Τα όργανα του τηλεσκοπίου

1.2.1 Τα φίλτρα του τηλεσκοπίου

Η μονάδα φίλτρων του τηλεσκοπίου αποτελείται από 2 τροχούς φίλτρων, κάθε ένας από τους οποίους περιέχει μία δέσμη 6 φίλτρων οπτικής διαμέτρου 62 mm.

Ο τροχός 1 είναι ελεύθερης χρήσης και μπορεί να εξοπλιστεί με διάφορα φίλτρα πάχους μέχρι 5 mm. Υπάρχουν συνολικά 6 υποδοχείς φίλτρων, οι οποίοι μπορούν

πολύ εύκολα να αποσπαστούν.

Ο τροχός 2 εξοπλίζεται με τα φίλτρα U , B , V , R , I και ένα ουδέτερο γυαλί πάχους 3 mm με οπτική διάμετρο 64 mm . Υπάρχουν και 5 οπτικά φίλτρα πάχους 3 mm , τα οποία εναλλάσσονται με έναν μηχανικό τροχό. Τα γενικά τους χαρακτηριστικά φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 1.2

Οι παράμετροι των οπτικών φίλτρων του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος

Φίλτρο B	
Συνδυασμός	$1\text{ mm BG }12$
	$1\text{ mm BG }39$
	$1\text{ mm GG }385$
Φίλτρο R	
Συνδυασμός	$1,5\text{ mm OG }570$
	$1,5\text{ mm KG }3$
Φίλτρο $R 0.3$	
Συνδυασμός	$1\text{ mm NG }5$
	$1\text{ mm OG }570$
	$1\text{ mm KG }3$
Φίλτρο V	
Συνδυασμός	$1,5\text{ mm BG }39$
	$1,5\text{ mm GG }495$
Φίλτρο I	
Συνδυασμός	$3\text{ mm RG }9$
Φίλτρο U	
Συνδυασμός	$1\text{ mm UG }1$
	$1\text{ mm WG }295$
	$1\text{ mm BG }39$

1.2.2 Η CCD Camera

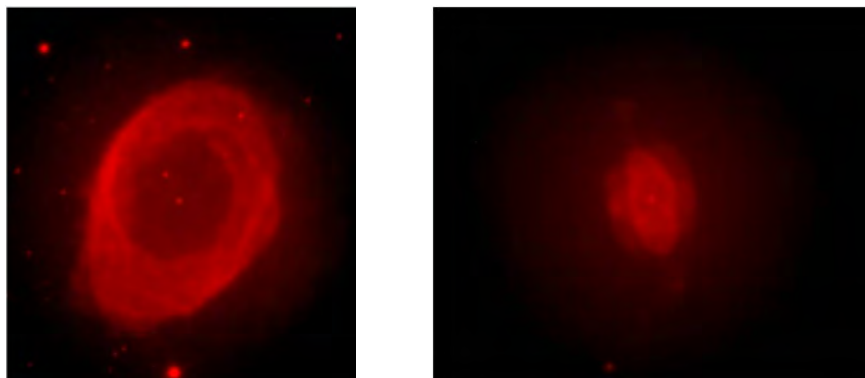
Η συγκεκριμένη κάμερα έχει εγκατασταθεί στο τηλεσκόπιο από το 2006 και με τη βοήθειά της έχουν ήδη ληφθεί αρκετές εικόνες. Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.3

Τα κύρια χαρακτηριστικά της CCD Camera

Μοντέλο	Princeton Instruments VersArray 1.024B
CCD Αισθητήρας	SiTeAB, back-illuminated, Grade 1
Τύπος CCD	1.024×1.024 , 24 micron pixel size (0, 28")
Πεδίο όρασης CCD	$\approx 5'$
Επικάλυμα	Unichrome UV-enhancement (200-1.100 nm)
Σύστημα ψύξης	Υγρό άζωτο

Παρακάτω παρουσιάζονται και δύο δείγματα εικόνων από πλανητικά νεφελώματα.



Εικόνα 1.4

Εικόνες των πλανητικών νεφελωμάτων Ring και Saturn που λήφθησαν με την CCD Camera του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος (Πηγή: www.astro.noa.gr).

1.2.3 Ο φασματογράφος ATS

Το τηλεσκόπιο Αρίσταρχος χρησιμοποιεί έναν φασματογράφο χαμηλής και μέσης διασποράς προκειμένου να καταγράφεται το φως σχετικά λαμπρών αντικειμένων, με μέγεθος μικρότερο από 18 *mag*. Τέτοια αντικείμενα είναι οι εκλάμψεις ακτίνων γ , οι κατακλυσμικοί μεταβλητοί αστέρες, οι ενεργοί πυρήνες των κοντινών γαλαξιών Seyfert, οι κοντινοί καινοφανείς αστέρες κ.α. Το φάσμα που λαμβάνεται είναι αρκετά ποιοτικό αφού παρουσιάζει αρκετά χαμηλά επίπεδα σήματος/θόρυβο.

Ο φασματογράφος κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο του Manchester και χρηματοδοτήθηκε από τα Πανεπιστήμια του Manchester και της Πάτρας.

Πίνακας 1.4

Τα κύρια χαρακτηριστικά του φασματογράφου ATS

Φράγματα	Επιλογή 1 (Κόκκινο)	Επιλογή 2 (Μπλε)	Επιλογή 3
Χαραγές/ <i>mm</i>	1.200	1.200	600
<i>arcsec</i>	10	10	10
Εύρος φάσματος	5.780-7.070 Å	4.400-5.780 Å	4.200-7.300 Å
Ανάλυση	2,5 Å	2,5 Å	245 Å/ <i>mm</i>
Διασπορά	103 Å/ <i>mm</i>	95 Å/ <i>mm</i>	245 Å/ <i>mm</i>
Κέντρο	6.400 Å	5.000 Å	5.750 Å

1.2.4 Ο φασματογράφος MES – AT

Ο φασματογράφος MES-AT (Manchester Echelle Spectrometer-Aristarchos Telescope) έχει ως αποκλειστικό στόχο τη μελέτη φαινομένων που προέρχονται από τα υπολείμματα υπερκαινοφανών, τα πλανητικά νεφελώματα, τις περιοχές HII κ.α..

Αποτελείται από ένα φράγμα με 31,6 χαραγές/*mm*, το οποίο είναι χρήσιμο για τον εντοπισμό και τη μελέτη γραμμών εκπομπής από αμυδρές μακρινές πηγές που εκπέμπουν στην περιοχή από 3.900 έως 7.500 Å με διακριτική ικανότητα $\lambda/\Delta\lambda \leq 105$.

Επιπλέον είναι διαθέσιμα και τα φίλτρα

Πίνακας 1.5

Φίλτρα MES

H_{β} 4870 (50 AA)	[OIII] 5.000 (60 AA)
H_{α} + [NII] 6580 (100 AA)	[SII] 6.800 (100 AA)

Πίνακας 1.6

Τα χαρακτηριστικά του φασματογράφου MES-AT

Εύρος σχισμών	Επιλογή 1	Επιλογή 2	Επιλογή 3
μm	70	150	300
$arcsec$	0,8	1,8	3,5
Πολλές σχισμές	Πλήθος σχισμών	Φασματικό εύρος	Γωνιακή απόσταση
	10	1,65 mm	19,2 arcsec
	5	3,3 mm	38,4 arcsec
	3	6,6 mm	76,9 arcsec
Μήκος σχισμής	Γραμμικό	Στον ουρανό	
	30 mm	5,8 arcmin	
	60 mm	11,6 arcmin	
Φίλτρα απομόνωσης	Κέντρο		
	6.730 (100 Å)	6.580 (100 Å)	5.020 (70 Å)

1.2.5 Η CCD Camera VEC

Η CCD Camera VEC (Vernikos-Eugenides Camera) χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα **Αριστεία**. Τα κύρια χαρακτηριστικά της φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.8

Τα κύρια χαρακτηριστικά της CCD Camera

Μοντέλο	Astronomical Research Cameras, Inc. GENIII
CCD Αισθητήρας	Fairchild Imaging CCD486, back-illuminated, Grade 1
Τύπος CCD	4.096×4.096, 15 micron pixel size (0,17")
Πεδίο όρασης CCD	10 arcmin
Επικάλυμα	AR coating (300-1.100 nm)
Σύστημα ψύξης	Υγρό άζωτο

Αστρονομικές μετρήσεις

Ο πιο σημαντικός σκοπός ενός αστρονόμου είναι η ανίχνευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προέρχεται από το διάστημα. Οι πιο βασικές μετρήσεις αφορούν στον προσδιορισμό της διεύθυνσης διάδοσης της λαμβανόμενης ακτινοβολίας, της έντασής της και της πόλωσής της. Για το σκοπό αυτό, η εισερχόμενη ακτινοβολία παρατηρείται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων – όσο πιο ευρύ γίνεται κάθε φορά – και για ένα μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα, ώστε να εντοπιστούν και τυχόν μεταβολές της με το χρόνο.

Οι περισσότερες μετρήσεις αποδίδονται σε διεθνώς αποδεκτές κλίμακες, οι οποίες έχουν κατασκευαστεί στηριζόμενες εν μέρει στη φύση των παρατηρούμενων πηγών και εν μέρει στις δυνατότητες του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την ανάλυση των πηγών αυτών.

2.1 Μετρήσεις της θέσης ενός αντικειμένου

Η πιο συνιτισμένη αστρονομική μέτρηση αφορά στον προσδιορισμό των συντεταγμένων ενός ουράνιου αντικειμένου. Αυτού του είδους οι μετρήσεις μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες για την τροχιά του αντικειμένου, την απόστασή του – μετρώντας την παράλλαξή του, την κατανομή των αστερών στο χώρο κ.α..

Ο πλέον συνηθισμένος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό, είναι μέσω της φωτογράφισης της περιοχής του ουρανού στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο. Στη συνέχεια, αναγνωρίζονται στην φωτογραφία οι **αστέρες αναφοράς**, των οποίων η θέση είναι γνωστή και καταγεγραμμένη σε διάφορους αστρονομικούς καταλόγους και με τη χρήση μικροσκοπικής μετρητικής συσκευής, βρίσκονται οι σχετικές συντεταγμένες X και Y του αντικειμένου ως προς τους αστέρες αναφοράς. Επειδή βέβαια η λαμβανόμενη φωτογραφία είναι επίπεδη και δεν ακολουθεί τη σφαιρική γεωμετρία της ουράνιας σφαίρας, χρειάζονται κάποιες σχέσεις από τη σφαιρική τριγωνομετρία ώστε να μετατραπούν οι μετρούμενες καρτεσιανές συντεταγμένες του αντικειμένου στις πραγματικές σφαιρικές. Πλέον η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα με τη βοήθεια διαφόρων οργάνων, όπως το σύστημα Galaxy (General Automatic Luminosity and $X Y$), το οποίο αναπτύχθηκε στο Βασιλικό Παρατηρητήριο του Εδιμβούργου (Edinburgh Royal Observatory).

2.2 Συστήματα μεγέθους

Η απόκριση οποιουδήποτε συστήματος ανίχνευσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας, τη συχνότητά της και από την ευαισθησία της συσκευής ανίχνευσης στα διάφορα μήκη κύματος. Πολλές φορές, οι παρατηρήσεις γίνονται και με τη βοήθεια ειδικών φίλτρων, γεγονών που καθιστά απαραίτητο τον προσδιορισμό της απόκρισης της συσκευής και σε κάθε φίλτρο ξεχωριστά.

Το κύριο όργανο ενός ολοκληρωμένου συστήματος ανίχνευσης, είναι το τηλεσκόπιο που συλλέγει την ακτινοβολία. Η απόκριση των χρησιμοποιούμενων κατόπτρων και φακών, μπορεί να εξαρτάται από το μήκος κύματος της εισερχόμενης ακτινοβολίας, με

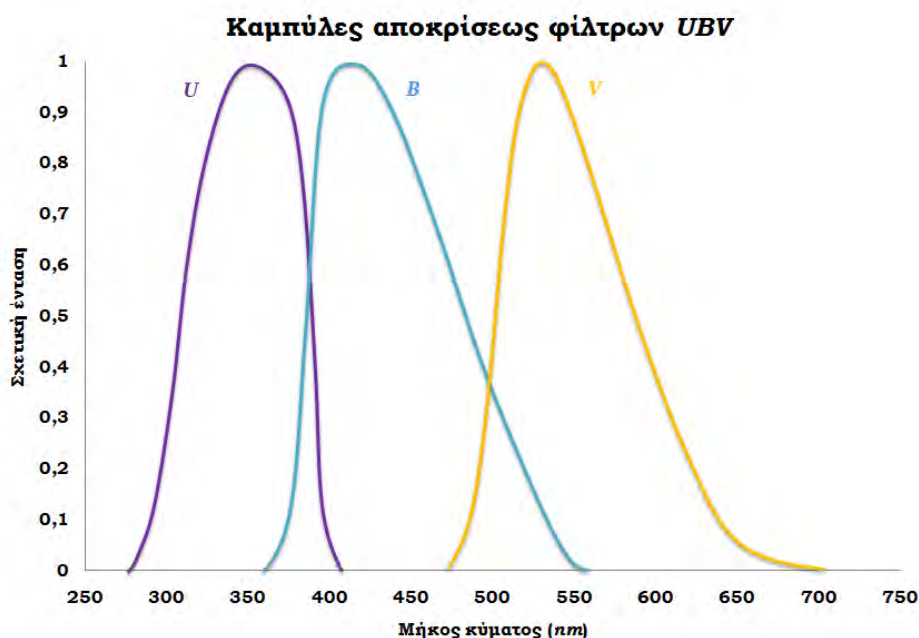
αποτέλεσμα να υπάρχει μία μόνο μικρή σχετικά περιοχή στην οποία το σύστημα να είναι ευαίσθητο. Γενικότερα, η απόκριση μίας συσκευής στα διάφορα μήκη κύματος, θα δούμε παρακάτω, δίνεται από την **καμπύλη ευαισθησίας** της συσκευής.

Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα, εάν παρατηρήσουμε μετρήσεις της φωτεινότητας του ίδιου αστέρα με δύο διατάξεις που χρησιμοποιούν συσκευές διαφορετικών προδιαγραφών. Το αποτέλεσμα είναι ότι το φαινόμενο μέγεθος του αστέρα προκύπτει διαφορετικό για κάθε διάταξη και αυτό λόγω της διαφορετικής απόκρισης των χρησιμοποιούμενων συσκευών, δηλαδή κάθε διάταξη έχει τη δική της κλίμακα μεγεθών. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται και πάλι κάποιοι αστέρες αναφοράς, των οποίων το φαινόμενο μέγεθος θεωρείται γνωστό και συγκρίνεται το μέγεθος του υπό παρατήρηση αστέρα με το αντίστοιχο των αστέρων αναφοράς, ώστε να υπάρχει τάυτιση των αποτελεσμάτων.

2.3 Συστήματα αναφοράς μεγέθους

Προκειμένου να υπάρξει η τάυτιση των μεγεθών ενός αντικειμένου, όπως μετρούνται από διάφορα αστεροσκοπεία, χρησιμοποιούνται διεθνώς αποδεκτά συστήματα προσδιορισμού μεγέθους. Το πρώτο που χρησιμοποιήθηκε στηρίζονταν στην ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού στο φως και ονομαζόταν **οπτικό σύστημα** (m_v), το οποίο στη συνέχεια αντικαταστάθηκε από το **φωτοοπτικό σύστημα** (m_{pv}). Τα δύο αυτά συστήματα μπορούσαν να ταυτιστούν με τη χρήση στο φωτοοπτικό σύστημα δύο ορθοχρωματικών πλακών, εκ των οποίων η μία ήταν ευαίσθητη σε ακτινοβολία με μήκος κύματος μέχρι $5.900 \text{ \AA}$ και η δεύτερη σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από $5.000 \text{ \AA}$.

Το πιο συνηθισμένο σύστημα όμως είναι το **φωτογραφικό** (m_{pg}), του οποίου οι φωτογραφικές πλάκες έχουν ευαισθησία μέχρι τα $5.000 \text{ \AA}$ περίπου, δηλαδή στο υπεριώδες και ιώδες μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το συγκεκριμένο σύστημα δεν αποδίδει ούτε στα πολύ μικρά μήκη κύματος, όπου η ακτινοβολία απορροφάται



Εικόνα 2.1
Το σύστημα UBV

από τη γήινη ατμόσφαιρα. Το μηδέν αυτής της κλίμακας έχει επιλεγεί έτσι ώστε οι αστέρες φασματικού τύπου A5 να έχουν το ίδιο μέγεθος τόσο στο οπτικό όσο και στο φωτογραφικό σύστημα, όταν το φαινόμενο μέγεθος είναι ίσο με 6. Οι αστέρες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτά είναι καταγεγραμμένοι στον κατάλογο NPS (North Polar Sequence).

Τα σύγχρονα συστήματα προσδιορισμού μεγέθους βασίζονται στο συνδυασμό της φασματικής απόκρισης των καθόδων των χρησιμοποιούμενων φωτοπολλαπλασιαστών και ειδικών χρωματικών φίλτρων. Στο σύστημα *UBV*, το οποίο αναπτύχθηκε από τους Johnson και Morgan χρησιμοποιούνται τρία χρωματικά φίλτρα, το υπεριώδες *U*, το ιώδες *B* και το ορατό *V* με μέγιστο ευαισθησίας αντίστοιχα στα 3.650 Å, 4.400 Å και 5.480 Å. Τα μεγέθη που προσδιορίζονται με το ορατό φίλτρο σχεδόν ταυτίζονται με αυτά που υπολογίζονται με βάση το φωτοοπτικό σύστημα.

2.4 Πολυχρωματική φωτομετρία

Η χρήση της πολυχρωματικής φωτομετρίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του σώματος που εκπέμπει την λαμβανόμενη ακτινοβολία. Όπως γνωρίζουμε από το νόμο του Wien, η θερμοκρασία ενός μέλανος σώματος σχετίζεται με το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται το μέγιστο της εκπομπής με τη σχέση

$$\lambda_{\max} T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mK}. \quad (2.1)$$

Εφαρμόζοντας το νόμο αυτό στους αστέρες, βρίσκουμε ότι ένα ποσοστό αυτών παρουσιάζουν το μέγιστο της εκπομπής τους στο υπεριώδες μέρος του φάσματος και μάλιστα στην περιοχή που αποκόπτεται από τη γήινη ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας των αστερών, το λόγω των εντάσεων της ακτινοβολίας τους σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος.

Η ένταση της ακτινοβολίας σε κάθε μήκος κύματος δίνεται από το νόμο του Planck

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}, \quad (2.2)$$

ενώ η φαινόμενη λαμπρότητα μεταξύ δύο μηκών κύματος, προκύπτει από την ολοκλήρωση του νόμου του Planck μεταξύ αυτών των μηκών κύματος, δηλαδή

$$b_i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda. \quad (2.3)$$

Δεδομένου ότι το παραπάνω ολοκλήρωμα παίρνει σταθερή τιμή όσο αφορά το μήκος κύματος, προκύπτει ότι θα είναι συνάρτηση αποκλειστικά και μόνο της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτό που αλλάζει κάθε φορά είναι μόνο η σταθερά αναλογίας μεταξύ των δύο μεγεθών. Άρα, ο λόγος των φαινόμενων λαμπροτήτων ενός αστέρα b_i και b_j σε δύο διαφορετικά μέρη του φάσματος, θα δίνεται από μία σχέση της μορφής

$$\frac{b_i}{b_j} = f(T) \quad (2.4)$$

Τα φαινόμενα μεγέθη του αστέρα m_i και m_j σε δύο διαφορετικά μέρη του φάσματος, συνδέονται με τις αντίστοιχες λαμπρότητες μέσω του ψυχοφυσικού νόμου Weber-Fechner με την εξίσωση Pogson

$$\frac{b_i}{b_j} = 10^{-2(m_i - m_j)/5}. \quad (2.5)$$

Από την τελευταία προκύπτει άμεσα ότι

$$m_i - m_j = -2,5 \log \left(\frac{b_i}{b_j} \right) = -2,5 (\log b_i - \log b_j). \quad (2.6)$$

Θεωρώντας ότι το μέγεθος m_j που αντιστοιχεί στη λαμπρότητα b_j ως μέγεθος ενός αστέρα αναφοράς παίρνουμε ότι το μέγεθος m_i θα είναι

$$m_i = m_j + 2,5 \log b_j - 2,5 \log b_i = k_i - 2,5 \log b_i, \quad (2.7)$$

όπου

$$k_i = m_j + 2,5 \log b_j. \quad (2.8)$$

Γενικά, η σταθερά k επιλέγεται έτσι ώστε όταν μετράμε το μέγεθος ενός αστέρα αναφοράς, αυτό να συμπίπτει με το αντίστοιχο του NPS. Με βάση την (2.7), τα φαινόμενα μεγέθη ενός αστέρα B και V στο ιώδες και στο ορατό μέρος του φάσματος αντίστοιχα θα δίνονται από τις σχέσεις

$$B = k_B - 2,5 \log b_B \quad (2.9)$$

και

$$V = k_V - 2,5 \log b_V. \quad (2.10)$$

Έτσι, η διαφορά τους θα είναι

$$B - V = k_B - k_V - 2,5 \log \left(\frac{b_B}{b_V} \right), \quad (2.11)$$

και σύμφωνα με την (2.4)

$$B - V = k_{BV} - 2,5 \log f(T), \quad (2.12)$$

όπου $k_{BV} = k_B - k_V$. Η διαφορά $B - V$ ονομάζεται **δείκτης χρώματος** του αστέρα, ο προσδιορισμός του οποίου δίνει την ακριβή θερμοκρασία της επιφάνειας του αστέρα. Η σταθερά k_{BV} επιλέγεται έτσι ώστε για έναν αστέρα φασματικού τύπου A0, ο οποίος εξ' ορισμού έχει επιφανειακή θερμοκρασία 10.000 K, ο δείκτης χρώματος να παίρνει την τιμή μηδέν. Η τελική σχέση που προκύπτει για τη θερμοκρασία του αστέρα ως συνάρτηση του δείκτη χρώματός του είναι

$$T = \frac{7.300}{|7,3 - (B - V)|}. \quad (2.13)$$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές του δείκτη χρώματος για αστέρες διαφόρων θερμοκρασιών.

Πίνακας 2.1

Ο δείκτης χρώματος σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας για αστέρες της κύριας ακολουθίας

T (K)	$B - V$
3.300	1,482
4.000	1,095
4.700	0,823
5.400	0,622
6.000	0,487
6.500	0,393
7.200	0,283
8.100	0,171
10.000	0,000
13.500	-0,189
21.000	-0,382
35.000	-0,521

2.5 Βολομετρικά μεγέθη

Επειδή όλα τα μεγέθη των αστέρων προκύπτουν συγκριτικά, είναι λογικό να χρησιμοποιείται ένα σύστημα μεγεθών το οποίο να μην εξαρτάται από την απόκριση των οργάνων μέτρησης στα διάφορα μήκη κύματος. Το σύστημα αυτό ονομάζεται **βολομετρικό σύστημα** (m_b) και λαμβάνει υπόψη τη λαμπρότητα ενός αστέρα σε όλα τα μήκη κύματος. Λόγω της γνώσης της καμπύλης της έντασης της εκπεμπόμενης από τον αστέρα ακτινοβολίας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, δεν είναι απαραίτητο να μετρήσουμε το βολομετρικό μέγεθος του αστέρα, αλλά μπορούμε να το προσδιορίσουμε έμμεσα διορθώνοντας το οπτικό, προσθέτωντάς του έναν όρο C_{bc} ο οποίος αντιστοιχεί στη **βολομετρική διόρθωση**. Με άλλα λόγια

$$m_b = V + C_{bc}, \quad (2.14)$$

από την οποία προκύπτει

$$C_{bc} = m_b - V. \quad (2.15)$$

Η τελευταία, με τη βοήθεια της (2.7) δίνει

$$C_{bc} = k_b - k_V - 2,5 \log \left(\frac{b_b}{b_V} \right). \quad (2.16)$$

Ο λόγος b_b/b_V παίρνει την ελάχιστη τιμή του για έναν αστέρα του οποίου το μέγιστο της έντασης παρατηρείται στο ίδιο μήκος κύματος που παρουσιάζει το μέγιστο της ευαισθησίας του ο χρησιμοποιούμενος ανιχνευτής. Για το οπτικό φίλτρο V όπως προαναφέρθηκε, αυτό συμβαίνει στα 6.500 Å. Επιπλέον, η σταθερά k_b επιλέγεται έτσι ώστε για τον παραπάνω αστέρα, η βολομετρική διόρθωση να είναι ίση με μηδέν. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι βολομετρικές διορθώσεις για παρατηρήσεις στο οπτικό φίλτρο V

Πίνακας 2.2

Η βολομετρική διόρθωση συναρτήσει της θερμοκρασίας για το φίλτρο V

T (K)	$B - V$
3.300	-1,20
4.000	-0,58
4.700	-0,20
5.400	-0,10
6.000	-0,03
6.500	0,00
7.200	-0,10
8.100	-0,30
10.000	-0,68
13.500	-1,60
21.000	-3,00
35.000	-4,60

2.6 Διαταραχές λόγω της ατμόσφαιρας

2.6.1 Η ατμοσφαιρική διάθλαση

Όπως γνωρίζουμε, όταν μία φωτεινή ακτίνα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο διαφανών μέσων με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 υπό μία γωνία θ_π , τότε θα αλλάξει διεύθυνση. Η γωνία διάθλασης θ_δ συνδέεται με τη γωνία πρόσπτωσης θ_π με το νόμο του Snell

$$\frac{\sin \theta_\pi}{\sin \theta_\delta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2.17)$$

Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει όταν μία φωτεινή ακτίνα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του κενού και της ιονόσφαιρας της Γης, αλλά και μεταξύ των διαφόρων στρώματων της γήινης ατμόσφαιρας. Αυτό πρακτικά συμβαίνει γιατί η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης, μέχρι το ύψος των 800 περίπου km όπου τοποθετείται το εξωτερικό στρώμα της ιονόσφαιρας.

Στο σχήμα 2.1 φαίνεται η επίδραση της ατμόσφαιρας στην τροχιά μίας φωτεινής ακτίνας που προσπίπτει στην ιονόσφαιρα στο σημείο B με μία γωνία θ_π . Μέσω πολλαπλών διαθλάσεων από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας φτάνει τελικά στον παρατηρητή ο οποίος βρίσκεται στο σημείο O . Έστω ϵ η εφαπτομένη της τροχιάς της ακτίνας τη στιγμή που φτάνει στον παρατηρητή, ο οποίος βλέπει τον αστέρα σε μία ζενιθιαία απόσταση ζ ενώ η πραγματική είναι μεγαλύτερη και ίση με z . Εάν ο δείκτης διάθλασης στο κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας είναι n και με δεδομένο ότι ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι ίσος με τη μονάδα θα έχουμε ότι

$$\sin \theta_\pi = n \sin \theta_\delta, \quad (2.18)$$

ή

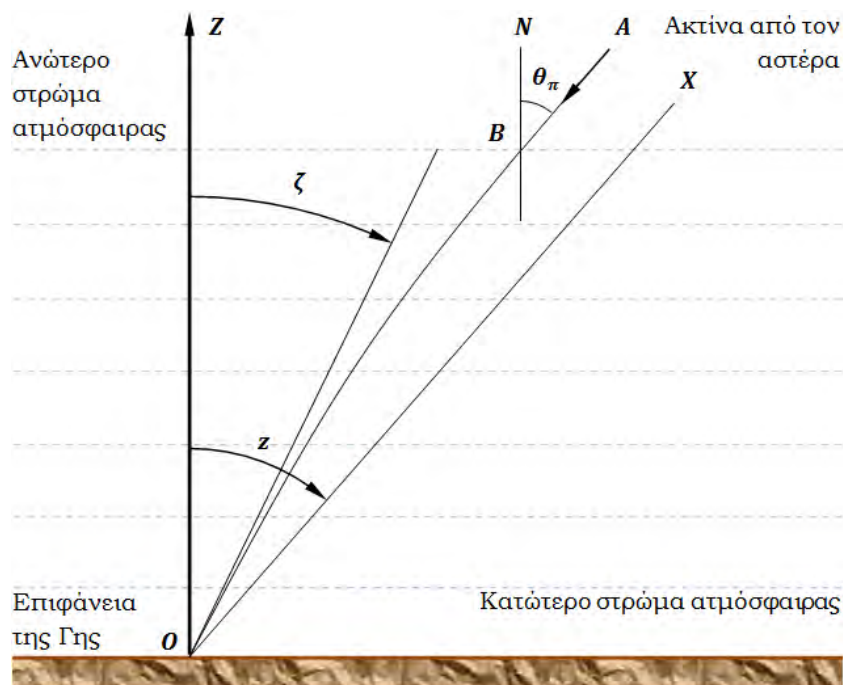
$$\sin z = n \sin \zeta \quad (2.19)$$

Έστω R η **γωνία διάθλασης**, δηλαδή η διόρθωση που πρέπει να ληφθεί υπόψη ώστε να μετατραπεί η φαινόμενη ζενιθιαία γωνία ζ στην πραγματική. Προφανώς θα ισχύει

$$R = z - \zeta. \quad (2.20)$$

Με τη βοήθεια της τελευταίας, η (2.19) δίνει

$$\sin(R + \zeta) = n \sin \zeta, \quad (2.21)$$



Εικόνα 2.1

Η διάθλαση του φως από έναν αστέρα λόγω της ατμόσφαιρας.

και με λίγη τριγωνομετρία

$$\sin R \cos \zeta + \sin \zeta \cos R = n \sin \zeta. \quad (2.22)$$

Θεωρώντας τώρα ότι η γωνία διάθλασης είναι αρκετά μικρή ώστε να ισχύουν οι προσεγγίσεις

$$\sin R \approx R, \quad \cos R = 1. \quad (2.23)$$

η (2.22) δίνει

$$R \cos \zeta = (n - 1) \sin \zeta. \quad (2.24)$$

Εάν εκφράσουμε τη γωνία R σε δευτερόλεπτα του τόξου παίρνουμε

$$R \cos \zeta = 206.265(n - 1) \sin \zeta, \quad (2.25)$$

ή

$$R = k \tan \zeta, \quad (2.26)$$

όπου $k = 206.265(n - 1)$ η **σταθερά διάθλασης**. Υπό κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, βρίσκουμε ότι η σταθερά k παίρνει την τιμή 60.3 arcsec .

Η σχέση (2.26) είναι αρκετά ακριβής για ζενιθιαίες γωνίες μέχρι 45° και καλή κατά προσέγγιση για γωνίες μέχρι 70° . Για μεγαλύτερες ζενιθιαίες γωνίες, θα πρέπει να βρεθεί μία πιο ακριβής σχέση, η οποία να λαμβάνει υπόψη και την καμπυλότητα της Γης και άρα και της γήινης ατμόσφαιρας.

Προσδιορισμός της σταθεράς διάθλασης

Η σταθερά διάθλασης μπορεί να προσδιοριστεί παρατηρώντας την τροχιά ενός αειφανούς αστέρα, και αυτό γιατί εξαρτάται από την ζενιθιαία απόσταση. Έστω ένας παρατηρητής σε γεωγραφικό πλάτος ϕ ο οποίος παρατηρεί έναν αστέρα ο οποίος στο ανώτερο σημείο της τροχιάς του διέρχεται από το σημείο A και στο κατώτερο από το B με ζενιθιαίες αποστάσεις ζ_A και ζ_B αντίστοιχα. Η πραγματική τροχιά του αστέρα, απουσία διάθλασης, θα διερχόταν από τα σημεία C και D , με τις γωνίες PC και PD να δίνονται από τη σχέση

$$PC = PD = 90 - \delta \quad (2.27)$$

όπου δ η απόκλιση του αστέρα. Επιπλέον οι γωνίες CA και DB είναι ίσες με τη γωνία διάθλασης στα σημεία A και B αντίστοιχα. Έτσι, από την (2.26) θα έχουμε

$$CA = k \tan \zeta_A \quad DB = \tan \zeta_B. \quad (2.28)$$

Κατά συνέπεια

$$ZC = \zeta_A + k \tan \zeta_A \quad ZD = \zeta_B + k \tan \zeta_B. \quad (2.29)$$

Όμως

$$ZC = PC - PZ = 90 - \delta - (90 - \phi) = \phi - \delta, \quad (2.30)$$

οπότε

$$\phi - \delta = \zeta_A + k \tan \zeta_A. \quad (2.31)$$

Ομοίως βρίσκουμε ότι

$$ZD = ZP + PD = 90 - \phi + 90 - \delta = 180 - \phi - \delta, \quad (2.32)$$

οπότε

$$180 - \phi - \delta = \zeta_B + k \tan \zeta_B. \quad (2.33)$$

Δεδομένου ότι το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή είναι γνωστό, οι εξισώσεις (2.31) και (2.33) αποτελούν ένα σύστημα με αγνώστους τα δ και k . Με απαλοιφή της απόκλισης παίρνουμε τελικά ότι

$$k = \frac{2\phi - 180 - (\zeta_A - \zeta_B)}{\tan \zeta_A - \tan \zeta_B} \quad (2.34)$$

Από την τελευταία μπορούμε να προσδιορίζουμε τη σταθερά διάθλασης k γνωρίζοντας μόνο τις φαινόμενες ζενιθιαίες αποστάσεις του αστέρα.

2.6.2 Το αστρονομικό seeing

Το **αστρονομικό seeing** είναι μία ποσότητα που περιγράφει την διαταραχή στην ποιότητα μίας εικόνας που λαμβάνουμε από ένα τηλεσκόπιο λόγω της **τύρβης** της ατμόσφαιρας. Τα αποτελέσματά του γίνονται ορατά ως μία τρισδιάστατη κίνηση του αντικείμενου παρατήρησης καθώς και ως μεταβολές της φαινόμενης λαμπρότητάς του, φαινόμενο γνωστό ως **σπινθηρισμός**.

Η οπτική μορφή του seeing στις διάφορες εικόνες εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του τηλεσκοπίου που χρησιμοποιούμε. Για ένα μικρό τηλεσκόπιο με διάμετρο αντικειμενικού φακού μερικών εκατοστών, η λαμπρότητα του παρατηρούμενου αντικείμενου μεταβάλλεται πάρα πολύ γρήγορά, όπως συμβαίνει όταν παρατηρούμε το αντικείμενο με γυμνό οφθαλμό. Επιπλέον όμως παρουσιάζει την αναμενόμενη εικόνα περιθλασης, καθορισμένων ορίων και κινείται συνεχώς παραμένοντας σε διαρκή κίνηση. Όταν χρησιμοποιούνται όμως μεγαλύτερα τηλεσκόπια, με διάμετρο μεγαλύτερη από 20 cm, η εικόνα χάνει τα όριά της, τα οποία πλέον καθίστανται ασαφή και αποκτά μία κηλιδωμένη μορφή, με διαφορετική λαμπρότητα στα διάφορα σημεία της, χωρίς όμως να παρατηρείται το φαινόμενο του σπινθηρισμού. Η εικόνα αυτή είναι γνωστή ως **δίσκος του seeing** (seeing disk), οι διαστάσεις του οποίου μετρώνται σε δευτερόλεπτα της μοίρας. Το μέγεθος του δίσκου του seeing καθορίζει ουσιαστικά της ποιότητα μίας παρατήρησης. Για ένα παρατηρητήριο, μία νύχτα χαρακτηρίζεται ως *καλή* ή *κακή* ανάλογα με το εάν ο δίσκος του seeing έχει μέγεθος μικρότερο ή μεγαλύτερο από 1 arcsec αντίστοιχα. Μάλιστα, στα παρατηρητήρια που βρίσκονται σε μεγάλο ύψος και σε μία όσο το δυνατόν απομονωμένη από φώτα περιοχή, ο δίσκος του seeing μπορεί να έχει μέγεθος μέχρι και 0.4 arcsec.

Η εξήγηση του seeing είναι αρκετά απλή. Λόγω της τύρβωδους ροής που ακολουθούν τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, τα πολύ κοντινά στρώματα του αέρα παρουσιάζουν ελαφρώς διαφορετικές θερμοκρασίες και άρα ελαφρώς διαφορετικό δείκτη διάθλασης. Αυτό προκαλεί στην ουσία μία *ρυτίδωση* (corrugation) του μετώπου του εισερχόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ενέργεια που συλλέγει ένα τηλεσκόπιο να αυξομειώνεται τυχαία, ανάλογα με τη μετατόπιση της φωτεινής ακτίνας. Επιπλέον, όσο μεγαλύτερο είναι το τηλεσκόπιο, τόσο μεγαλύτερο είναι το μέρος του μετώπου του κύματος που συλλέγει και άρα και τόσο περισσότερες ρυτίδωσεις. Όμως η συνολική ποσότητα ενέργειας που καταγράφει παραμένει σταθερή από ένα σημείο και μετά. Έτσι, εάν το μέγεθος του τηλεσκοπίου είναι τέτοιο ώστε να συλλέγει μία μόνο ρυτίδωση, η συλλεγόμενη ενέργεια δεν μεταβάλλεται σημαντικά ενώ παράλληλα εξαλείφεται και το φαινόμενο του σπινθηρισμού. Όπως έχει αποδειχθεί, το μέγεθος της ρυτίδωσης του μετώπου του φωτεινού κύματος που προέρχεται από έναν αστέρα είναι της τάξης των 10 cm.

Αυτή η ιδέα έχει επιβεβαιωθεί, από τη διαφορετική μορφή που παρουσιάζουν οι εικόνες των αστέρων όταν παρατηρούνται από τηλεσκόπια με διαφορετικό μέγεθος. Για ένα μικρό τηλεσκόπιο, το μέγεθος των ρυτίδωσεων είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τη διάμετρο του αντικειμενικού φακού. Έτσι μπορούν να θεωρηθούν ως επίπεδα κύματα τα οποία όμως φτάνουν στο τηλεσκόπιο υπό διαφορετικές γωνίες. Έτσι κάθε φορά προκύπτει μια εικόνα του αντικείμενου με καθορισμένα όρια. Λόγω του διαφορετικού όμως προσανατολισμού της ρυτίδωσης σε διάφορες χρονικές στιγμές, η θέση του αντικείμενου αλλάζει, προκαλώντας την φαινόμενη κίνησή του.

Για ένα μεγάλο τηλεσκόπιο, η εικόνα που προκύπτει είναι η επαλληλία όλων των ρυτίδωσεων που αυτό συλλέγει, με αποτέλεσμα κάθε μία από αυτές να μετατοπίζει το αντικείμενο προς μία διαφορετική κατεύθυνση, σχηματίζοντας τελικά ένα κηλιδωμένο αντικείμενο. Προφανώς, εάν πραγματοποιήσουμε μία παρατήρηση με ένα μικρό τηλεσκόπιο, αλλά για μεγάλο χρονικό διάστημα, το αποτέλεσμα θα είναι ακριβώς το ίδιο.

Σε αντίθεση με τους αστέρες, το φως των που προέρχεται από τους πλανήτες, όταν το παρατηρούμε με γυμνό οφθαλμό, δεν παρουσιάζει το φαινόμενο του σπινθηρισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί η φαινόμενη γωνιακή διάμετρος των πλανητών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των αστέρων. όπως έχει αποδειχθεί, το φαινόμενο του σπινθηρισμού γίνεται

αισθητό, όταν η φαινόμενη γωνιακή διάμετρος του παρατηρούμενου αντικειμένου γίνει μικρότερη από 10 arcsec και γίνεται ολοένα και πιο έντονο όσο η διάμετρος ελαττώνεται. Οι αστέρες, των οποίων η γωνιακή διάμετρος δεν ξεπερνά τα 3 arcsec παρουσιάζουν τον πιο έντονο σπινθηρισμό. Έτσι, για τους αστέρες μπορούμε να πούμε ότι το φυσικό μέγεθος α των ρυτιδώσεων είναι αυτής της τάξης μεγέθους, σε αντίθεση με το παρατηρούμενο d που όπως προαναφέρθηκε είναι της τάξης των 10 cm . Έτσι, μπορούμε να βρούμε την απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα, στην οποία δημιουργούνται οι ρυτιδώσεις. Αυτή είναι

$$d_c = \frac{d}{\alpha} = \frac{100}{3} \times 206.265 \text{ mm} \approx 6.88 \text{ km} \quad (2.35)$$

Κατά συνέπεια, εάν μία παρατήρηση λάβει χώρα σε υψόμετρο μεγαλύτερο από αυτό, θα πρέπει να είναι απηλλαγμένη από τα αποτελέσματα του seeing. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί από παρατηρήσεις που έχουν γίνει με το Stratoscope Project, ένα τηλεσκόπιο που βρίσκεται σε ένα αερόστατο το οποίο κινείται στο ύψος της στρατόσφαιρας.

Για να είμαστε βέβαια ακριβής, ακόμα και οι πλανήτες παρουσιάζουν το φαινόμενο του σπινθηρισμού, εκτός αν βρίσκονται σε τέτοια θέση ώστε να έχουν αρκετά μεγάλη φαινόμενη γωνιακή διάμετρο και να παρατηρούνται από ένα σημείο στο οποίο η ατμόσφαιρα να είναι αρκετά καθαρή. Υπάρχουν φορές όπου η φαινόμενη διάμετρος του Άρη για παράδειγμα είναι τόσο μικρή οπότε παρατηρείται το φαινόμενο του σπινθηρισμού, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε μικρά ύψη, οπότε το φως του διανύει μεγαλύτερη απόσταση μέσα στα τυρβώδη στρώματα της ατμόσφαιρας. Επιπλέον, εάν η παρατήρηση γίνεται κοντά σε κάποιο αστικό κέντρο, μπορεί να παρατηρηθεί μεταβολή στη λαμπρότητα ακόμη και των μεγαλύτερων πλανητών, ως αποτέλεσμα της διάδοσης του φωτός τους μέσα από την αιθαλομίχλη που υπάρχει στην ατμόσφαιρα των μεγάλων πόλεων.

Τα αποτελέσματα του seeing δεν είναι ορατά σε όλα τα είδη μετρήσεων και στις περιπτώσεις που είναι φανερά, μπορεί να σχεδιαστεί κατάλληλα η διάταξη της συσκευής παρατήρησης, ώστε να τα προσπεράσει ή έστω να τα ελαττώσει. Από την άλλη, το φαινόμενο του σπινθηρισμού είναι σημαντικό όταν λαμβάνονται στιγμιαίες εικόνες. Για εικόνες που έχουν ληφθεί με μεγάλο χρόνο έκθεσης, στην τελική εικόνα το αντικείμενο παρατήρησης έχει σταθερή φαινόμενη φωτεινότητα.

2.6.3 Η μέθοδος DIMM για τη μέτρηση του seeing

Η μέτρηση του αστρονομικού seeing μας δείχνει στην ουσία το κατά πόσο παραμορφώνεται μία εικόνα που λαμβάνουμε από ένα τηλεσκόπιο, εξαιτίας της μεσολάβησης της γήινης ατμόσφαιρας. Η πιο κοινή μέτρηση που πραγματοποιείται είναι αυτή του μέγιστου πλάτους στο μισό της έντασης (Full Width at Half Maximum, FWHM) του δίσκου του seeing. Η ακριβέστερη μέθοδος που έχει αναπτυχθεί είναι η **μέθοδος DIMM** (Differential Image Motion Monitor). Για την πραγματοποίηση της μέτρησης χρησιμοποιείται συνήθως ένα μικρό σχετικά τηλεσκόπιο, με διάμετρο περίπου 20 cm , με ισημερινή στήριξη, μία CCD κάμερα, μία μάσκα με δύο οπές, η οποία μπαίνει στο μπροστινό μέρος του τηλεσκοπίου και λόγω της οποίας δημιουργούνται δύο διαφορετικά είδωλα και κατάλληλο λογισμικό.

Με τη μέθοδο DIMM μετράται η σχετική κίνηση μεταξύ δύο εικόνων του ίδιου αστέρα και με βάση τη σχετική αυτή κίνηση, το μέγεθος των οπών και την απόσταση διαχωρισμού τους, μπορούμε να προσδιορίσουμε τελικά τη διάμετρο του δίσκου του seeing. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι απαλείφει τα προβλήματα που προκύπτουν από τη μη ακριβή κίνηση του τηλεσκοπίου, αφού μετράται η γωνιακή διαφορά μεταξύ δύο εικόνων του ίδιου αντικειμένου οι οποίες λαμβάνονται ταυτόχρονα. Η βασική ιδέα είναι ότι το φως του αστέρα που διέρχεται μέσα από τις δύο οπές, ταξιδεύει μέσα από ελαφρώς διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες παράγοντας μία σχετική κλίση μεταξύ των δύο μετώπων του κύματος.

Για την ακρίβεια, η εξίσωση του μετώπου του κύματος είναι της μορφής $z(x, y)$ και είναι ανάλογη της φάσης του σφάλματος $\phi(x, y)$ του μετώπου, δηλαδή

$$z(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi} \phi(x, y). \quad (2.36)$$

Η συνιστώσα α της διαταραχής της γωνίας άφιξης του κύματος στη διεύθυνση x είναι

$$\alpha(x, y) = -\frac{\partial}{\partial x} z(x, y) = -\frac{\lambda}{2\pi} \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, y). \quad (2.37)$$

Επιπλέον, το covariance της διαταραχής της γωνίας άφιξης είναι

$$B_\alpha(\xi, \eta) = \langle \alpha(x, y), \alpha(x + \xi, y + \eta) \rangle, \quad (2.38)$$

και σχετίζεται με το covariance $B_\phi(\xi, \eta)$ της φάσης της διαταραχής μέσω της σχέσης

$$B_\alpha(\xi, \eta) = -\frac{\lambda^2}{4\pi^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} B_\phi(\xi, \eta). \quad (2.39)$$

Ορίζουμε στη συνέχεια τη συνάρτηση δομής φάσης, με τη σχέση

$$D_\phi(\xi, \eta) = 2 [B_\phi(0, 0) - B_\phi(\xi, \eta)], \quad (2.40)$$

με τη βοήθεια της οποίας πέρνουμε

$$B_\alpha(\xi, \eta) = \frac{\lambda^2}{8\pi^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} D_\phi(\xi, \eta). \quad (2.41)$$

Από την προσέγγιση εγγύς πεδίου του Kolmogorov για την τύρβη, προκύπτει ότι η συνάρτηση δομής φάσης είναι

$$D_\phi(\xi, \eta) = 6,88 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{5/3}, \quad (2.42)$$

όπου $r = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ και r_0 είναι η παράμετρος seeing του Fried, η οποία στην ουσία καθορίζει τη διάμετρο ενός τηλεσκοπίου για την οποία οι ατμοσφαιρικές διαταραχές αρχίζουν να επηρεάζουν σημαντικά την διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου. Με τη βοήθεια της τελευταίας, η (2.41) δίνει

$$\begin{aligned} B_\alpha(\xi, \eta) &= 0,087 \lambda^2 r_0^{-5/3} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} (\xi^2 + \eta^2)^{5/6} \\ &= 0,145 \lambda^2 r_0^{-5/3} \left[(\xi^2 + \eta^2)^{-1/6} - \frac{1}{3} \xi^2 (\xi^2 + \eta^2)^{-7/6} \right]. \end{aligned} \quad (2.43)$$

Για $\eta = 0$ παίρνουμε την διαμήκη συνιστώσα, παράλληλη προς τη διεύθυνση της σχετικής κλίσης, ως συνάρτηση της απόστασης $\xi = d$ μεταξύ των οπών. Έχουμε

$$B_l(d) = B_\alpha(d, 0) = 0,097 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{d} \right)^{1/3}. \quad (2.44)$$

Για $\xi = 0$ παίρνουμε την εγκάρσια συνιστώσα, κάθετη προς τη διεύθυνση της σχετικής κλίσης, ως συνάρτηση της απόστασης $\eta = d$ μεταξύ των οπών. Έχουμε

$$B_t(d) = B_\alpha(0, d) = 0,145 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{d} \right)^{1/3}. \quad (2.45)$$

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω σχέσεις, η εγκάρσια συνιστώσα είναι ακριβώς 1,5 φορές μεγαλύτερη από τη διαμήκη, ενώ παρουσιάζουν την ίδια ακριβώς εξάρτηση από την απόσταση μεταξύ των οπών. Θέτοντας τώρα $\xi = \eta = 0$ παίρνουμε την αρχική τιμή

$$B_\alpha(0, 0) = 0,179 \left(\frac{\lambda}{r_0} \right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{D} \right)^{1/3}, \quad (2.46)$$

όπου D η διάμετρος των οπών.

Η διασπορά $\sigma(d)$ των μετρήσεων σε μία απόσταση d δίνεται από τη σχέση

$$\sigma^2(d) = 2[B(0) - B(d)]. \quad (2.47)$$

Έτσι για τη διαμήκη συνιστώσα έχουμε

$$\sigma_l^2(d) = 2\lambda^2 r_0^{-5/3} (0,179D^{-1/3} - 0,0968d^{-1/3}), \quad (2.48)$$

ενώ για την εγκάρσια

$$\sigma_t^2(d) = 2\lambda^2 r_0^{-5/3} (0,179D^{-1/3} - 0,145d^{-1/3}). \quad (2.49)$$

Μπορούμε να εκφράσουμε τις παραπάνω διασπορές συναρτήσει της συνολικής διασποράς για μία οπή, η οποία είναι

$$\sigma^2 = 2B_\alpha(0,0) = 0,358 \left(\frac{\lambda}{r_0}\right)^{5/3} \left(\frac{\lambda}{D}\right)^{1/3}, \quad (2.50)$$

Έτσι, οι (2.48) και (2.49) δίνουν

$$\sigma_l^2 = \left[1 - 0,541 \left(\frac{d}{D}\right)^{-1/3}\right] \sigma^2, \quad (2.51)$$

και

$$\sigma_t^2 = \left[1 - 0,811 \left(\frac{d}{D}\right)^{-1/3}\right] \sigma^2. \quad (2.52)$$

Η γωνιακή διακριτική ικανότητα θ δίνεται από την εξίσωση του Strehl

$$\theta = \frac{4}{\pi} \frac{\lambda}{r_0}. \quad (2.53)$$

Το FWHM, σύμφωνα με τον Dierickx συνδέεται με την παράμετρο του Fried και το μήκος κύματος με τη σχέση

$$\text{FWHM} = 0,98 \frac{\lambda}{r_0}. \quad (2.54)$$

Για καταγραφή εικόνας με μεγάλη χρονική έκθεση, το FWHM συνδέεται με τη ξενιθιαία απόσταση ζ με τη σχέση

$$\text{FWHM} \propto \lambda^{1/5} (\sigma_i^2 \cos \zeta)^{3/5}, \quad (2.55)$$

όπου ο δείκτης i δείχνει είτε τη διαμήκη είτε την εγκάρσια συνιστώσα. Λόγω των δύο συνιστωσών του κύματος, η μέθοδος αυτή δίνει δύο διαφορετικές τιμές για το FWHM γεγονός που βοηθάει ώστε να ελαττωθεί κάθε πιθανό στατιστικό σφάλμα.

Όπως και κάθε άλλη μέθοδος, έτσι και αυτή βαρύνεται από κάποια σφάλματα. Αυτά είναι τριών ειδών.

1. Σφάλματα οργάνων, τα οποία σχετίζονται κυρίως με την CCD κάμερα. Το συστηματικό σφάλμα σε κάθε διεύθυνση είναι

$$\sigma_n^2 = \sigma_{nl}^2 = \sigma_{nt}^2 = 0,010 \pm 0,002 \text{pixel}^2. \quad (2.56)$$

2. Στατιστικά σφάλματα, τα οποία έχουν να κάνουν με το πλήθος N των μετρήσεων που πραγματοποιούνται. Η σχετική διασπορά των μετρήσεων δίνεται από τη σχέση

$$\frac{\delta \sigma_i^2}{\sigma_i^2} = \sqrt{\frac{2}{N-1}}, \quad (2.57)$$

η οποία γίνεται αρκετά μικρή πάνω από $N = 200$ μετρήσεις. Αυτή οδηγεί σε ένα σχετικό σφάλμα του FWHM το οποίο είναι της τάξης του $\pm 6\%$ για κάθε συνιστώσα του κύματος. Αυτά τα επιμέρους σφάλματα οδηγούν στο τελικό στατιστικό σφάλμα το οποίο στην καλύτερη περίπτωση είναι ίσο με $\pm 4,25\%$.

3. Λόγω του τρόπου διεξαγωγής της μεθόδου, ο χρόνος λήψης μίας εικόνας είναι πολύ μικρός, ώστε η ληφθείσα εικόνα να παρουσιάζεται ακίνητη σε ένα και μόνο σημείο κάθε φορά. Λόγω της μετακίνησης όμως της εικόνας, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα επιπλέον σφάλμα στις μετρήσεις, το οποίο όμως σε καμμία περίπτωση δεν ξεπερνά το 10% .

2.6.4 Η ατμοσφαιρική απορρόφηση

Όταν μία ακτίνα φωτός διέλθει μέσα από ένα οποιοδήποτε μέσο η ένταση του ελαττώνεται συνεχώς λόγω διαδικασιών απορρόφησης και σκέδασης. Για ένα μέσο με ομογενή απορροφησιμότητα, η ροή οποιασδήποτε ακτίνας ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση που διανύει στο εσωτερικό του μέσου. Αυτός ο κανόνας είναι πολύ γενικός και έχει γίνει γνωστός ως **νόμος του Bouger**. Το ποσοστό της απορρόφησης εξαρτάται από τη φύση του μέσου διάδοσης και το μήκος κύματος του φωτός που διαδίδεται. Στην περίπτωση μία σημειακής πηγής ενδογενούς φωτεινότητας B_0 , η μετρούμενη φωτεινότητα B , σε οποιαδήποτε απόσταση x δίνεται από τη σχέση

$$B = B_0 10^{-ax}, \quad (2.58)$$

όπου a ο **δεκαδικός συντελεστής απορρόφησης** (decimal absorption coefficient) του μέσου.

Η ατμόσφαιρα της Γης, απορροφά συνεχώς το φως των αστερών καθώς αυτό διαδίδεται μέσω αυτής μέχρι να φτάσει στο τηλεσκόπιο. Έαν αστεράς που παρατηρείται στην επιφάνεια της θάλασσας φαίνεται πιο αμυδρός σε σχέση με το πως θα παρατηρούνταν από ένα αλπικό τηλεσκόπιο. Το πάχος της ατμόσφαιρας που διανύει μία φωτεινή ακτίνα εξαρτάται επιπλέον από το ύψος του παρατηρούμενου αστερά με αποτέλεσμα η φαινόμενη φωτεινότητά του να μεταβάλλεται κατά τη διαδρομή του στην ουράνια σφαίρα. Έτσι, για να συγκρίνουμε τη φαινόμενη φωτεινότητα δύο αστερών είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα ακριβή αποτελέσματα της ατμοσφαιρικής απορρόφησης.

Για ζενιθιαία απόσταση μικρότερη από 60° , για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής απορρόφησης χρησιμοποιείται η παρακάτω απλή μέθοδος. Όπως και στην απλοποιημένη μελέτη της ατμοσφαιρικής διάθλασης, η ατμόσφαιρα θεωρείται ως μία σειρά λεπτών επίπεδων παράλληλων στρώματων. Κάθε στρώμα θεωρείται ότι έχει έναν καλά καθορισμένο συντελεστή απορρόφησης ο οποίος αυξάνεται καθώς το αστρικό φως δεισδύει ολοένα και βαθύτερα στην ατμόσφαιρα.

Εάν είναι η φωτεινότητα ενός αστερά πάνω από το πρώτο στρώμα της ατμόσφαιρας είναι B_0 και αμέσως μετά τη διέλευσή του είναι B , σύμφωνα με τον νόμο του Brouger θα έχουμε

$$B = B_0 10^{-a \, dz \, \sec \zeta}, \quad (2.59)$$

όπου a είναι ο δεκαδικός συντελεστής απορρόφησης του πρώτου στρώματος της ατμόσφαιρας. Η φωτεινότητα στην επιφάνεια της Γης καθορίζεται με την ολοκλήρωση κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής μέσω της οποίας ταξίδεψε η φωτεινή ακτίνα. Έτσι, για έναν αστερά σε ζενιθιαία απόσταση ζ , η παρατηρούμενη φωτεινότητα δίνεται από τη σχέση

$$B(\zeta) = B_0 10^{-\int_h^\infty a(z) \sec \zeta \, dz}, \quad (2.60)$$

όπου $a(z)$ είναι ο συντελεστής απορρόφησης συναρτήσει της απόστασης που διανύει το φως στην ατμόσφαιρα και h το υψόμετρο που βρίσκεται ο παρατηρητής. Λογαριθμίζοντας και τα δύο μέλη η παραπάνω σχέση δίνει

$$\log B(\zeta) = \log B_0 - \sec \zeta \int_h^\infty a(z) \, dz. \quad (2.61)$$

Εάν $B(0)$ είναι η φωτεινότητα του αστερά εάν αυτός βρίσκεται στο ζενίθ, τότε η παραπάνω σχέση γίνεται

$$\log B(0) = \log B_0 - \int_h^\infty a(z) \, dz, \quad (2.62)$$

οπότε

$$\int_h^\infty a(z) \, dz = \log \left(\frac{B_0}{B(0)} \right). \quad (2.63)$$

Αντικαθιστώντας την τελευταία στην (2.61) παίρνουμε τελικά

$$\log B(\zeta) = \log B_0 + \sec \zeta \log \left(\frac{B_0}{B(0)} \right). \quad (2.64)$$

Με τη βοήθεια της (2.6) η τελευταία γίνεται

$$m(\zeta) = m_0 + \sec \zeta (m(0) - m_0), \quad (2.65)$$

όπου m_0 , $m(0)$ και $m(\zeta)$ είναι αντίστοιχα τα φαινόμενα μεγέθη του αστέρα πάνω από την ατμόσφαιρα, όπως παρατηρείται στο ζενίθ και σε ζενιθιαία απόσταση ζ .

Έστω τώρα $\Delta m = m(0) - m_0$. Τότε η ποσότητα Δm εκφράζει την αύξηση του φαινόμενου μεγέθους του αστέρα λόγω της ατμοσφαιρικής απορρόφησης. Με τη βοήθεια της ποσότητας αυτής παίρνουμε τελικά

$$m(\zeta) = m_0 + \Delta m \sec \zeta. \quad (2.66)$$

Σύμφωνα με την απλή παραπάνω ανάλυση, το παρατηρούμενο φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα εξαρτάται γραμμικά από τη συνεφαπτομένη της ζενιθιαίας απόστασης.

Από τη στιγμή που έχουμε υπολογίσει την ποσότητα Δm για μία συγκεκριμένη τοποθεσία, πραγματοποιώντας μία σειρά μετρήσεων για κάποιους αστέρες αναφοράς, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη διόρθωση που πρέπει να εφαρμόσουμε στις υπόλοιπες μετρήσεις για οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο. Δεδομένου ότι το Δm μεταβάλλεται ελαφρώς με περίοδο μερικών λεπτών, αλλά και από νύχτα σε νύχτα ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, για να προσδιοριστεί το φαινόμενο μέγεθος ενός αστέρα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία σειρά μετρήσεων. Στο Βασιλικό Παρατηρητήριο του Εδιμβούργου, χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα δύο τηλεσκόπια, εκ των οποίων το ένα στοχεύει στον υπό μελέτη αστέρα και το άλλο προς έναν αστέρα αναφοράς, εφαρμόζοντας άμεσα την απαιτούμενη διόρθωση στο μέγεθος του μελετούμενου αστέρα.

Όπως είναι προφανές, η απορρόφηση που μετράται για διαφορετικά παρατηρητήρια είναι επίσης διαφορετική. Έτσι, προκειμένου να έχουν νόημα οι προσδιορισμοί του φαινόμενου μεγέθους των αστέρων, ανάγουμε το μετρούμενο μέγεθος σε αυτό που θα μετρούσαμε στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας. Η ανάγκη αυτή πηγάζει στην ουσία από την παρατήρηση των αστέρων με διαφορετικά φίλτρα, αφού η ατμοσφαιρική απορρόφηση εξαρτάται και από το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, για τα φίλτρα U , B και V οι τιμές του Δm είναι αντίστοιχα 0,6, 0,3 και 0,2.

Για πολύ ακριβείς μετρήσεις φωτομετρίας είναι απαραίτητη η εξαγωγή ενός αλγόριθμου που θα δίνει τις ακριβείς τιμές του Δm σε κάθε περίπτωση. Ο αλγόριθμος αυτός θα πρέπει να λαμβάνει επιπλέον υπόψη και την καμπύλωση μίας ακτίνας φωτός καθώς αυτή διέρχεται μέσω της ατμόσφαιρας και να μπορεί να εφαρμοστεί και για ζενιθιαίες γωνίες μεγαλύτερες από 60° .

2.7 Φωτογραφική φωτομετρία

Όταν πρόκειται να προσδιορίσουμε τη φαινόμενη φωτεινότητα ενός αστέρα τοποθετούμε μία φωτογραφική πλάκα πάνω στο εστιακό επίπεδο ενός τηλεσκοπίου. Ανάλογα με τη μέτρηση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί, ο χρόνος έκθεσης κυμαίνεται από μερικά λεπτά μέχρι και μερικές ώρες.

Διερευνώντας την εικόνα που καταγράφεται στην πλάκα, αυτό που φαίνεται αμέσως είναι ότι το μέγεθος του ειδώλου που αποτυπώνεται είναι ανάλογο της φωτεινότητας του παρατηρούμενου αντικειμένου. Θα πρέπει να τονιστεί βέβαια ότι αυτό το μέγεθος δεν έχει καμμία σχέση με την πραγματική διάμετρο του αστέρα που παρατηρείται. Η μορφή της εικόνας είναι πρακτικά σαν το αρνητικό μιας φωτογραφίας. Οι φωτεινές περιοχές εμφανίζονται ως μαύρες κουκίδες, η πυκνότητα των οποίων είναι μεγάλη στο κέντρο του ειδώλου και μικραίνει καθώς απομακρυνόμαστε από αυτό. Το μέγεθος του ειδώλου όμως είναι μεγαλύτερο από αυτό που προβλέπει η θεωρία της διάθλασης. Αυτό οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους.

Ο πρώτος είναι ότι το φως του αστέρα σκεδάζεται από το γαλάκτωμα που υπάρχει πάνω στη φωτογραφική πλάκα, πρώτου απορροφηθεί και καταγραφεί. Ο δεύτερος έχει να κάνει με τα φαινόμενα που περιγράφησαν στις προηγούμενες παραγράφους και σχετίζονται με τις διαταραχές που προκαλούνται από την ατμόσφαιρα της Γης.

Τα φαινόμενα αυτά είναι γίνονται εντονότερα όσο αυξάνεται ο χρόνος έκθεσης της παρατήρησης.

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους του αντικειμένου πρέπει να βρεθεί η ακτίνα του ειδώλου, δηλαδή το σημείο πέρα από το οποίο η πυκνότητα των κόκκων πρακτικά μηδενίζεται. Αυτό που γίνεται προφανές είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που συλλέγεται, τόσο πιο εκτεταμένη θα είναι και η κατανομή των κόκκων πάνω στην πλάκα. Κατά συνέπεια το φαινόμενο μέγεθος του αστέρα που καταγράφεται είναι ανάλογο τόσο της φαινόμενης φωτεινότητάς του όσο και του χρόνου έκθεσης. Εάν δεν ίσχυε αυτό και τα είδωλα των αστέρων εμφανίζονταν ως σημειακές πηγές, θα ήταν εξαιρετικά δύσκολος ο προσδιορισμός του φαινόμενου μεγέθους ενός αστέρα.

Ο προσδιορισμός των φαινόμενων μεγεθών των αστέρων ανάγεται στη μέτρηση των ακτίνων των ειδώλων με ένα είδος μικροσκοπίου. Στη συνέχεια, με τη χρήση μιας καμπύλης αναφοράς μετατρέπεται η διάμετρος σε φαινόμενο μέγεθος. Η καμπύλη αναφοράς κατασκευάζεται και πάλι με τη βοήθεια κάποιων αστέρων αναφοράς. Αυτή η καμπύλη βέβαια δεν ανταποκρίνεται στον προσδιορισμό του μεγέθους οποιουδήποτε αστέρα, αφού οι καμπύλες αναφοράς είναι ακριβής σε ένα εύρος το οποίο καλύπτει το πολύ έξι μεγέθη μεταξύ των λαμπρότερων και των αμυδρότερων αστέρων. Στην περιοχή αυτή η σχέση ανάμεσα στη διάμετρο του ειδώλου και στο φαινόμενο μέγεθος είναι σχεδόν γραμμική.

Μία βελτίωση αυτής της μεθόδου προκύπτει με τη χρήση ενός ειδικού οργάνου γνωστού ως **φωτόμετρο διαγράμματος ίριδας** (iris diaphragm photometer). Η συσκευή αυτή επιτρέπει τον ακριβή και άμεσο προσδιορισμό της ακτίνας των ειδώλων και των φαινόμενων μεγεθών των αστέρων.

Σε αυτό το όργανο, η φωτογραφική πλάκα τοποθετείται πάνω σε ένα φορητό βαγόνι το οποίο παρέχει τη δυνατότητα να μετράται άμεσα η θέση του με τη βοήθεια συντεταγμένων X και Y . Με τη βοήθεια ενός λαμπτήρα και ενός συστήματος προβολής, παρέχεται η δυνατότητα να φωτιστεί ομοιόμορφα μία οποιαδήποτε περιοχή της φωτογραφικής πλάκας. Το μέγεθος της φωτιζόμενης περιοχής ελέγχεται αυτόματα από το διάφραγμα ίριδας. Αφού η ακτίνα περάσει από τη φωτογραφική πλάκα κατευθύνεται προς έναν φωτοπολλαπλασιαστή. Η ένταση οποιασδήποτε εισερχόμενης ακτίνας μπορεί να συγκριθεί αυτόματα με την ένταση του φωτός που προέρχεται από τον λαμπτήρα. Η ένταση της φωτεινής ακτίνας, αφού περάσει από τη φωτογραφική πλάκα εξαρτάται από το μέγεθος του διαφράγματος και την πυκνότητα της κατανομής της περιοχής της φωτογραφικής πλάκας που έχει απομονωθεί και φωτιστεί. Όταν η εικόνα διέλθει μέσα από την οπή του διαφράγματος, μπορεί να τοποθετηθεί στο κέντρο της, μετακινώντας απλά το βαγόνι πάνω στο οποίο βρίσκεται η φωτογραφική πλάκα. Στη συνέχεια, υπάρχει η δυνατότητα να εξισορροπηθούν οι εντάσεις του φωτός που προέρχεται από τον αστέρα και αυτού που προέρχεται από τον λαμπτήρα.

Όπως είναι αναμενόμενο, η εικόνα που προέρχεται από έναν φωτεινό αστέρα, θα είναι πολύ πυκνή στο κέντρο και θα έχει και σχετικά μεγάλη διάμετρο. Για να εξισορροπηθούν οι εντάσεις των δύο ακτίνων σε αυτή την περίπτωση, πρέπει η διάμετρος του διαφράγματος να είναι αρκετά μεγάλη. Αφού επέλθει η εξισορρόπηση των ακτίνων μετράται η διάμετρος του διαφράγματος. Με τη βοήθεια αστέρων αναφοράς κατασκευάζεται μία καμπύλη βαθμονόμησης με την οποία προσδιορίζεται το φαινόμενο μέγεθος οποιουδήποτε αστέρα. Η αβεβαιότητα των μετρούμενων μεγεθών είναι το πολύ ίση με $0,05\ mag$. Η διαδικασία αυτή γίνεται ακόμη ευκολότερη σε μεγάλες διατάξεις, όπου η εικόνα που καταγράφεται στην φωτογραφική πλάκα μπορεί να προβληθεί σε μία οθόνη.

2.8 Φωτοηλεκτρική φωτομετρία

Η φωτοηλεκτρική φωτομετρία στηρίζεται στην αρχή του φωτοπολλαπλασιαστή. Το όργανο αυτό ανταποκρίνεται μόνο στο συνολικό ποσό ενέργειας που συλλέγει και δεν μπορεί να διαχωρίσει τις διαφορές στην ένταση του φωτός που πέφτει στις διάφορες περιοχές του. Έτσι, εάν πρόκειται να παρατηρήσουμε ένα αστρικό πεδίο προκειμένου

να μετρήσουμε φωτοηλεκτρικά τη φωτεινότητα ενός αστέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό του, πρέπει να τον απομονώσουμε με τη βοήθεια ενός διαφράγματος που τοποθετείται στο εστιακό επίπεδο του τηλεσκοπίου, ώστε να περιορίσουμε όσο περισσότερο γίνεται το φως του υποβάθρου που εισέρχεται στο τηλεσκόπιο.

Αν και στην περίπτωση των φωτογραφικών παρατηρήσεων η φωτογραφική πλάκα τοποθετείται πάνω στο εστιακό επίπεδο του τηλεσκοπίου, δεν θα πρέπει η εικόνα αυτή να φτάνει κατευθείαν στη φωτοκάθοδο του φωτοπολλαπλασιαστή. Αυτό γιατί η ενεργός περιοχή της φωτοκάθοδου δεν παρουσιάζει γραμμική ευαισθησία, με αποτέλεσμα μία εικόνα που πέφτει πάνω σε αυτήν και δεν παραμένει σταθερή, για παράδειγμα εξαιτίας του seeing, να παρουσιάζει υψηλά επίπεδα θορύβου, καθιστώντας ιδιαίτερα ανακριβή μία μέτρηση. Για το λόγο αυτό, μεταξύ του εστιακού επιπέδου και της φωτοκάθοδου τοποθετείται ένας **φακός πεδίο** (field lens), ώστε το φως που διέρχεται από αυτόν να εστιάζεται πάνω στη φωτοκάθοδο, με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται όλη η ενεργή περιοχή της. Στη συνέχεια, η συλλεγόμενη από τη φωτοκάθοδο ακτινοβολία μετατρέπεται σε τετραγωνικό παλμό, η ένταση του οποίου είναι ανάλογη της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Επειδή η εξάρτηση αυτή είναι γραμμική δεν χρειάζεται περαιτέρω βαθμονόμηση του συστήματος με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα εύκολος ο προσδιορισμός του φαινόμενου μεγέθους του αστέρα. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως το σημείο παρατήρησης ή ο χρόνος ολοκλήρωσης του σήματος που λαμβάνεται και στην καλύτερη περίπτωση το σφάλμα είναι της τάξης του 1%.

2.9 Πολωσιμετρία

Προκειμένου να μετρήσουμε την πόλωση μίας φωτεινής ακτίνας στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, θα πρέπει οι φωτομετρικές παρατηρήσεις να έχουν πραγματοποιηθεί με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, οι φωτομετρικές παρατηρήσεις πραγματοποιούνται συνήθως με τη βοήθεια φωτοηλεκτρικών ανιχνευτών, που όμως μπορούν να προσδιορίσουν το μέγεθος ενός μόνο αστέρα κάθε φορά. Στις μέρες μας έχουν κατασκευαστεί και διατάξεις πολωσιμέτρων με τις οποίες να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της πόλωσης του φωτός διαφορετικών αστέρων ταυτόχρονα, αλλά αυτές βαρύνονται από αρκετά μεγαλύτερα σφάλματα.

Στην οπτική περιοχή, το ποσοστό πόλωσης του φωτός που προέρχεται από μία αστρική πηγή είναι αρκετά μικρό και πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα συστηματικά σφάλματα που βαρύνουν τις μετρήσεις. Αυτές πραγματοποιούνται με την τοποθέτηση ενός φίλτρου ευαίσθητου στην γωνία πόλωσης του φωτός, αμέσως πριν τον ανιχνευτή. Στην πιο απλή περίπτωση χρησιμοποιείται ένα φίλτρο polaroid το οποίο περιστρέφεται, καταδεικνύοντας την εξάρτηση της έντασης του φωτός από την σχετική του γωνία μεταξύ του επιπέδου πόλωσης του φωτός και του φίλτρου. Μία πιο περίπλοκη αλλά και πιο ακριβής διάταξη κατασκευάζεται με τη βοήθεια ενός πρίσματος. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η χρήση και ενός επιπλέον φακού ώστε η δέσμη που φτάνει στο πρίσμα να είναι ευθυγραμμισμένη.

2.10 Φασματομετρία

Πολλές φορές, κατά τη διάρκεια μετρήσεων φωτομετρίας είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση χρωματικών φίλτρων, ώστε να απομονώνεται μία συγκεκριμένη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα φίλτρα αυτά μπορεί να είναι απλά χρωματισμένα διάφανα υλικά τα οποία παρουσιάζουν επιλεκτική απορρόφηση, ή φίλτρα παρεμβολής, όπου το εύρος συχνοτήτων των διερχόμενων ακτίνων περιορίζεται από τα διάφορα στρώματα των υλικών από τα οποία αποτελείται το φίλτρο και τα οποία παρουσιάζουν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Τα δεύτερα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι ο συντελεστής μετάδοσης τους φτάνει στο 50%, σε αντίθεση με τα απλά χρωματικά των οποίων δεν ξεπερνά το 10%. Για κάποιες άλλες μετρήσεις, όπου απαιτείται η μελέτη μίας συγκεκριμένης φασματικής γραμμής, δεν είναι χρήσιμα τα παραπάνω φίλτρα και απαιτείται ένας πιο πολύπλοκος εξοπλισμός, με τον οποίο να περιορίζεται το φάσμα παρατήρησης

σε μία πολύ στενή περιοχή γύρω από τη γραμμή ενδιαφέροντος.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός φασματομέτρου, η χρήση του οποίου επιτρέπει στην φωτεινή ακτίνα που διέρχεται από το εστιακό επίπεδο ενός τηλεσκοπίου να αναλύεται, παίρνοντας το φάσμα της πηγής. Τοποθετώντας μία μικρή σχισμή μετά το εστιακό επίπεδο, περιορίζεται το εύρος του φάσματος στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος. Η δυνατότητα μετακίνησης της σχισμής επιτρέπει τη σάρωση του φάσματος, ώστε να είναι δυνατή η συνολική του μελέτη.

Μία τυπικά διάταξη φασματοσκοπίας αποτελείται από μία σχισμή, μέσω της οποίας διέρχεται το φως του αστέρα, έναν ευθυγραμμιστή (collimator), ένα στοιχείο διασποράς, το οποίο αναλύει το φως του αστέρα στις διάφορες συνιστώσες του και μία συσκευή απεικόνισης. Τόσο ο ευθυγραμμιστής όσο και η συσκευή απεικόνισης μπορεί να είναι είτε στη μορφή φακών είναι στη μορφή κατόπτρων. Το στοιχείο διασποράς μπορεί να είναι ή κάποιο γυάλινο πρίσμα ή κάποιο φράγμα περίθλασης.

Το γυάλινο πρίσμα προκαλεί την ανάλυση της ακτίνας και αυτό γιατί ο δείκτης διάθλασης του εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Έτσι, η γωνία εκτροπής του φωτός είναι διαφορετική για τα διάφορα μήκη κύματος. Έτσι, όταν μία ευθυγραμμισμένη ακτίνα λευκού φωτός πέφτει πάνω στο πρίσμα, κάθε συνιστώσα του διαθλάται υπό διαφορετικές γωνίες δίνοντας τελικά το φάσμα του αστέρα.

Το φράγμα περίθλασης αποτελείται από μία σειρά λεπτών σχισμών, κάθε μία από τις οποίες προκαλεί την περίθλαση της προσπίπτουσας ακτίνας. Για κάποιες συγκεκριμένες γωνίες περίθλασης, οι οποίες εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ των σχισμών και το μήκος κύματος της προσπίπτουσας δέσμης φωτός, παρατηρείται **ενισχυτική περίθλαση**. Η γωνίες στις οποίες παρατηρείται αυτή δίνονται από την εξίσωση

$$d(\sin \theta_i + \sin \theta) = m\lambda, \quad (2.67)$$

όπου d η απόσταση μεταξύ των σχισμών του φράγματος, θ_i η γωνία που σχηματίζει η προσπίπτουσα ακτινοβολία με το φράγμα, θ η γωνία περίθλασης, λ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και m η τάξη της ενισχυτικής περίθλασης, η οποία για ένα συνηθισμένο φασματοσκόπιο παίρνει τιμές μεταξύ του 1 και του 5.

Δύο από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός φασματομέτρου αφορούν το μέγεθος του παραγόμενου φάσματος και την ικανότητα λεπτομερούς ανάλυσης του φάσματος. Το πρώτο χαρακτηριστικό περιγράφεται από τη **γωνιακή διασπορά** (angular dispersion) ενώ το δεύτερο από τη **διακριτική ικανότητα** (resolving power).

Η γωνιακή διασπορά μας δείχνει τη συσχέτιση της γωνίας περίθλασης με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και δίνεται από την εξίσωση

$$D_a = \frac{d\theta}{d\lambda}. \quad (2.68)$$

Αυτή μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε **γραμμική διασπορά** (linear dispersion), δηλαδή το μήκος του φάσματος που παράγεται και το οποίο αντιστοιχεί σε μία περιοχή μηκών κύματος $d\lambda$. Αυτή δίνεται από τη σχέση

$$D_l = \frac{d\theta}{d\lambda} F, \quad (2.69)$$

όπου F η εστιακή απόσταση του φακού.

Η γωνιακή διασπορά ενός πρίσματος υπολογίζεται αρκετά δύσκολα και αυτό γιατί εξαρτάται και από τον δείκτη διάθλασης του πρίσματος, ο οποίος μεταβάλλεται με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Για το φράγμα περίθλασης, ο υπολογισμός της είναι αρκετά πιο εύκολος, αφού προκύπτει από την παραγωγή της σχέσης (2.67), οπότε παίρνουμε

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \theta}. \quad (2.70)$$

Εάν κατασκευάσουμε ένα φράγμα έτσι ώστε η γωνία θ να παίρνει τιμή πολύ κοντά στο μηδέν, το συνημίτονό της θα παίρνει τιμή πολύ κοντά στη μονάδα και η τελευταία σχέση θα δίνει

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{d}, \quad (2.71)$$

από την οποία φαίνεται ότι σε αυτήν την περίπτωση, η γωνιακή διασπορά είναι σταθερή για όλα τα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα το φάσμα που προκύπτει να έχει γραμμική κλίμακα συχνοτήτων.

Η διακριτική ικανότητα R ενός φασματομέτρου σχετίζεται με την ικανότητά του να επιτρέπει τη μελέτη χαρακτηριστικών του φάσματος που βρίσκονται πολύ κοντά το ένα στο άλλο. Αυτή δίνεται από τη σχέση

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (2.72)$$

όπου $\Delta\lambda$ η απόσταση σε μήκος κύματος των χαρακτηριστικών του φάσματος που μπορούν να διαχωριστούν στην περιοχή ενός μήκους κύματος λ .

Για κάθε φασματόμετρο, υπάρχει ένα θεωρητικό όριο της διακριτικής του ικανότητας. Για ένα πρίσμα, αυτή δίνεται από τη σχέση

$$R = t \frac{dn}{d\lambda}, \quad (2.73)$$

όπου t είναι το πάχος του πρίσματος στη βάση του και $dn/d\lambda$ η διασπορά του γυαλιού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το πρίσμα. Τέλος, για το φράγμα περίθλασης, η διακριτική ικανότητα είναι

$$R = Nm, \quad (2.74)$$

όπου N ο συνολικός αριθμός των σχισμών του φράγματος. Τυπικές τιμές της διακριτικής ικανότητας για τις περιπτώσεις του πρίσματος και του φράγματος περίθλασης είναι της τάξης του 10^3 και 10^4 αντίστοιχα.

Επειδή το φάσμα που λαμβάνεται ανταποκρίνεται στο φως που διέρχεται μέσα από τη σχισμή του φασματοσκοπίου, θα πρέπει η τελευταία να έχει τέτοιο μέγεθος, ώστε να διέρχεται μέσα από αυτή μόνο το φως του μελετούμενου αντικειμένου. Για ένα σύστημα τηλεσκοπίου-φασματομέτρου, θα πρέπει επιπλέον το μέγεθος του ειδώλου πυο σχηματίζεται στο εστιακό επίπεδο να είναι μικρότερο ή το πολύ ίσο με το εύρος της σχισμής, ώστε όλο το φως που συλλέγεται από το τηλεσκόπιο να καταγράφεται από το φασματόμετρο. Επειδή όμως υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος που μπορεί να έχει το αντικείμενο που χρησιμοποιείται ως μέσο διασποράς, υψηλή διακριτική ικανότητα μπορεί να επιτευχθεί μόνο στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται μικρές σχισμές φασματομέτρου, οι οποίες μπορεί να είναι πολύ μικρότερες από τις διαστάσεις του ειδώλου, με αποτέλεσμα κάθε φασματομετρική μέτρηση να περιορίζεται σε μία μόνο περιοχή του μελετούμενου αντικειμένου.

Όταν τώρα το φάσμα καταγράφεται στην φωτογραφική πλάκα, είναι προφανές ότι το γαλάκτωμά της πρέπει να παρέχει τέτοια ανάλυση που να ανταποκρίνεται στην διακριτική ικανότητα που παρέχεται από το φασματόμετρο. Επιπλέον, προκειμένου να είναι εύκολη η μελέτη του φάσματος, χρησιμοποιείται ένα σύστημα το οποίο να επιτρέπει στον αστέρα που μελετάται να κινείται κατά μήκος της σχισμής, ώστε το φάσμα που λαμβάνεται να έχει ύψος.

Επειδή η καταγραφή του φάσματος κάθε αστέρα ξεχωριστά είναι μία ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία, πολλές φορές χρησιμοποιείται ένα **αντικειμενικό πρίσμα** το οποίο τοποθετείται αμέσως μετά τον αντικειμενικό φακό του τηλεσκοπίου. Με τον τρόπο αυτό, το φως κάθε αστέρα που βρίσκεται στο οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου, καταγράφεται στο εστιακό του επίπεδο κατευθείαν σαν φάσμα.

Στην φωτοηλεκτρική φασματομετρία, τα δεδομένα καταγράφονται κατευθείαν σε γράφημα και δεν απαιτείται περαιτέρω βαθμονόμηση του συστήματος. Όταν όμως το φάσμα καταγράφεται πάνω σε μία φωτογραφική πλάκα, χρειάζεται αρκετός χρόνος για να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση και πολλές φορές απαιτείται και λεπτομερής βαθμονόμηση του χρησιμοποιούμενου συστήματος. Παράλληλα είναι απαραίτητη η μέτρηση της πυκνότητας σε κάθε σημείο της φωτογραφικής πλάκας. Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται μία διάταξη παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του αστρονομικού seeing και η οποία ονομάζεται **αυτόματο μικροπυκνόμετρο** (automatic microdensitometer).

Το μικροπυκνόμετρο περιλαμβάνει ένα ρυθμιζόμενο βαγόνι, πάνω στο οποίο τοποθετείται η φωτογραφική πλάκα. Έναν λαμπτήρα, ο οποίος βρίσκεται προσαρμοσμένος στην άκρη ενός οπτικού συστήματος, φωτίζει μία μικρή περιοχή της φωτογραφικής πλάκας και το φως που διέρχεται από την πλάκα συλλέγεται από ένα μικροσκόπιο. Η εικόνα που παράγεται από το μικροσκόπιο προβάλλεται πάνω σε μία σχισμή και το φως που διέρχεται από αυτήν καταλήγει σε έναν φωτοπολλαπλασιαστή μέσω του οποίου παράγεται ένα ρεύμα, η ένταση του οποίου είναι ανάλογη της έντασης του φωτός που πέρασε μέσα από τη φωτογραφική πλάκα. Η ίδια ακτίνα φωτός που δημιουργείται αρχικά από τον λαμπτήρα, διέρχεται και μέσα από ένα σφηνοειδές γυαλί, του οποίου η πυκνότητα αυξάνει γραμμικά με το πάχος του. Το εξερχόμενο από το γυαλί φως, διέρχεται μέσα από τη φωτογραφική πλάκα και καταλήγει τελικά στον φωτοπολλαπλασιαστή.

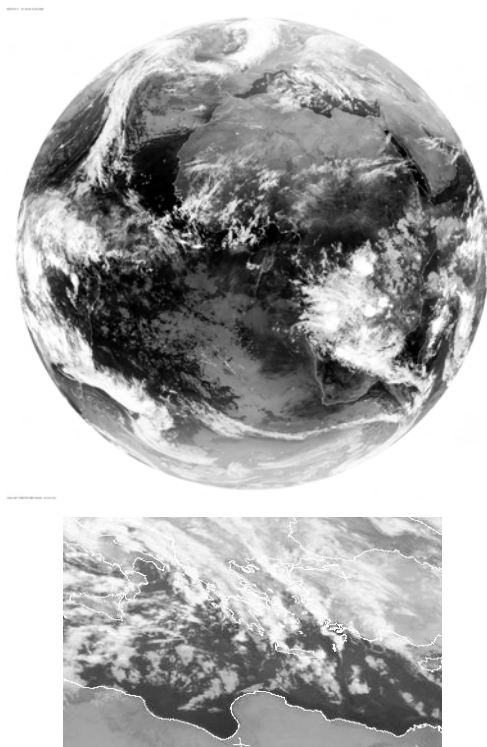
Ο φωτοπολλαπλασιαστής είναι εφοδιασμένος με ένα σύστημα το οποίο του επιτρέπει να δέχεται μία από τις δύο ακτίνες κάθε φορά. Εάν η πυκνότητα του γυαλιού δεν είναι ίση με την πυκνότητα της περιοχής της φωτογραφικής πλάκας μέσα από την οποία διέρχεται η πρώτη ακτίνα, δημιουργείται ένα σήμα σφάλματος. Έτσι, μετακινείται το γυαλί μέχρι οι δύο πυκνότητες να εξισωθούν.

Μετακινώντας το βαγόνι πάνω στο οποίο βρίσκεται η φωτογραφική πλάκα, σαρώνεται όλη η περιοχή που φωτίζεται από τον μελετούμενο αστέρα και οι διαφορές πυκνότητας που δημιουργούνται στις διάφορες περιοχές της πλάκας καταγράφονται με τη βοήθεια ενός συστήματος παράγοντας αυτόματα το φάσμα του αστέρα.

Παρατηρησιακά δεδομένα

3.1 Δορυφορικές εικόνες

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα των δορυφορικών εικόνων που λήφθηκαν από την 1/1/2004 μέχρι και την 30/12/2008. Οι εικόνες λήφθηκαν από το δορυφόρο MeteoSAT 7 σε ένα κανάλι στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος, στο οποίο είναι ιδιαίτερα εμφανής η νέφωση. Τα δεδομένα είναι ταξινομημένα ανά μήνα και αφορούν δύο διαφορετικές τοποθεσίες, την περιοχή των Καλαβρύτων, όπου βρίσκεται το τηλεσκόπιο Αρίσταρχος και την περιοχή της Πεντέλης στην Αττική, όπου βρίσκεται το Ινστιτούτο Αστρονομίας και Αστροφυσικής. Στην ηλεκτρονική μορφή της εργασίας περιλαμβάνεται 1 φάκελος όπου υπάρχουν αναλυτικά όλες οι δορυφορικές εικόνες που λήφθηκαν.



Πάνω: Μία τυπική δορυφορική εικόνα που λήφθηκε στις 1/1/2004 στις 00:00.

Κάτω: Μεγέθυνση της παραπάνω εικόνας στην περιοχή του ελλαδικού χώρου όπου είναι εμφανής η νεφοκάλυψη.

Ιανουάριος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/1/2004	3	3	4	3	2	1	4	4
2/1/2004	2	2	2	2	3	2	2	2
3/1/2004	3	3	3	2	2	4	3	2
4/1/2004	3	2	2	2	2	3	2	2
5/1/2004	2	2	2	2	1	2	2	2
6/1/2004	1	1	2	2	1	1	2	2
7/1/2004	1	1	2	2	1	1	2	2
8/1/2004	2	1	1	1	2	1	1	1
9/1/2004	1	1	2	2	1	1	2	2
10/1/2004	3	2	4	3	3	2	3	4
11/1/2004	3	3	3	2	4	3	4	3
12/1/2004	1	1	2	2	2	1	2	2
13/1/2004	3	3	0	2	2	4	0	1
14/1/2004	2	3	3	2	1	3	2	1
15/1/2004	2	1	0	0	2	2	0	0
16/1/2004	3	2	1	1	4	2	1	1
17/1/2004	1	2	1	1	1	2	1	1
18/1/2004	2	2	2	2	1	2	1	1
19/1/2004	2	2	2	2	2	2	2	2
20/1/2004	1	2	3	3	1	1	3	3
21/1/2004	2	0	2	3	2	0	1	3
22/1/2004	4	2	2	2	2	2	2	2
23/1/2004	2	2	2	1	2	2	2	1
24/1/2004	1	1	1	2	1	1	1	2
25/1/2004	2	1	1	2	2	1	1	1
26/1/2004	2	3	2	1	2	3	2	1
27/1/2004	2	2	2	1	2	1	1	2
28/1/2004	2	2	2	2	2	3	2	2
29/1/2004	3	4	2	2	4	3	3	1
30/1/2004	1	3	3	2	1	2	3	2
31/1/2004	2	2	2	2	3	2	2	2

Υπόμνημα

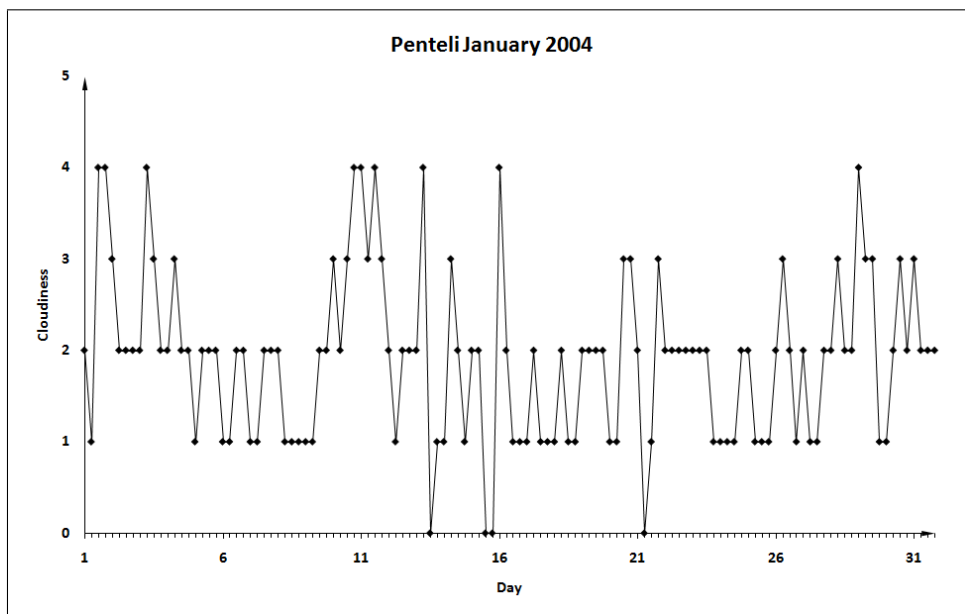
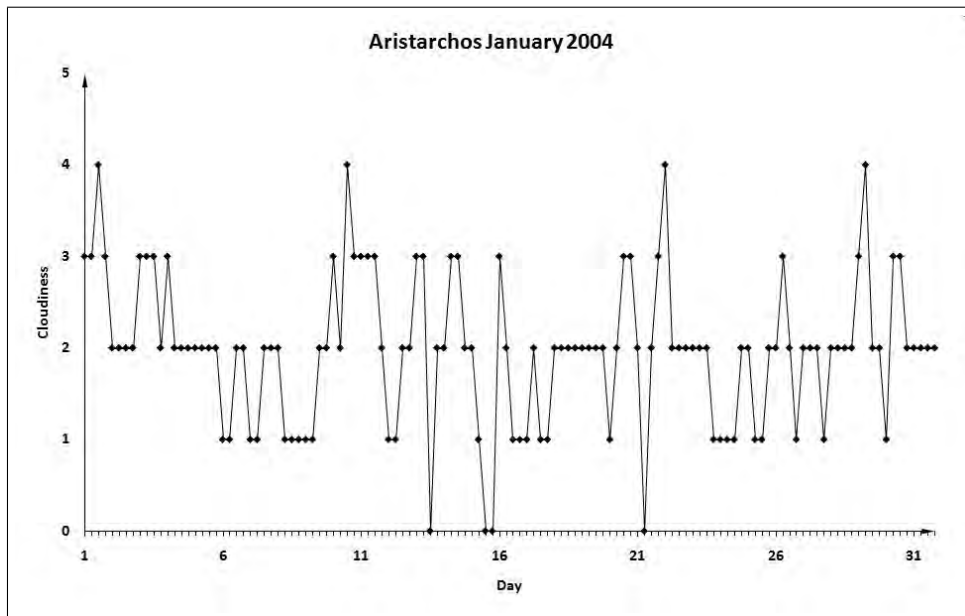
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Φεβρουάριος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/2/2004	1	1	1	2	1	1	1	2
2/2/2004	3	2	1	2	3	2	1	2
3/2/2004	2	2	2	2	2	4	4	2
4/2/2004	2	2	0	1	1	2	0	1
5/2/2004	2	2	3	1	2	2	2	1
6/2/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
7/2/2004	1	1	1	2	1	1	1	2
8/2/2004	2	2	2	2	1	1	3	2
9/2/2004	2	1	3	3	2	2	3	3
10/2/2004	3	2	2	1	2	2	2	2
11/2/2004	2	1	2	2	2	1	1	3
12/2/2004	2	3	3	2	3	3	3	2
13/2/2004	2	2	3	2	3	3	3	2
14/2/2004	1	1	2	1	1	1	2	1
15/2/2004	1	1	2	1	1	1	2	1
16/2/2004	1	1	2	2	1	1	2	2
17/2/2004	3	3	3	2	2	3	3	3
18/2/2004	2	1	1	1	2	1	2	1
19/2/2004	1	1	2	3	1	1	1	3
20/2/2004	3	2	2	2	2	3	3	2
21/2/2004	2	1	3	3	1	1	2	3
22/2/2004	3	4	3	3	3	3	2	3
23/2/2004	1	2	3	2	2	3	2	3
24/2/2004	1	1	3	2	1	1	3	2
25/2/2004	2	2	3	2	3	3	2	2
26/2/2004	2	4	0	3	3	4	0	1
27/2/2004	3	4	0	0	2	3	0	0
28/2/2004	0	2	0	1	0	2	0	1
29/2/2004	0	1	2	1	0	1	1	1

Υπόμνημα

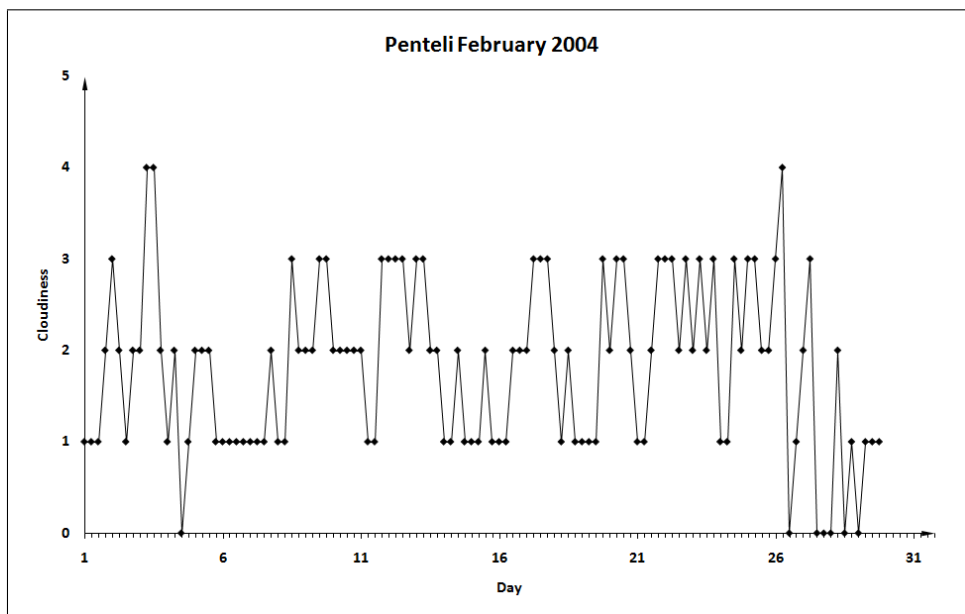
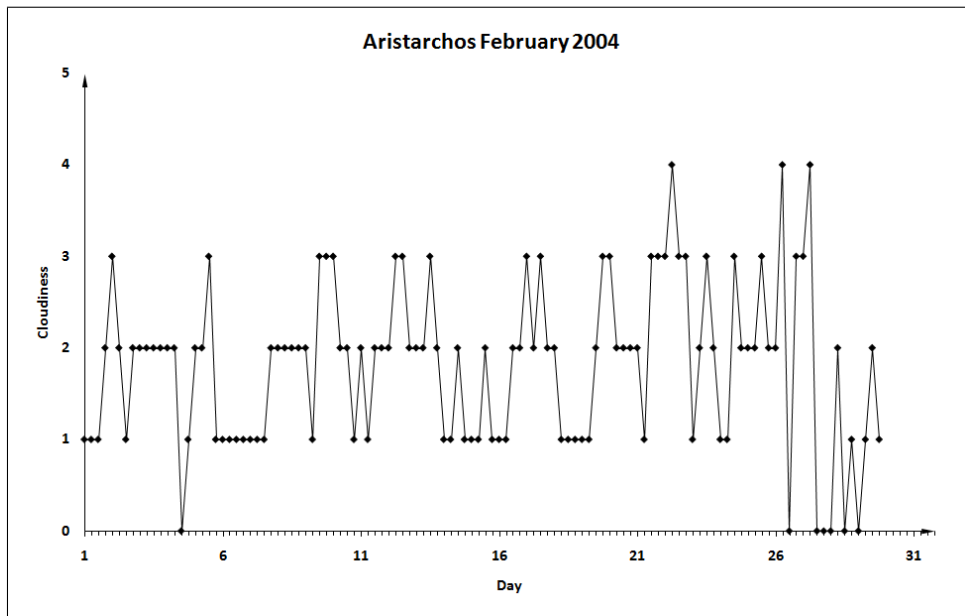
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάρτιος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/3/2004	0	1	3	3	0	1	3	3
2/3/2004	0	2	2	2	0	1	2	1
3/3/2004	0	3	4	3	0	3	3	3
4/3/2004	0	2	2	2	0	2	2	2
5/3/2004	0	2	3	2	0	2	3	2
6/3/2004	0	2	3	2	0	2	2	2
7/3/2004	0	2	3	2	0	2	2	1
8/3/2004	0	3	3	3	0	2	3	2
9/3/2004	0	3	3	2	0	2	2	1
10/3/2004	0	1	2	1	0	1	2	1
11/3/2004	0	1	3	3	0	1	2	3
12/3/2004	0	2	3	1	0	2	2	1
13/3/2004	0	1	2	2	0	2	2	2
14/3/2004	0	1	1	1	0	1	1	1
15/3/2004	0	1	3	3	0	1	2	2
16/3/2004	0	1	1	2	0	1	1	1
17/3/2004	0	1	2	1	0	1	2	1
18/3/2004	0	1	2	2	0	1	1	1
19/3/2004	0	1	2	1	0	1	1	1
20/3/2004	0	1	2	2	0	1	1	2
21/3/2004	0	2	2	2	0	1	2	1
22/3/2004	0	2	2	2	0	1	1	2
23/3/2004	0	3	2	2	0	2	3	3
24/3/2004	0	0	0	2	0	0	0	1
25/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
26/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
27/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
28/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
29/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
30/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
31/3/2004	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

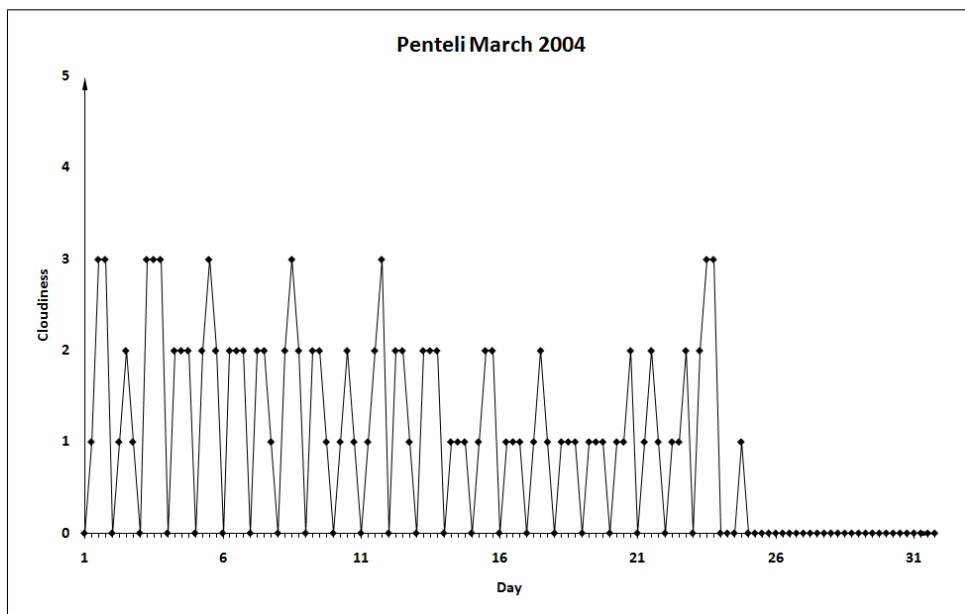
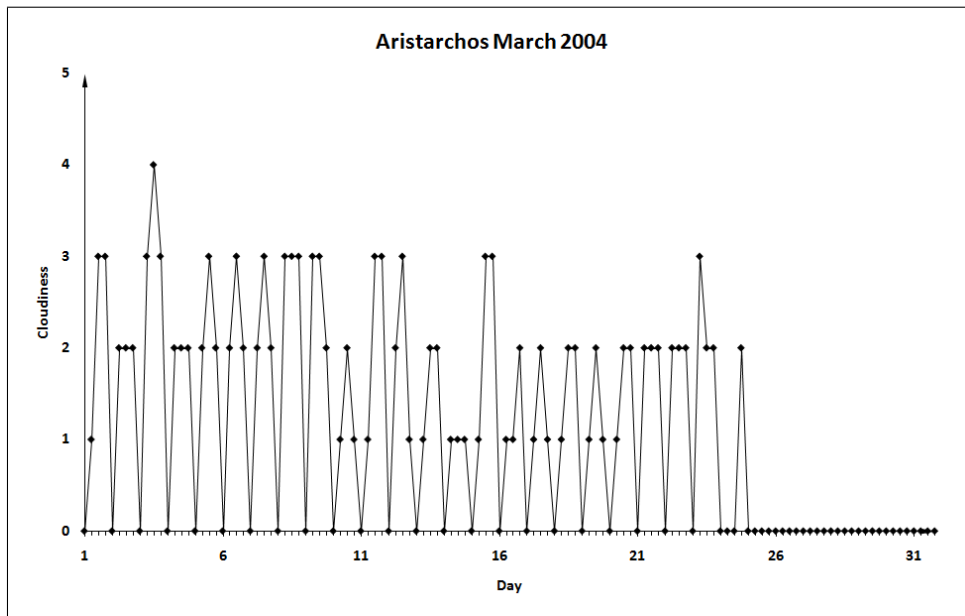
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Άγουστος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
2/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
3/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
4/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
5/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
6/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
7/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
8/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
9/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
10/8/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
11/8/2004	0	0	1	1	0	0	1	1
12/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
13/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
14/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
15/8/2004	1	1	2	3	1	1	1	4
16/8/2004	2	2	1	2	3	1	1	1
17/8/2004	0	1	2	1	0	1	1	1
18/8/2004	1	1	0	1	1	1	0	1
19/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
20/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
21/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
22/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
23/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
24/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
25/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
26/8/2004	1	1	1	2	1	1	1	1
27/8/2004	1	1	1	2	1	1	1	1
28/8/2004	0	1	1	1	0	1	1	1
29/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
30/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
31/8/2004	1	1	1	1	1	1	1	1

Υπόμνημα

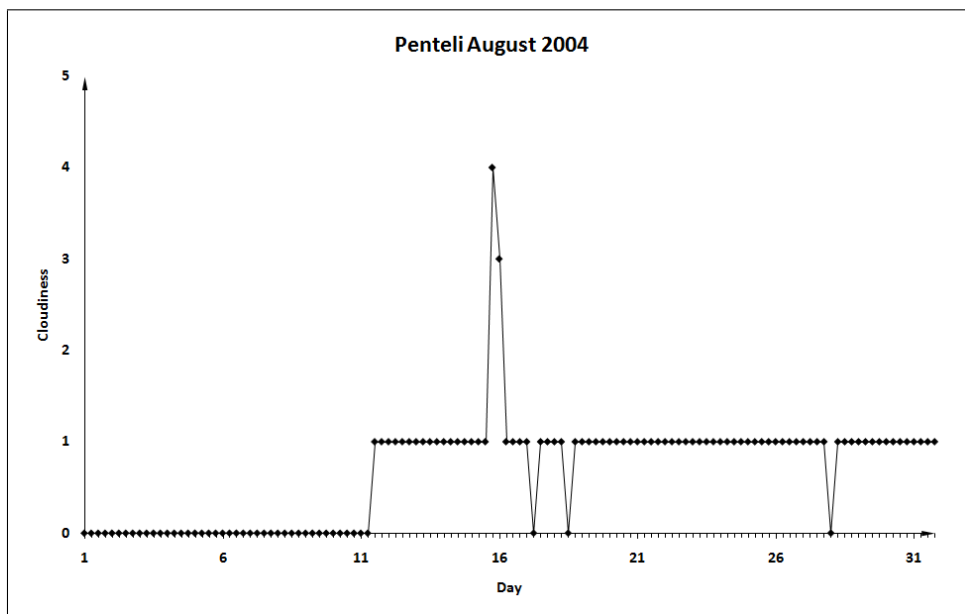
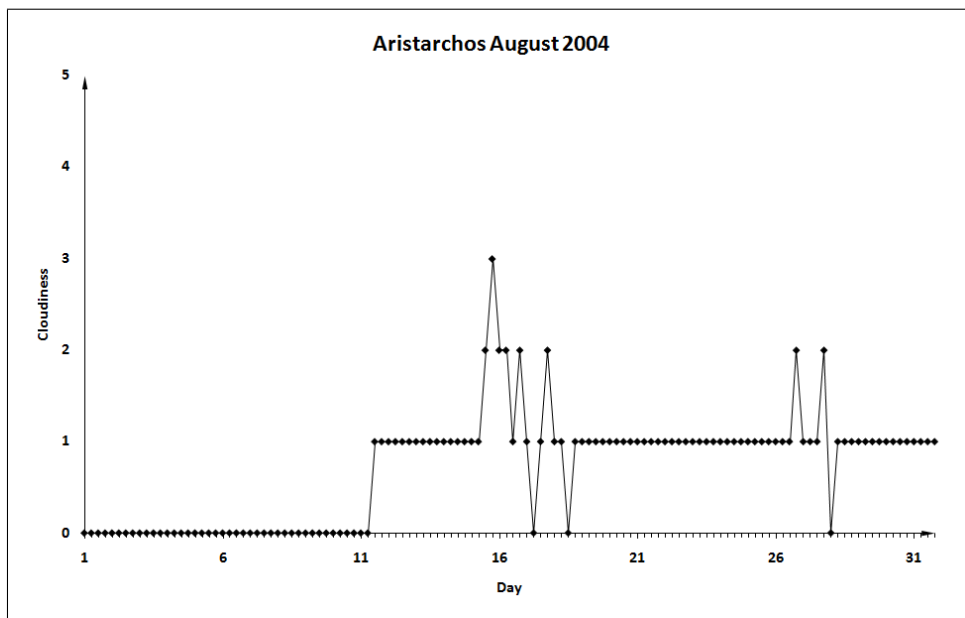
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Σεπτέμβριος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
2/9/2004	1	1	2	1	1	1	1	1
3/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
4/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
5/9/2004	1	1	2	3	1	2	1	1
6/9/2004	2	2	3	3	1	1	1	3
7/9/2004	2	1	1	2	2	1	1	2
8/9/2004	1	1	2	2	2	1	1	1
9/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
10/9/2004	1	2	2	3	2	2	2	1
11/9/2004	3	1	1	1	2	1	1	1
12/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
13/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
14/9/2004	1	1	1	2	1	1	1	1
15/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
16/9/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
17/9/2004	1	1	2	2	1	1	1	2
18/9/2004	1	1	2	1	1	2	1	1
19/9/2004	1	1	1	2	1	1	1	2
20/9/2004	1	2	2	3	1	1	1	2
21/9/2004	4	2	2	2	2	3	2	1
22/9/2004	1	0	0	0	1	0	0	0
23/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
24/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
25/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
26/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
27/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
28/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
29/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
30/9/2004	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

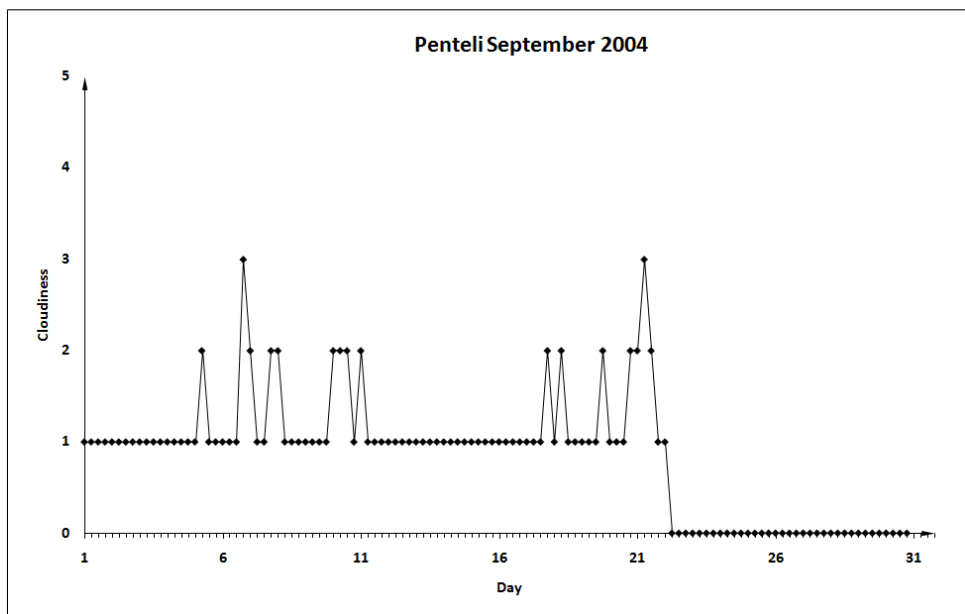
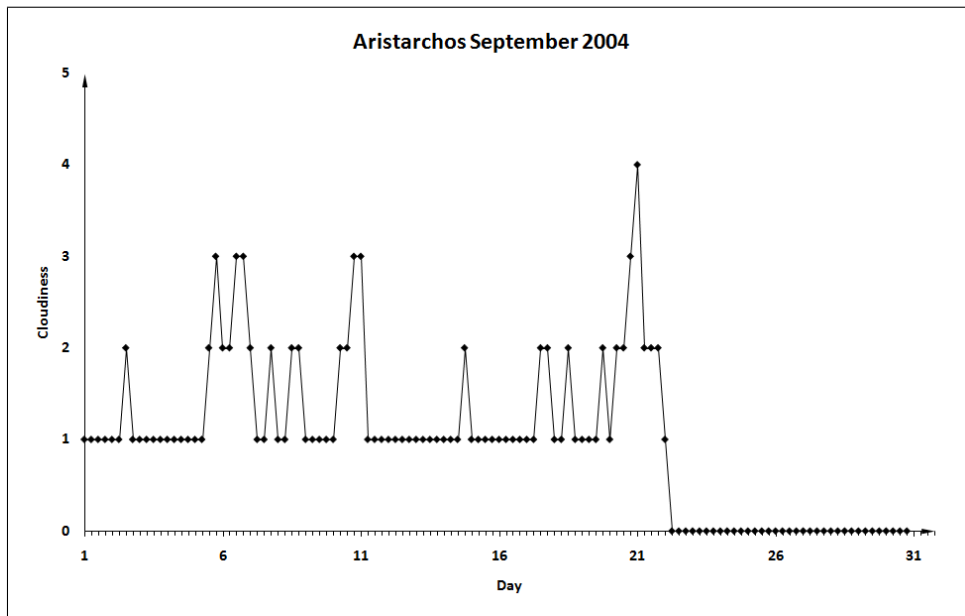
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Οκτώβριος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
2/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
3/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
4/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
5/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
6/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
7/10/2004	0	0	1	1	0	0	2	2
8/10/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
9/10/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
10/10/2004	1	1	0	1	1	2	0	1
11/10/2004	0	0	0	3	0	0	0	2
12/10/2004	1	4	0	3	2	4	0	4
13/10/2004	3	2	0	4	3	2	0	4
14/10/2004	4	3	4	2	4	3	4	3
15/10/2004	2	2	3	4	2	2	4	4
16/10/2004	2	3	0	0	2	2	0	0
17/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
18/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
19/10/2004	0	0	3	3	0	0	3	2
20/10/2004	3	1	1	2	2	2	1	1
21/10/2004	1	1	1	0	2	2	1	0
22/10/2004	0	0	1	2	0	0	1	1
23/10/2004	1	1	1	1	1	1	1	1
24/10/2004	2	1	2	1	1	1	1	1
25/10/2004	2	2	3	2	2	1	2	1
26/10/2004	1	1	2	2	1	2	3	4
27/10/2004	1	1	2	2	2	1	1	2
28/10/2004	3	2	1	0	3	3	2	0
29/10/2004	0	0	2	1	0	0	1	1
30/10/2004	1	2	2	1	1	2	3	2
31/10/2004	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

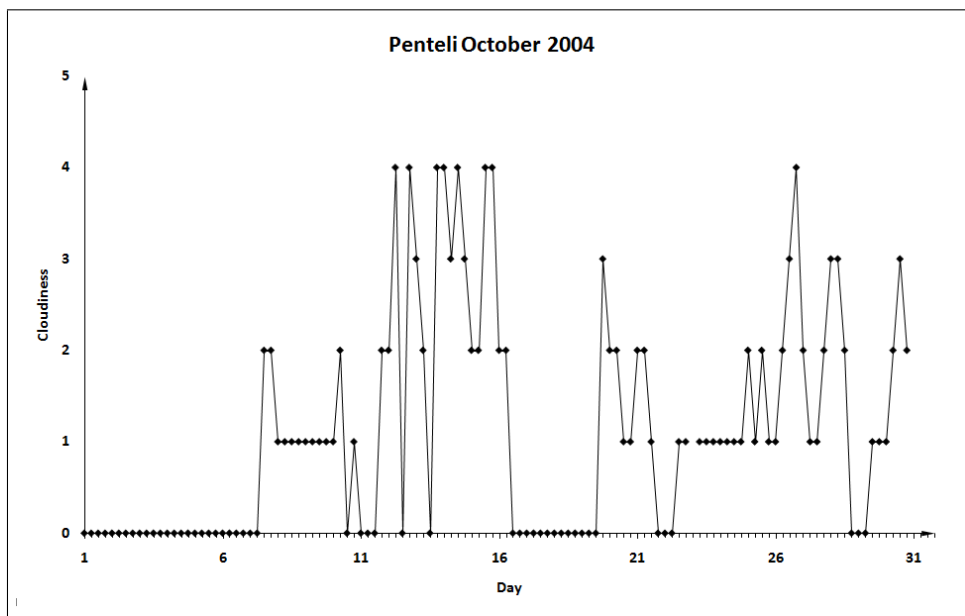
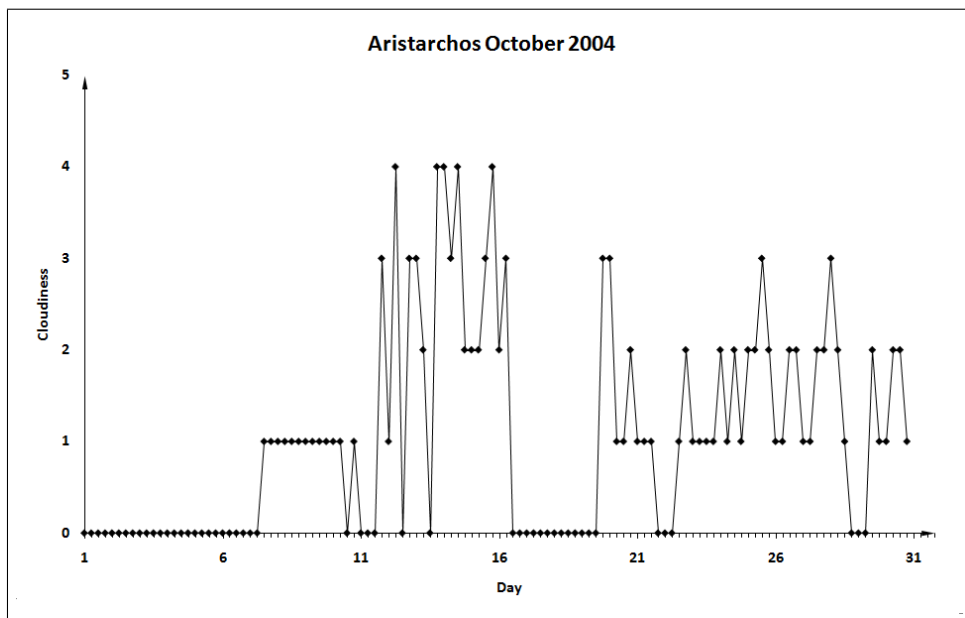
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Νοέμβριος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/11/2004	1	2	2	3	2	2	2	2
2/11/2004	2	2	2	2	2	1	1	1
3/11/2004	2	2	1	2	2	2	1	2
4/11/2004	4	4	3	3	3	3	3	3
5/11/2004	3	3	2	2	2	4	3	3
6/11/2004	2	1	1	1	3	2	2	2
7/11/2004	1	1	2	3	1	1	1	2
8/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
9/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
10/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
11/11/2004	0	0	0	3	0	0	0	2
12/11/2004	3	3	2	4	4	3	2	3
13/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
14/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
15/11/2004	0	0	0	2	0	0	0	1
16/11/2004	2	2	2	1	1	2	2	2
17/11/2004	1	1	2	2	2	2	2	2
18/11/2004	1	1	2	1	2	1	2	1
19/11/2004	2	1	2	2	1	1	1	3
20/11/2004	4	3	3	3	3	3	3	3
21/11/2004	2	1	2	1	3	2	2	1
22/11/2004	1	1	1	1	2	2	2	1
23/11/2004	1	1	2	2	1	1	1	2
24/11/2004	2	2	3	2	1	2	3	3
25/11/2004	1	1	2	1	2	2	2	2
26/11/2004	1	1	2	1	2	1	2	1
27/11/2004	1	0	0	1	1	0	0	2
28/11/2004	2	2	0	0	1	1	0	0
29/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
30/11/2004	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

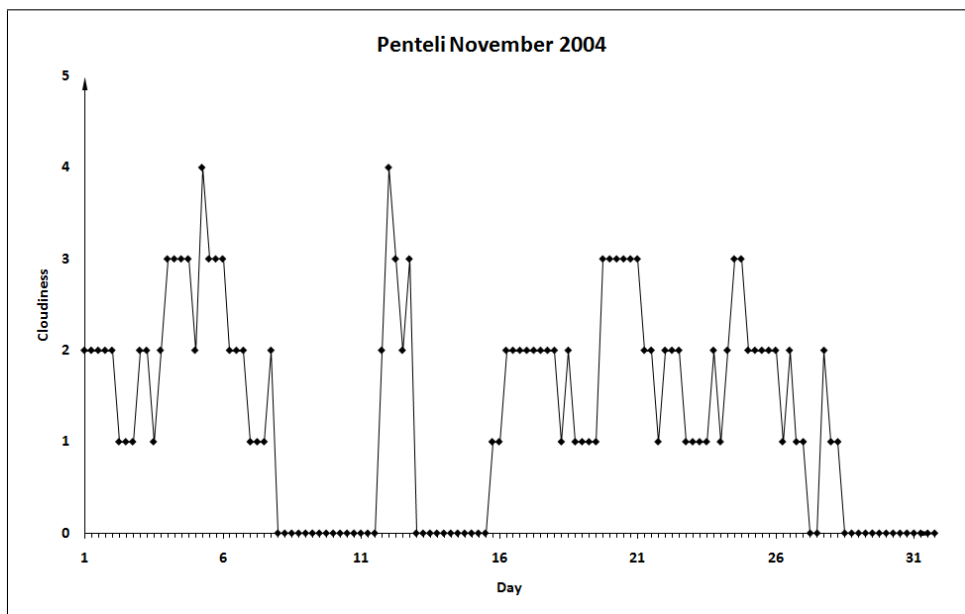
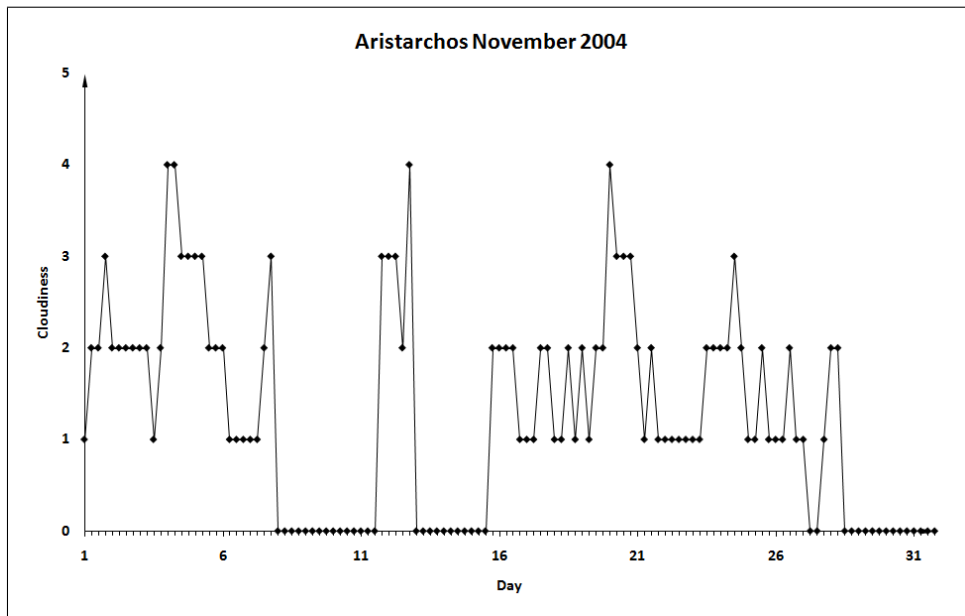
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Δεκέμβριος 2004

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
2/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
3/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
4/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
5/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
6/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
7/12/2004	0	0	0	2	0	0	0	2
8/12/2004	2	2	3	2	2	2	3	3
9/12/2004	2	2	3	2	3	2	3	2
10/12/2004	3	1	2	3	2	2	2	3
11/12/2004	2	2	2	2	2	2	2	2
12/12/2004	1	1	2	2	2	1	2	1
13/12/2004	2	2	2	1	1	1	2	1
14/12/2004	1	1	2	2	1	2	2	3
15/12/2004	2	2	2	2	2	2	2	2
16/12/2004	1	2	4	2	2	3	2	2
17/12/2004	2	4	4	4	2	3	4	4
18/12/2004	3	2	3	3	2	2	3	3
19/12/2004	3	3	2	2	3	2	2	2
20/12/2004	0	1	2	3	0	2	2	2
21/12/2004	3	3	4	3	3	3	3	4
22/12/2004	3	3	3	3	3	2	3	3
23/12/2004	3	3	3	3	3	3	3	2
24/12/2004	0	0	2	1	0	0	2	1
25/12/2004	1	1	1	0	1	1	1	0
26/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
27/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
28/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
29/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
30/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0
31/12/2004	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

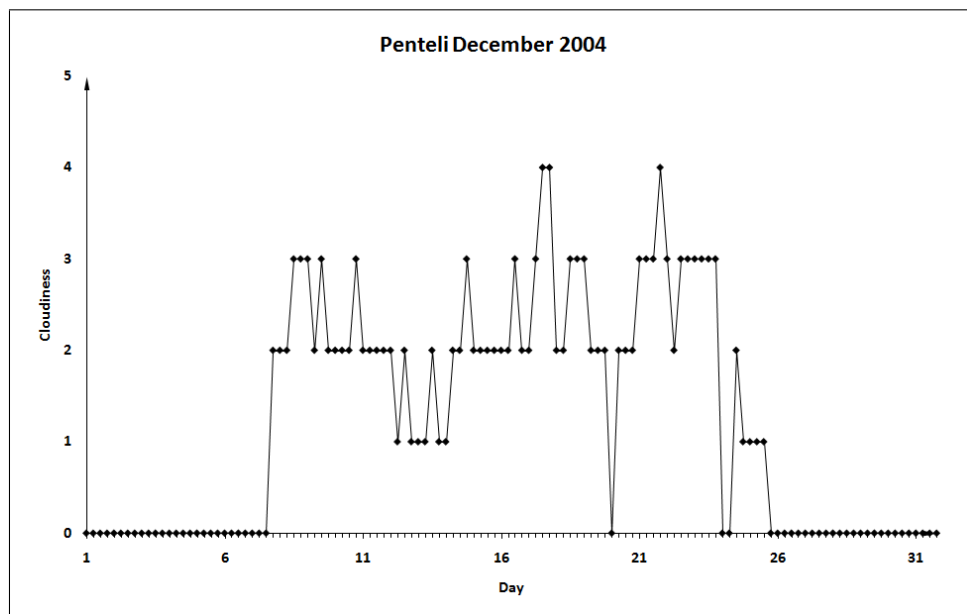
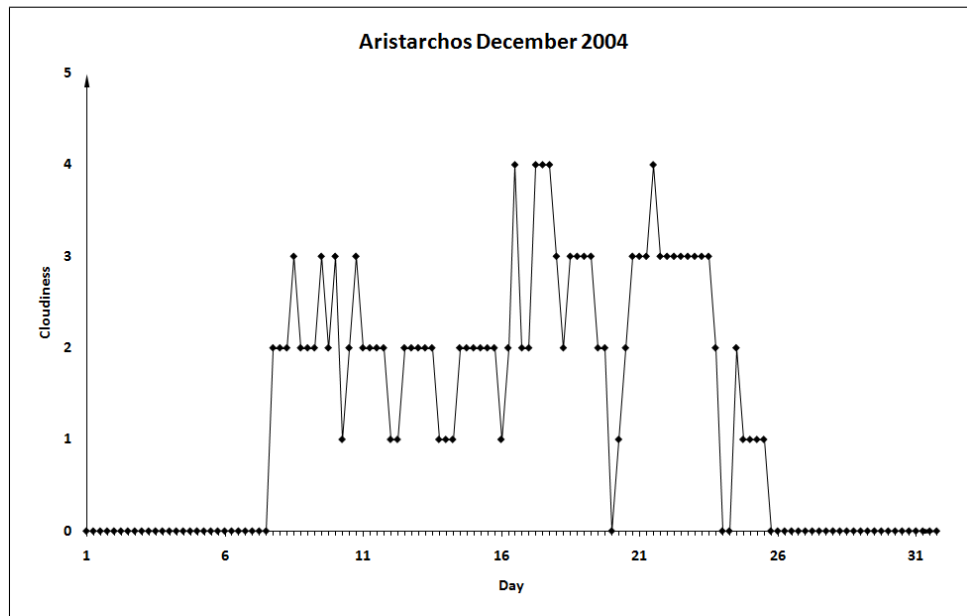
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιανουάριος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/1/2005	2	0	0	0	2	0	0	0
2/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
3/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
4/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
5/1/2005	0	0	1	1	0	0	1	1
6/1/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
7/1/2005	2	1	2	2	1	1	2	2
8/1/2005	3	1	1	1	2	2	1	1
9/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
10/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
11/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
12/1/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
13/1/2005	0	0	0	3	0	0	0	3
14/1/2005	3	3	3	3	3	3	2	2
15/1/2005	2	2	3	4	3	2	3	4
16/1/2005	4	4	4	4	4	4	4	4
17/1/2005	4	3	3	2	3	3	3	3
18/1/2005	2	1	2	1	3	2	2	2
19/1/2005	2	2	3	4	1	1	2	4
20/1/2005	4	4	4	3	4	4	4	4
21/1/2005	2	1	3	3	2	2	2	3
22/1/2005	2	2	2	3	3	2	2	3
23/1/2005	2	1	1	1	3	2	2	1
24/1/2005	2	2	2	2	1	2	2	2
25/1/2005	2	4	4	2	2	3	4	2
26/1/2005	3	3	3	3	2	2	2	3
27/1/2005	2	2	3	2	2	1	2	2
28/1/2005	2	2	3	2	3	2	3	3
29/1/2005	2	2	3	4	2	2	3	4
30/1/2005	2	2	2	2	1	1	2	2
31/1/2005	3	3	3	2	3	3	3	3

Υπόμνημα

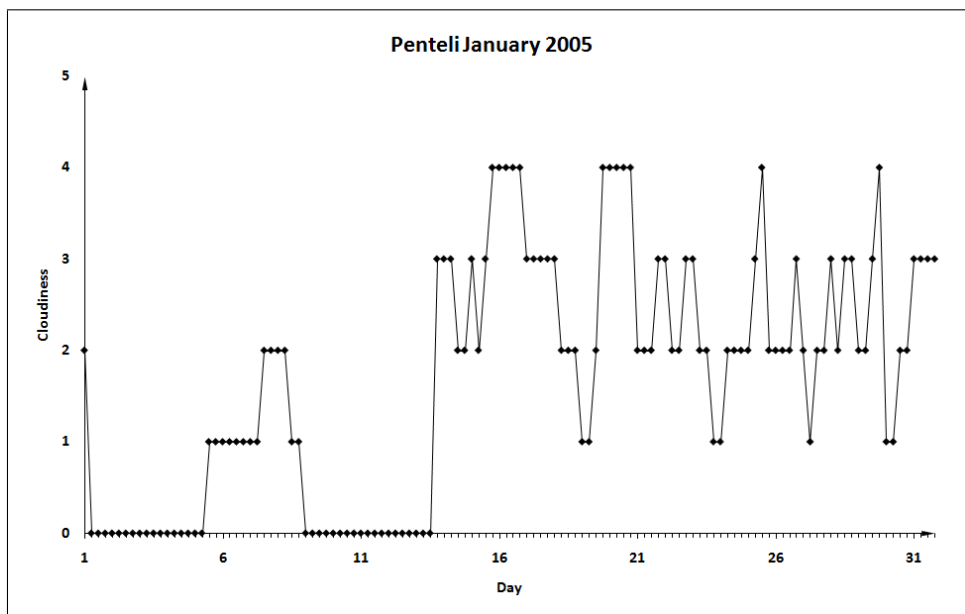
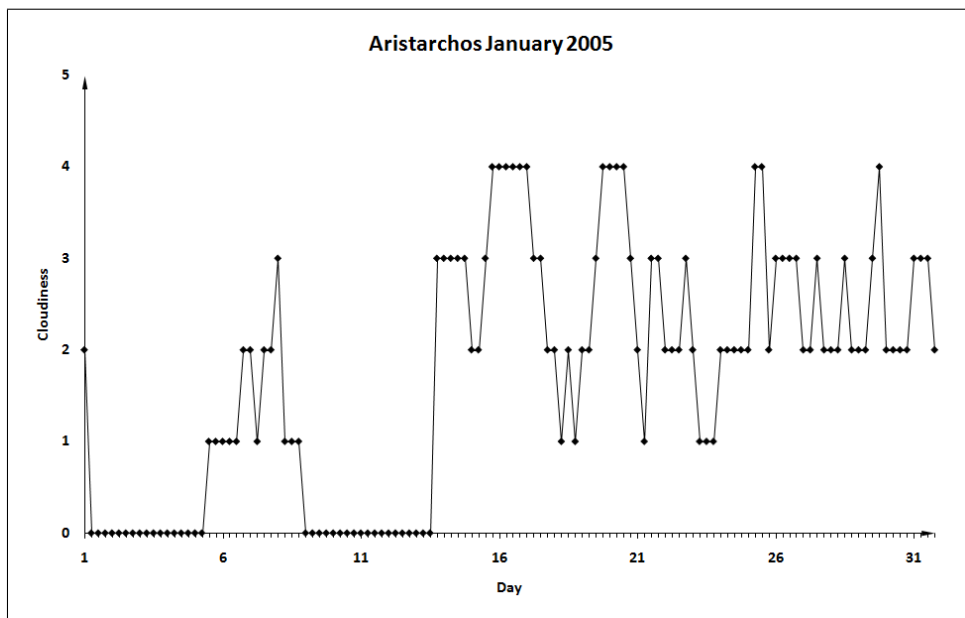
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Φεβρουάριος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/2/2005	2	2	2	2	1	1	2	2
2/2/2005	3	2	4	4	3	2	4	4
3/2/2005	4	4	3	2	4	4	3	3
4/2/2005	1	1	2	2	2	2	2	3
5/2/2005	3	2	2	2	3	2	2	2
6/2/2005	2	2	2	3	3	2	2	2
7/2/2005	3	2	2	2	3	2	3	3
8/2/2005	2	1	2	2	3	3	2	2
9/2/2005	3	2	0	0	2	3	0	0
10/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
11/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
12/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
13/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
14/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
15/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
16/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
17/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
18/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
19/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
20/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
21/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
22/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
23/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
24/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
25/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
26/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
27/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
28/2/2005	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

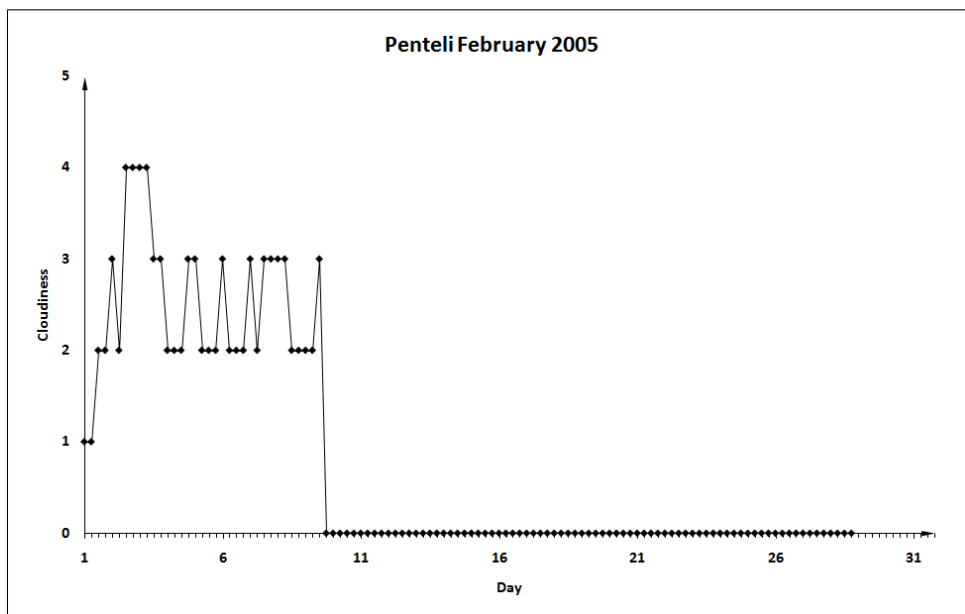
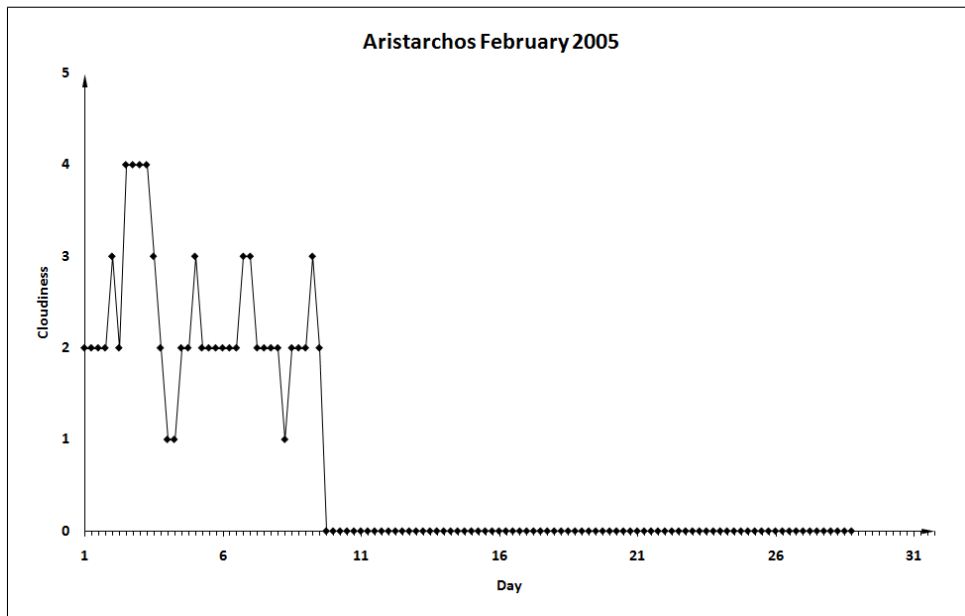
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάρτιος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
2/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
3/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
4/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
5/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
6/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
7/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
8/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
9/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
10/3/2005	0	2	0	2	0	1	0	2
11/3/2005	1	2	2	0	2	2	2	0
12/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
13/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
14/3/2005	0	0	0	1	0	0	0	1
15/3/2005	1	1	0	0	1	1	0	0
16/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
17/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
18/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
19/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
20/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
21/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
22/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
23/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
24/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
25/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
26/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
27/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
28/3/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
29/3/2005	0	0	0	1	0	0	0	2
30/3/2005	3	3	3	3	2	3	3	4
31/3/2005	4	3	0	3	3	3	0	3

Υπόμνημα

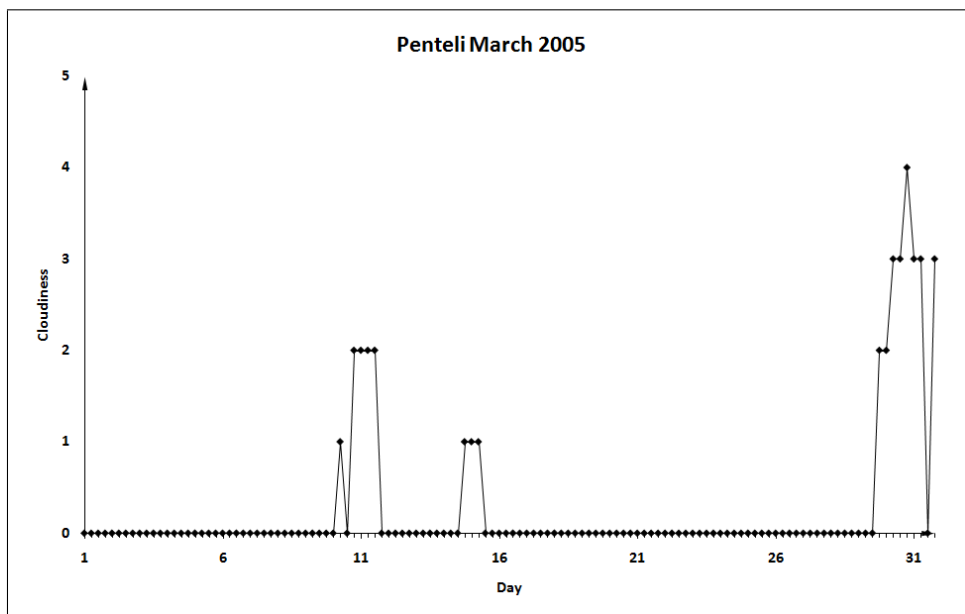
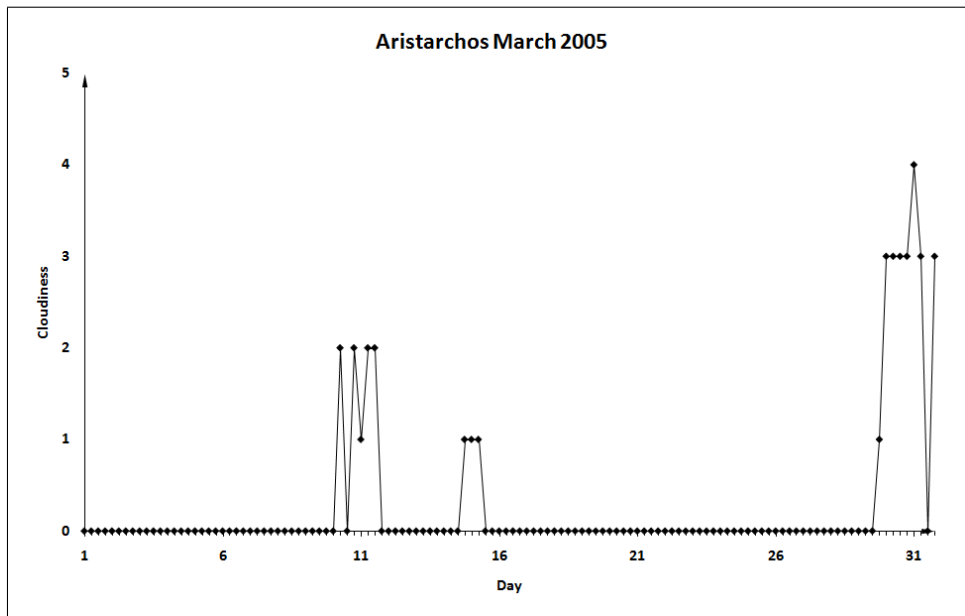
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Απρίλιος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/4/2005	0	2	3	2	0	3	3	3
2/4/2005	2	2	3	2	3	3	3	3
3/4/2005	1	1	2	2	3	3	1	1
4/4/2005	2	1	1	1	1	1	1	1
5/4/2005	2	2	0	3	1	2	0	2
6/4/2005	3	4	4	2	4	3	4	3
7/4/2005	2	0	1	2	1	0	2	2
8/4/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
9/4/2005	1	2	0	2	1	1	0	2
10/4/2005	2	2	1	2	2	3	1	1
11/4/2005	3	3	4	2	1	1	4	3
12/4/2005	2	1	1	2	1	1	1	1
13/4/2005	1	2	3	3	2	1	1	3
14/4/2005	3	2	2	2	3	2	2	2
15/4/2005	2	1	1	1	1	1	1	1
16/4/2005	2	3	3	3	1	3	3	3
17/4/2005	3	3	3	3	3	3	3	2
18/4/2005	2	0	0	2	1	0	0	1
19/4/2005	2	2	1	2	1	2	1	2
20/4/2005	2	2	0	0	3	2	0	0
21/4/2005	0	0	0	3	0	0	0	3
22/4/2005	2	1	1	1	2	1	1	2
23/4/2005	2	1	1	1	2	2	1	1
24/4/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
25/4/2005	1	1	1	0	1	2	2	0
26/4/2005	0	0	0	2	0	0	0	1
27/4/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
28/4/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
29/4/2005	1	1	1	2	1	2	2	2
30/4/2005	2	3	2	2	2	2	2	2

Υπόμνημα

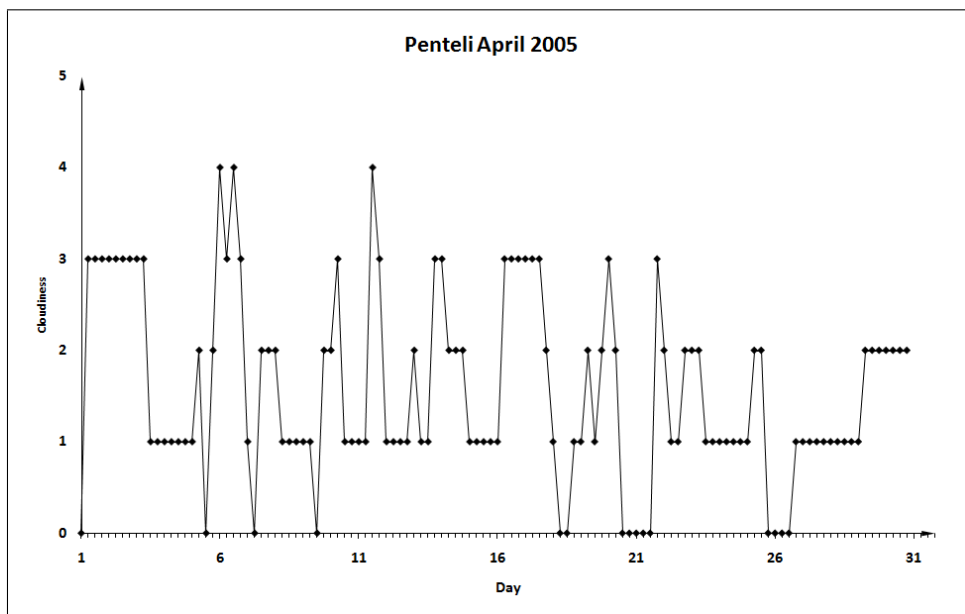
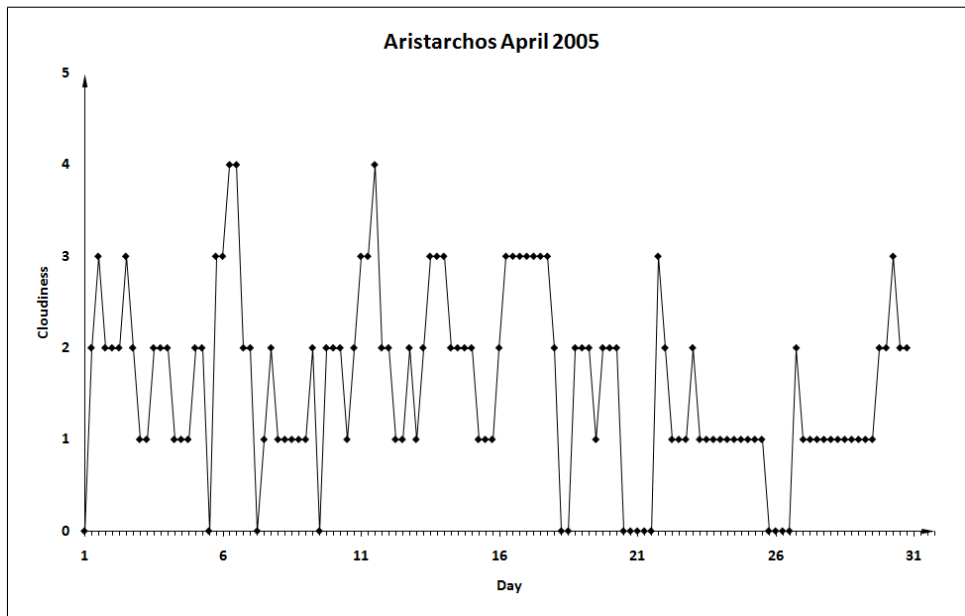
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάιος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/5/2005	1	1	2	2	1	1	1	1
2/5/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
3/5/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
4/5/2005	1	1	2	2	1	1	2	2
5/5/2005	2	3	3	2	2	3	1	3
6/5/2005	2	3	2	3	3	3	2	3
7/5/2005	2	2	0	0	1	3	0	0
8/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
9/5/2005	0	0	1	1	0	0	1	1
10/5/2005	1	2	1	1	2	2	2	1
11/5/2005	3	3	1	1	3	2	1	2
12/5/2005	2	2	4	4	4	4	4	4
13/5/2005	1	2	0	0	1	2	0	0
14/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
15/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
16/5/2005	0	0	2	2	0	0	1	1
17/5/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
18/5/2005	2	3	4	2	1	1	3	3
19/5/2005	3	3	2	1	3	3	2	1
20/5/2005	1	1	1	1	1	1	1	3
21/5/2005	2	2	1	2	3	2	2	3
22/5/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
23/5/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
24/5/2005	1	2	4	3	1	1	1	4
25/5/2005	3	4	0	0	3	4	0	0
26/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
27/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
28/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
29/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
30/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
31/5/2005	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

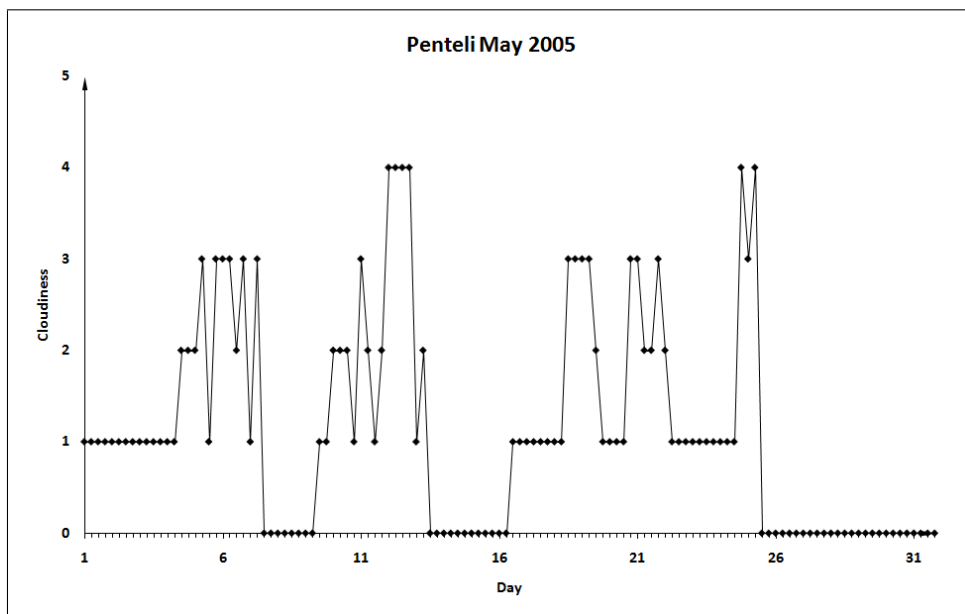
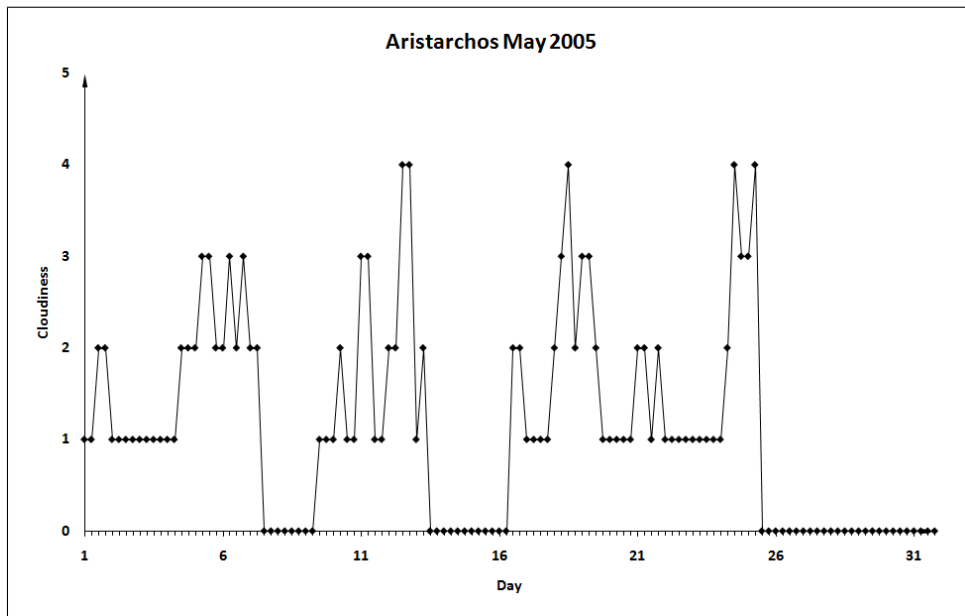
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιούνιος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
2/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
3/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
4/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
5/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
6/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
7/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
8/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
9/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
10/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
11/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
12/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
13/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
14/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
15/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
16/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
17/6/2005	0	0	0	2	0	0	0	1
18/6/2005	2	3	2	3	1	2	3	3
19/6/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
20/6/2005	1	0	2	2	2	0	1	4
21/6/2005	2	2	1	0	3	3	1	0
22/6/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
23/6/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
24/6/2005	1	1	1	2	1	1	1	3
25/6/2005	2	1	1	1	1	1	1	1
26/6/2005	1	0	0	0	1	0	0	0
27/6/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
28/6/2005	0	1	2	2	0	1	1	1
29/6/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
30/6/2005	1	1	1	1	1	1	1	1

Υπόμνημα

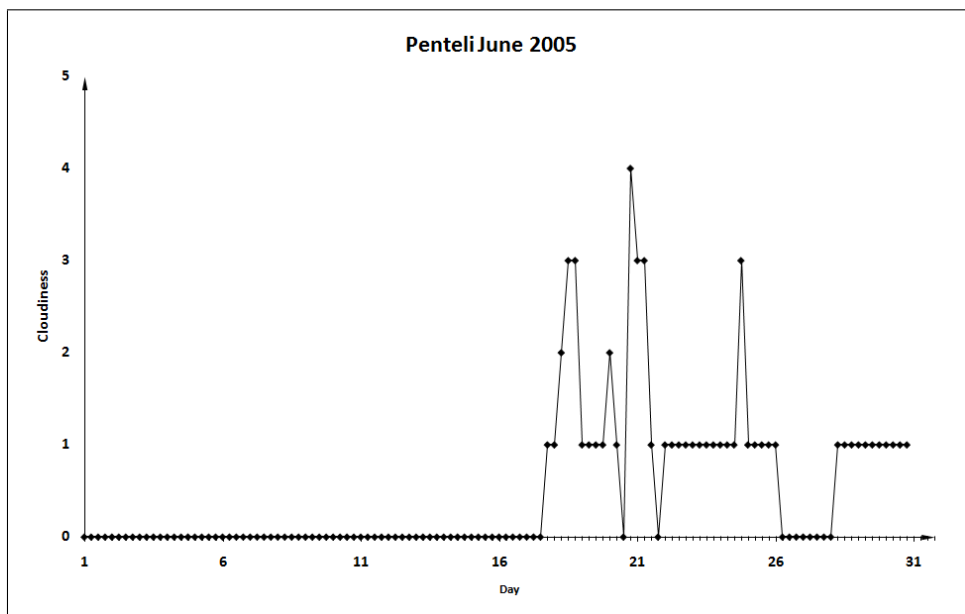
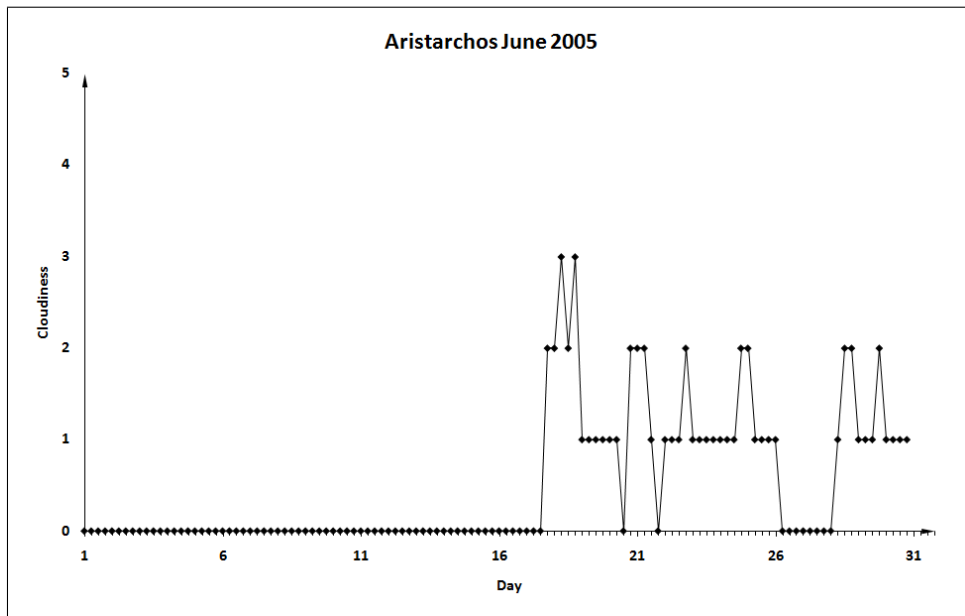
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιούλιος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/7/2005	1	1	1	3	1	1	1	1
2/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
3/7/2005	1	2	2	2	2	1	3	2
4/7/2005	1	1	1	2	2	2	2	2
5/7/2005	1	1	0	0	1	1	0	0
6/7/2005	0	0	1	0	0	0	1	0
7/7/2005	1	1	0	1	1	1	0	1
8/7/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
9/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
10/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
11/7/2005	1	1	2	2	1	1	1	1
12/7/2005	2	1	1	1	1	1	1	1
13/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
14/7/2005	1	1	2	2	1	2	2	2
15/7/2005	0	1	2	2	0	2	2	2
16/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
17/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
18/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
19/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
20/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
21/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	2
22/7/2005	1	1	1	1	1	1	2	2
23/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
24/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	2
25/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
26/7/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
27/7/2005	1	1	2	1	1	1	1	1
28/7/2005	1	1	0	0	1	1	0	0
29/7/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
30/7/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
31/7/2005	0	0	0	0	0	0	0	0

Υπόμνημα

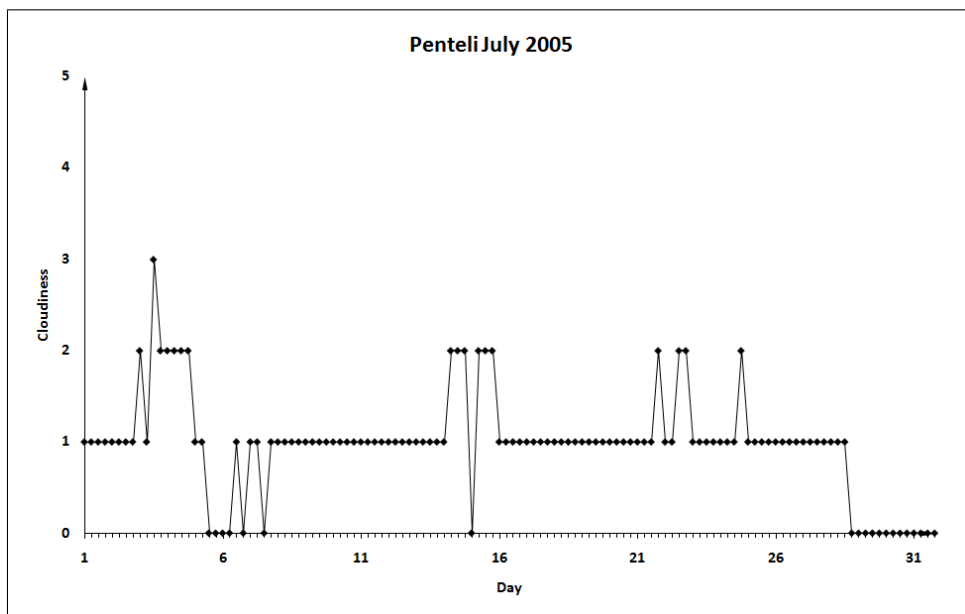
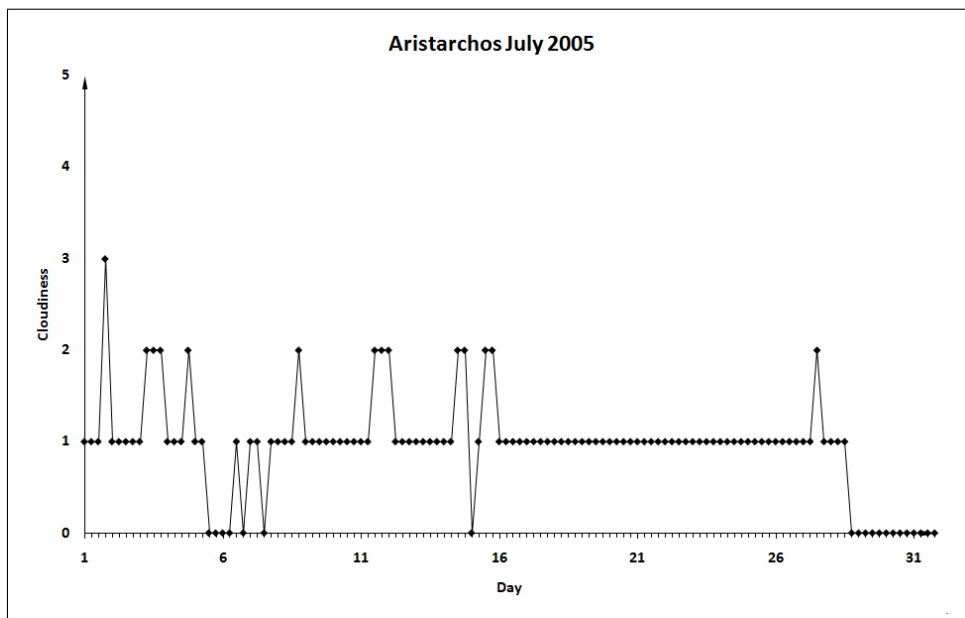
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Άγουστος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/8/2005	0	0	1	1	0	0	1	1
2/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
3/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
4/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
5/8/2005	1	1	1	2	1	1	2	3
6/8/2005	2	2	3	2	2	1	2	3
7/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
8/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
9/8/2005	1	1	1	3	1	1	1	2
10/8/2005	1	1	1	1	3	1	1	1
11/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
12/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
13/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
14/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
15/8/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
16/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
17/8/2005	0	0	0	1	0	0	0	1
18/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
19/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	2
20/8/2005	1	1	0	1	1	1	0	1
21/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
22/8/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
23/8/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
24/8/2005	2	1	1	1	1	1	1	1
25/8/2005	1	1	1	2	1	1	1	2
26/8/2005	1	1	2	1	1	1	2	1
27/8/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
28/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
29/8/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
30/8/2005	1	1	0	1	1	1	0	1
31/8/2005	1	1	1	2	1	1	1	1

Υπόμνημα

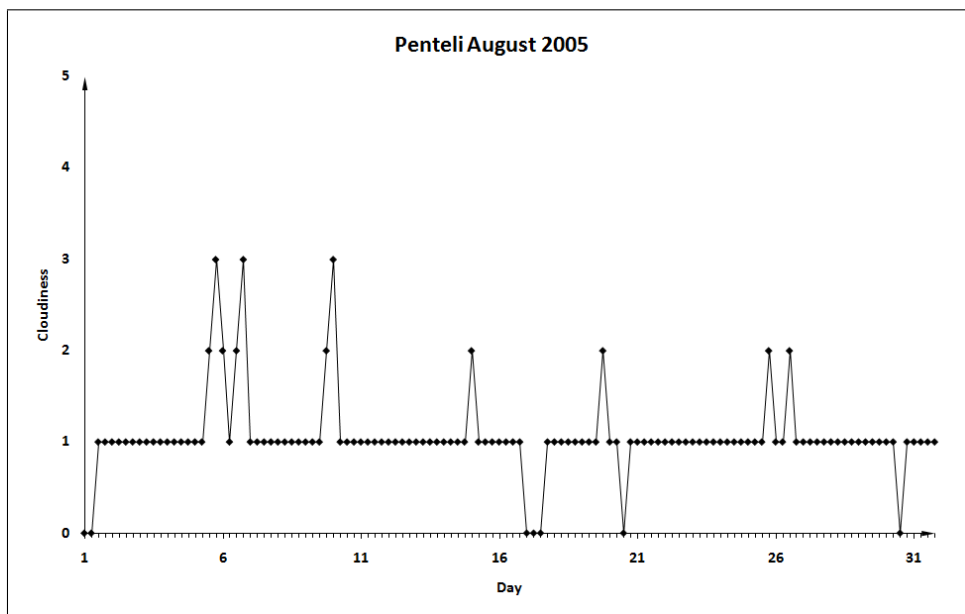
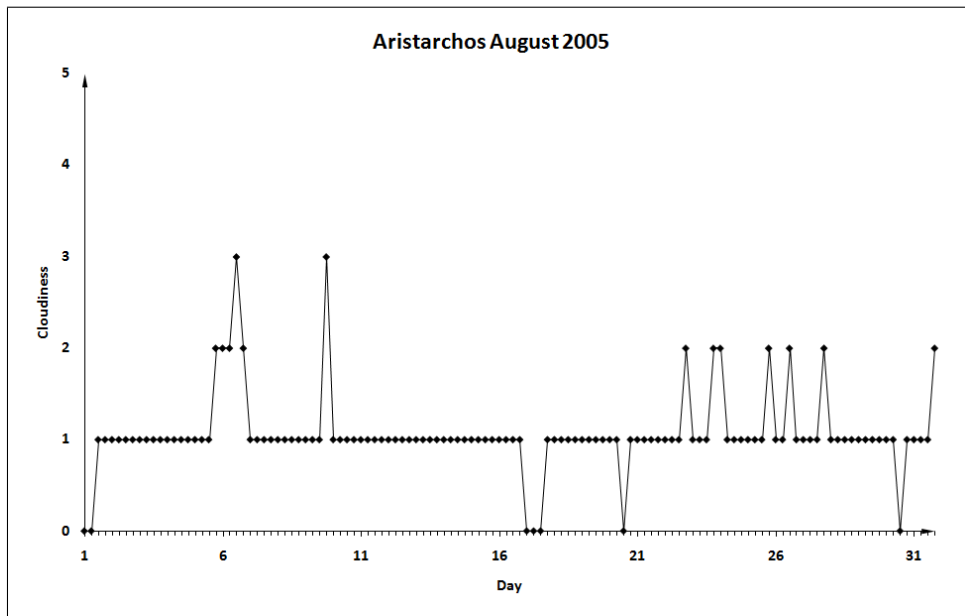
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Σεπτέμβριος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/9/2005	2	2	0	2	1	2	0	2
2/9/2005	2	1	1	1	1	1	1	1
3/9/2005	1	1	2	0	1	1	1	0
4/9/2005	3	3	4	3	1	1	3	1
5/9/2005	2	2	1	3	1	1	1	2
6/9/2005	3	4	2	2	1	1	1	2
7/9/2005	1	1	0	0	1	1	0	0
8/9/2005	1	0	1	1	1	0	2	2
9/9/2005	1	1	0	0	1	1	0	0
10/9/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
11/9/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
12/9/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
13/9/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
14/9/2005	0	1	2	2	0	1	2	3
15/9/2005	3	4	4	4	3	3	4	4
16/9/2005	3	2	2	2	4	3	2	1
17/9/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
18/9/2005	1	1	1	2	1	1	1	2
19/9/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
20/9/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
21/9/2005	3	2	2	2	2	1	2	2
22/9/2005	2	1	2	2	1	1	3	2
23/9/2005	1	1	3	3	2	2	3	4
24/9/2005	2	1	1	2	2	2	2	4
25/9/2005	1	1	2	2	1	1	2	3
26/9/2005	1	1	2	2	1	1	1	2
27/9/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
28/9/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
29/9/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
30/9/2005	0	0	2	3	0	0	3	3

Υπόμνημα

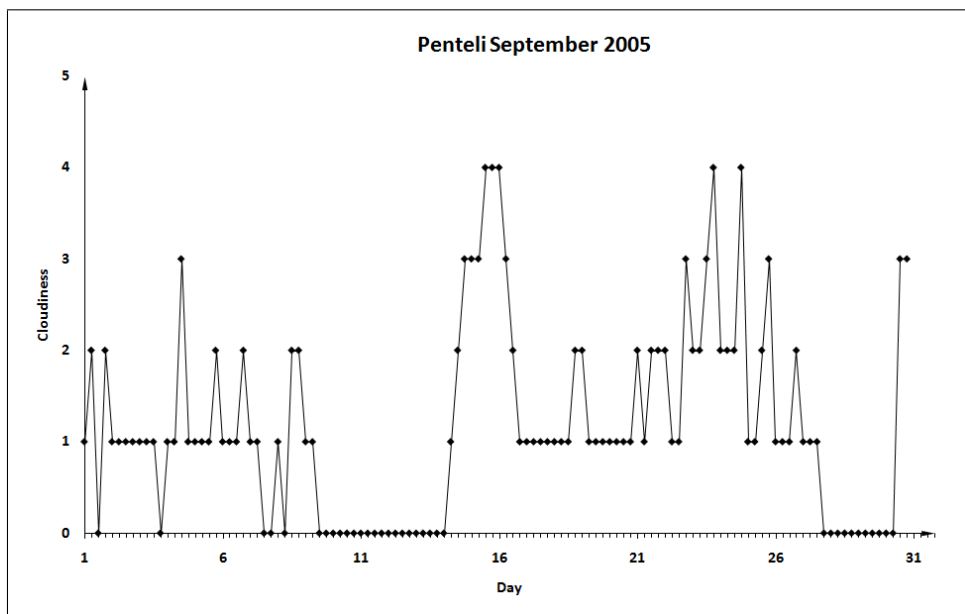
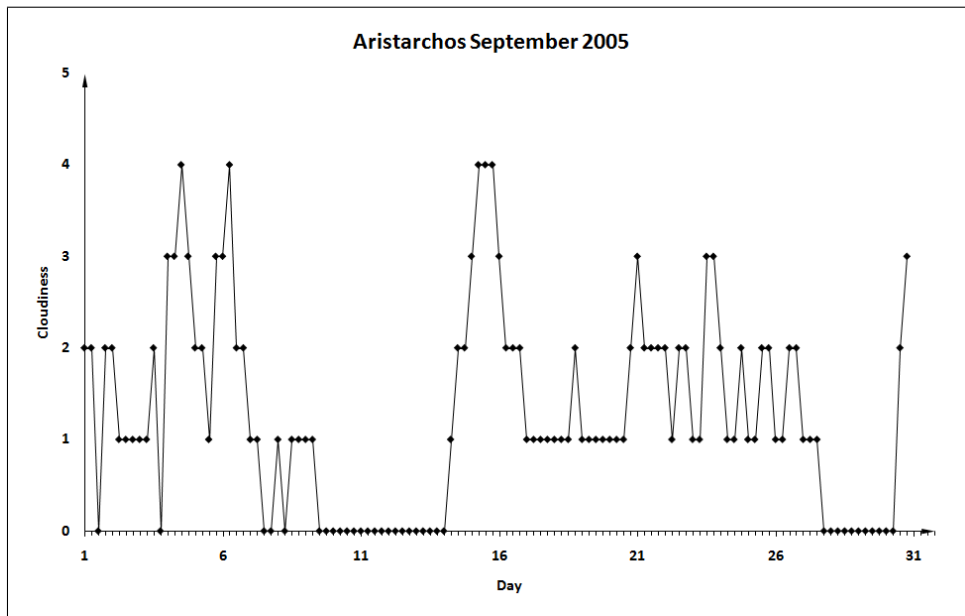
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Οκτώβριος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/10/2005	4	4	3	2	3	3	4	3
2/10/2005	2	2	1	2	1	2	1	1
3/10/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
4/10/2005	1	1	0	2	1	1	0	2
5/10/2005	1	2	1	2	1	1	2	3
6/10/2005	3	1	1	3	1	1	1	1
7/10/2005	2	1	1	2	2	1	1	2
8/10/2005	2	3	4	3	1	1	2	3
9/10/2005	2	4	2	3	2	3	3	2
10/10/2005	3	3	3	3	1	2	3	3
11/10/2005	2	2	2	2	3	2	2	3
12/10/2005	1	1	1	0	3	2	1	0
13/10/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
14/10/2005	0	0	1	1	0	0	1	1
15/10/2005	1	0	0	0	1	0	0	0
16/10/2005	0	0	0	0	0	0	0	0
17/10/2005	0	0	2	2	0	0	2	3
18/10/2005	2	2	2	2	3	2	3	1
19/10/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
20/10/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
21/10/2005	1	1	1	2	1	1	1	1
22/10/2005	3	2	1	2	1	1	1	2
23/10/2005	3	2	3	2	2	2	3	3
24/10/2005	2	1	1	1	3	1	1	1
25/10/2005	1	1	2	1	1	1	1	1
26/10/2005	1	1	0	1	1	1	0	1
27/10/2005	1	1	0	1	1	1	0	1
28/10/2005	1	1	0	1	1	1	0	1
29/10/2005	1	2	3	3	2	2	3	2
30/10/2005	2	2	2	2	2	2	3	2
31/10/2005	2	3	0	4	1	1	0	4

Υπόμνημα

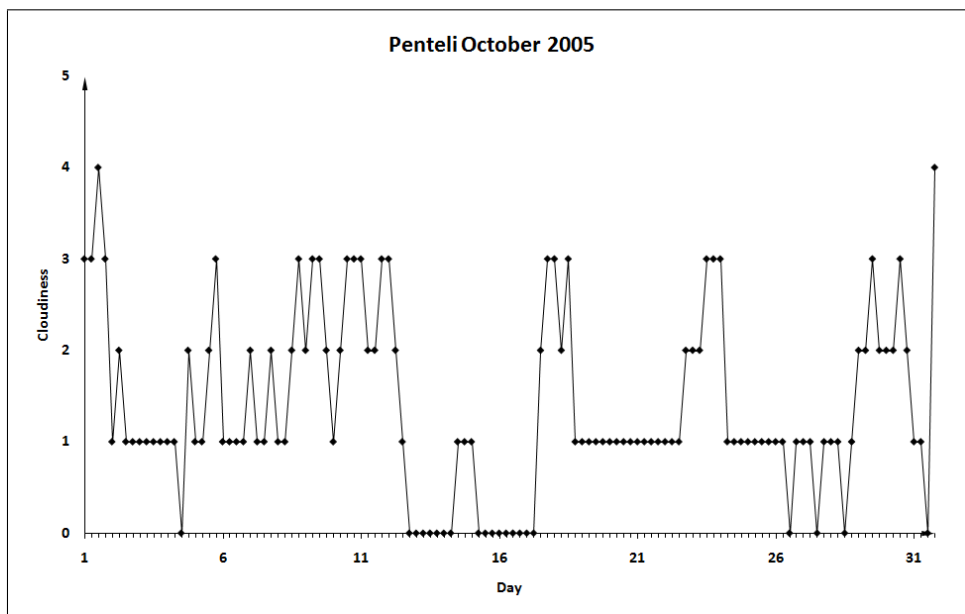
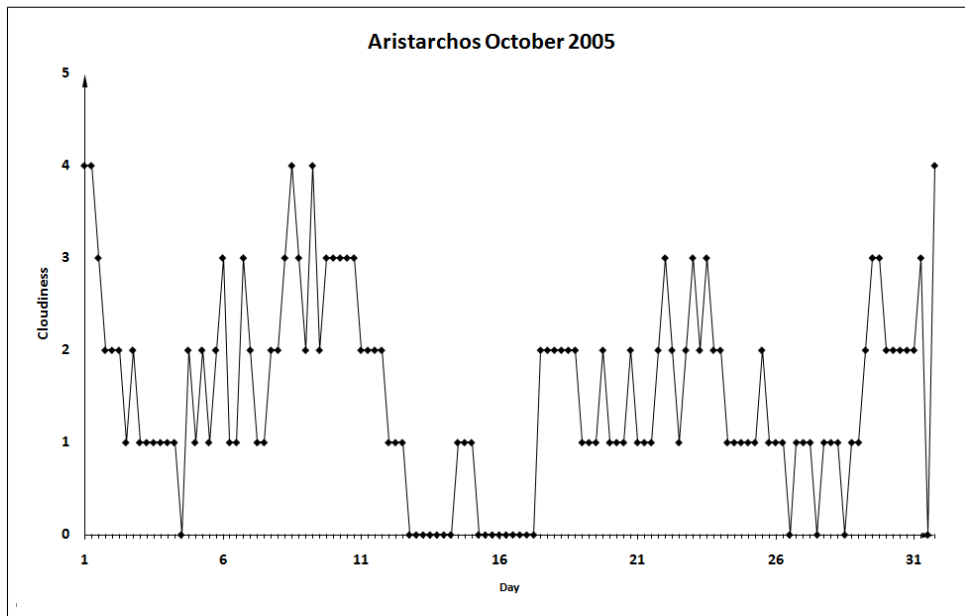
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Νοέμβριος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/11/2005	4	3	0	3	4	3	0	2
2/11/2005	2	1	2	3	1	1	2	3
3/11/2005	3	1	0	1	3	3	0	2
4/11/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
5/11/2005	1	1	1	1	1	1	1	2
6/11/2005	2	2	2	1	2	1	2	1
7/11/2005	1	1	1	2	1	1	2	2
8/11/2005	1	2	0	2	1	1	0	2
9/11/2005	2	3	3	3	2	2	3	3
10/11/2005	3	2	2	1	2	2	2	1
11/11/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
12/11/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
13/11/2005	1	1	2	2	2	2	2	3
14/11/2005	3	2	3	3	3	2	3	3
15/11/2005	2	2	3	0	2	2	1	0
16/11/2005	3	4	4	3	1	4	4	3
17/11/2005	3	2	3	3	3	3	3	4
18/11/2005	1	1	2	1	3	1	2	1
19/11/2005	3	4	4	3	3	3	4	3
20/11/2005	2	2	3	2	3	2	3	3
21/11/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
22/11/2005	2	1	4	3	1	1	4	4
23/11/2005	3	4	3	4	3	4	4	4
24/11/2005	3	4	3	4	4	3	4	4
25/11/2005	3	2	2	0	4	3	3	0
26/11/2005	2	2	3	3	2	1	3	3
27/11/2005	3	2	2	2	3	2	2	1
28/11/2005	1	2	1	2	1	1	2	2
29/11/2005	2	1	1	2	1	1	1	2
30/11/2005	3	3	3	3	3	3	2	3

Υπόμνημα

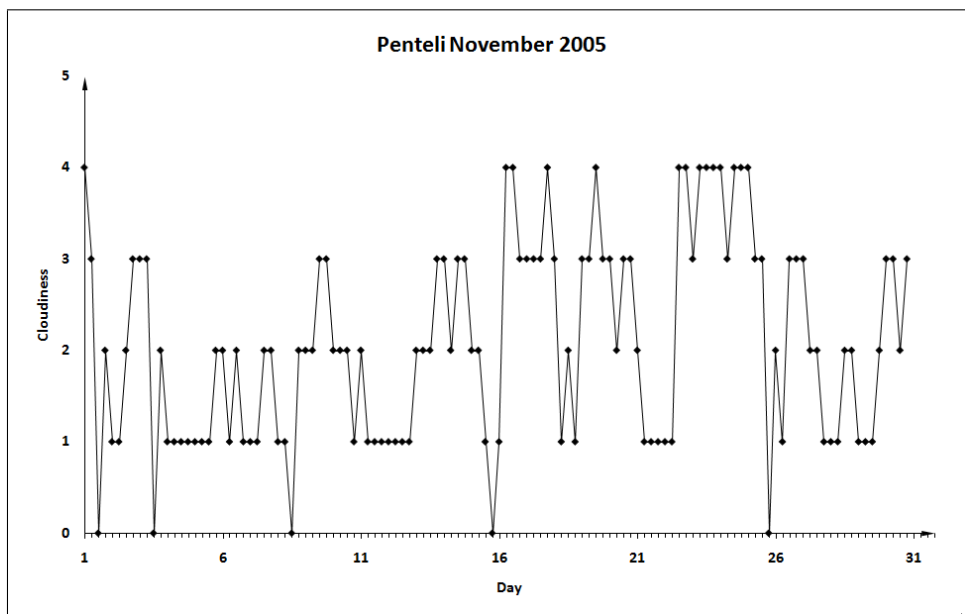
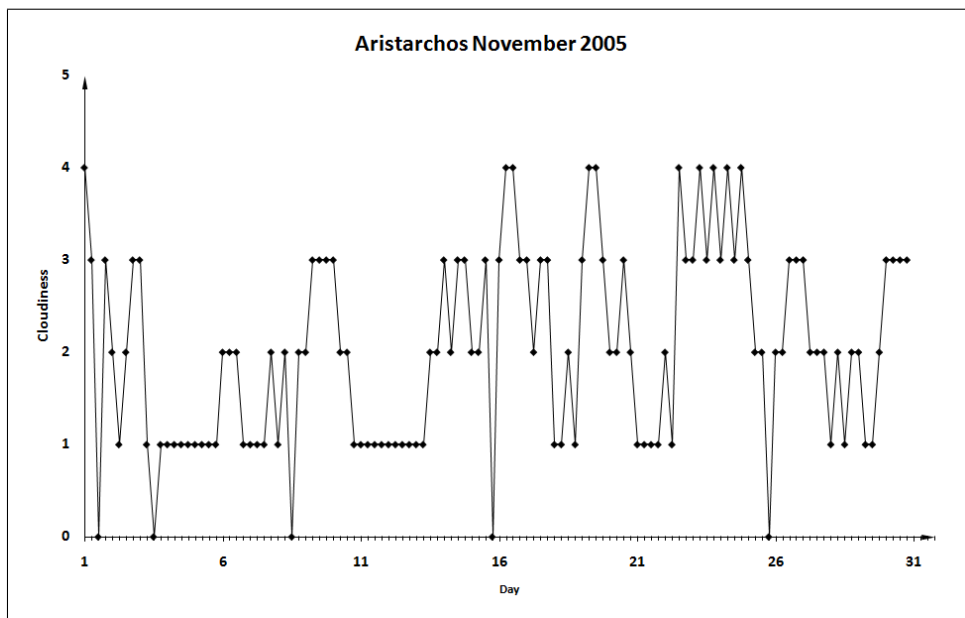
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Δεκέμβριος 2005

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/12/2005	2	2	3	3	2	2	3	4
2/12/2005	4	3	3	3	4	3	3	3
3/12/2005	1	1	1	1	2	1	1	1
4/12/2005	2	2	1	1	1	1	1	1
5/12/2005	1	1	1	1	1	1	1	2
6/12/2005	1	2	3	2	1	2	3	3
7/12/2005	3	2	1	1	4	3	2	2
8/12/2005	2	2	2	1	2	3	3	1
9/12/2005	1	1	3	3	1	1	2	3
10/12/2005	4	3	3	4	3	3	3	3
11/12/2005	3	2	3	2	3	3	3	2
12/12/2005	3	3	3	2	2	3	3	2
13/12/2005	1	2	0	2	2	2	0	2
14/12/2005	3	4	0	3	2	3	0	3
15/12/2005	3	2	2	3	3	3	3	3
16/12/2005	2	3	2	2	1	2	2	1
17/12/2005	3	3	3	3	1	2	3	3
18/12/2005	3	3	3	3	3	2	3	3
19/12/2005	2	1	1	1	3	3	2	1
20/12/2005	1	1	1	1	1	2	2	1
21/12/2005	1	1	2	1	1	1	1	1
22/12/2005	1	2	2	2	1	1	2	2
23/12/2005	4	3	2	1	3	3	3	2
24/12/2005	1	1	1	1	3	2	2	1
25/12/2005	1	1	1	1	1	1	1	1
26/12/2005	2	3	3	3	1	3	3	3
27/12/2005	3	3	3	3	2	3	3	3
28/12/2005	4	4	3	2	3	4	3	4
29/12/2005	2	1	3	4	1	1	1	2
30/12/2005	4	4	3	3	4	4	4	3
31/12/2005	3	1	1	1	2	1	1	1

Υπόμνημα

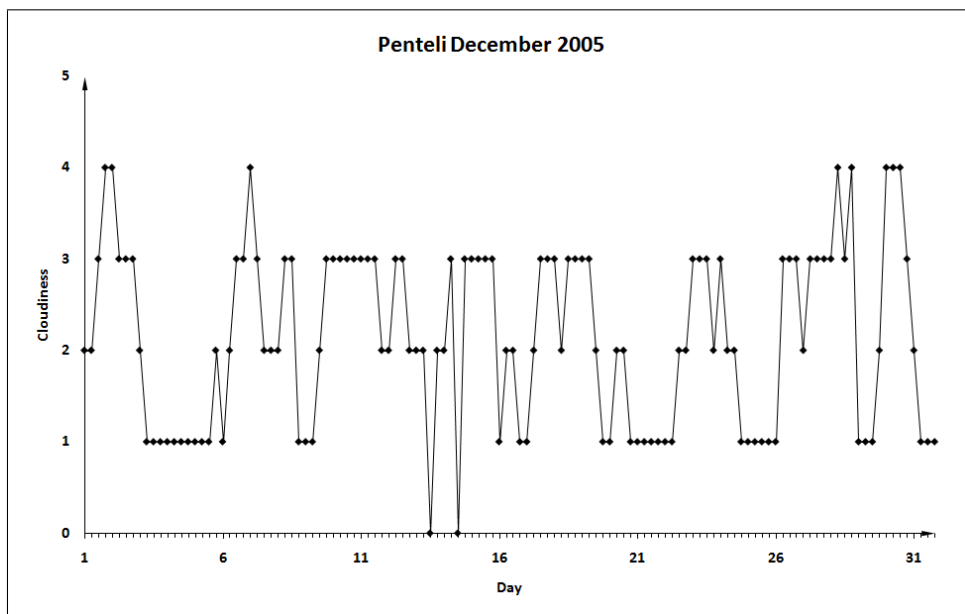
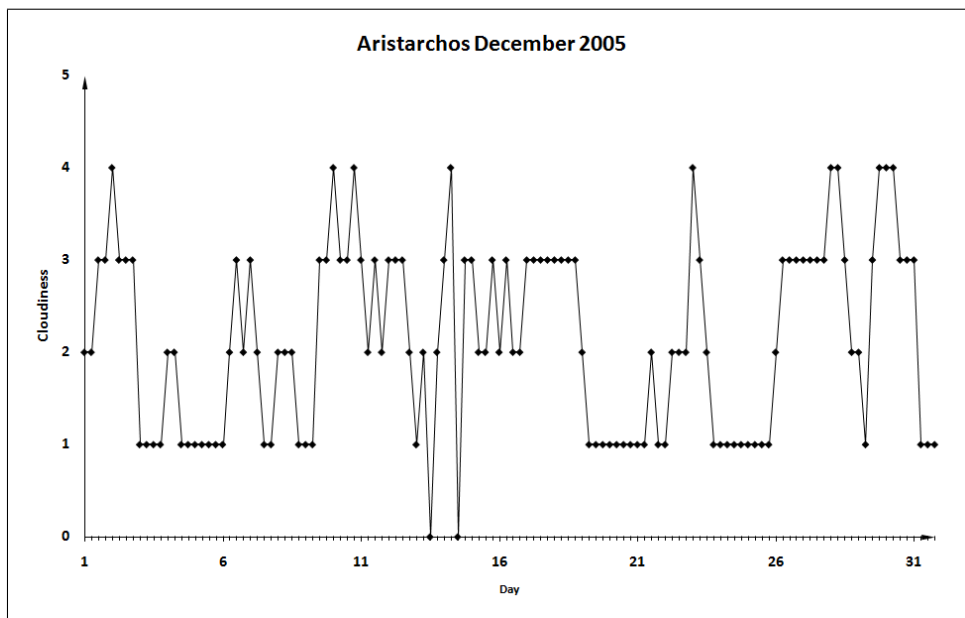
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιανουάριος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/1/2006	0	0	0	0	0	0	0	0
2/1/2006	3	3	2	3	1	2	1	2
3/1/2006	3	2	2	3	3	3	2	3
4/1/2006	3	3	0	4	3	3	0	4
5/1/2006	3	3	2	1	3	4	3	2
6/1/2006	2	3	3	3	1	1	3	2
7/1/2006	2	1	2	2	3	3	3	2
8/1/2006	1	1	2	2	2	2	2	2
9/1/2006	3	3	3	0	3	3	3	0
10/1/2006	0	0	0	0	0	0	0	0
11/1/2006	0	0	0	0	0	0	0	0
12/1/2006	0	0	0	2	0	0	0	3
13/1/2006	2	2	2	2	2	2	2	3
14/1/2006	3	3	3	3	3	2	3	3
15/1/2006	2	1	2	2	2	2	2	3
16/1/2006	1	2	1	1	2	2	2	1
17/1/2006	1	1	0	1	1	1	0	1
18/1/2006	1	2	3	3	2	3	2	3
19/1/2006	3	3	3	2	2	3	3	3
20/1/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
21/1/2006	1	1	2	2	1	1	1	1
22/1/2006	3	3	3	3	3	3	3	3
23/1/2006	3	3	3	3	3	3	3	3
24/1/2006	3	3	4	2	3	4	4	3
25/1/2006	2	2	2	3	3	2	2	3
26/1/2006	2	2	2	2	3	1	2	2
27/1/2006	2	2	3	3	3	2	3	1
28/1/2006	2	2	3	1	1	1	3	1
29/1/2006	2	2	1	1	1	1	1	1
30/1/2006	1	1	1	3	1	1	1	2
31/1/2006	3	3	0	2	3	2	0	2

Υπόμνημα

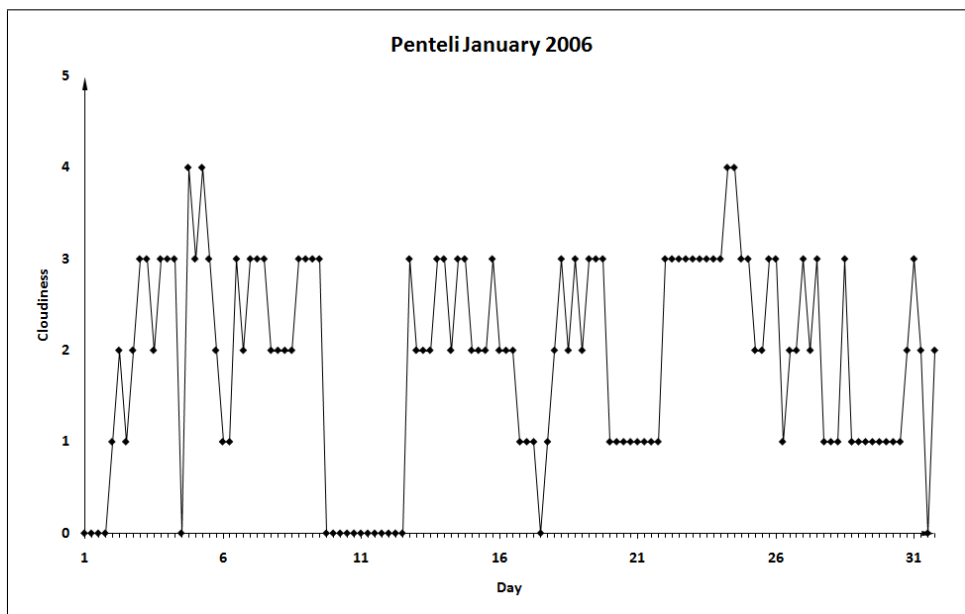
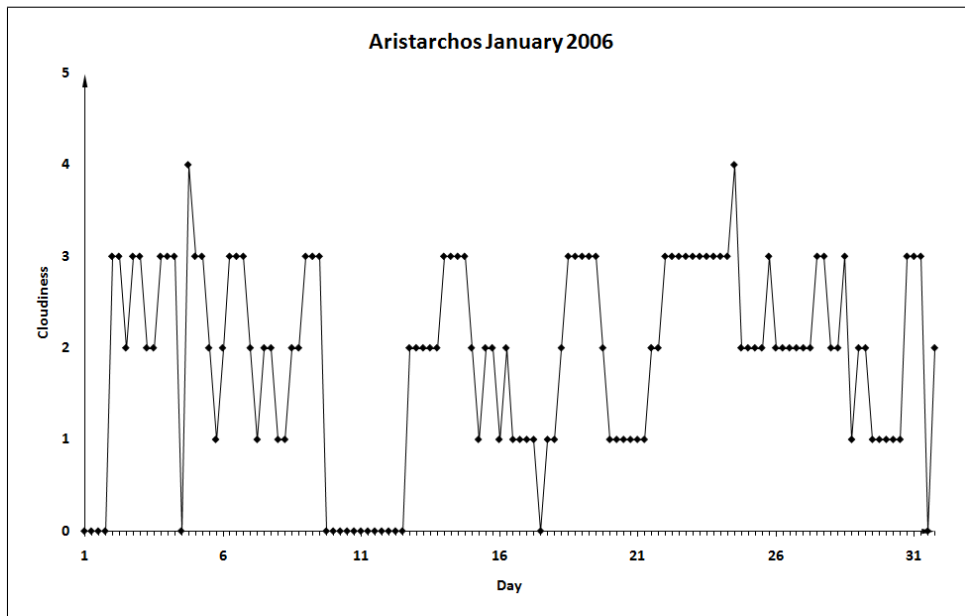
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Φεβρουάριος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/2/2006	3	4	0	4	3	4	0	4
2/2/2006	3	1	1	1	3	1	1	1
3/2/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
4/2/2006	2	2	2	2	1	2	1	1
5/2/2006	3	3	4	4	3	3	3	4
6/2/2006	3	3	4	3	3	3	3	3
7/2/2006	3	4	0	2	3	3	0	3
8/2/2006	3	2	1	1	3	3	1	1
9/2/2006	1	2	2	3	1	1	2	3
10/2/2006	3	2	3	3	2	3	3	3
11/2/2006	2	2	2	1	3	2	2	2
12/2/2006	1	1	2	1	2	2	2	1
13/2/2006	2	1	2	3	1	1	2	2
14/2/2006	2	2	2	2	3	3	2	2
15/2/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
16/2/2006	1	2	2	3	1	2	3	3
17/2/2006	3	2	2	2	3	2	2	1
18/2/2006	2	2	2	2	2	1	1	2
19/2/2006	3	3	2	3	3	4	3	3
20/2/2006	3	2	1	1	2	2	1	1
21/2/2006	2	1	0	2	1	1	0	1
22/2/2006	2	1	1	1	1	1	1	1
23/2/2006	2	3	2	3	2	3	2	3
24/2/2006	3	3	3	2	3	3	3	3
25/2/2006	2	2	2	2	3	1	1	1
26/2/2006	3	2	2	2	2	2	1	2
27/2/2006	2	3	2	3	3	3	1	3
28/2/2006	3	3	2	2	3	3	1	2

Υπόμνημα

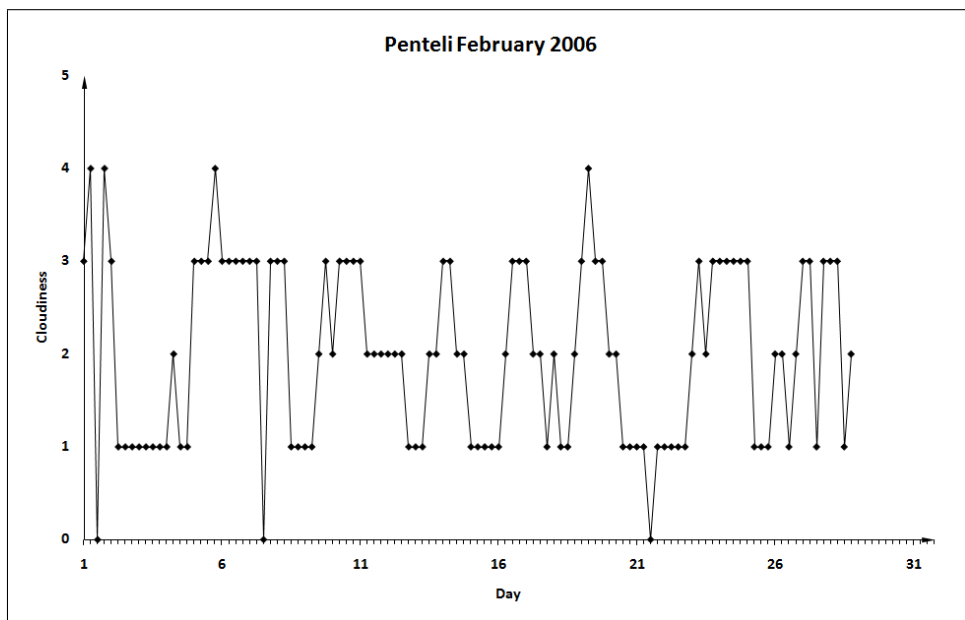
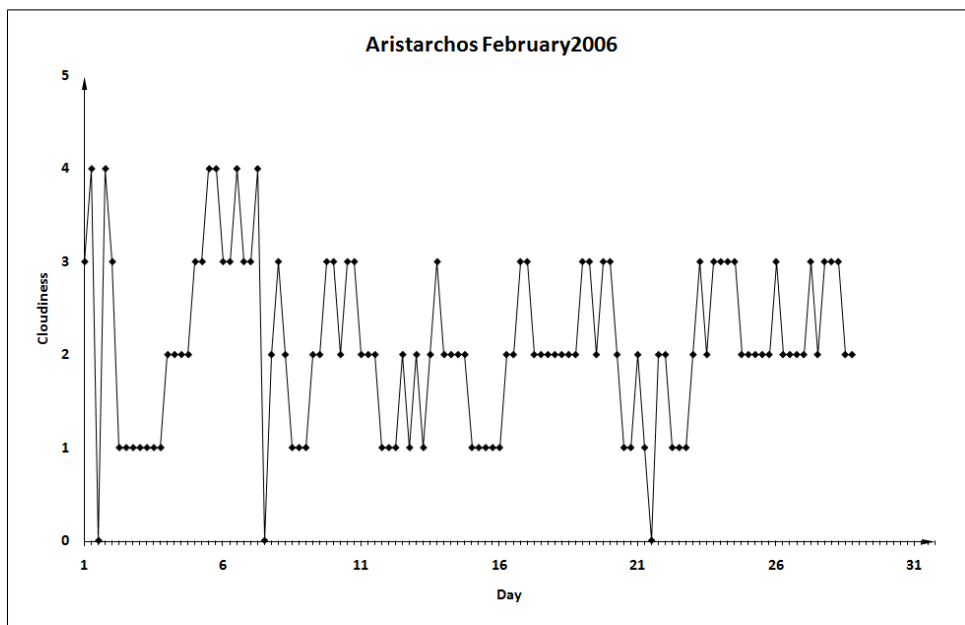
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάρτιος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/3/2006	2	0	1	2	1	0	1	1
2/3/2006	2	3	3	2	2	3	2	2
3/3/2006	2	0	1	1	2	0	1	1
4/3/2006	1	1	2	2	2	1	2	1
5/3/2006	1	2	1	1	1	1	1	2
6/3/2006	1	2	2	3	2	1	2	3
7/3/2006	3	3	2	3	3	2	3	3
8/3/2006	3	3	0	2	3	3	0	3
9/3/2006	1	1	0	0	2	1	0	0
10/3/2006	2	2	2	2	1	1	1	3
11/3/2006	2	3	2	2	3	3	3	2
12/3/2006	4	3	4	2	4	3	3	3
13/3/2006	2	2	2	3	1	2	3	3
14/3/2006	2	2	2	2	2	3	3	2
15/3/2006	2	2	0	1	2	2	0	2
16/3/2006	1	1	1	1	1	1	1	2
17/3/2006	1	2	2	2	1	2	2	2
18/3/2006	2	2	1	2	2	2	2	2
19/3/2006	2	3	4	4	2	2	4	3
20/3/2006	3	2	2	2	3	2	1	1
21/3/2006	1	1	2	1	1	2	1	1
22/3/2006	2	3	0	3	1	3	0	2
23/3/2006	3	2	2	2	3	3	1	2
24/3/2006	2	2	1	2	1	2	1	1
25/3/2006	3	3	3	2	3	2	2	2
26/3/2006	2	3	2	1	2	3	1	1
27/3/2006	1	2	1	2	1	3	1	2
28/3/2006	1	1	2	2	1	1	1	2
29/3/2006	3	2	1	1	3	2	2	1
30/3/2006	1	2	2	1	1	1	2	3
31/3/2006	1	1	0	1	1	1	0	1

Υπόμνημα

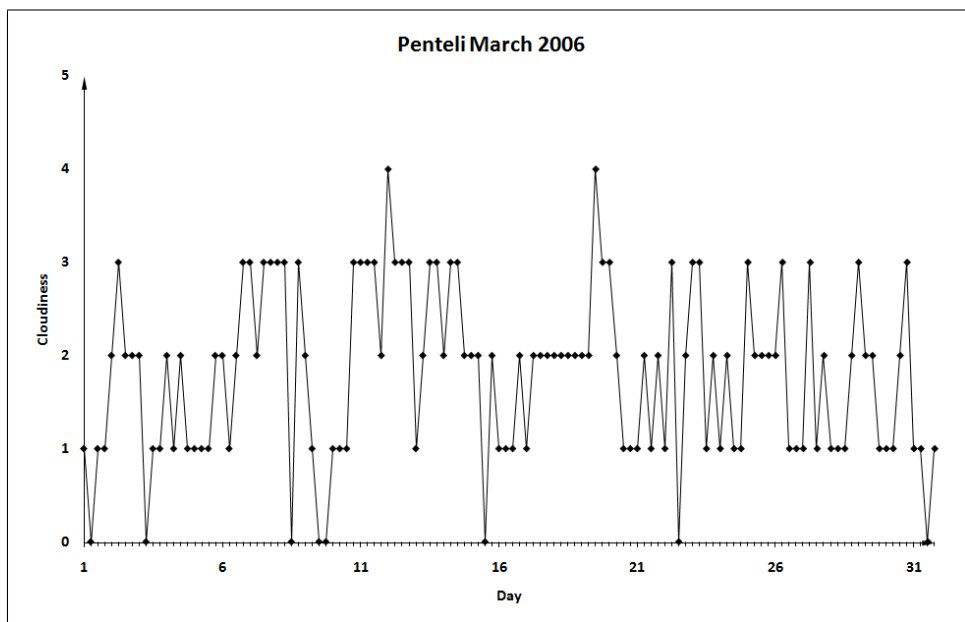
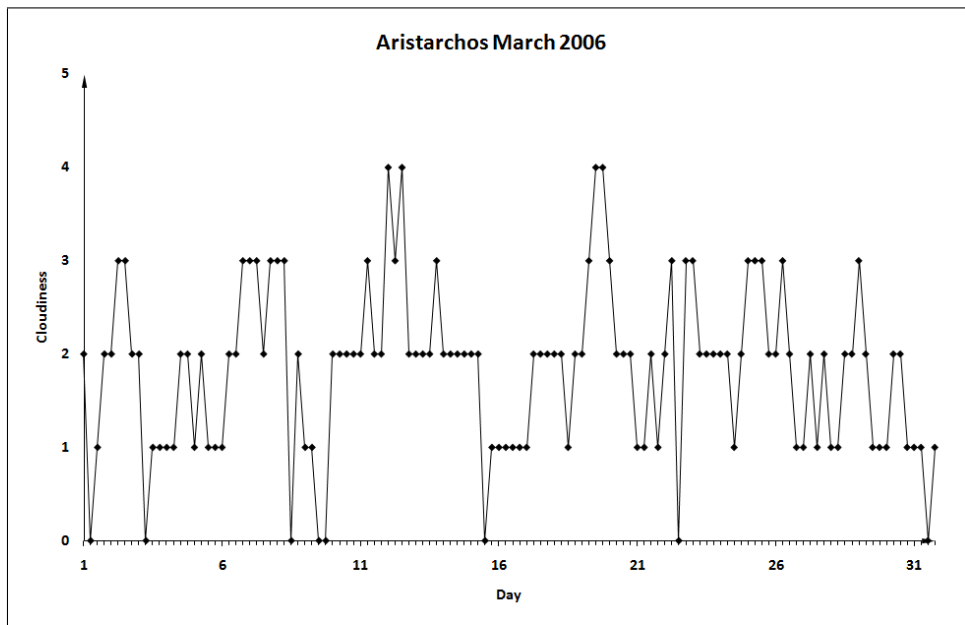
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Απρίλιος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/4/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
2/4/2006	2	2	2	1	1	2	1	1
3/4/2006	1	2	1	3	2	3	3	3
4/4/2006	1	3	2	2	3	3	2	2
5/4/2006	1	2	1	1	1	2	1	1
6/4/2006	1	2	1	2	1	1	2	2
7/4/2006	2	1	0	3	2	3	0	3
8/4/2006	3	2	2	2	3	1	1	2
9/4/2006	1	2	2	2	1	2	1	1
10/4/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
11/4/2006	3	2	0	1	1	2	0	2
12/4/2006	3	3	0	3	3	2	0	3
13/4/2006	2	2	1	2	1	1	1	1
14/4/2006	2	3	2	2	1	2	3	2
15/4/2006	1	1	1	2	1	1	1	2
16/4/2006	1	2	2	1	1	1	2	1
17/4/2006	1	2	3	3	2	1	3	2
18/4/2006	4	3	3	3	4	3	2	3
19/4/2006	2	2	1	2	3	1	3	1
20/4/2006	2	2	1	1	1	1	1	1
21/4/2006	1	1	0	3	1	1	0	3
22/4/2006	3	2	2	1	3	3	1	2
23/4/2006	2	2	1	1	3	3	1	1
24/4/2006	2	2	2	1	1	2	1	1
25/4/2006	1	1	1	2	1	1	1	2
26/4/2006	1	1	0	3	1	2	0	3
27/4/2006	3	3	4	3	3	2	4	3
28/4/2006	3	3	3	3	3	3	3	3
29/4/2006	3	3	2	3	3	2	2	2
30/4/2006	3	3	2	2	3	3	3	2

Υπόμνημα

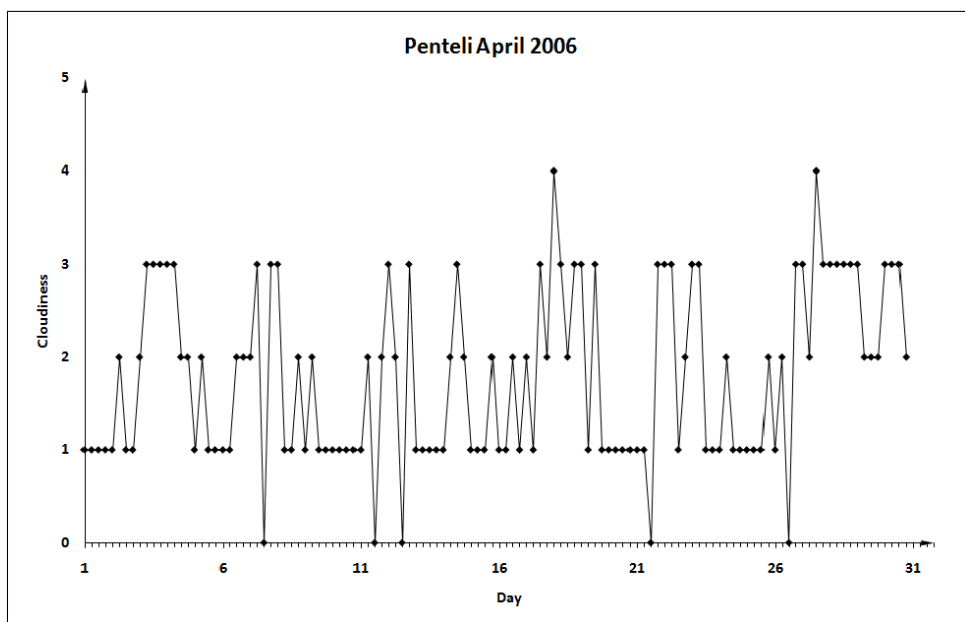
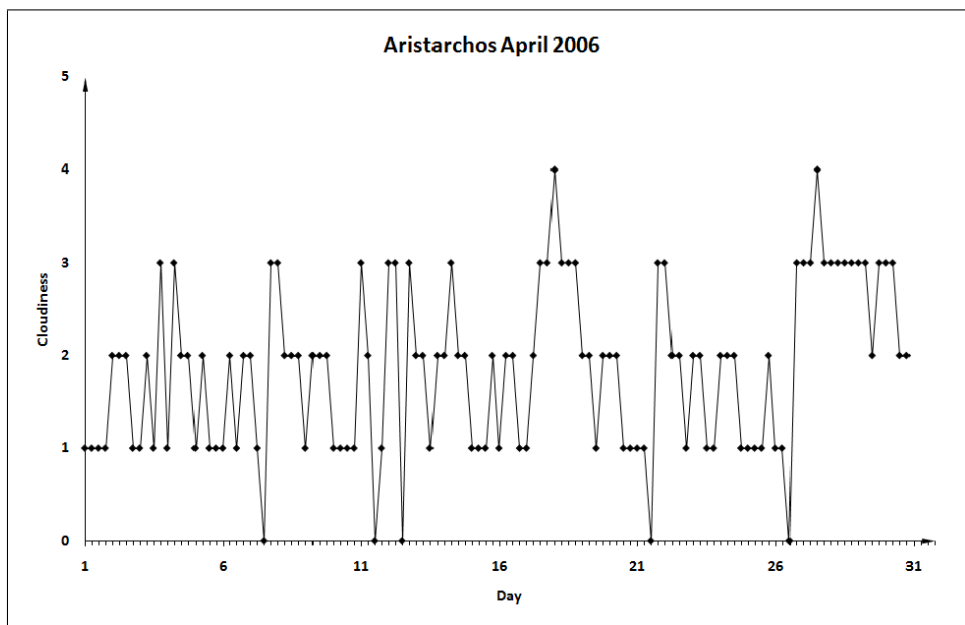
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάιος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/5/2006	3	3	2	2	2	3	2	2
2/5/2006	2	2	1	2	1	1	1	1
3/5/2006	1	2	2	2	1	1	1	1
4/5/2006	1	1	1	2	1	2	2	1
5/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
6/5/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
7/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
8/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
9/5/2006	1	1	2	2	1	1	1	2
10/5/2006	3	3	2	2	3	3	3	2
11/5/2006	1	2	1	1	1	2	1	1
12/5/2006	2	1	1	0	1	1	1	0
13/5/2006	1	1	1	2	1	2	1	1
14/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
15/5/2006	1	1	2	1	1	1	1	1
16/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
17/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	2
18/5/2006	1	1	1	2	1	1	1	2
19/5/2006	1	2	1	1	1	1	1	1
20/5/2006	1	2	1	2	1	1	1	1
21/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
22/5/2006	1	1	2	2	1	1	1	1
23/5/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
24/5/2006	2	2	1	1	2	1	1	1
25/5/2006	1	3	1	1	1	2	1	1
26/5/2006	1	1	1	2	1	1	1	2
27/5/2006	2	1	1	1	1	1	1	1
28/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
29/5/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
30/5/2006	1	2	1	2	1	1	1	1
31/5/2006	1	1	2	1	1	1	1	2

Υπόμνημα

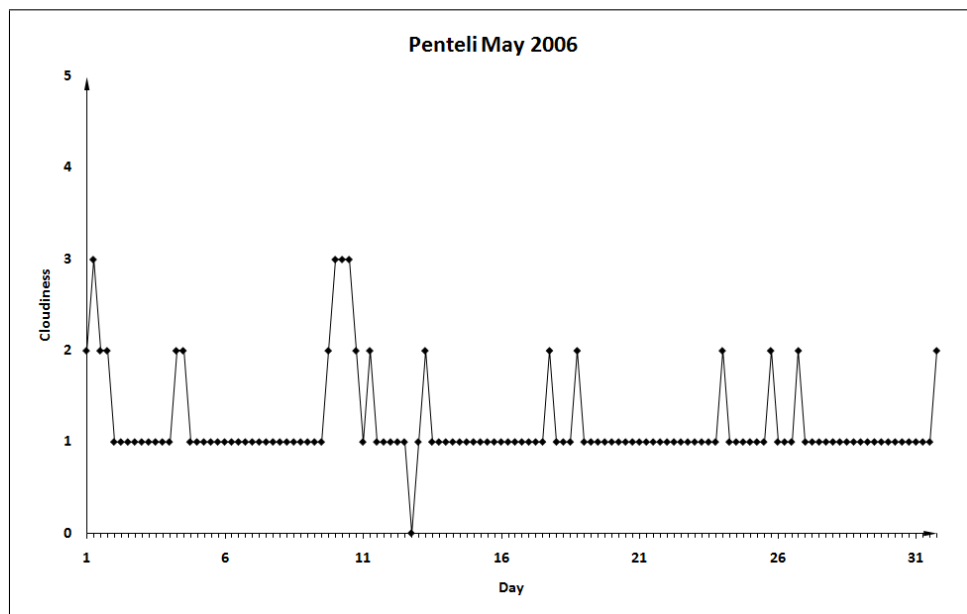
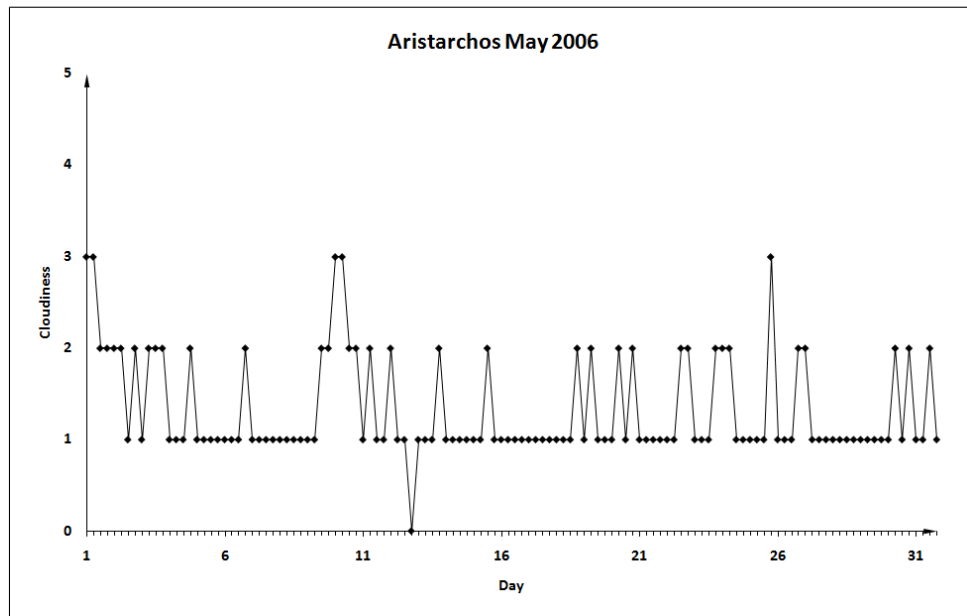
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιούνιος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/6/2006	2	1	1	2	2	1	1	1
2/6/2006	1	2	1	1	2	2	1	1
3/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
4/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
5/6/2006	1	2	1	1	2	1	1	1
6/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
7/6/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
8/6/2006	1	1	1	2	2	1	1	2
9/6/2006	2	2	1	3	2	2	2	1
10/6/2006	1	2	3	1	2	1	1	2
11/6/2006	1	1	1	3	1	1	1	3
12/6/2006	4	3	3	2	4	3	2	2
13/6/2006	3	1	1	1	2	2	2	1
14/6/2006	1	1	1	1	2	1	1	1
15/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	2
16/6/2006	1	1	1	1	2	1	1	1
17/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
18/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	2
19/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
20/6/2006	1	1	1	1	2	1	1	1
21/6/2006	1	1	1	1	2	1	1	1
22/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
23/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
24/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
25/6/2006	1	1	2	0	1	1	1	0
26/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
27/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
28/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
29/6/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
30/6/2006	1	1	1	3	1	1	1	1

Υπόμνημα

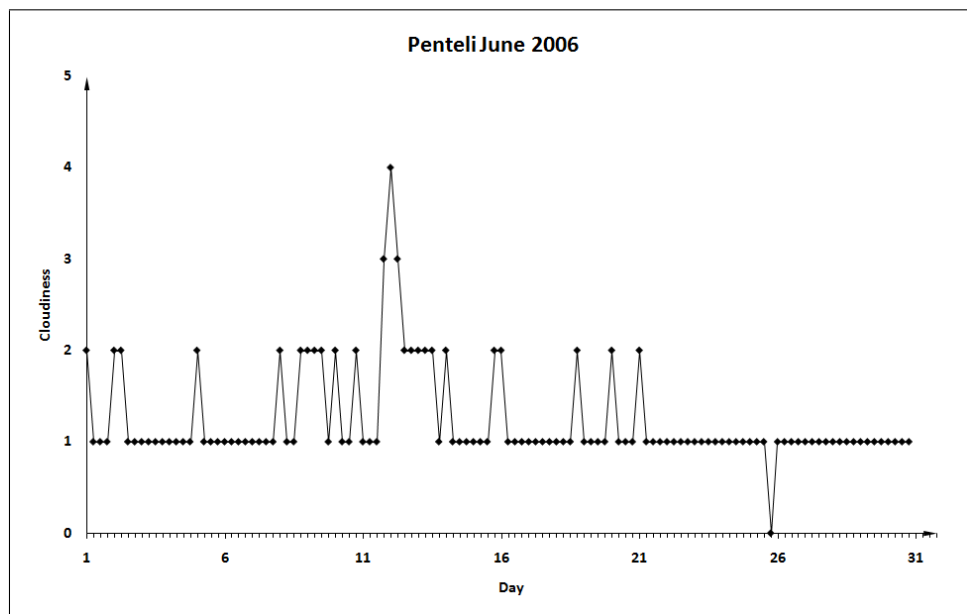
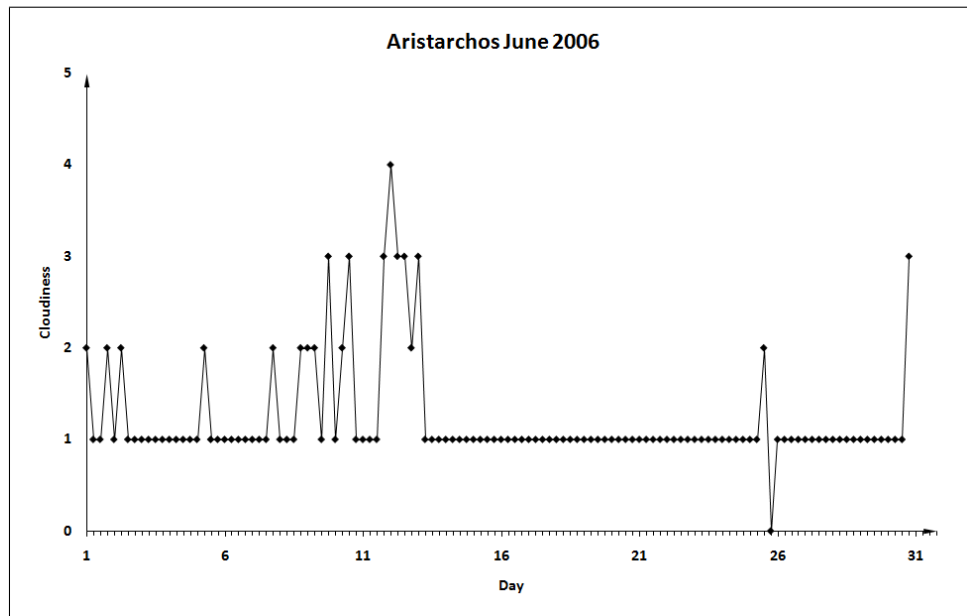
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιούλιος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
2/7/2006	1	1	3	3	2	1	1	3
3/7/2006	1	1	1	3	2	2	3	3
4/7/2006	2	1	2	2	3	2	1	2
5/7/2006	1	1	1	1	1	2	1	1
6/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
7/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
8/7/2006	1	2	3	2	1	1	1	3
9/7/2006	2	2	2	2	3	3	1	1
10/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
11/7/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
12/7/2006	1	1	1	2	2	1	1	2
13/7/2006	1	1	2	2	2	1	1	1
14/7/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
15/7/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
16/7/2006	1	1	1	3	1	1	1	2
17/7/2006	1	1	1	2	1	1	1	2
18/7/2006	2	2	1	2	2	1	1	1
19/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
20/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
21/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
22/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
23/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
24/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
25/7/2006	1	1	1	0	1	1	1	0
26/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
27/7/2006	1	1	0	1	1	1	0	1
28/7/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
29/7/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
30/7/2006	1	1	2	1	1	1	1	1
31/7/2006	1	1	2	1	1	1	1	1

Υπόμνημα

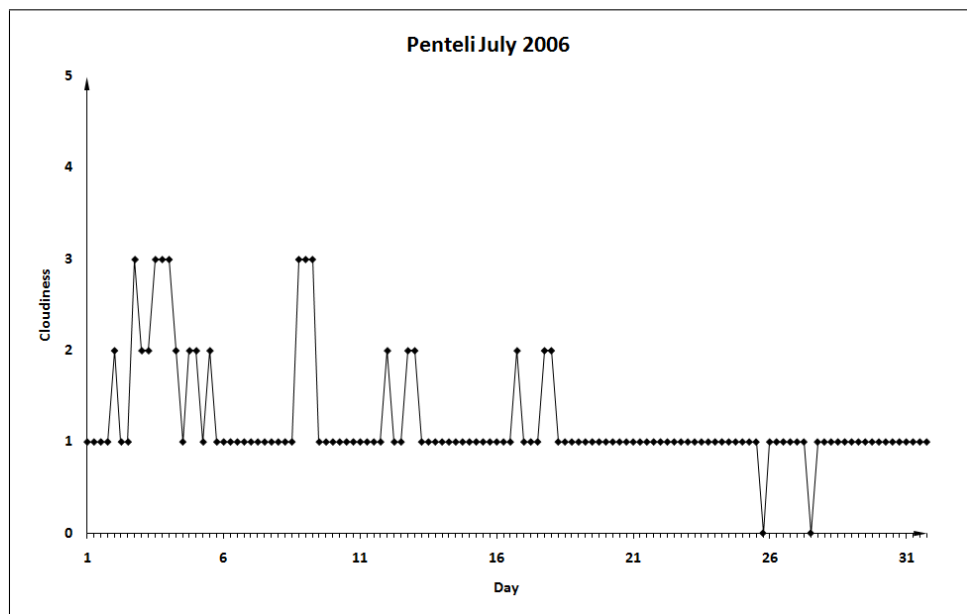
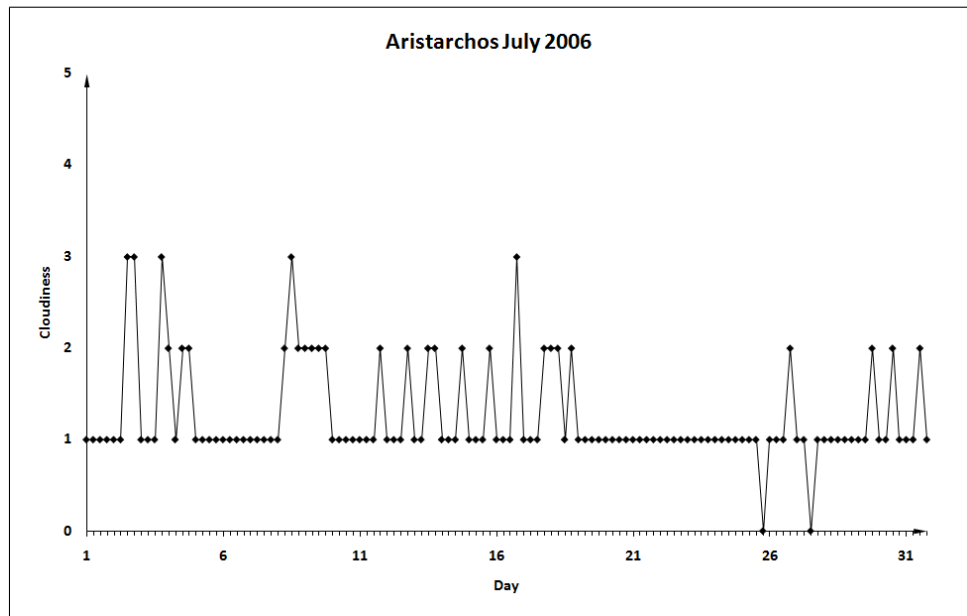
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Άγουστος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/8/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
2/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
3/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
4/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
5/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
6/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
7/8/2006	1	2	1	2	1	1	1	1
8/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
9/8/2006	1	1	2	1	1	1	2	1
10/8/2006	1	2	2	2	1	2	2	3
11/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
12/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
13/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
14/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
15/8/2006	1	1	0	1	1	1	0	1
16/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
17/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
18/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
19/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
20/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
21/8/2006	1	1	2	2	1	1	1	1
22/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
23/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
24/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
25/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
26/8/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
27/8/2006	1	1	1	3	1	1	1	3
28/8/2006	2	1	1	1	1	1	1	2
29/8/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
30/8/2006	2	1	1	2	1	1	1	1
31/8/2006	2	1	1	2	1	1	1	2

Υπόμνημα

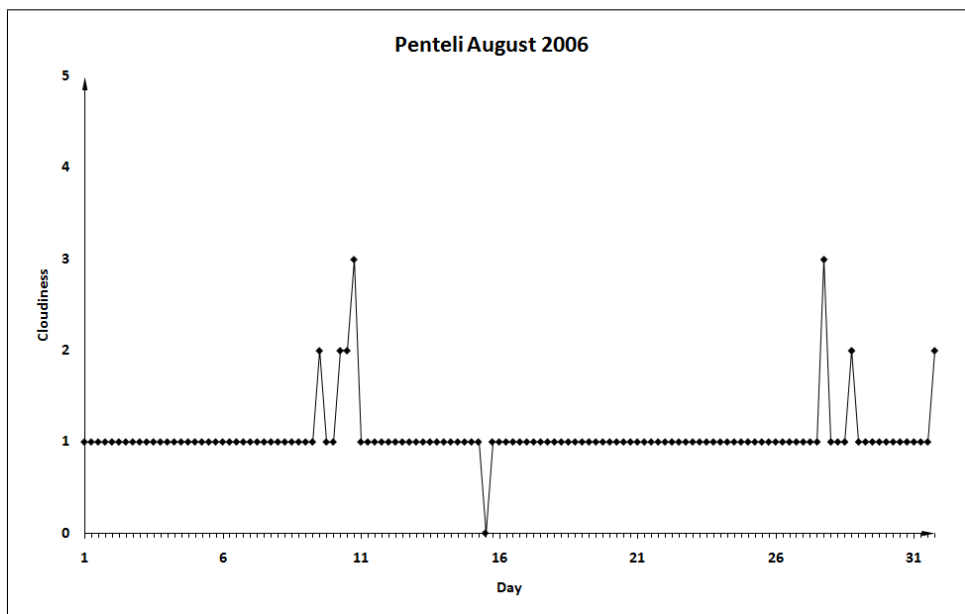
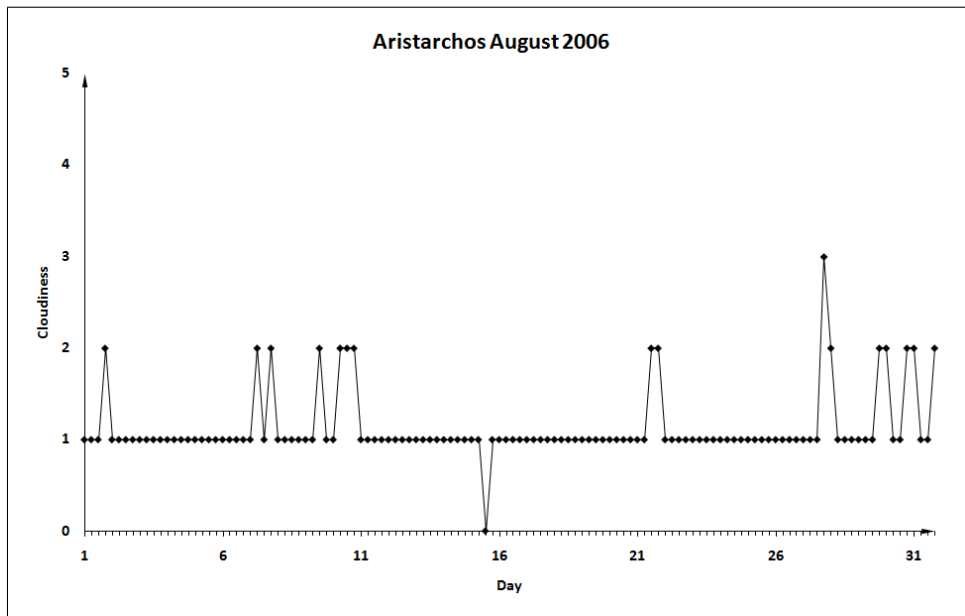
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Σεπτέμβριος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/9/2006	1	1	1	2	1	1	2	1
2/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
3/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
4/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
5/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
6/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
7/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
8/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
9/9/2006	1	2	3	2	1	1	1	2
10/9/2006	2	2	1	2	2	2	1	1
11/9/2006	2	1	1	2	1	1	1	2
12/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
13/9/2006	1	2	3	2	1	1	2	1
14/9/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
15/9/2006	2	3	1	2	1	1	1	2
16/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
17/9/2006	1	3	3	2	1	2	1	3
18/9/2006	2	3	3	1	2	2	2	2
19/9/2006	1	1	1	2	1	1	1	1
20/9/2006	3	3	2	1	2	3	2	1
21/9/2006	1	1	2	1	1	1	2	3
22/9/2006	1	1	2	2	1	3	2	1
23/9/2006	2	3	2	4	4	3	2	3
24/9/2006	2	1	1	1	2	2	2	2
25/9/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
26/9/2006	3	4	3	3	3	3	3	3
27/9/2006	3	2	2	3	3	2	2	2
28/9/2006	3	3	2	2	3	3	3	2
29/9/2006	2	1	1	1	1	1	1	1
30/9/2006	1	1	1	2	1	1	1	1

Υπόμνημα

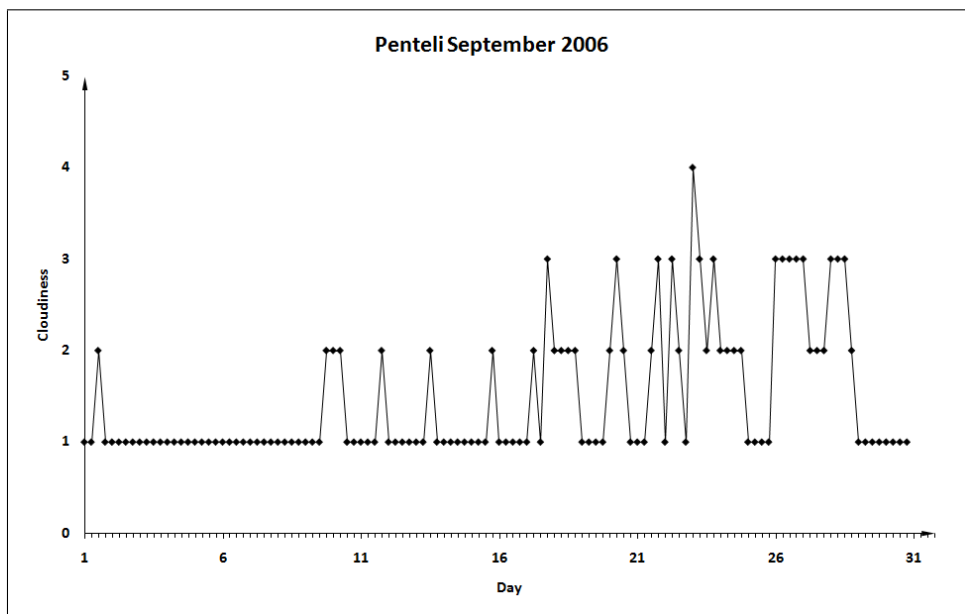
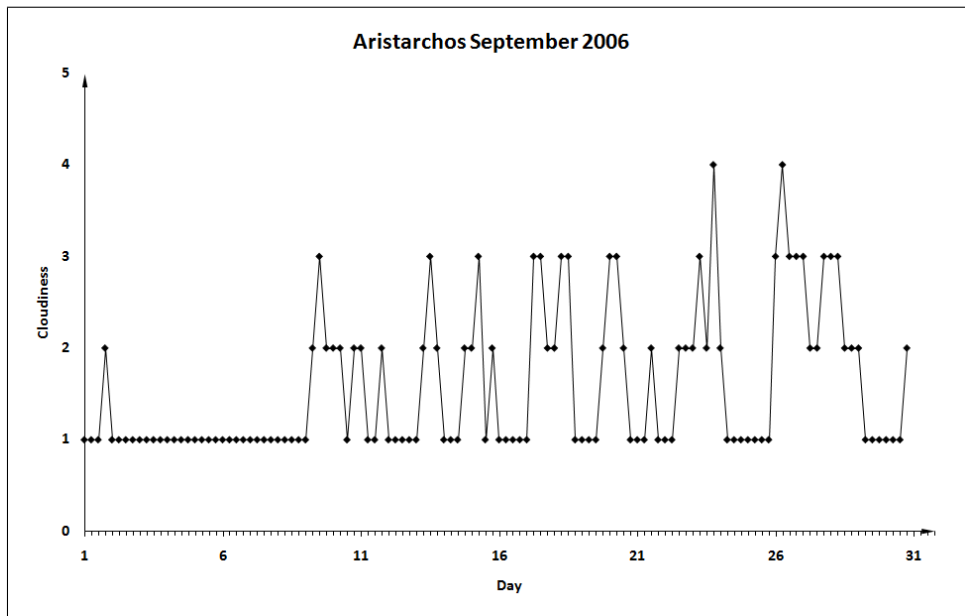
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Οκτώβριος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/10/2006	1	1	1	2	2	1	1	1
2/10/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
3/10/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
4/10/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
5/10/2006	1	1	1	2	1	1	1	2
6/10/2006	3	2	2	2	2	2	2	3
7/10/2006	1	3	3	3	2	2	2	3
8/10/2006	2	2	1	1	3	1	1	2
9/10/2006	2	2	3	3	2	2	3	3
10/10/2006	3	3	2	3	3	2	2	3
11/10/2006	3	2	2	2	3	2	2	2
12/10/2006	2	1	1	2	2	2	2	1
13/10/2006	2	2	2	3	2	2	2	1
14/10/2006	1	1	2	3	2	2	2	1
15/10/2006	1	2	2	2	2	2	2	1
16/10/2006	2	3	3	4	1	1	3	4
17/10/2006	4	4	3	2	4	4	3	3
18/10/2006	2	2	2	2	3	3	2	3
19/10/2006	1	2	1	1	3	2	2	2
20/10/2006	1	1	3	3	1	1	1	3
21/10/2006	3	3	3	3	3	3	3	2
22/10/2006	1	1	2	3	2	1	1	3
23/10/2006	2	1	1	1	3	1	1	1
24/10/2006	1	1	1	1	1	1	1	2
25/10/2006	1	1	1	1	2	2	1	2
26/10/2006	1	1	1	2	2	1	3	3
27/10/2006	2	1	1	1	1	1	1	1
28/10/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
29/10/2006	1	2	2	1	2	2	2	3
30/10/2006	1	2	4	2	2	3	4	4
31/10/2006	3	4	4	3	3	3	4	3

Υπόμνημα

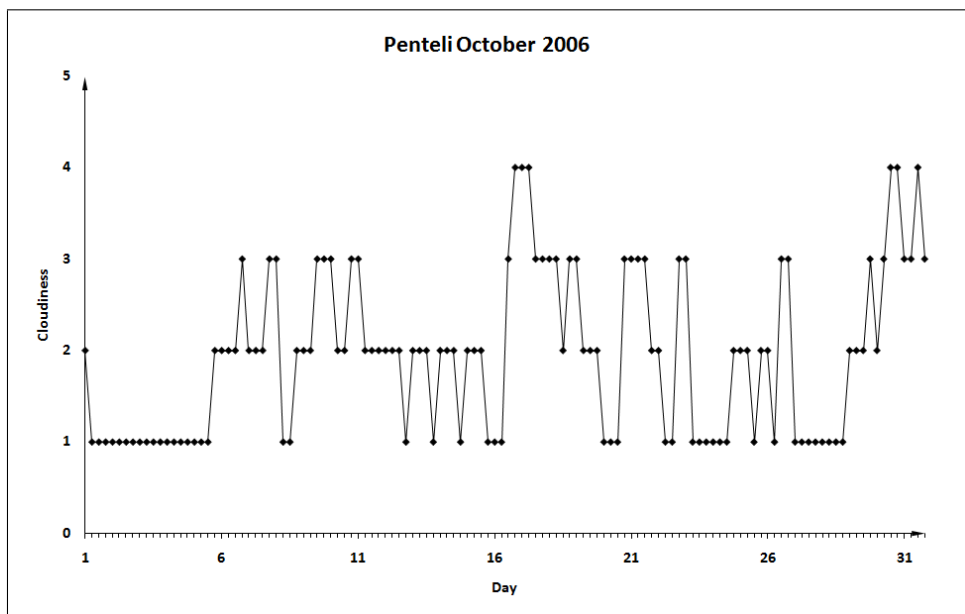
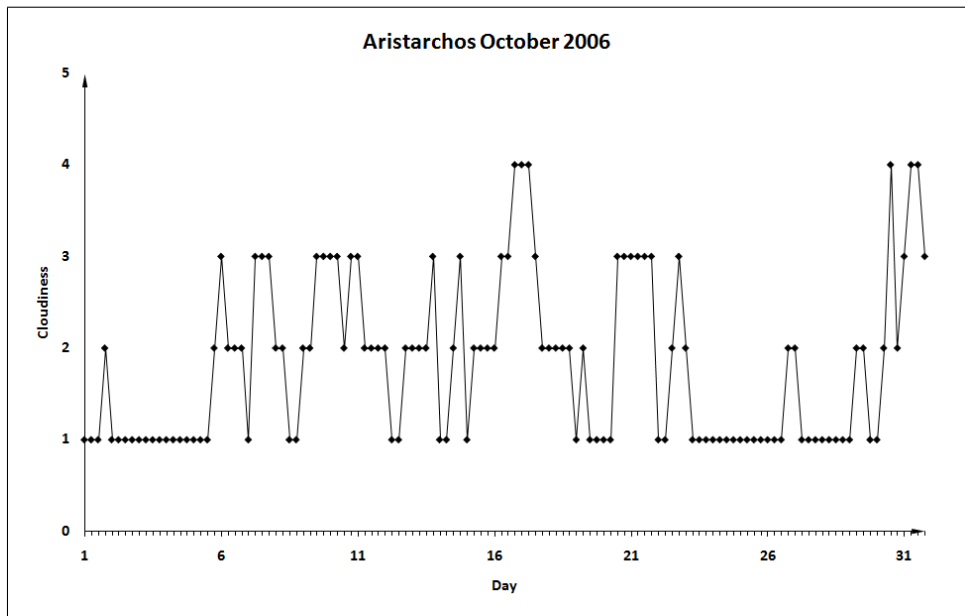
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Νοέμβριος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/11/2006	1	1	1	2	3	2	2	2
2/11/2006	2	1	1	2	1	1	1	1
3/11/2006	3	2	2	1	2	2	3	2
4/11/2006	1	1	1	1	1	1	2	2
5/11/2006	1	1	1	2	2	1	1	1
6/11/2006	1	1	1	1	1	2	1	1
7/11/2006	1	1	1	1	2	1	1	1
8/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
9/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
10/11/2006	1	1	2	2	1	1	1	3
11/11/2006	3	4	3	2	3	3	3	1
12/11/2006	2	1	3	3	1	1	3	3
13/11/2006	2	2	2	2	3	2	2	3
14/11/2006	2	2	1	1	3	1	1	1
15/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
16/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
17/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
18/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
19/11/2006	1	3	3	3	1	2	3	2
20/11/2006	2	1	1	2	2	2	1	2
21/11/2006	3	1	1	1	3	2	1	1
22/11/2006	2	2	3	3	1	2	3	3
23/11/2006	3	4	3	3	3	3	3	3
24/11/2006	2	1	1	1	3	3	2	2
25/11/2006	1	1	1	1	1	2	1	2
26/11/2006	1	1	2	1	3	3	1	1
27/11/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
28/11/2006	1	1	1	2	1	2	1	1
29/11/2006	2	2	2	2	1	2	2	2
30/11/2006	2	1	2	1	3	2	2	2

Υπόμνημα

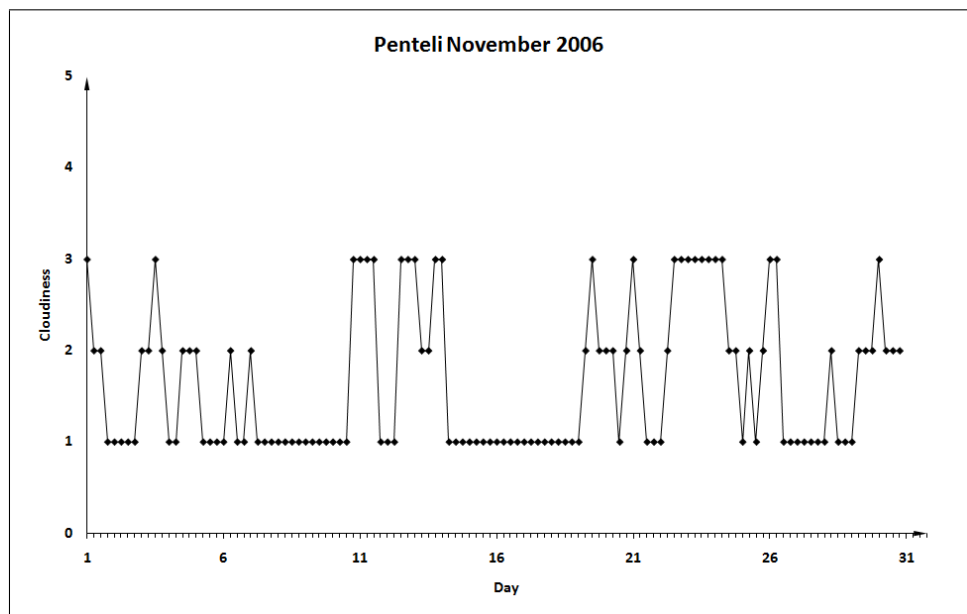
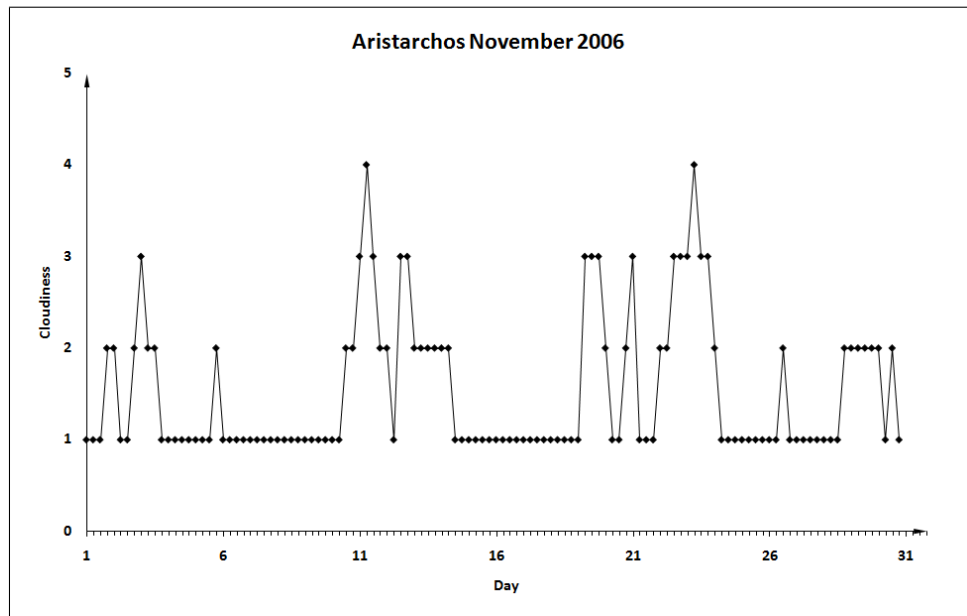
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Δεκέμβριος 2006

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/12/2006	1	1	1	1	1	1	2	1
2/12/2006	1	1	2	2	1	1	2	2
3/12/2006	3	3	2	2	3	3	3	2
4/12/2006	2	1	1	1	1	1	1	1
5/12/2006	2	2	2	1	1	1	1	2
6/12/2006	1	1	1	1	2	1	1	1
7/12/2006	2	1	1	1	1	1	1	1
8/12/2006	1	1	2	2	1	1	1	1
9/12/2006	1	2	2	1	1	1	1	1
10/12/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
11/12/2006	2	2	4	4	1	2	4	4
12/12/2006	4	3	3	3	4	3	3	3
13/12/2006	2	2	2	3	2	2	2	2
14/12/2006	4	4	3	1	3	3	3	1
15/12/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
16/12/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
17/12/2006	2	3	3	2	2	3	3	2
18/12/2006	2	3	0	4	2	3	0	3
19/12/2006	3	2	2	2	4	2	1	2
20/12/2006	2	2	1	1	1	2	1	1
21/12/2006	1	2	3	3	2	2	2	3
22/12/2006	3	4	4	4	3	3	3	4
23/12/2006	2	2	1	1	3	2	2	1
24/12/2006	1	1	1	2	2	2	3	3
25/12/2006	2	2	1	1	3	2	2	2
26/12/2006	1	1	1	2	2	2	2	2
27/12/2006	2	1	1	1	2	2	2	1
28/12/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
29/12/2006	1	1	1	1	1	1	1	1
30/12/2006	1	1	1	1	1	2	2	1
31/12/2006	1	1	1	1	2	1	1	1

Υπόμνημα

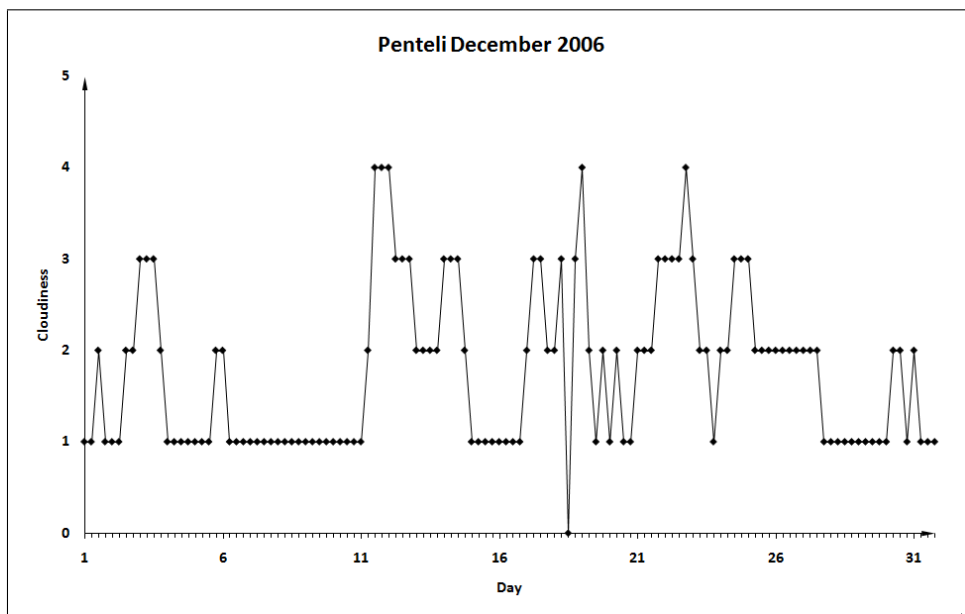
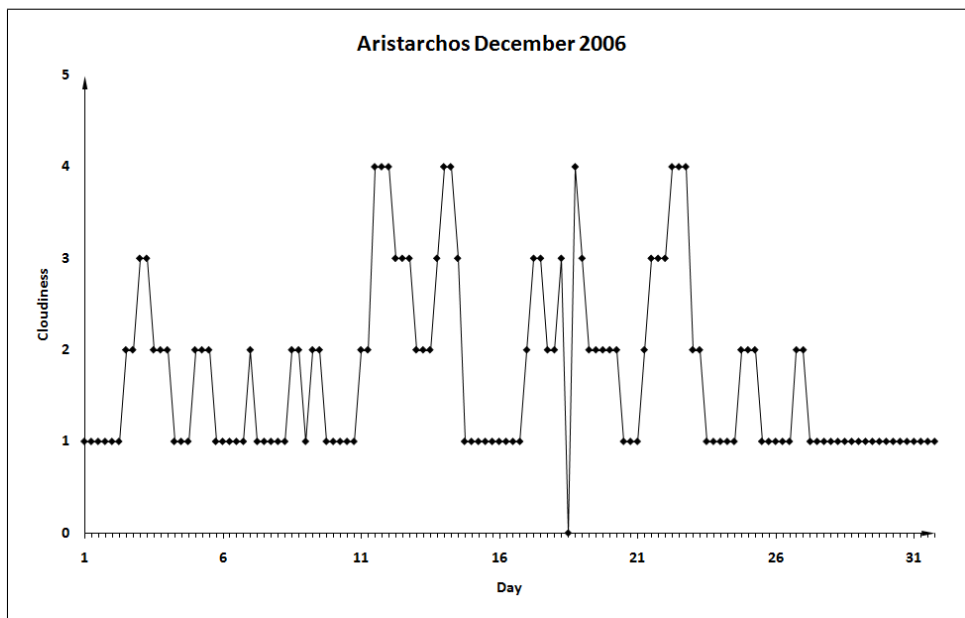
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιανουάριος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
2/1/2007	2	2	3	2	1	3	3	3
3/1/2007	2	2	2	2	2	1	2	2
4/1/2007	2	2	2	1	2	3	2	2
5/1/2007	1	1	2	3	1	1	3	3
6/1/2007	3	2	1	1	3	1	1	1
7/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
8/1/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
9/1/2007	3	2	3	3	2	1	1	2
10/1/2007	2	2	1	2	1	1	2	1
11/1/2007	1	1	0	1	1	1	0	1
12/1/2007	1	2	1	3	1	1	1	2
13/1/2007	3	3	1	1	3	3	3	2
14/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
15/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
17/1/2007	1	1	1	2	1	1	1	2
18/1/2007	2	2	2	0	2	3	2	0
19/1/2007	2	2	2	2	1	2	2	1
20/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
21/1/2007	1	1	1	1	2	1	1	1
22/1/2007	2	2	2	1	1	1	1	1
23/1/2007	2	3	3	1	1	3	3	2
24/1/2007	2	2	2	2	2	2	1	1
25/1/2007	1	2	3	2	2	2	1	2
26/1/2007	2	2	3	3	2	2	3	2
27/1/2007	3	3	3	1	1	2	3	3
28/1/2007	1	1	0	0	2	1	0	0
29/1/2007	1	1	2	1	1	1	1	1
30/1/2007	1	1	0	1	1	1	0	1
31/1/2007	1	1	1	1	1	1	1	1

Υπόμνημα

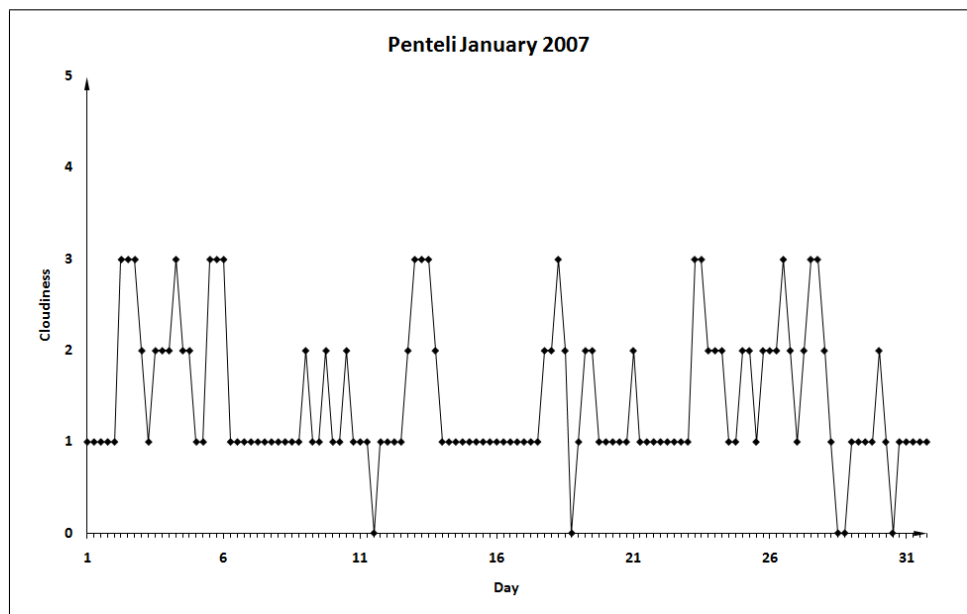
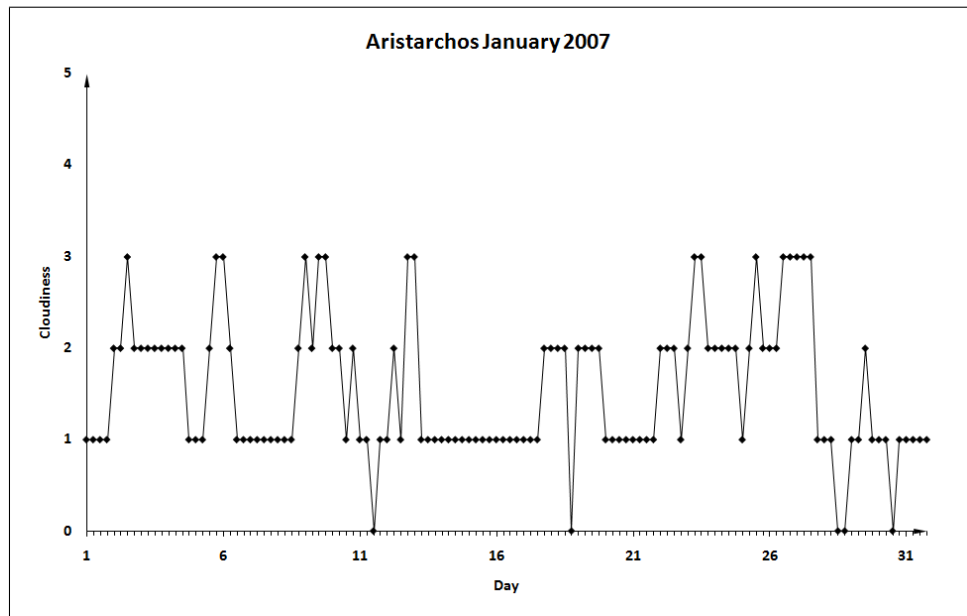
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Φεβρουάριος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/2/2007	1	1	2	2	1	1	1	1
2/2/2007	2	3	3	2	3	3	3	3
3/2/2007	1	1	1	1	2	2	1	1
4/2/2007	1	3	2	2	3	3	3	3
5/2/2007	1	2	1	1	2	2	2	1
6/2/2007	1	1	1	1	2	1	1	1
7/2/2007	2	3	3	3	1	1	3	4
8/2/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
9/2/2007	1	2	2	1	1	1	1	1
10/2/2007	2	3	3	3	2	2	2	3
11/2/2007	3	3	4	3	3	3	3	3
12/2/2007	3	1	1	2	3	2	1	2
13/2/2007	2	3	3	2	2	3	3	1
14/2/2007	3	2	3	2	3	1	3	3
15/2/2007	1	2	2	1	2	1	3	1
16/2/2007	3	3	4	3	2	3	3	3
17/2/2007	4	3	3	3	3	2	3	3
18/2/2007	1	1	2	2	2	2	2	2
19/2/2007	2	3	3	0	2	3	3	0
20/2/2007	0	4	3	3	0	4	3	3
21/2/2007	2	1	1	1	2	2	1	1
22/2/2007	2	1	2	3	1	3	1	3
23/2/2007	4	4	4	4	4	4	4	4
24/2/2007	3	3	3	3	2	3	3	3
25/2/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
26/2/2007	2	2	2	3	2	2	2	2
27/2/2007	3	4	4	3	3	4	4	3
28/2/2007	2	2	2	1	2	2	1	1

Υπόμνημα

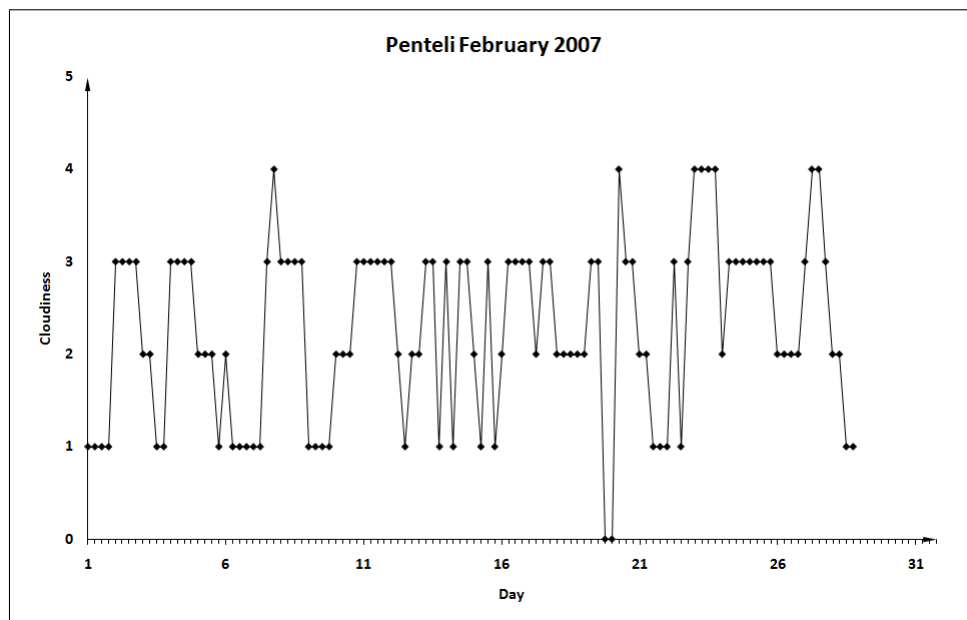
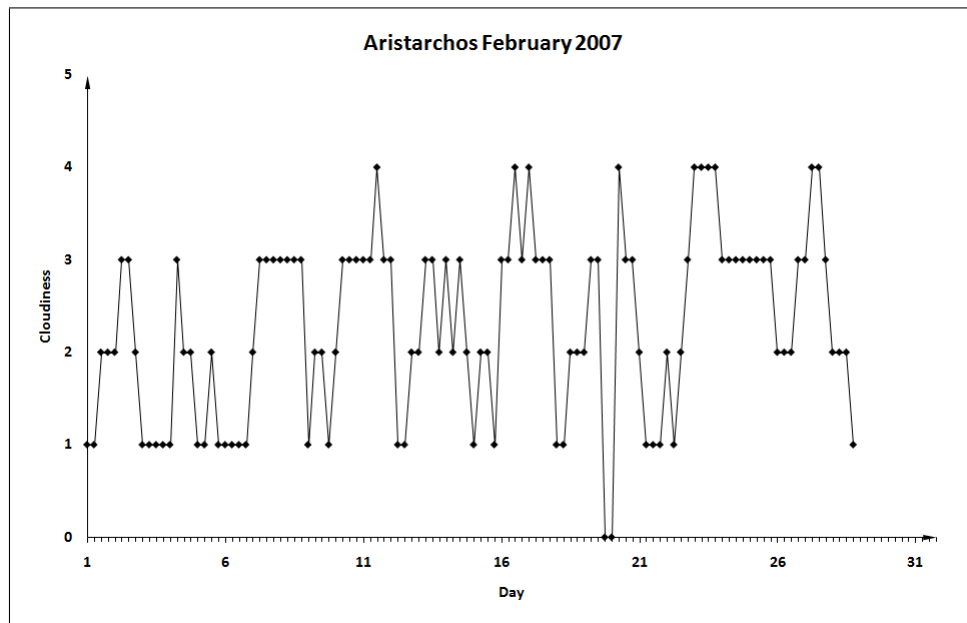
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάρτιος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/3/2007	2	2	2	2	1	2	1	2
2/3/2007	2	2	1	2	3	2	1	3
3/3/2007	2	1	1	2	2	1	1	1
4/3/2007	3	2	1	1	3	3	2	1
5/3/2007	1	1	1	1	2	1	1	1
6/3/2007	1	2	1	2	1	1	1	2
7/3/2007	2	1	1	2	2	1	1	2
8/3/2007	0	3	2	2	0	3	2	1
9/3/2007	2	2	3	4	1	2	3	4
10/3/2007	4	4	3	3	4	4	3	3
11/3/2007	4	2	2	2	3	2	1	2
12/3/2007	1	1	1	1	2	2	1	1
13/3/2007	1	1	2	3	1	1	2	3
14/3/2007	3	1	2	1	3	2	2	1
15/3/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/3/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
17/3/2007	1	2	1	1	1	1	1	1
18/3/2007	2	2	1	1	1	1	1	1
19/3/2007	1	2	2	2	1	1	1	2
20/3/2007	2	2	2	2	1	2	2	2
21/3/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
22/3/2007	3	4	3	3	3	3	3	4
23/3/2007	2	2	3	2	4	1	3	2
24/3/2007	3	2	2	2	3	2	2	2
25/3/2007	2	2	2	2	2	1	2	1
26/3/2007	1	1	2	3	2	1	2	3
27/3/2007	2	2	2	2	2	2	2	2
28/3/2007	2	2	1	2	2	2	2	1
29/3/2007	2	1	1	1	1	2	2	1
30/3/2007	2	2	2	3	2	2	1	3
31/3/2007	3	3	3	3	3	3	3	3

Υπόμνημα

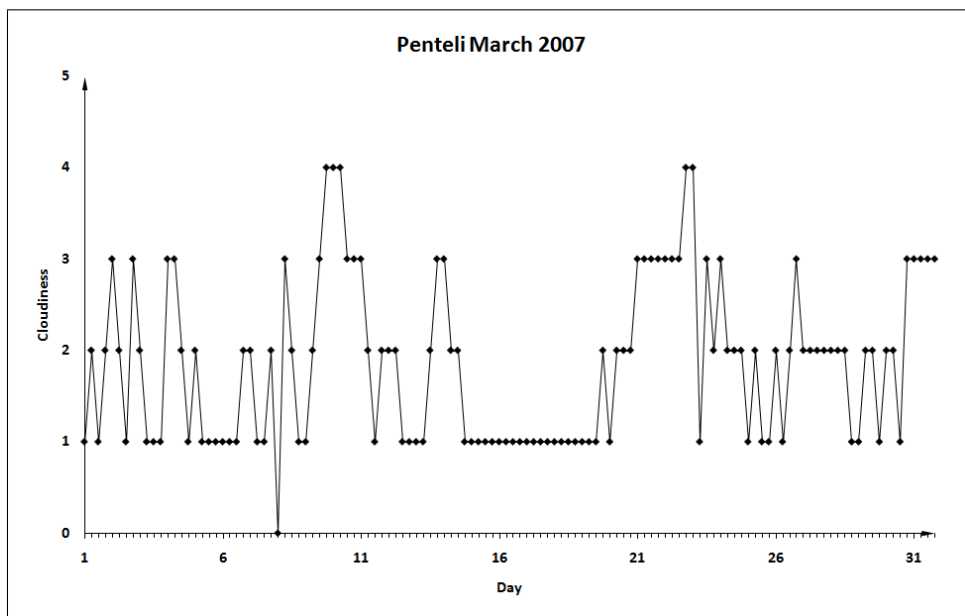
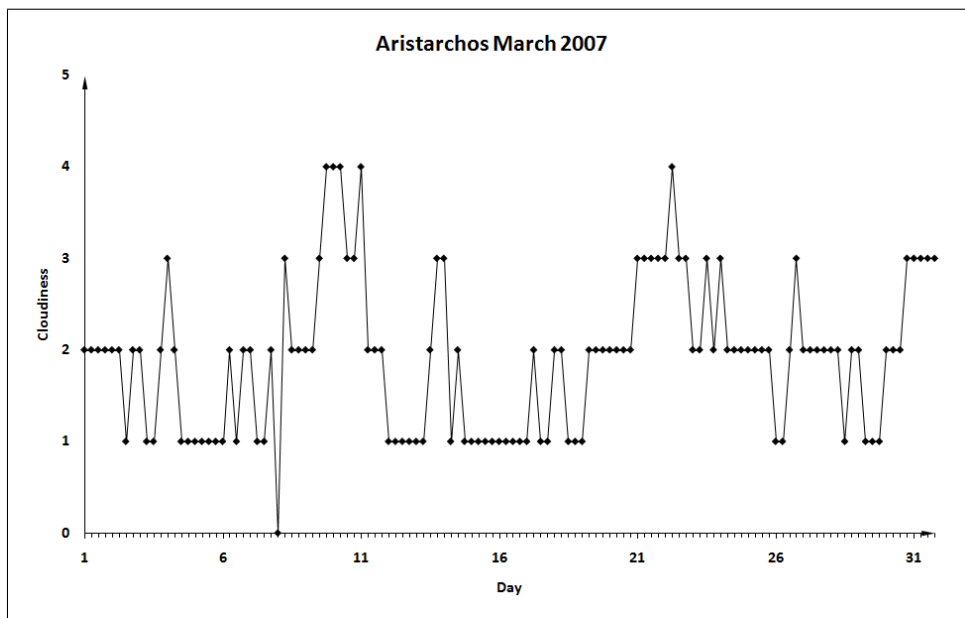
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Απρίλιος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/4/2007	2	2	1	2	2	2	2	1
2/4/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
3/4/2007	1	2	2	2	1	1	2	2
4/4/2007	3	3	4	2	1	3	4	4
5/4/2007	2	2	2	2	3	2	2	2
6/4/2007	2	3	2	2	2	3	2	1
7/4/2007	1	1	2	2	1	1	1	1
8/4/2007	1	1	2	2	1	1	1	1
9/4/2007	2	1	2	2	1	2	2	1
10/4/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
11/4/2007	1	1	1	3	1	1	2	3
12/4/2007	2	0	1	1	1	0	1	1
13/4/2007	1	1	2	1	1	1	1	1
14/4/2007	1	1	2	3	1	1	1	3
15/4/2007	3	2	3	3	3	2	3	3
16/4/2007	3	3	3	3	2	3	3	3
17/4/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
18/4/2007	3	1	1	1	3	1	1	1
19/4/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
20/4/2007	2	3	2	2	2	2	2	2
21/4/2007	1	2	2	3	1	1	2	3
22/4/2007	3	3	2	1	3	3	1	1
23/4/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
24/4/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
25/4/2007	1	1	2	2	2	2	1	2
26/4/2007	0	3	2	2	0	3	1	1
27/4/2007	1	1	2	3	1	1	1	3
28/4/2007	3	1	1	2	3	1	1	1
29/4/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
30/4/2007	1	1	2	2	1	1	1	2

Υπόμνημα

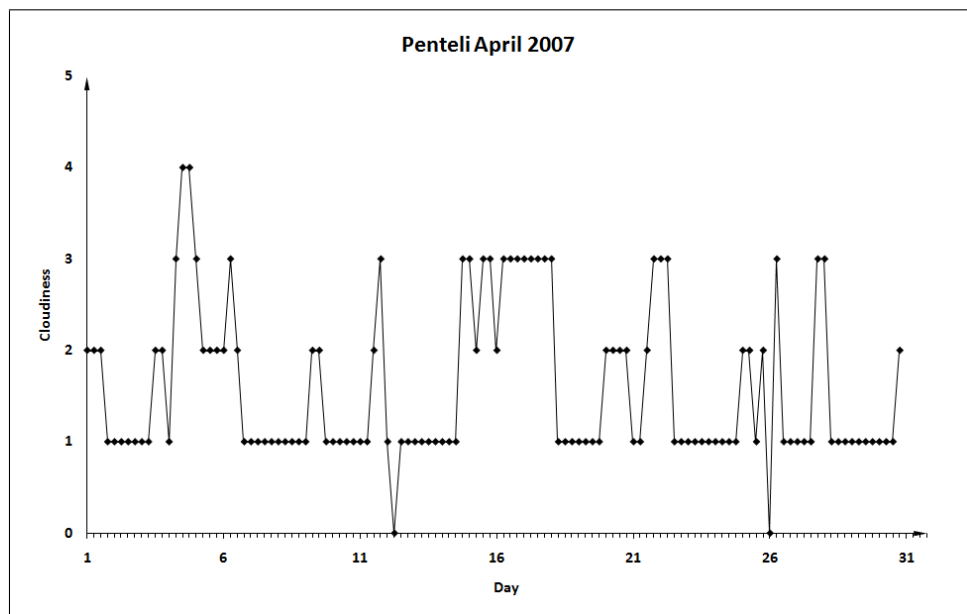
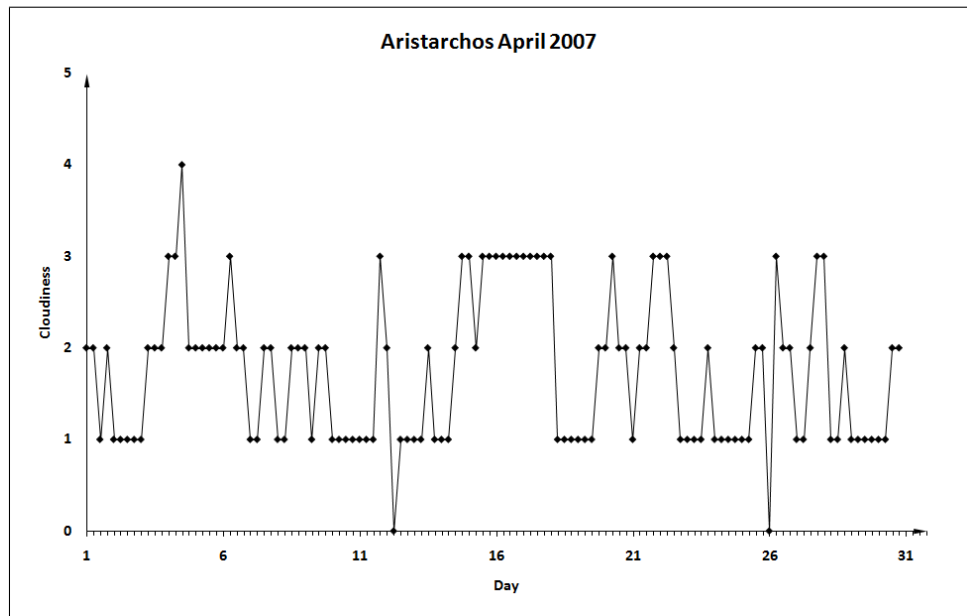
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Μάιος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/5/2007	2	3	4	2	2	3	4	2
2/5/2007	2	2	1	1	2	2	1	1
3/5/2007	2	2	2	1	1	1	1	2
4/5/2007	1	2	1	1	2	2	2	1
5/5/2007	2	2	2	3	2	1	1	2
6/5/2007	3	3	2	1	3	3	3	2
7/5/2007	2	2	1	2	2	2	1	3
8/5/2007	2	2	1	2	2	2	1	2
9/5/2007	2	1	1	1	1	1	1	1
10/5/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
11/5/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
12/5/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
13/5/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
14/5/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
15/5/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/5/2007	1	2	1	1	1	1	1	1
17/5/2007	2	2	2	3	1	2	1	3
18/5/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
19/5/2007	2	3	3	2	3	3	3	3
20/5/2007	2	2	2	2	3	2	2	2
21/5/2007	2	2	2	2	3	2	2	3
22/5/2007	2	2	2	2	3	2	2	2
23/5/2007	2	2	3	2	2	2	2	2
24/5/2007	2	2	3	3	2	3	3	3
25/5/2007	3	3	2	2	3	3	2	2
26/5/2007	1	1	2	1	1	1	1	1
27/5/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
28/5/2007	1	4	4	2	2	4	4	2
29/5/2007	2	2	2	2	1	1	1	1
30/5/2007	2	2	1	1	1	1	1	1
31/5/2007	2	1	1	1	1	1	1	1

Υπόμνημα

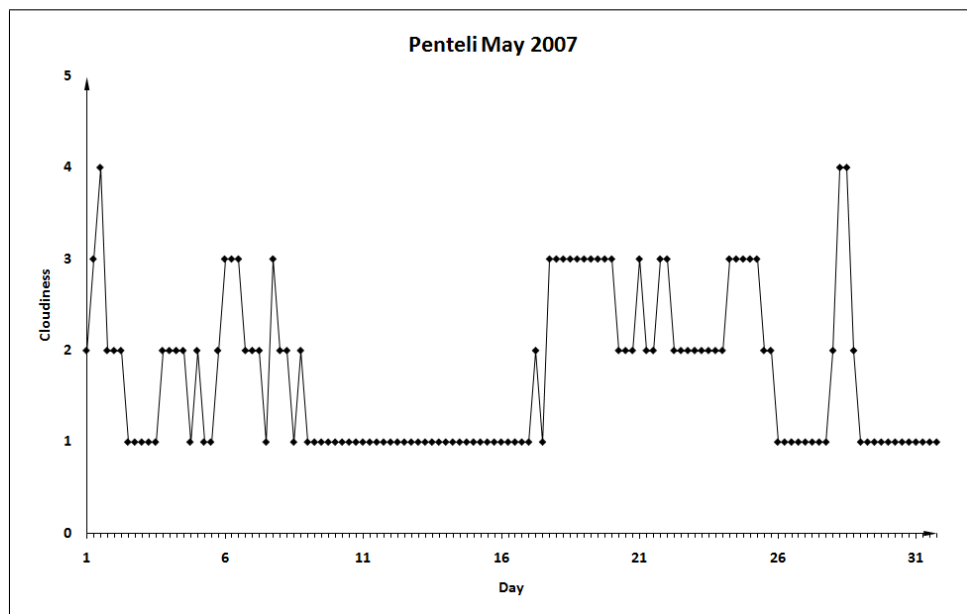
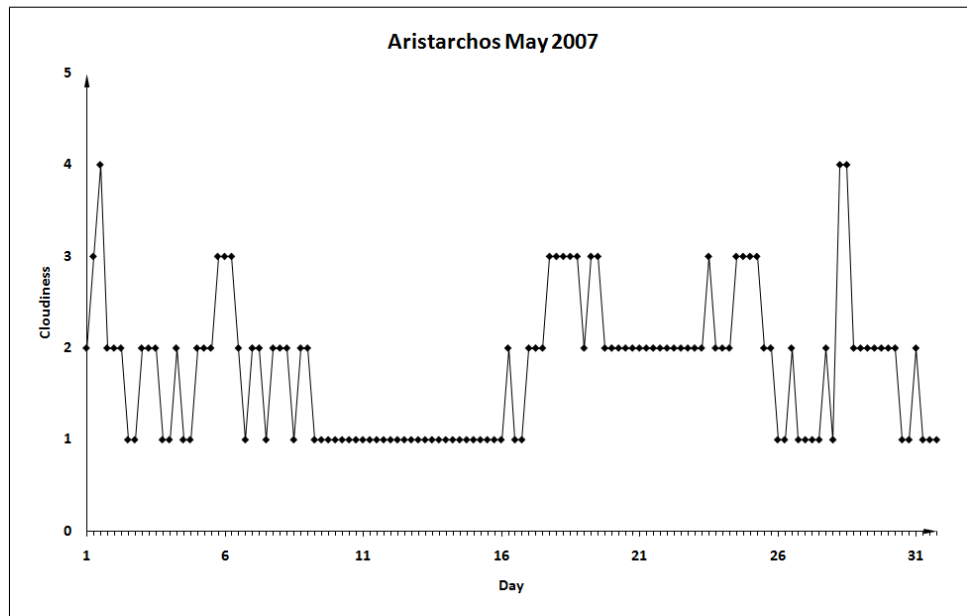
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιούνιος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
2/6/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
3/6/2007	1	2	3	3	1	1	2	2
4/6/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
5/6/2007	3	0	3	2	3	0	2	2
6/6/2007	2	2	2	2	1	2	2	2
7/6/2007	1	1	3	2	2	2	3	2
8/6/2007	1	0	1	2	1	0	1	2
9/6/2007	2	1	1	1	1	1	1	1
10/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
11/6/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
12/6/2007	1	1	2	1	1	1	1	2
13/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
14/6/2007	1	1	3	2	1	1	3	2
15/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/6/2007	1	1	2	1	1	1	1	2
17/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
18/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
19/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
20/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
21/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
22/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
23/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
24/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
25/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
26/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	2
27/6/2007	1	1	1	1	2	1	1	1
28/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
29/6/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
30/6/2007	1	1	1	2	1	1	2	3

Υπόμνημα

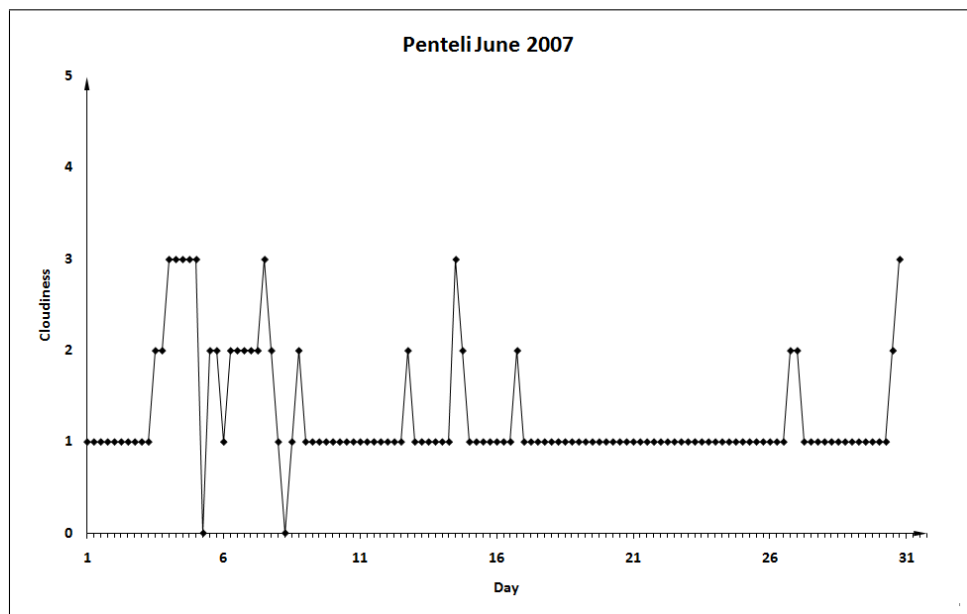
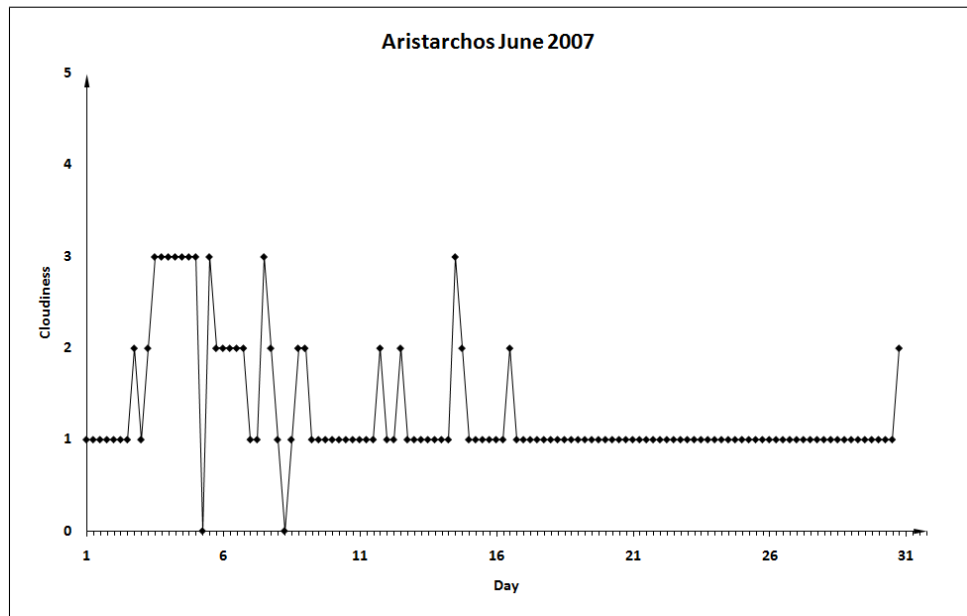
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Ιούλιος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/7/2007	1	1	1	1	2	1	1	1
2/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
3/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
4/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
5/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
6/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
7/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
8/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
9/7/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
10/7/2007	1	1	0	1	1	1	0	1
11/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
12/7/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
13/7/2007	2	2	1	2	2	1	1	1
14/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
15/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
17/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
18/7/2007	2	1	1	1	1	1	1	1
19/7/2007	2	1	1	1	1	1	1	2
20/7/2007	1	2	1	1	1	1	1	1
21/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
22/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
23/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
24/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
25/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
26/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
27/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	2
28/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
29/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
30/7/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
31/7/2007	1	1	1	2	1	1	1	1

Υπόμνημα

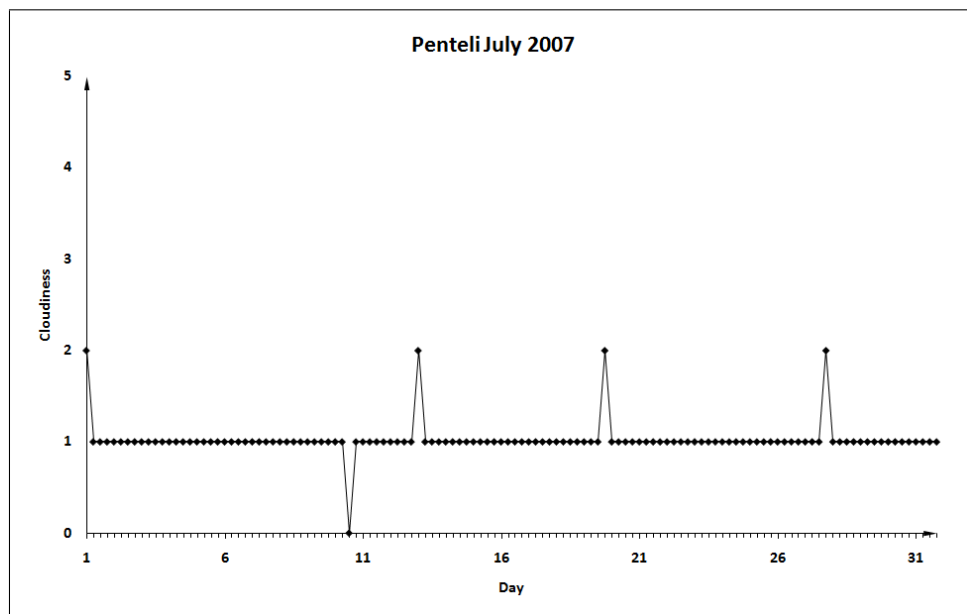
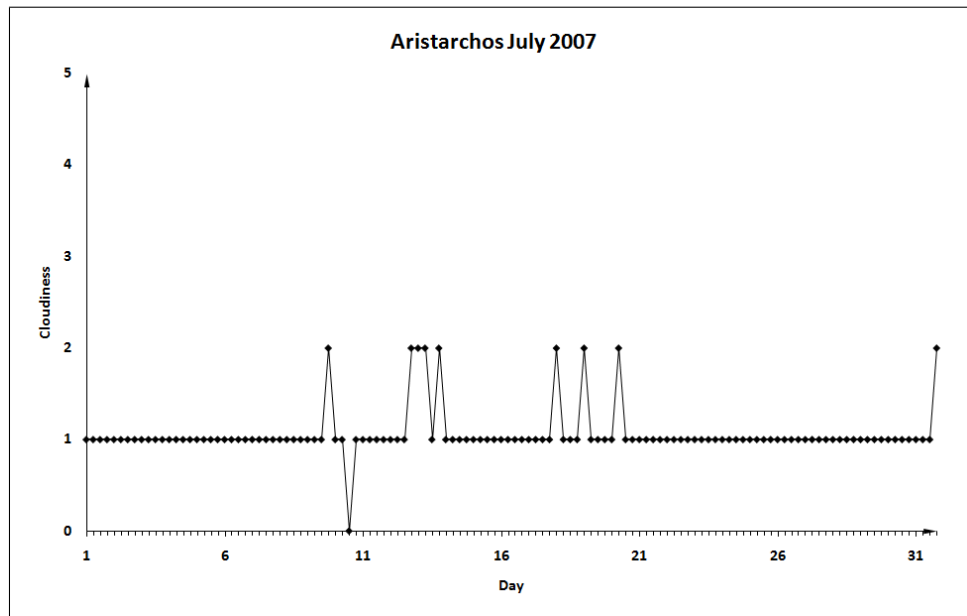
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Άγουστος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
2/8/2007	1	1	1	2	2	1	1	1
3/8/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
4/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
5/8/2007	1	1	2	1	1	2	1	2
6/8/2007	2	2	1	22	1	2	1	
7/8/2007	2	1	1	1	1	1	1	1
8/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
9/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
10/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
11/8/2007	2	0	0	0	1	0	0	0
12/8/2007	0	0	0	0	0	0	0	0
13/8/2007	0	0	1	1	0	0	1	1
14/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
15/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
17/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
18/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
19/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
20/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
21/8/2007	1	2	1	1	1	1	1	1
22/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
23/8/2007	2	1	1	1	1	1	1	1
24/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
25/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
26/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
27/8/2007	1	1	1	2	2	2	1	1
28/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
29/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
30/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
31/8/2007	1	1	1	1	1	1	1	1

Υπόμνημα

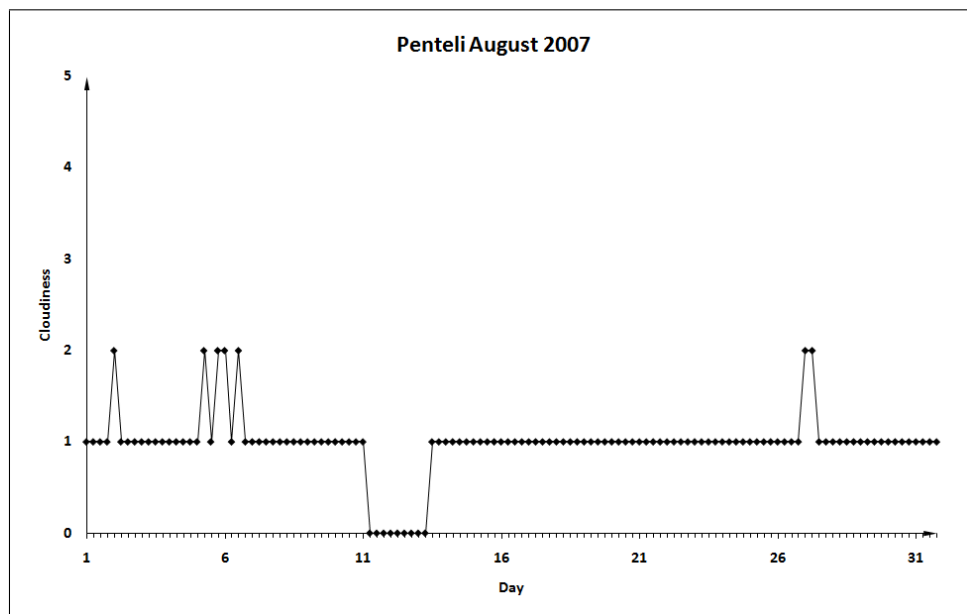
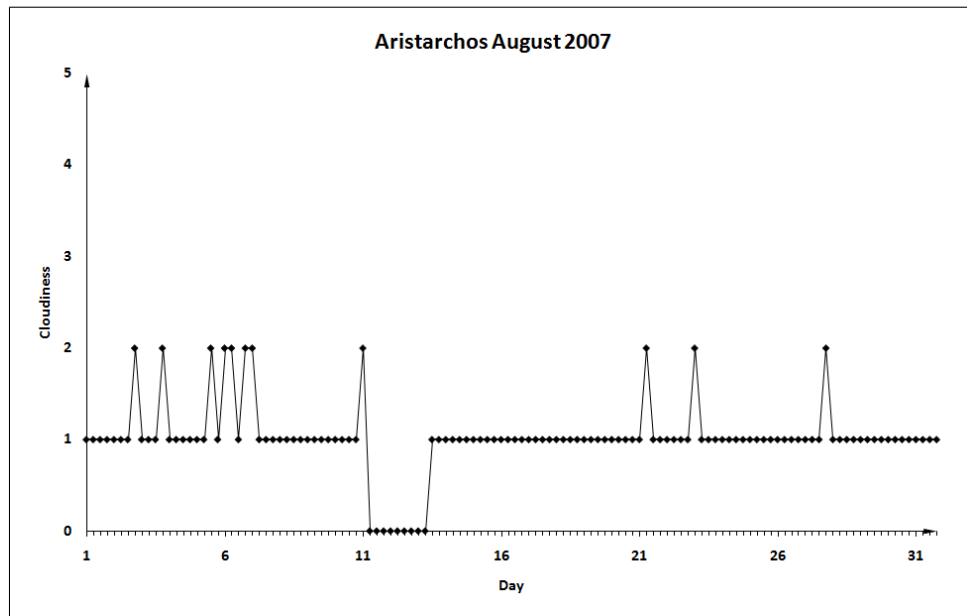
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Σεπτέμβριος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/9/2007	2	1	1	1	1	1	1	1
2/9/2007	1	1	1	2	2	1	1	2
3/9/2007	2	1	1	2	2	2	1	1
4/9/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
5/9/2007	2	2	2	2	1	1	1	2
6/9/2007	1	2	1	1	1	1	1	1
7/9/2007	1	2	3	2	1	1	3	1
8/9/2007	0	1	1	1	0	1	1	2
9/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
10/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
11/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
12/9/2007	2	2	2	1	1	1	1	1
13/9/2007	1	1	1	2	2	2	1	1
14/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
15/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
16/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
17/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
18/9/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
19/9/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
20/9/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
21/9/2007	2	2	2	2	3	3	2	2
22/9/2007	2	2	2	1	2	1	2	1
23/9/2007	1	1	1	1	2	1	2	1
24/9/2007	1	1	1	1	2	1	2	1
25/9/2007	1	1	1	1	1	1	2	1
26/9/2007	1	2	2	2	1	1	2	2
27/9/2007	3	2	1	1	2	1	1	2
28/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
29/9/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
30/9/2007	2	1	2	2	1	1	1	3

Υπόμνημα

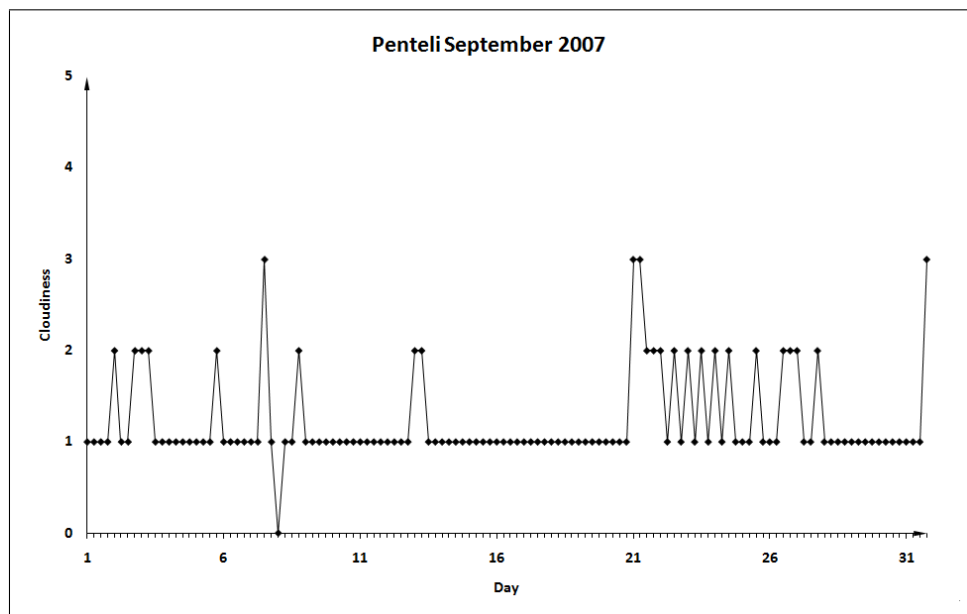
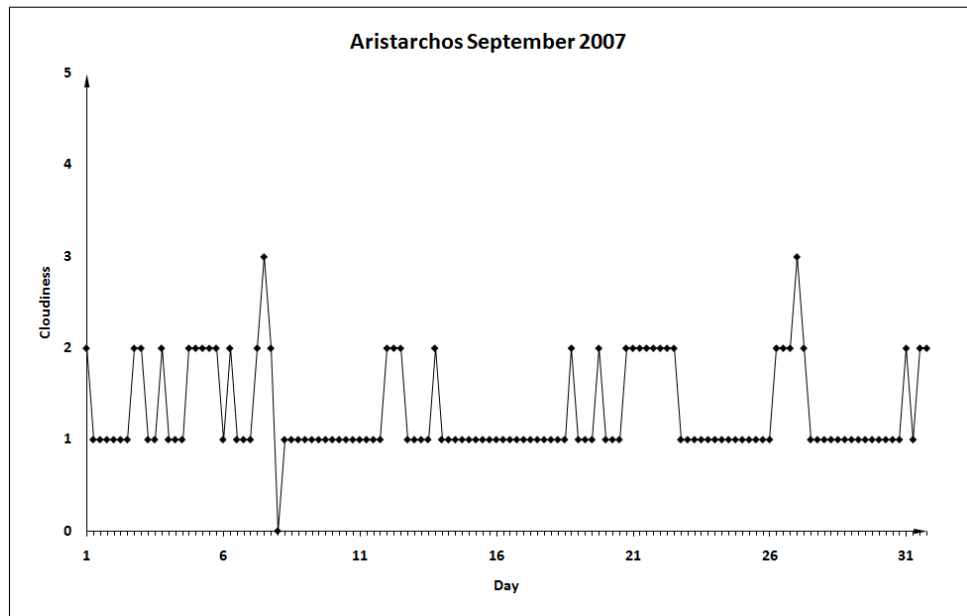
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Οκτώβριος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/10/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
2/10/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
3/10/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
4/10/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
5/10/2007	1	1	1	1	1	2	1	1
6/10/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
7/10/2007	2	3	4	3	1	1	2	3
8/10/2007	3	3	3	3	3	3	2	3
9/10/2007	3	3	2	2	3	1	1	2
10/10/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
11/10/2007	2	3	0	2	2	2	0	2
12/10/2007	2	1	2	2	2	1	1	2
13/10/2007	3	1	2	2	3	1	2	2
14/10/2007	2	1	2	3	3	2	2	3
15/10/2007	3	2	2	2	3	2	2	1
16/10/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
17/10/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
18/10/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
19/10/2007	2	2	2	2	2	2	2	2
20/10/2007	3	4	4	4	3	3	4	4
21/10/2007	2	2	3	4	3	1	2	4
22/10/2007	3	3	2	2	3	2	2	2
23/10/2007	3	3	3	3	1	3	3	3
24/10/2007	3	3	2	2	3	2	2	2
25/10/2007	2	2	2	2	2	1	1	3
26/10/2007	1	1	2	2	1	1	2	2
27/10/2007	3	3	2	2	3	3	2	1
28/10/2007	3	3	2	3	2	3	3	3
29/10/2007	1	3	2	3	1	2	1	3
30/10/2007	3	2	2	3	3	3	3	3
31/10/2007	3	3	4	3	3	3	4	4

Υπόμνημα

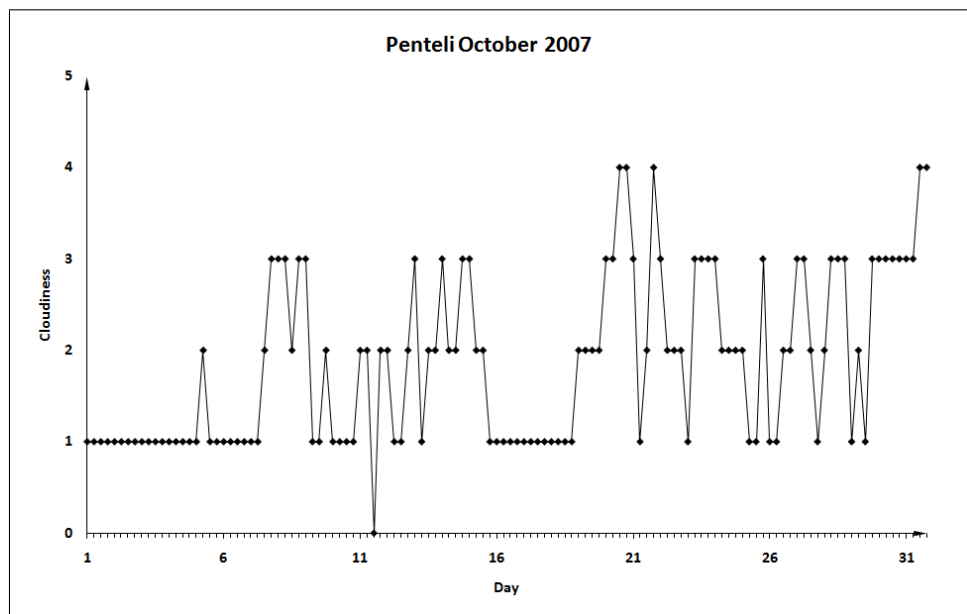
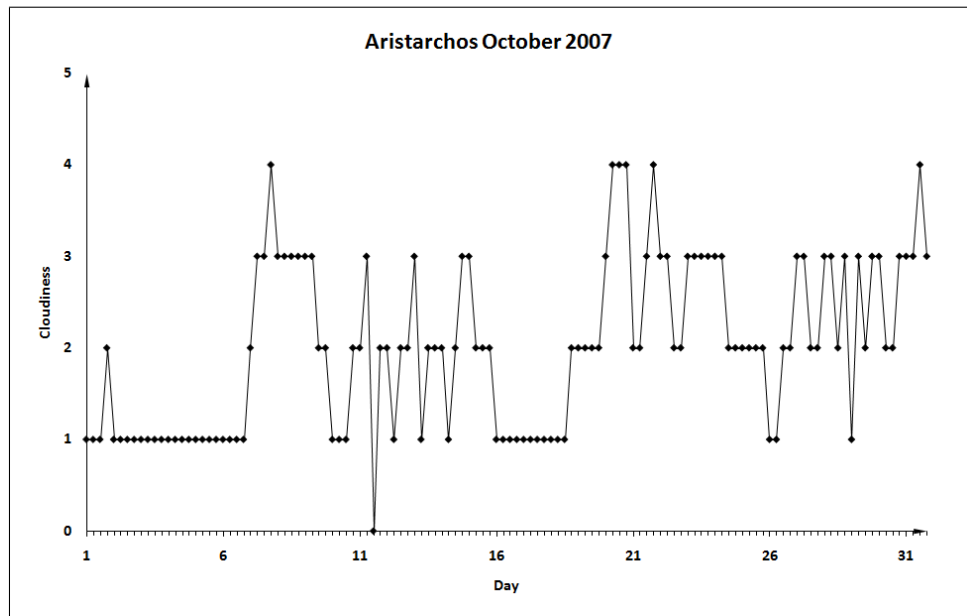
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Νοέμβριος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/11/2007	2	2	1	3	3	2	1	3
2/11/2007	2	1	3	3	3	2	3	2
3/11/2007	2	1	1	2	2	2	1	2
4/11/2007	3	3	2	2	3	3	3	2
5/11/2007	1	1	2	2	2	1	2	3
6/11/2007	2	2	2	1	3	2	2	2
7/11/2007	2	2	2	3	2	2	2	3
8/11/2007	2	1	0	1	2	2	0	1
9/11/2007	1	1	1	3	1	1	1	1
10/11/2007	3	3	3	2	3	3	3	1
11/11/2007	1	1	1	2	1	1	1	1
12/11/2007	2	2	2	2	1	1	2	2
13/11/2007	2	2	0	3	2	2	0	3
14/11/2007	3	3	3	2	3	3	3	2
15/11/2007	2	2	1	1	2	2	1	1
16/11/2007	1	1	3	3	1	1	2	3
17/11/2007	3	3	4	3	2	4	4	3
18/11/2007	2	3	3	3	2	2	3	3
19/11/2007	2	2	3	3	1	2	3	2
20/11/2007	1	1	1	1	2	2	2	2
21/11/2007	1	1	1	1	2	1	1	1
22/11/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
23/11/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
24/11/2007	3	2	2	1	2	3	1	1
25/11/2007	2	1	2	2	1	1	2	1
26/11/2007	3	3	2	3	2	3	3	2
27/11/2007	2	2	2	3	2	1	2	3
28/11/2007	3	3	3	3	3	3	3	4
29/11/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
30/11/2007	3	3	2	2	3	2	2	1

Υπόμνημα

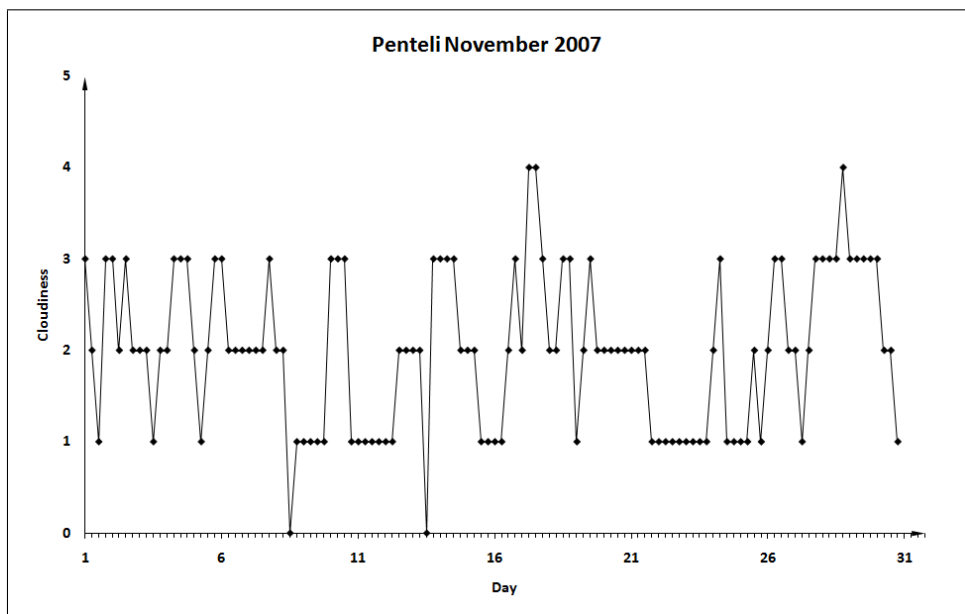
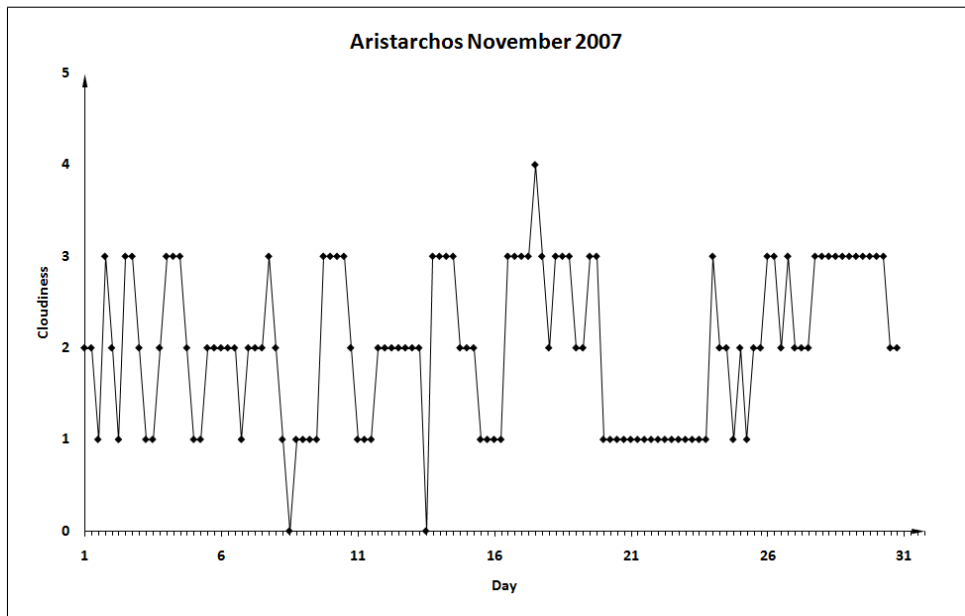
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Δεκέμβριος 2007

Ημερομηνία	Καλάβρυτα				Πεντέλη			
	00:00	06:00	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00
1/12/2007	2	1	1	1	2	1	1	1
2/12/2007	1	1	1	1	1	1	1	2
3/12/2007	2	2	2	2	1	1	1	1
4/12/2007	2	3	3	3	1	1	3	3
5/12/2007	3	2	3	2	3	3	3	2
6/12/2007	1	1	1	1	3	3	2	1
7/12/2007	1	1	1	1	2	2	2	1
8/12/2007	2	2	3	3	1	1	2	3
9/12/2007	4	4	3	2	3	4	3	2
10/12/2007	3	3	2	2	1	3	1	1
11/12/2007	3	3	1	1	3	2	1	1
12/12/2007	2	3	3	2	1	1	3	2
13/12/2007	3	3	3	2	3	3	3	3
14/12/2007	2	3	3	3	3	3	3	3
15/12/2007	3	3	3	2	3	3	2	3
16/12/2007	1	2	3	3	3	1	1	3
17/12/2007	3	3	4	3	3	3	3	3
18/12/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
19/12/2007	3	2	3	2	3	3	3	3
20/12/2007	1	1	1	1	3	2	2	2
21/12/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
22/12/2007	1	1	1	1	1	1	1	1
23/12/2007	1	2	2	1	1	1	1	1
24/12/2007	2	2	1	2	1	2	2	1
25/12/2007	3	3	3	3	3	3	3	2
26/12/2007	4	3	3	3	4	3	3	3
27/12/2007	3	3	3	3	3	3	3	3
28/12/2007	3	3	3	2	3	3	3	2
29/12/2007	2	1	1	1	2	2	2	1
30/12/2007	1	2	1	2	1	2	2	2
31/12/2007	2	3	3	3	2	2	2	3

Υπόμνημα

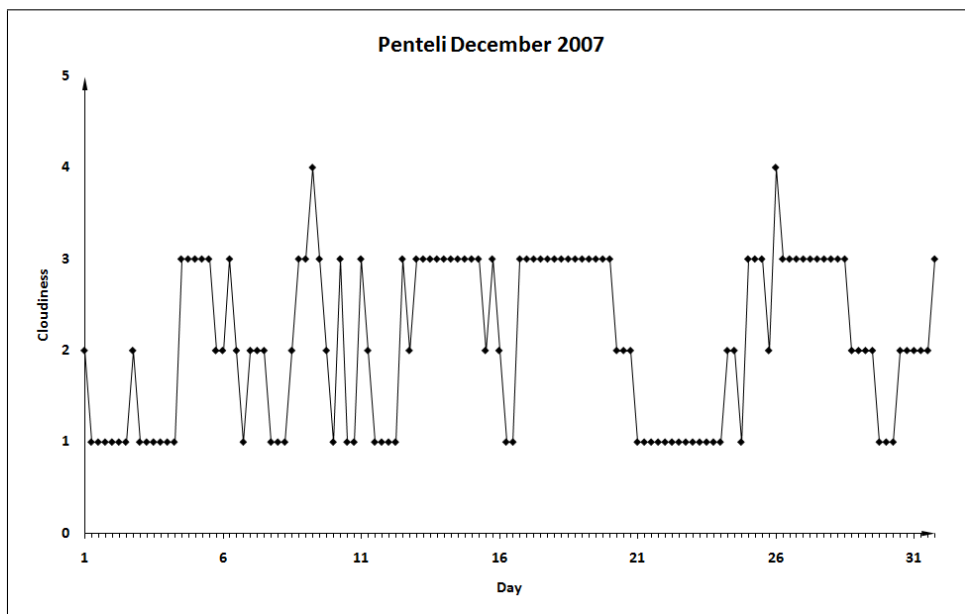
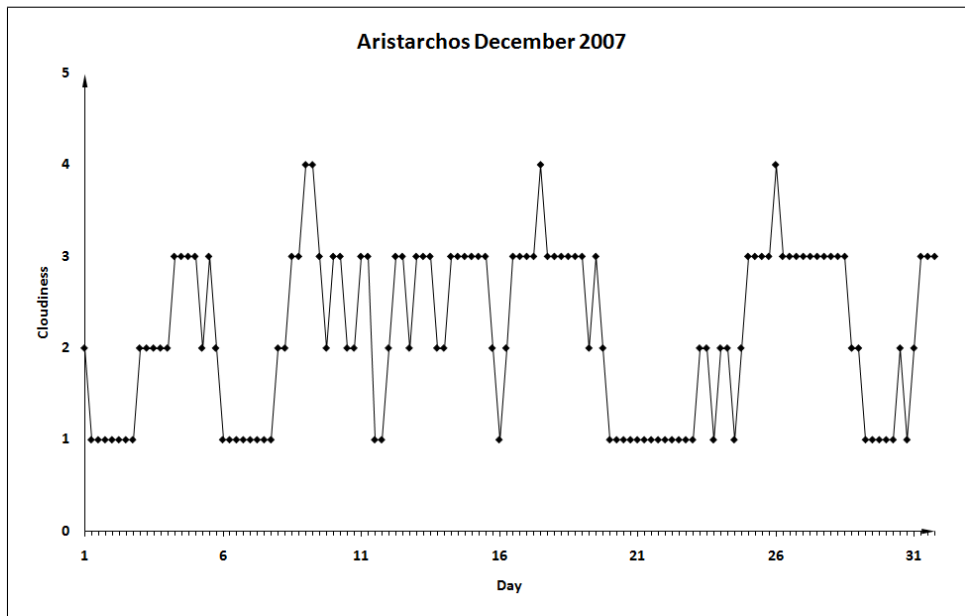
0: Δεν υπάρχουν δεδομένα.

1: Καθαρός ουρανός.

2: Αραιή νέφωση.

3: Πυκνή νέφωση.

4: Πολύ πυκνή νέφωση.



Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Με βάση τα παρατηρησιακά δεδομένα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μία στατιστική μελέτη, ώστε να προσδιορίσουμε τα χρονικά διαστήματα τα οποία είναι καταλληλότερα για παρατηρήσεις. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρέχονται πίνακες στους οποίους παρατίθενται αναλυτικά τα ποσοστά νεφοκάλυψης για τις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης.

Πριν προχωρήσουμε στην παρακάτω ανάλυση θα πρέπει να κάνουμε μία σημαντική παρατήρηση. Τα ποσοστά νεφοκάλυψης αναφέρονται ανά έτος και ανά μήνα, αναφέρονται σε όλο το εικοσιτετράωρο. Οι παρατηρήσεις όμως πραγματοποιούνται μόνο τις νυχτερινές ώρες. Εάν θεωρήσουμε ότι το ποσοστό νεφοκάλυψης την ημέρα είναι ίσο με το αντίστοιχο τη νύχτα, τότε τα ποσοστά που αναφέρονται αντιστοιχούν και στον νυχτερινό χρόνο. Στην πραγματικότητα βέβαια αυτό δεν συμβαίνει, αφού γενικά ο νυχτερινός ουρανός χαρακτηρίζεται από μικρότερα ποσοστά νεφοκάλυψης. Στην περίπτωση της ετήσιας ανάλυσης, το πραγματικό ποσοστό καλών νυχτών είναι μικρότερο από το αναφερόμενο, γιατί περιλαμβάνονται και κάποιες χειμερινές νύχτες όπου το τηλεσκόπιο ενδέχεται να είναι κλειστό λόγω των αποτελεσμάτων των καιρικών συνθηκών των προηγούμενων ημερών.

4.1 Ανάλυση ανά έτος

Όπως φαίνεται ξεκάθαρα στους παρακάτω πίνακες, το ποσοστό καθαρού ουρανού στην περιοχή του τηλεσκοπίου Αρίσταρχος, στην διάρκεια ενός έτους είναι της τάξης του 50 %. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η επιλογή της τοποθεσίας ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένη, αφού με βάση τα αποτελέσματα αυτά γίνεται κατανοητό ότι το τηλεσκόπιο θα μπορεί να είναι ιδιαίτερα λειτουργικό.

Αν δούμε και την ανάλυση ανά ώρα, φαίνεται ότι ο νυχτερινός ουρανός χαρακτηρίζεται από μικρότερα ποσοστά νεφοκάλυψης. Η νεφοκάλυψη είναι μέγιστη στις 12:00 UTC και από εκεί και πέρα ακολουθεί φθίνουσα πορεία μέχρι και τις 06:00 UTC όπου γίνεται ελάχιστη. Κατά συνέπεια, οι πλέον κατάλληλες ώρες παρατηρήσεις είναι οι μεταμεσονύχτιες και οι πρώτες πρωινές.

Κάτι ακόμη που αξίζει να παρατηρηθεί, είναι πως το ποσοστό της αραιής νεφοκάλυψης είναι αρκετά υψηλό. Το άθροισμά του με το ποσοστό του καθαρού ουρανού είναι της τάξης του 80%, γεγονός που σημαίνει ότι στο ποσοστό αυτό των νυχτών, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν παρατηρήσεις, έστω και για μικρό χρονικό διάστημα.

Από την ανάλυση του έτους 2004, όπως φαίνεται, απουσιάζουν οι μήνες Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος και Ιούλιος, ενώ και σε κάποιους άλλους μήνες τόσο του 2004 όσο και του 2005 απουσιάζουν δεδομένα. Κατά συνέπεια το 2004 δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρως αντιπροσωπευτικό για την ανάλυση που πραγματοποιείται.

Υπόμνημα: Σ: Σύνολο εικόνων, 1: Καθαρός Ουρανός, 2: Αραιή νέφωση, 3: Πυκνή νέφωση, 4: Πολύ πυκνή νέφωση

Πίνακας 4.1

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2004

		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2004	683	286	258	117	22	321	234	103	25	
	%	41,9	37,8	17,1	3,2	47,0	34,3	15,1	3,6	

Πίνακας 4.2.1

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2004 και ώρα 00:00 UTC

00:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2004	176	79	61	31	5	84	62	25	5	
	%	44,9	34,7	17,6	2,8	47,7	35,2	14,2	2,8	

Πίνακας 4.2.2

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2004 και ώρα 06:00 UTC

06:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2004	177	92	56	22	7	89	57	25	6
	%	52,0	31,6	12,4	4,0	50,3	32,2	14,1	3,4

Πίνακας 4.2.3

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2004 και ώρα 12:00 UTC

12:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2004	172	54	75	36	7	75	61	30	6	
	%	31,4	43,6	20,9	4,1	43,6	35,5	17,4	3,5	

Πίνακας 4.2.4

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2004 και ώρα 18:00 UTC

18:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2004	183	66	80	33	4	85	62	27	9	
	%	36,1	43,7	18,0	2,2	46,4	33,9	14,8	4,9	

Πίνακας 4.3

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2005

		Αρίσταρχος					Πεντέλη				
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4		
Σύνολο 2005	1029	510	289	176	54	555	223	197	54		
	%	49,6	28,1	17,1	5,2	53,9	21,7	19,2	5,2		

Πίνακας 4.4.1

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2005 και ώρα 00:00 UTC

00:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη				
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4		
Σύνολο 2005	258	129	72	45	12	147	50	49	12		
	%	50,0	27,9	17,4	4,7	57,0	19,4	19,0	4,6		

Πίνακας 4.4.2

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2005 και ώρα 06:00 UTC

06:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2005	256	141	66	32	17	146	58	43	9	
	%	55,1	25,8	12,5	6,6	57,0	22,7	16,8	3,5	

Πίνακας 4.4.3

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2005 και ώρα 12:00 UTC

12:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη				
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4		
Σύνολο 2005	239	126	52	47	14	124	57	44	14		
	%	52,7	21,8	219,6	5,9	51,9	23,8	18,4	5,9		

Πίνακας 4.4.4

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2005 και ώρα 18:00 UTC

18:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2005	257	108	90	48	11	121	62	55	19	
	%	42,0	35,0	18,7	4,3	47,1	24,1	21,4	7,4	

Πίνακας 4.5

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2006

		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2006	1419	783	394	208	34	832	318	244	25	
	%	55,2	27,8	14,7	2,3	58,6	22,4	17,2	1,8	

Πίνακας 4.6.1

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2006 και ώρα 00:00 UTC

00:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2006	361	211	87	57	6	209	73	72	7
	%	58,4	24,1	15,8	1,7	57,9	20,2	20,0	1,9

Πίνακας 4.6.2

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2006 και ώρα 06:00 UTC

06:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο 2006	359	202	94	54	9	208	88	58	5	
	%	56,3	26,2	15,0	2,5	57,9	24,5	16,2	1,4	

Πίνακας 4.6.3

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2006 και ώρα 12:00 UTC

12:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2006	342	199	93	40	10	218	70	48	6
	%	58,2	27,2	11,7	2,9	63,7	20,5	14,0	1,8

Πίνακας 4.6.4

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2006 και ώρα 18:00 UTC

18:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σ	Ποσοστό %					Ποσοστό %			
Σύνολο 2006	357	171	120	57	9	197	87	66	7
	%	47,9	33,6	16,0	2,5	55,2	24,4	18,5	1,9

Πίνακας 4.7

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2007

	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2007	1434	747	399	258	30	836	308	262	28
	%	52,1	27,8	18,0	2,1	58,3	21,5	18,3	1,9

Πίνακας 4.8.1

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2007 και ώρα 00:00 UTC

00:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2007	359	190	100	63	6	203	81	71	4
	%	52,9	27,9	17,5	1,7	56,5	22,6	19,8	1,1

Πίνακας 4.8.2

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2007 και ώρα 06:00 UTC

06:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2007	359	195	91	65	8	217	74	61	7
	%	54,3	25,3	18,1	2,3	60,4	20,6	17,0	2,0

Πίνακας 4.8.3

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2007 και ώρα 12:00 UTC

12:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2007	356	191	90	63	12	212	74	62	8
	%	53,7	25,3	17,7	3,3	59,6	20,8	17,4	2,2

Πίνακας 4.8.4

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για το έτος 2007 και ώρα 18:00 UTC

18:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο 2007	360	171	118	67	4	204	79	68	9
	%	47,5	32,8	18,6	1,1	56,7	21,9	18,9	2,5

Πίνακας 4.9

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για την περίοδο 2004-2007

		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
Σ		1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο	4565	2326	1340	759	140	2544	1083	806	132	
	%	51,0	29,4	16,6	3,0	55,7	23,7	17,7	2,9	

Πίνακας 4.10.1

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για την περίοδο 2004-2007 και ώρα 00:00 UTC

00:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο	1151	609	320	196	29	643	266	217	28
	%	52,7	27,8	17,0	2,5	55,7	23,1	18,8	2,4

Πίνακας 4.10.2

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για την περίοδο 2004-2007 και ώρα 06:00 UTC

06:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σύνολο	1151	630	307	173	41	660	277	187	27
	%	54,7	26,7	15,0	3,6	57,3	24,1	16,2	2,4

Πίνακας 4.10.3

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για την περίοδο 2004-2007 και ώρα 12:00 UTC

12:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο	1109	570	310	186	43	629	262	184	34	
	%	51,4	28,0	16,8	3,8	56,7	23,6	16,6	3,1	

Πίνακας 4.10.4

Συνολικά ποσοστά νεφοκάλυψης στις περιοχές του Αρίσταρχου και της Πεντέλης για την περίοδο 2004-2007 και ώρα 18:00 UTC

18:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σύνολο	1157	516	408	205	28	607	290	216	44	
	%	44,6	35,2	17,7	2,5	52,5	25,1	18,7	3,7	

4.2 Ανάλυση ανά μήνα

Όπως φαίνεται ξεκάθαρα στους παρακάτω πίνακες, το ποσοστό του καθαρού ουρανού για την περιοχή του Αρίσταρχου, μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους από περίπου 20 % μέχρι σχεδόν 90 %.

Όπως ήταν αναμενόμενο, ο πλέον κατάλληλος μήνας για παρατηρήσεις είναι ο Αύγουστος, όπου η νέφωση είναι εξαιρετικά σπάνια. Από εκεί και πέρα, υψηλά ποσοστά καθαρού ουρανού, πάνω από 60 % παρατηρούνται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο και σε σπάνιες περιπτώσεις, όπως το 2004 και τον Σεπτέμβριο ή όπως το 2006 τον Μάιο. Οι πλέον δύσκολοι παρατηρησιακά μήνες είναι από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Απρίλιο, όπου η καθαρότητα του ουρανού σπάνια ξεπερνά το 40 %. Εξαιρεση αποτελεί το 2006, όπου το ποσοστό καθαρού ουρανού τον Νοέμβριο ξεπέρασε το 60 %! Αυτό πιθανότατα αντικατοπτρίζει με τον καλύτερο τρόπο το γεγονός ότι το 2006 ήταν μία από τις πλέον θερμές χρονιές των τελευταίων δεκαετιών, με ελάχιστη βροχόπτωση και χιονόπτωση.

Δεδομένου ότι το κλίμα παγκοσμίως, άρα και στη χώρα μας, γίνεται ολοένα και πιο θερμό, αναμένουμε τα ποσοστά καθαρού ουρανού να αυξάνονται με την πάροδο των ετών μεγιστοποιώντας το πλήθος των νυχτών που θα είναι κατάλληλες για παρατήρηση. Προφανώς βέβαια αυτό δεν θα συμβεί από τη μία χρονιά στην άλλη, αλλά είναι κάτι το οποίο αναμένεται στις επόμενες δεκαετίες.

Υπόμνημα: Σ: Σύνολο εικόνων, 1: Καθαρός Ουρανός, 2: Αραιή νέφωση, 3: Πυκνή νέφωση, 4: Πολύ πυκνή νέφωση

	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Ιανουάριος 2004	120	27	65	24	4	38	56	17	9
	%	22,5	54,2	20,0	3,0	31,7	26,7	14,1	7,5
Ιανουάριος 2005	88	15	36	24	13	17	35	24	12
	%	17,0	40,9	27,3	14,8	19,3	39,8	27,3	13,6
Ιανουάριος 2006	105	24	38	41	2	28	31	42	4
	%	22,9	36,2	39,0	1,9	26,7	29,5	40,0	3,8
Ιανουάριος 2007	119	63	39	17	0	75	28	16	0
	%	52,9	32,8	14,3	0,0	63,0	23,5	13,5	0,0

Φεβρουάριος 2004	109	36	47	23	3	40	38	28	3
	%	33,0	43,1	21,1	2,8	36,7	34,9	25,6	2,8
Φεβρουάριος 2005	34	15	11	6	2	11	12	9	2
	%	44,1	32,4	17,6	5,9	32,4	35,2	26,5	5,9
Φεβρουάριος 2006	109	26	47	30	6	40	26	39	4
	%	23,9	43,1	27,5	5,5	36,7	23,9	35,8	3,6
Φεβρουάριος 2007	110	27	30	43	10	27	29	46	8
	%	24,5	27,3	39,1	9,1	24,5	26,4	41,8	7,3

Μάρτιος 2004	70	18	33	18	1	31	29	10	0
	%	25,7	47,2	25,7	1,4	44,3	41,4	14,3	0,0
Μάρτιος 2005	16	5	4	6	1	4	6	5	1
	%	31,3	25,0	37,5	6,2	25,0	37,5	31,3	6,2
Μάρτιος 2006	116	34	57	21	4	43	42	29	2
	%	29,3	49,1	18,1	3,5	37,1	36,2	25,0	1,7
Μάρτιος 2007	123	41	55	22	5	51	41	26	5
	%	33,3	44,7	17,9	4,1	41,5	33,3	21,1	4,1

Απρίλιος 2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρίλιος 2005	105	43	41	18	3	51	28	23	3
	%	41,0	39,0	17,1	2,9	48,6	26,7	21,8	2,9
Απρίλιος 2006	115	41	43	29	2	52	29	32	2
	%	35,7	37,4	25,2	1,7	45,3	25,2	27,8	1,7
Απρίλιος 2007	118	52	41	24	1	70	24	22	2
	%	44,1	34,7	20,3	0,9	59,3	20,3	18,6	1,8

	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Μάιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Μάιος 2005	78 %	39 50,0	23 29,5	11 14,1	5 6,4	43 55,1	14 17,9	15 19,3	6 7,7
Μάιος 2006	123 %	86 69,9	32 26,0	5 4,1	0 0,0	104 84,6	15 12,2	4 3,2	0 0,0
Μάιος 2007	124 %	51 41,1	54 43,5	16 12,9	3 2,5	64 51,6	34 27,4	23 18,5	3 2,5
Ιούνιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούνιος 2005	43 %	28 65,1	13 30,2	2 4,7	0 0,0	35 81,4	2 4,7	5 11,6	1 2,3
Ιούνιος 2006	119 %	100 84,0	11 9,3	7 5,9	1 0,8	94 79,0	22 18,5	2 1,7	1 0,8
Ιούνιος 2007	118 %	93 78,8	15 12,7	10 8,5	0 0,0	93 78,8	17 14,4	8 6,8	0 0,0
Ιούλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούλιος 2005	122 %	95 77,9	22 18,0	5 4,1	0 0,0	103 84,4	12 9,8	7 5,8	0 0,0
Ιούλιος 2006	122 %	95 77,9	22 18,0	5 4,1	0 0,0	103 84,4	12 9,8	7 5,8	0 0,0
Ιούλιος 2007	123 %	114 87,1	9 12,9	0 0,0	0 0,0	119 93,5	4 6,5	0 0,0	0 0,0
Αύγουστος 2004	79 %	71 89,9	7 8,9	1 1,2	0 0,0	77 97,6	0 0,0	1 1,2	1 1,2
Αύγουστος 2005	117 %	104 88,9	11 9,4	2 1,7	0 0,0	106 90,6	8 6,8	3 2,6	0 0,0
Αύγουστος 2006	123 %	107 87,0	15 12,2	1 0,8	0 0,0	116 94,3	5 4,1	2 1,6	0 0,0
Αύγουστος 2007	115 %	104 86,2	11 13,8	0 0,0	0 0,0	108 96,6	7 3,4	0 0,0	0 0,0

	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Σεπτέμβριος 2004	85 %	58 68,2	20 23,5	6 7,1	1 1,2	69 81,2	14 16,5	2 2,3	0 0,0
Σεπτέμβριος 2005	86 %	41 47,7	29 33,7	11 12,8	5 5,8	50 58,1	21 24,4	10 11,6	5 5,9
Σεπτέμβριος 2006	120 %	72 60,0	29 24,2	17 14,2	2 1,6	80 66,7	25 20,8	14 11,7	1 0,8
Σεπτέμβριος 2007	119 %	84 70,6	33 27,7	2 1,7	0 0,0	94 79,0	21 17,6	4 3,4	0 0,0
Οκτώβριος 2004	69 %	34 49,3	20 29,0	11 15,9	4 5,8	31 45,0	23 33,3	8 11,6	7 10,1
Οκτώβριος 2005	103 %	45 43,7	37 35,9	16 15,5	5 4,9	58 56,3	23 22,3	20 19,4	2 2,0
Οκτώβριος 2006	124 %	57 46,0	37 29,8	24 19,4	6 4,8	47 37,9	43 36,7	28 22,6	6 4,8
Οκτώβριος 2007	123 %	43 35,0	40 32,5	34 27,6	6 4,9	56 45,5	32 26,0	30 24,4	5 4,1
Νοέμβριος 2004	82 %	30 36,6	35 42,7	13 15,9	4 4,8	25 30,5	38 46,3	17 20,7	2 2,5
Νοέμβριος 2005	115 %	39 33,9	33 28,7	33 28,7	10 8,7	39 33,9	31 27,0	31 27,0	14 12,1
Νοέμβριος 2006	120 %	75 62,5	29 24,2	14 11,7	2 1,6	65 54,2	31 25,8	24 20,0	0 0,0
Νοέμβριος 2007	118 %	37 31,4	41 34,7	39 33,1	1 0,8	38 32,2	43 36,4	34 28,8	3 2,6
Δεκέμβριος 2004	69 %	12 17,4	31 44,9	21 30,4	5 7,3	10 14,5	36 52,2	20 29,0	3 4,3
Δεκέμβριος 2005	122 %	41 33,6	29 23,8	42 34,4	10 8,2	38 31,1	31 25,5	45 36,9	8 6,5
Δεκέμβριος 2006	123 %	66 53,7	34 27,6	14 11,4	9 7,3	60 48,8	37 30,1	21 17,1	5 4,0
Δεκέμβριος 2007	124 %	38 30,6	31 25,0	51 41,1	4 3,3	41 33,1	28 22,6	53 42,7	2 1,6

Πίνακας 4.11

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά μήνα για την περίοδο 2004-2007

	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Ιανουάριος	432 %	129 29,9	178 41,2	106 24,5	19 4,4	158 36,6	150 24,7	99 22,9	25 5,8
Φεβρουάριος	362 %	104 28,7	135 37,3	63 17,4	21 5,6	118 32,6	105 29,0	122 33,7	17 4,7
Μάρτιος	325 %	98 30,2	149 45,8	67 20,6	11 3,4	129 39,7	118 36,3	70 21,6	8 2,4
Απρίλιος	338 %	136 40,2	125 37,0	71 21,0	6 1,8	173 51,1	81 24,0	77 22,8	7 2,1
Μάιος	325 %	176 54,2	109 33,5	32 9,8	8 2,5	211 64,9	63 19,4	42 12,9	9 2,8
Ιούνιος	280 %	221 78,9	39 13,9	19 6,8	1 0,4	222 79,3	41 14,6	15 5,4	2 0,7
Ιούλιος	367 %	304 82,8	53 14,4	10 2,8	0 0,0	325 88,6	28 7,6	14 3,8	0 0,0
Αύγουστος	434 %	386 88,9	44 10,1	4 1,0	0 0,0	407 93,8	20 4,6	6 1,4	1 0,2
Σεπτέμβριος	410 %	255 62,2	373 27,1	26 8,8	8 1,9	293 71,5	81 19,8	30 7,3	6 1,4
Οκτώβριος	419 %	179 42,7	134 32,0	85 20,3	21 5,0	192 45,8	121 28,9	86 20,5	20 4,8
Νοέμβριος	435 %	181 41,6	138 31,7	99 22,8	17 3,9	167 38,4	143 32,9	106 24,4	19 4,3
Δεκέμβριος	438 %	157 35,8	125 28,5	128 29,2	28 6,5	149 34,0	132 30,1	139 31,7	18 4,2

4.3 Ανάλυση ανά μήνα και ανά ώρα

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται αναλυτικά τα δεδομένα που λήφθηκαν σε κάθε χρονική στιγμή. Στη συγκεκριμένη ανάλυση δεν παρατίθενται συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά μήνα και ανά ώρα, αφού πρακτικά δεν μας ενδιαφέρει ή συγκεκριμένη μελέτη. Ενδιαφερόμαστε μόνο για το συνολικό ποσοστό νεφοκάλυψης ανά ώρα, το οποίο παρατίθεται στην παράγραφο 4.1, από το οποίο προκύπτει όπως προείπαμε, ότι οι καλύτερες ώρες παρατηρήσεις είναι οι πρώτες πρωινές, λίγο πριν από την ανατολή του Ήλιου.

Υπόμνημα: Σ: Σύνολο εικόνων, 1: Καθαρός Ουρανός, 2: Αραιή νέφωση, 3: Πυκνή νέφωση, 4: Πολύ πυκνή νέφωση

00:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Ιανουάριος 2004	31 %	8 25,8	14 45,2	8 25,8	1 3,2	10 32,3	15 48,3	3 9,7	3 9,7
Ιανουάριος 2005	22 %	1 4,5	14 63,6	4 18,2	3 13,7	5 22,7	7 31,8	8 36,4	2 9,1
Ιανουάριος 2006	27 %	7 25,9	9 33,3	11 40,8	0 0,0	8 29,6	6 22,2	13 48,2	0 0,0
Ιανουάριος 2007	31 %	17 54,8	10 32,3	4 12,9	0 0,0	20 64,5	9 29,0	2 6,5	0 0,0
Φεβρουάριος 2004	27 %	9 33,3	12 44,4	6 22,3	0 0,0	11 40,7	10 32,1	6 22,2	0 0,0
Φεβρουάριος 2005	9 %	1 11,1	3 33,3	4 44,5	1 11,1	1 11,1	2 22,2	5 55,6	1 11,1
Φεβρουάριος 2006	28 %	5 17,9	10 35,7	13 46,4	0 0,0	8 28,6	6 21,4	14 50,0	0 0,0
Φεβρουάριος 2007	27 %	8 29,6	9 33,3	8 29,6	2 7,5	4 14,8	13 48,1	9 33,3	1 3,8
Μάρτιος 2004	24 %	5 20,8	14 58,4	5 20,8	0 0,0	12 50,0	8 33,3	4 16,7	0 0,0
Μάρτιος 2005	4 %	2 50,0	0 0,0	1 25,0	1 25,0	1 25,0	2 50,0	1 25,0	0 0,0
Μάρτιος 2006	31 %	11 35,5	13 41,9	6 19,4	1 3,2	13 41,9	10 32,2	7 22,7	1 3,2
Μάρτιος 2007	30 %	9 30,0	13 43,3	6 20,0	2 6,7	11 36,7	9 30,0	8 26,7	2 6,7
Απρίλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρίλιος 2005	27 %	9 33,3	14 51,9	4 14,8	0 0,0	15 55,6	6 22,2	5 18,5	1 3,7
Απρίλιος 2006	30 %	13 43,3	8 26,7	8 26,7	1 3,3	16 53,4	3 10,0	10 33,3	1 3,3
Απρίλιος 2007	29 %	16 55,2	6 20,7	7 24,1	0 0,0	18 62,0	5 17,3	6 20,7	0 0,0

00:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Μάιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Μάιος 2005	20 %	11	6	3	0	11	3	5	1
Μάιος 2006	31 %	25	4	2	0	28	2	1	0
Μάιος 2007	31 %	11	17	3	0	15	9	7	0

Ιούνιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούνιος 2005	11 %	8	3	0	0	9	1	1	0
Ιούνιος 2006	30 %	26	2	1	1	18	11	0	1
Ιούνιος 2007	30 %	26	2	2	0	26	2	2	0

Ιούλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούλιος 2005	26 %	25	1	0	0	24	2	0	0
Ιούλιος 2006	31 %	28	3	0	0	24	5	2	0
Ιούλιος 2007	31 %	28	3	0	0	29	2	0	0

Αύγουστος 2004	18 %	17	1	0	0	17	0	1	0
Αύγουστος 2005	29 %	27	2	0	0	26	2	1	0
Αύγουστος 2006	31 %	28	3	0	0	31	0	0	0
Αύγουστος 2007	29 %	25	4	0	0	26	3	0	0

	00:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ		1	2	3	4	1	2	3	4
Σεπτέμβριος 2004	22 %		18 81,9	2 9,1	1 4,5	1 4,5	17 77,3	5 22,7	0 0,0	0 0,0
Σεπτέμβριος 2005	22 %		12 54,4	5 22,3	5 22,3	0 0,0	16 72,8	4 18,2	1 4,5	1 4,5
Σεπτέμβριος 2006	30 %		19 63,3	7 23,3	4 13,3	0 0,0	22 73,3	4 13,3	3 10,0	1 3,3
Σεπτέμβριος 2007	29 %		21 72,4	7 24,1	1 3,5	0 0,0	21 72,4	7 24,1	1 3,5	0 0,0
Οκτώβριος 2004	17 %		9 52,9	4 23,6	3 17,6	1 5,9	7 41,2	7 41,2	2 11,7	1 5,9
Οκτώβριος 2005	27 %		13 48,2	9 33,3	4 14,8	1 3,7	17 63,0	5 18,5	5 18,5	0 0,0
Οκτώβριος 2006	31 %		17 54,8	8 25,8	5 16,1	1 3,3	9 29,0	13 41,9	8 25,8	1 3,3
Οκτώβριος 2007	31 %		12 38,7	7 22,6	12 38,7	0 0,0	14 45,2	5 16,1	12 38,7	0 0,0
Νοέμβριος 2004	21 %		9 42,9	8 38,1	2 9,5	2 9,5	7 33,3	9 42,9	4 19,0	1 4,8
Νοέμβριος 2005	30 %		10 33,3	8 26,7	11 36,7	1 3,3	10 33,3	8 26,7	9 30,0	3 10,0
Νοέμβριος 2006	30 %		17 56,7	9 30,0	4 13,3	0 0,0	17 56,7	4 13,3	9 30,0	0 0,0
Νοέμβριος 2007	30 %		8 26,7	13 43,3	9 30,0	0 0,0	8 26,7	13 43,3	9 30,0	0 0,0
Δεκέμβριος 2004	16 %		4 25,0	6 37,5	6 37,5	0 0,0	3 18,8	8 50,0	5 31,2	0 0,0
Δεκέμβριος 2005	31 %		10 32,3	7 22,6	9 29,0	5 16,1	12 38,7	8 25,8	8 25,8	3 9,7
Δεκέμβριος 2006	31 %		15 48,4	11 35,4	3 9,7	2 6,5	15 48,4	9 29,0	5 16,1	2 6,5
Δεκέμβριος 2007	31 %		9 29,0	9 29,0	11 35,5	2 6,5	11 35,5	4 12,9	15 48,4	1 3,2

	06:00 UTC	Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Ιανουάριος 2004	30 %	8 26,7	14 46,7	7 23,3	1 3,3	10 33,3	12 40,0	6 20,0	2 6,7
Ιανουάριος 2005	21 %	6 28,6	8 38,1	4 19,0	3 14,3	5 23,8	10 47,6	4 19,0	2 9,6
Ιανουάριος 2006	27 %	7 25,9	9 33,3	11 40,8	0 0,0	8 29,6	9 33,3	8 29,6	2 7,5
Ιανουάριος 2007	31 %	15 48,4	13 41,9	3 9,7	0 0,0	21 67,8	5 16,1	5 16,1	0 0,0

Φεβρουάριος 2004	29 %	13 44,8	11 37,9	2 6,9	3 10,4	13 44,8	6 20,7	8 27,6	2 6,9
Φεβρουάριος 2005	9 %	2 22,2	6 66,7	0 0,0	1 11,1	1 11,1	5 55,6	2 22,2	1 11,1
Φεβρουάριος 2006	28 %	7 25,0	12 42,9	7 25,0	2 7,1	9 32,2	7 25,0	10 35,7	2 7,1
Φεβρουάριος 2007	28 %	7 25,0	6 21,4	12 42,9	3 10,7	6 21,4	9 32,1	10 35,8	3 10,7

Μάρτιος 2004	23 %	11 47,8	8 34,8	4 17,4	0 0,0	13 56,6	9 39,1	1 4,3	0 0,0
Μάρτιος 2005	5 %	1 20,0	2 40,0	2 40,0	0 0,0	2 40,0	1 20,0	2 40,0	0 0,0
Μάρτιος 2006	29 %	6 20,7	14 48,3	9 31,0	0 0,0	9 31,0	11 38,0	9 31,0	0 0,0
Μάρτιος 2007	31 %	10 32,3	16 51,6	3 9,7	2 6,4	13 41,9	12 38,6	5 16,1	1 6,4

Απρίλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρίλιος 2005	26 %	12 46,2	9 34,6	4 15,4	1 3,8	11 42,3	8 30,8	7 26,9	0
Απρίλιος 2006	30 %	7 23,3	15 50,0	8 26,7	0 40,0	12 33,3	10 26,7	8 0,0	0
Απρίλιος 2007	29 %	17 58,6	5 17,3	7 24,1	0 0,0	17 58,6	6 20,7	6 20,7	0 0,0

06:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Μάιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Μάιος 2005	20 %	8	6	5	1	10	4	4	2
Μάιος 2006	31 %	21	7	3	0	25	4	2	0
Μάιος 2007	31 %	10	15	5	1	15	9	6	1
		22,3	48,4	16,1	3,2	48,4	29,0	19,4	3,2
Ιούνιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούνιος 2005	10 %	8	1	1	0	8	1	1	0
Ιούνιος 2006	30 %	25	4	1	0	26	3	1	0
Ιούνιος 2007	28 %	25	2	1	0	25	2	1	0
		89,3	7,1	3,6	0,0	89,3	7,1	3,6	0,0
Ιούλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούλιος 2005	27 %	26	1	0	0	24	3	0	0
Ιούλιος 2006	31 %	28	3	0	0	27	3	1	0
Ιούλιος 2007	31 %	29	2	0	0	31	0	0	0
		96,3	3,7	0,0	0,0	88,9	11,1	0,0	0,0
Αύγουστος 2004	20 %	19	1	0	0	20	0	0	0
Αύγουστος 2005	29 %	28	1	0	0	29	0	0	0
Αύγουστος 2006	31 %	29	2	0	0	30	1	0	0
Αύγουστος 2007	28 %	26	2	0	0	26	2	0	0
		95,0	5,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
		96,6	3,4	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
		93,5	6,5	0,0	0,0	96,8	3,2	0,0	0,0
		92,9	7,1	0,0	0,0	92,9	7,1	0,0	0,0

	06:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ		1	2	3	4	1	2	3	4
Σεπτέμβριος 2004	21 %		17 80,9	4 19,1	0 0,0	0 0,0	17 80,9	3 14,3	1 3,8	0 0,0
Σεπτέμβριος 2005	22 %		15 68,2	4 18,2	1 4,5	2 9,1	17 77,3	3 13,6	2 9,1	0 0,0
Σεπτέμβριος 2006	30 %		19 63,3	4 3,3	6 20,0	1 3,3	20 66,7	5 16,7	5 16,7	0 0,0
Σεπτέμβριος 2007	30 %		22 73,3	8 26,7	0 0,0	0 0,0	27 90,0	2 6,7	1 3,3	0 0,0

Οκτώβριος 2004	17 %		9 52,9	5 29,4	2 11,8	1 5,9	6 35,3	8 47,0	2 11,8	1 5,9
Οκτώβριος 2005	26 %		13 50,0	8 30,8	3 11,5	2 7,7	16 61,5	8 30,8	2 18,5	0 0,0
Οκτώβριος 2006	31 %		15 48,4	10 32,2	4 12,9	2 6,5	14 45,2	12 38,7	4 12,9	1 3,2
Οκτώβριος 2007	31 %		14 45,2	5 16,1	11 35,5	1 3,2	16 51,6	8 25,8	7 22,6	0 0,0

Νοέμβριος 2004	20 %		10 50,0	6 30,0	3 15,0	1 5,0	7 35,0	9 45,0	3 15,0	1 5,0
Νοέμβριος 2005	30 %		12 40,0	11 36,7	3 10,0	4 13,3	14 46,7	7 23,3	7 23,3	2 6,7
Νοέμβριος 2006	30 %		22 73,3	5 16,7	1 3,3	2 6,7	14 46,7	12 40,0	4 13,3	0 0,0
Νοέμβριος 2008	30 %		12 40,0	9 30,0	9 30,0	0 0,0	10 33,3	12 40,0	7 23,3	1 3,3

Δεκέμβριος 2004	17 %		5 29,4	7 41,2	4 23,5	1 5,9	3 17,6	10 58,9	4 23,5	0 0,0
Δεκέμβριος 2005	31 %		10 32,3	9 29,0	9 29,0	3 9,7	9 29,0	8 25,8	12 38,7	2 6,5
Δεκέμβριος 2006	31 %		16 51,6	9 29,0	4 12,9	2 6,5	14 45,2	11 35,5	6 19,3	0 0,0
Δεκέμβριος 2007	31 %		8 25,8	8 25,8	14 45,2	1 3,2	11 32,3	3 22,5	16 42,0	1 3,2

	12:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ		1	2	3	4		1	2	3	4
Ιανουάριος 2004	29 %		5 17,2	17 58,7	5 17,2	2 6,9		8 27,6	14 48,3	5 17,2	2 6,9
Ιανουάριος 2005	22 %		4 18,2	5 22,8	10 45,4	3 13,6		3 13,6	11 50,0	5 22,8	3 13,6
Ιανουάριος 2006	24 %		4 16,7	10 41,7	9 37,5	1 4,1		5 20,9	8 33,3	10 41,7	1 4,1
Ιανουάριος 2007	28 %		14 50,0	8 28,6	6 21,4	0 0,0		17 60,7	5 17,9	6 21,4	0 0,0
Φεβρουάριος 2004	25 %		5 20,0	10 40,0	10 40,0	0 0,0		7 28,0	10 40,0	7 28,0	1 4,0
Φεβρουάριος 2005	8 %		6 75,0	1 12,5	1 12,5	0 0,0		5 62,5	2 25,0	1 12,5	0
Φεβρουάριος 2006	25 %		6 24,0	15 60,0	2 8,0	2 8,0		12 48,0	7 28,0	6 24,0	0 0,0
Φεβρουάριος 2007	28 %		5 17,0	8 28,6	11 39,3	4 14,2		8 28,6	4 14,3	14 50,0	2 7,1
Μάρτιος 2004	23 %		2 8,7	11 47,8	9 39,1	1 4,4		6 26,1	12 52,2	5 21,7	0 0,0
Μάρτιος 2005	2 %		0 0,0	1 50,0	1 50,0	0 0,0		0 0,0	1 50,0	1 50,0	0 0,0
Μάρτιος 2006	26 %		8 30,8	14 53,8	2 7,7	2 7,7		12 46,2	8 30,8	5 19,2	1 3,8
Μάρτιος 2007	31 %		13 41,0	12 38,7	6 19,4	0 0,0		14 45,2	11 35,4	6 19,4	0 0,0
Απρίλιος 2004	- %		-	-	-	-		-	-	-	-
Απρίλιος 2005	24 %		14 58,4	3 12,5	5 20,8	2 8,3		13 54,2	5 20,8	4 16,7	2 8,3
Απρίλιος 2006	25 %		11 44,0	10 40,0	3 12,0	1 4,0		13 52,0	5 20,0	6 24,0	1 4,0
Απρίλιος 2007	30 %		11 36,7	15 50,0	3 10,0	1 3,3		18 60,0	8 26,7	3 10,0	1 3,3

12:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Μάιος 2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-
Μάιος 2005	19	10	5	1	3	12	5	1	1
	%	52,6	26,3	5,3	15,8	63,1	26,3	5,3	5,3
Μάιος 2006	31	24	7	0	0	28	2	1	0
	%	77,4	22,6	0,0	0,0	90,3	6,5	3,2	0,0
Μάιος 2007	31	15	10	4	2	19	6	4	2
	%	48,4	22,3	12,9	6,4	61,1	19,4	12,9	6,4

Ιούνιος 2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούνιος 2005	11	8	3	0	0	10	0	1	0
	%	72,7	27,3	0,0	0,0	90,9	0,0	9,1	0,0
Ιούνιος 2006	30	27	1	2	0	27	3	0	0
	%	90,0	3,3	6,7	0,0	90,0	10,0	0,0	0,0
Ιούνιος 2007	30	22	3	5	0	23	4	3	0
	%	73,3	10,0	16,7	0,0	76,7	13,3	10,0	0,0

Ιούλιος 2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούλιος 2005	25	20	5	0	0	20	4	1	0
	%	80,0	20,0	0,0	0,0	80,0	16,0	4,0	0,0
Ιούλιος 2006	30	23	5	2	0	29	0	1	0
	%	76,7	16,7	6,6	96,7	0,0	3,3	0,0	
Ιούλιος 2007	30	30	0	0	0	30	0	0	0
	%	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0

Αύγουστος 2004	20	18	2	0	0	20	0	0	0
	%	90,0	10,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Αύγουστος 2005	28	26	1	1	0	25	3	0	0
	%	92,9	3,6	3,6	0,0	89,3	10,7	0,0	0,0
Αύγουστος 2006	30	27	3	0	0	28	2	0	0
	%	90,0	10,0	0,0	0,0	93,3	6,7	0,0	0,0
Αύγουστος 2007	29	28	1	0	0	28	1	0	0
	%	96,6	3,4	0,0	0,0	96,6	3,4	0,0	0,0

	12:00 UTC		Αρίσταρχος				Πεντέλη			
	Σ		1	2	3	4	1	2	3	4
Σεπτέμβριος 2004	21 %		12 57,1	8 38,1	1 4,8	0 0,0	19 90,5	2 9,5	0 0,0	0 0,0
Σεπτέμβριος 2005	21 %		9 42,9	9 42,9	1 4,7	2 9,5	10 47,6	6 28,6	4 19,1	1 4,7
Σεπτέμβριος 2006	30 %		19 63,3	6 20,0	5 16,7	0 0,0	19 63,3	9 30,0	2 6,7	0 0,0
Σεπτέμβριος 2007	30 %		23 76,7	6 20,0	1 3,3	0 0,0	23 76,7	6 20,0	1 3,3	0 0,0
Οκτώβριος 2004	17 %		8 47,1	5 29,4	3 17,6	1 5,9	9 52,9	3 17,6	3 17,6	2 11,9
Οκτώβριος 2005	23 %		12 52,2	6 26,1	4 17,4	1 4,3	12 52,2	4 17,4	6 26,1	1 4,3
Οκτώβριος 2006	31 %		14 45,1	9 29,0	6 19,4	2 6,5	13 41,9	11 35,5	5 16,1	2 6,5
Οκτώβριος 2007	30 %		10 33,3	14 46,7	3 10,0	3 10,0	14 46,7	11 36,7	3 10,0	2 6,7
Νοέμβριος 2004	19 %		3 15,8	13 68,4	3 15,8	0 0,0	5 26,3	10 52,6	4 21,1	0 0,0
Νοέμβριος 2005	27 %		8 29,7	7 25,9	9 33,3	3 11,1	7 25,9	9 33,3	6 22,2	5 18,6
Νοέμβριος 2006	30 %		19 63,3	6 20,0	5 16,7	0 0,0	18 60,0	6 20,0	6 20,0	0 0,0
Νοέμβριος 2007	28 %		9 32,1	10 35,7	8 28,5	1 3,7	9 32,1	9 32,1	9 32,1	1 3,7
Δεκέμβριος 2004	18 %		1 5,6	9 50,0	5 27,7	3 16,7	1 5,6	10 55,5	6 33,3	1 5,6
Δεκέμβριος 2005	29 %		9 31,0	6 20,7	14 48,3	0 0,0	7 24,1	7 24,1	14 48,3	1 3,5
Δεκέμβριος 2006	30 %		17 56,7	7 23,3	4 13,3	2 6,7	14 46,7	9 30,0	6 20,0	1 3,3
Δεκέμβριος 2007	31 %		11 35,5	13 9,7	6 51,6	1 3,2	9 29,0	9 29,0	13 42,0	0 0,0

18:00 UTC	Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4
Ιανουάριος 2004	30 %	6 20,0	20 66,7	4 13,3	0 0,0	10 33,3	15 50,0	3 10,0	2 6,7
Ιανουάριος 2005	23 %	4 17,4	9 39,1	6 26,1	4 17,4	4 17,4	7 30,4	7 30,4	5 21,8
Ιανουάριος 2006	27 %	6 22,3	10 37,0	10 37,0	1 3,7	7 25,9	8 29,7	11 40,7	1 3,7
Ιανουάριος 2007	29 %	17 58,6	8 27,6	4 13,8	0 0,0	17 58,6	9 31,0	3 10,4	0 0,0

Φεβρουάριος 2004	28 %	9 32,1	14 50,0	5 17,9	0 0,0	9 32,1	12 42,9	7 25,0	0 0,0
Φεβρουάριος 2005	8 %	6 75,0	1 12,5	1 12,5	0 0,0	4 50,0	3 37,5	1 12,5	0 0,0
Φεβρουάριος 2006	28 %	8 28,6	10 35,7	8 28,6	2 7,1	11 39,3	6 21,4	9 32,2	2 7,1
Φεβρουάριος 2007	27 %	7 25,9	7 25,9	12 44,4	1 3,8	9 28,6	3 14,3	13 50,0	2 7,1

Μάρτιος 2004	24 %	5 20,8	14 58,4	5 20,8	0 0,0	12 50,0	8 33,3	4 16,7	0 0,0
Μάρτιος 2005	5 %	2 40,0	1 20,0	2 40,0	0 0,0	1 20,0	2 40,0	1 20,0	1 20,0
Μάρτιος 2006	30 %	9 30,0	16 53,4	4 13,3	1 3,3	9 30,0	13 43,3	8 26,7	0 0,0
Μάρτιος 2007	31 %	9 29,0	14 45,2	7 22,6	1 3,2	13 41,9	9 29,0	7 22,7	2 6,4

Απρίλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-
Απρίλιος 2005	28 %	8 28,6	15 53,6	5 17,8	0 0,0	12 42,9	9 32,1	7 25,0	0 0,0
Απρίλιος 2006	30 %	10 33,3	10 33,3	10 33,3	0 0,0	11 36,7	11 36,7	8 26,6	0 0,0
Απρίλιος 2007	30 %	8 26,7	15 50,0	7 23,3	0 0,0	17 56,7	5 16,7	7 23,3	1 3,3

18:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4		1	2	3	4
Μάιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μάιος 2005	19 %	10	6	2	1	10	2	5	2	2
Μάιος 2006	30 %	16	14	0	0	23	7	0	0	0
Μάιος 2007	31 %	15	12	4	0	15	10	6	0	0
Ιούνιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούνιος 2005	11 %	4	6	1	0	8	0	2	1	1
Ιούνιος 2006	29 %	22	4	3	0	23	5	1	0	0
Ιούνιος 2007	30 %	20	8	2	0	19	9	2	0	0
Ιούλιος 2004	- %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιούλιος 2005	25 %	18	6	1	0	18	7	0	0	0
Ιούλιος 2006	30 %	16	11	3	0	23	4	3	0	0
Ιούλιος 2007	31 %	27	4	0	0	29	2	0	0	0
Αύγουστος 2004	21 %	17	3	1	0	20	0	0	1	1
Αύγουστος 2005	31 %	23	7	1	0	26	3	2	0	0
Αύγουστος 2006	31 %	23	7	1	0	27	2	2	0	0
Αύγουστος 2007	29 %	25	4	0	0	28	1	0	0	0

18:00 UTC		Αρίσταρχος					Πεντέλη			
	Σ	1	2	3	4	1	2	3	4	
Σεπτέμβριος 2004	21	11	6	4	0	16	4	1	0	
	%	52,4	28,6	19,0	0,0	76,2	19,0	4,8	0,0	
Σεπτέμβριος 2005	21	5	11	4	1	7	8	3	3	
	%	23,8	52,4	19,0	4,8	33,3	38,1	14,3	14,3	
Σεπτέμβριος 2006	30	15	12	2	1	19	7	4	0	
	%	50,0	40,0	6,7	3,3	63,3	23,3	13,3	0,0	
Σεπτέμβριος 2007	30	18	12	0	0	23	6	1	0	
	%	60,0	40,0	0,0	0,0	76,7	20,0	3,3	0,0	

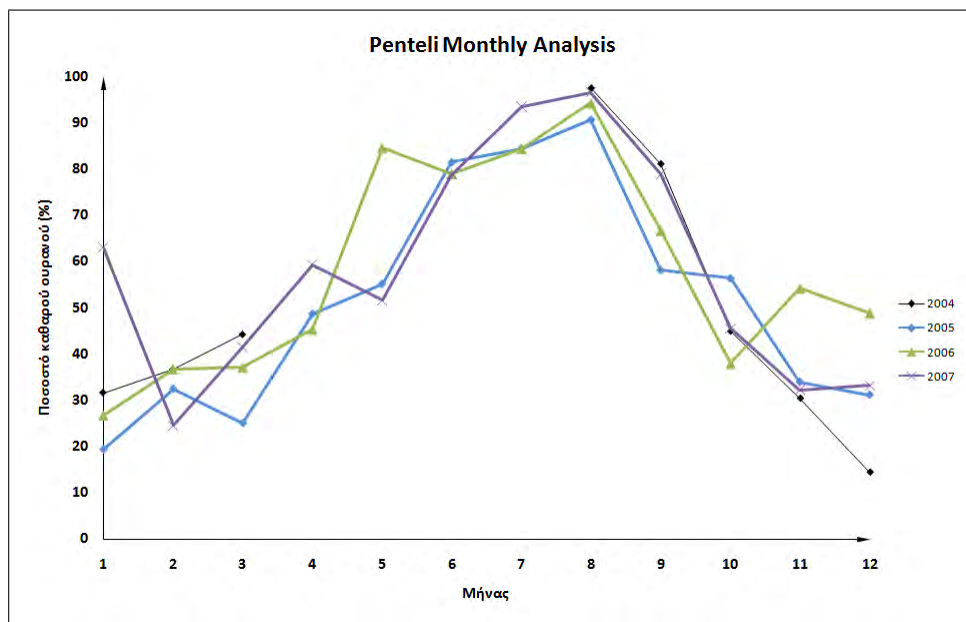
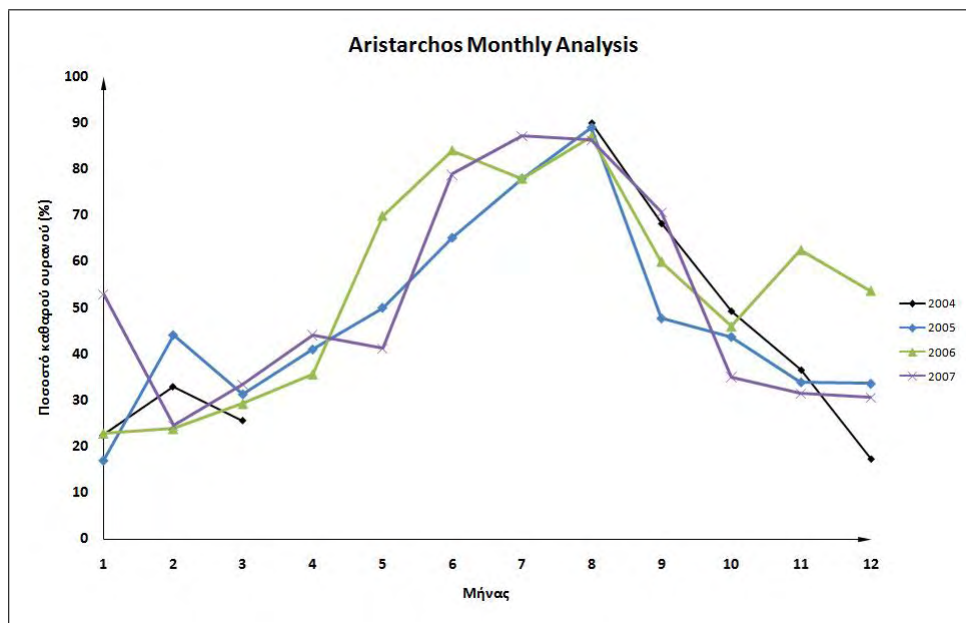
Οκτώβριος 2004	19 %	8 42,1	6 31,6	3 15,8	2 10,5	9 47,4	5 26,3	1 5,3	4 21,0
Οκτώβριος 2005	27 %	7 25,9	14 51,9	5 18,5	1 3,7	13 48,1	6 22,3	7 25,9	1 3,7
Οκτώβριος 2006	31 %	11 35,5	10 32,3	9 29,0	1 3,2	11 35,5	7 22,5	11 35,5	2 6,5
Οκτώβριος 2007	31 %	7 22,6	14 45,2	8 25,8	2 6,4	12 38,7	8 25,8	8 25,8	3 9,7

Νοέμβριος 2004	22 %	8 36,4	8 36,4	5 22,7	1 4,5	6 27,3	10 45,4	6 27,3	0 0,0
Νοέμβριος 2005	28 %	9 32,2	7 25,0	10 35,7	2 7,1	8 28,6	7 25,0	9 32,1	4 14,3
Νοέμβριος 2006	30 %	17 56,7	9 30,0	4 13,3	0 0,0	16 53,3	9 30,0	5 16,7	0 0,0
Νοέμβριος 2007	30 %	8 26,7	9 30,0	13 43,3	0 0,0	11 36,7	9 30,0	9 30,0	1 3,3

Δεκέμβριος 2004	18 %	2 11,1	9 50,0	6 33,3	1 5,6	3 16,7	8 44,4	5 27,8	2 11,1
Δεκέμβριος 2005	31 %	12 38,7	7 22,6	10 25,8	2 6,4	10 32,3	8 25,8	11 35,5	2 6,4
Δεκέμβριος 2006	31 %	18 58,0	7 22,6	3 9,7	3 9,7	17 54,8	8 25,8	4 12,9	2 6,5
Δεκέμβριος 2007	31 %	10 32,3	11 35,4	10 32,3	0 0,0	11 35,5	8 25,8	12 38,7	0 0,0

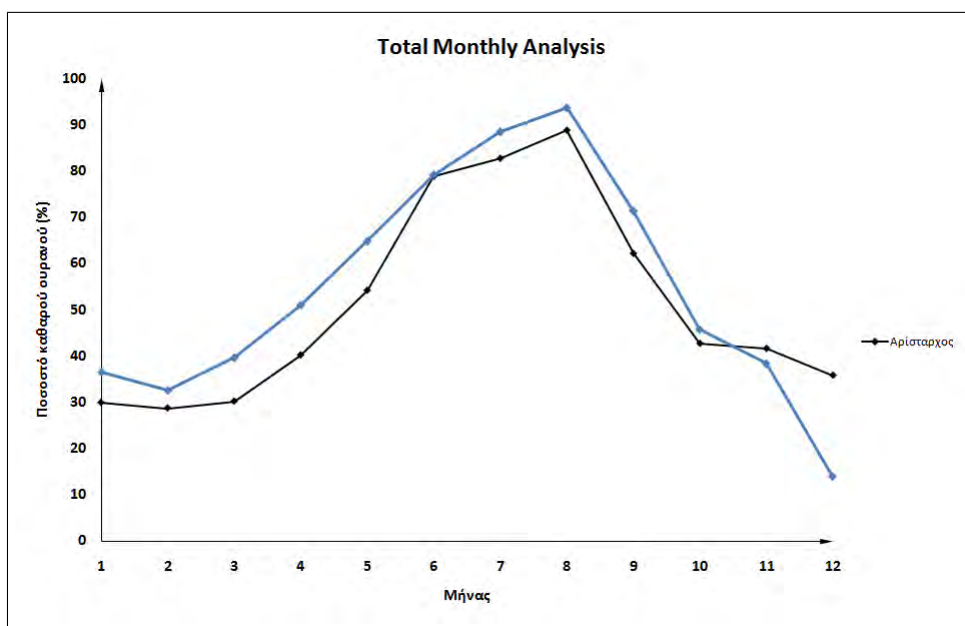
4.4 Γραφική Ανάλυση

Στα παρακάτω γραφήματα παριστάνονται γραφικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Τα αποτελέσματα είναι αρκετά ενδιαφέροντα και θα συζητηθούν εκτενώς στο τέλος της παραγράφου.



Γράφημα 4.1

Η μεταβολή του ποσοστού νεφοκάλυψης στον Αρίσταρχο (πάνω) και για την Πεντέλη (κάτω) ανά μήνα και ανά έτος για την περίοδο 2004-2007.

**Γράφημα 4.2**

Η μεταβολή του ποσοστού νεφοκάλυψης στον Αρίσταρχο και στην Πεντέλη ανά μήνα για την περίοδο 2004-2007.

Από τις δύο πρώτες γραφικές φαίνεται ότι το ποσοστό καθαρού ουρανού μέσα σε ένα έτος μεταβάλλεται σχετικά ομαλά με τους μήνες. Όπως αναμένεται, τους χειμερινούς μήνες υπάρχει το υψηλότερο ποσοστό νεφοκάλυψης, με το ποσοστό καθαρού ουρανού να ξεπερνάει σπάνια το 30 %, ενώ τους θερινούς το αντίστοιχο φτάνει μέχρι και 90 %. Η μορφή των καμπυλών είναι παρόμοια τόσο για τον Αρίσταρχο όσο και για την Πεντέλη, γεγονός που καταδεικνύει ως ένα βαθμό την ορθότητα της μεθόδου.

Στην τρίτη γραφική φαίνεται ότι το συνολικό ποσοστό καθαρού ουρανού στην διάρκεια των τεσσάρων ετών που πραγματοποιήθηκε η μελέτη, είναι μεγαλύτερο για την Πεντέλη, οπότε από αυτήν την άποψη αυτή θα ήταν καλύτερη τοποθεσία για την τοποθέτηση ενός νέου τηλεσκοπίου. Όμως, λόγω της ιδιαίτερα μολυσμένης ατμόσφαιρας της περιοχής του λεκανοπεδίου της Αττικής, αλλά και του υψηλού βαθμού φωτορύπανσης, η ποιότητα της εικόνας θα ήταν ιδιαίτερα χαμηλή, καθιστώντας την οποιαδήποτε παρατήρηση ανακριβή.

Μέρος II

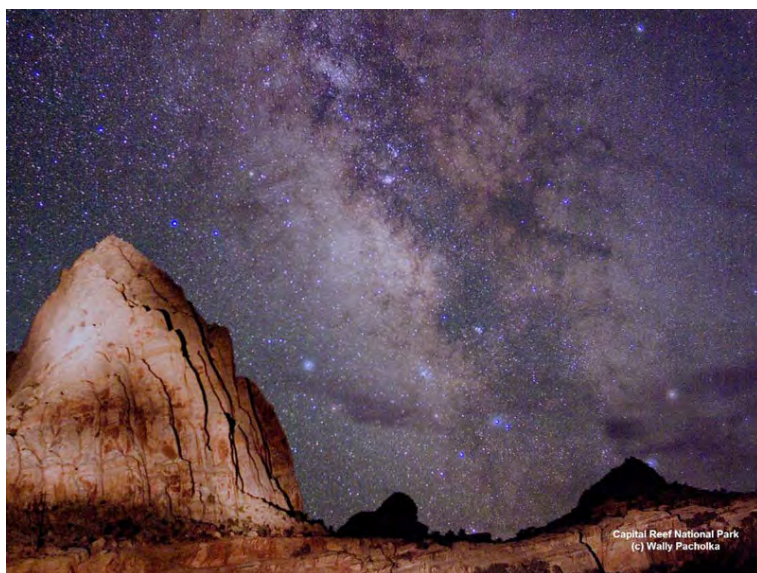
Τηλεσκόπιο Αρίσταρχος: Εφαρμογές

Οι γαλαξίες

5.1 Οι κανονικοί γαλαξίες

Εάν παρατηρήσουμε τον νυχτερινό ουρανό μία ξάστερη βραδιά, θα διακρίνουμε μία αμυδρή λωρίδα φωτός η οποία τον διαγράφει από τη μία άκρη του ορίζοντα έως την άλλη. Οι αρχαίοι Έλληνες παρομοίασαν την λωρίδα αυτή με έναν *γαλακτώδη ποταμό* (Milky Way), απ' όπου προήλθε και λέξη Γαλαξίας. Χρειάστηκε να περάσουν μερικές χιλιάδες χρόνια από τότε, προκειμένου να ανακαλύψουμε την πραγματική φύση του Γαλαξία μας.

Οι πρώτες σημαντικές προσπάθειες έγιναν μόλις στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όπου χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση του Γαλαξία η μέθοδος της καταμέτρησης των άστρων. Συγκεκριμένα, είχε μετρηθεί και καταγραφεί το πλήθος των άστρων σε κάθε διάστημα φαινόμενης φωτεινότητας για διάφορες κατευθύνσεις στον νυχτερινό ουρανό. Από την κατανομή των άστρων με διάφορες φωτεινότητες προέκυψε σε πρώτη φάση η κατανομή των άστρων στον χώρο. Τελικό συμπέρασμα αυτής της εργασίας ήταν ότι ο Γαλαξίας θα πρέπει να είναι ένα πεπλατυσμένο σύστημα αστερών. Αργότερα ο Kapteyn



Εικόνα 5.1

Ο Γαλαξίας πάνω από την Utah των Ηνωμένων Πολιτειών. (Πηγή: *apod.nasa.gov*)

συμπλήρωσε αυτήν την εργασία, υπολογίζοντας τις χωρικές διαστάσεις αυτής της διάταξης, εκτιμώντας τις μέσες αποστάσεις των άστρων με στατιστικές μεθόδους.

Στη συνέχεια όμως, το λεγόμενο *σύμπαν του Kapteyn* άρχισε να αμφισβητείται. Ο πρώτος ο οποίος εργάστηκε μεθοδικά για την εύρεση ενός νέου μοντέλου του σχήματος του Γαλαξία, ήταν ο Shapley, ο οποίος το 1917, λίγο μετά την ανακάλυψη της σχέσης περιόδου - λαμπρότητας για τους Κηφείδες από την Henrietta Leavitt, πρότεινε σωστά ότι υπαίτια για την μεταβολή της λαμπρότητάς τους ήταν η περιοδική τους συστολή και διαστολή. Έπειτα εφάρμοσε τη σχέση περιόδου - λαμπρότητας στους μεταβλητούς RR Lyrae, ένα άλλο είδος παλλόμενων αστερών που ήταν γνωστή εκείνη την εποχή, και υπολόγισε τις αποστάσεις των σφαιρικών σμηνών στα οποία αυτοί είχαν παρατηρηθεί. Μη γνωρίζοντας όμως την ύπαρξη της μεσοαστρικής σκόνης, καθώς και τη διαφορά ανάμεσα στους Κηφείδες και τους RR Lyrae, ο Shapley υπερεκτίμησε τις αποστάσεις των σφαιρωτών σμηνών. Παρ' όλα αυτά κατάληξε και σε κάποια σωστά συμπεράσματα. Βρήκε για παράδειγμα ότι τα σφαιρωτά σμήνη παρουσιάζουν σχεδόν σφαιρική κατανομή και θεώρησε πως το κέντρο αυτής της κατανομής ταυτίζεται με το κέντρο του Γαλαξία.

Αρκετά πριν την εργασία του Shapley αλλά και του Herschel, τον 18^ο αιώνα, είχαν παρατηρηθεί στον νυχτερινό ουρανό κάποια εκτεταμένα αντικείμενα με ασαφή όρια, τα οποία είχαν χαρακτηριστεί στο σύνολό τους ως *νεφελώματα*. Τα σπειροειδή αυτά νεφελώματα έγιναν πολύ σύντομα αντικείμενο συστηματικής μελέτης. Ο Thomas Wright και ο Immanuel Kant υπέθεσαν τότε ότι τα νεφελώματα αυτά ενδεχομένως να είναι ανεξάρτητα αστρικά συστήματα απολύτως συγκρίσιμα με τον δικό μας Γαλαξία, άποψη που έγινε γνωστή ως *υπόθεση των συμπάντων - νήσων*.

Όμως, το μοντέλο του Shapley έδινε στον Γαλαξία κολοσσιαίες διαστάσεις. Έτσι, καθιστόταν πλέον απίθανο τα σπειροειδή νεφελώματα να είναι εξωγαλαξιακά αντικείμενα, οπότε ο Shapley οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να μοιάζουν με τα αέρια νεφελώματα τα οποία εκείνη την εποχή ήταν ήδη γνωστό ότι βρίσκονται εντός των ορίων του Γαλαξία. Υπήρχαν όμως και κάποιοι αστρονόμοι που διαφώνησαν. Κύριος εκπρόσωπος αυτών ήταν ο Heber D. Curtis, ο οποίος ήρθε σε ευθεία αντιπαράθεση με τον Shapley το 1920, σε ένα συνέδριο που οργάνωσε η Εθνική Ακαδημία Επιστημών των Ηνωμένων Πολιτειών στην Ουάσινγκτον.

5.1.1 Η αντιπαράθεση των Shapley - Curtis

Ένα μεγάλο μέρος της αντιπαράθεσης επικεντρώθηκε στο ζήτημα του μεγάλου μεγέθους του Γαλαξία, όπου οι μεταγενέστερες έρευνες έδειξαν ότι ο Shapley είχε κατά βάση δίκιο, παρά το γεγονός ότι είχε αγνοήσει τη μεσοαστρική απόσβεση, η οποία ανακαλύφθηκε μία δεκαετία αργότερα από τον Trumpler.

Στη συνέχεια η συζήτηση εστιάστηκε στο κατά πόσο τα σπειροειδή είναι αυτόνομα αστρικά συστήματα. Ο Shapley είχε στα χέρια του ένα έμμεσο, αλλά ιδιαίτερα ισχυρό επιχείρημα για να υποστηρίξει την άποψή του. Το επιχείρημα αυτό στηριζόταν στη μελέτη της ίδιας κίνησης του σπειροειδούς M101 από τον von Maanen, η οποία έδειχνε ότι το σπειροειδές αυτό περιστρεφόταν με περίοδο περιστροφής μικρότερη από 105 έτη. Έτσι, εάν το M101 είχε τις διαστάσεις που προέβλεπε το μοντέλο του Shapley για τον Γαλαξία, θα έπρεπε να περιστρεφόταν με υπερσχετικιστική ταχύτητα, οπότε, κατά τον Shapley, το σπειροειδές αυτό αντικείμενο θα πρέπει να έχει σχετικά μικρές διαστάσεις και να βρίσκεται σε αρκετά κοντινή απόσταση. Ο Curtis από την άλλη, προκείμενου να αποκρούσει αυτό το επιχείρημα, υποστήριξε ότι οι μετρήσεις της ίδιας κίνησης του M101 είναι εσφαλμένες, γεγονός το οποίο επιβεβαιώθηκε το 1935 από τους Hubble και von Maanen, οι οποίοι έδειξαν πως οι αρχικές μετρήσεις τις οποίες είχε επικαλεστεί ο Shapley, είχαν προέλθει από σημαντικά συστηματικά σφάλματα.

Και οι δύο αστρονόμοι γνώριζαν ότι ο μόνος τρόπος ώστε να επιλυθεί οριστικά αυτή η διαφωνία ήταν η μέτρηση των αποστάσεων των σπειροειδών. Έτσι, επικαλέστηκαν άμεσες μεθόδους μέτρησης των αποστάσεων των σπειροειδών, χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις αστερών novae στο σπειροειδές M31. Πιο συγκεκριμένα, συνέκριναν τη φαινόμενη φωτεινότητα των novae του M31 και του δικού μας Γαλαξία. Οι Shapley και Curtis κατέληξαν σε διαφορετικά συμπεράσματα, απ' ενός μεν γιατί διαφωνούσαν σχετικά με

**Εικόνα 5.2**

Ο πανέμορφος σπειροειδής γαλαξίας M101 που αποτέλεσε το κύριο αντικείμενο αντιπαράθεσης μεταξύ των Shapley και Curtis. (Πηγή: antwrp.gsfc.nasa.gov)

το ακριβές μέγεθος του Γαλαξία και αφ' ετέρου διότι εκείνη την εποχή δεν ήταν γνωστή, ούτε παρατηρησιακά ούτε θεωρητικά, η διάκριση μεταξύ των novae και των supernovae.

Ένα άλλο σημείο της αντιπαράθεσης ήταν το κατά πόσο τα σπειροειδή ήταν αστρικά ή αέρια συστήματα. Ο Shapley, έχοντας υπ' όψη του τις εργασίες των Seares και Reynolds, υποστήριξε ότι εάν τα σπειροειδή είναι αυτόνομοι γαλαξίες, τότε πρέπει τόσο τα φωτομετρικά όσο και τα φασματικά τους χαρακτηριστικά να είναι όμοια με αυτά του Γαλαξία. Ο Seares, χρησιμοποιώντας τις καταμετρήσεις των άστρων του Γαλαξία που είχαν πραγματοποιήσει οι Kapteyn και van Rhijn, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο Γαλαξίας έχει πολύ μικρότερη επιφανειακή φωτεινότητα από τα σπειροειδή. Από την άλλη, ο Reynolds είχε εξετάσει τα χρώματα των σπειροειδών, και είχε βρει ότι οι δίσκοι τους ήταν κυανότεροι από τα κεντρικά τους εξογκώματα. Επίσης, στις κεντρικές περιοχές ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να ανιχνευθούν οι χαρακτηριστικές γραμμές απορρόφησης ενός αστρικού φάσματος. Οι ιδιότητες αυτές των σπειροειδών τα καθιστούσαν διαφορετικά από τον Γαλαξία, όπως αυτός φαινόταν στην περιοχή του Ήλιου, οπότε θα πρέπει να είναι αέρια συστήματα. Ο Curtis από την πλευρά του δεν είχε ικανοποιητική απάντηση σε αυτό το επιχείρημα.

Σήμερα βέβαια γνωρίζουμε ότι, λόγω της μεσοαστρικής απόσβεσης, η επιφανειακή φωτεινότητα του Γαλαξία, όπως αυτή προκύπτει με βάση τις απλοϊκές μεθόδους προσδιορισμού της που χρησιμοποίησε ο Seares, είναι σημαντικά μικρότερη της πραγματικής. Επιπλέον, η επιφανειακή φωτεινότητα των σπειροειδών που είχε μετρηθεί, αφορούσε κυρίως τις λαμπρές κεντρικές περιοχές, και όχι τις αμυδρές εξωτερικές οι οποίες αντιστοιχούν στην περιοχή του Ήλιου.

Όμως, το πιο εντυπωσιακό σημείο της αντιπαράθεσης των Shapley και Curtis, αφορούσε μία ιδιομορφία, τόσο στην κατανομή των σπειροειδών στον χώρο, όσο και στην κατανομή των ταχυτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα είχε παρατηρηθεί ότι η συγγένωση των σπειροειδών είναι πολύ μεγαλύτερη κοντά στους γαλαξιακούς πόλους απ' ό,τι στο γαλαξιακό επίπεδο. Επιπλέον, ο Slipher είχε δείξει ότι οι ταχύτητες απομάκρυνσης

**Εικόνα 5.3**

Ο γειτονικός σπειροειδής γαλαξίας M31 στον αστερισμό της Ανδρομέδας μαζί με τους δορυφόρους του, τον νάνο ελλειπτικό M32 (πάνω) και τον ελλειπτικό M110 (κάτω).

(Πηγή: www.dougsastro.net)

των σπειροειδών από εμάς είναι κατά μέσο όρο πολύ μεγάλες. Σύμφωνα με τον Shapley, οι δύο αυτές παρατηρήσεις καταδεικνύουν ότι τα σπειροειδή θα πρέπει βρίσκονται κοντά στον Γαλαξία, ώστε να επηρεάζονται από μία μυστηριώδη απωστική δύναμη που τους ασκούσε ο Γαλαξίας και στην οποία οφείλονται τόσο η αποφυγή του γαλαξιακού επιπέδου, όσο και οι μεγάλες ταχύτητες απομάκρυνσής τους. Ο Curtis από την πλευρά του είχε παρατηρήσει ότι μερικά από τα σπειροειδή αντικείμενα, και συγκεκριμένα αυτά που φαίνονται κατά την κόψη τους, παρουσίαζαν μία λεπτή σκοτεινή λωρίδα, η οποία επισκότιζε το υλικό στο μεσαίο επίπεδό τους. Με βάση αυτό υποστήριζε ορθά ότι εάν ο Γαλαξίας περιείχε μία παρόμοια σκοτεινή λωρίδα, εάν επιπλέον βρισκόμασταν κοντά στο μεσαίο επίπεδο, και εάν τέλος τα σπειροειδή βρίσκονταν εκτός του Γαλαξία τότε θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε μόνο τα σπειροειδή που βρίσκονται μακριά από το γαλαξιακό επίπεδο. Δεν είχε όμως καμία εξήγηση σχετικά με τις μεγάλες ταχύτητες απομάκρυνσης των σπειροειδών. Θεώρησε απλά ότι τέτοιες υψηλές ταχύτητες φαίνονται πιθανές για μεμονωμένους γαλαξίες. Η οριστική λύση της διαφωνίας μεταξύ των δύο επιστημόνων ήρθε το 1923, όταν ο Hubble αναγνώρισε έναν Κηφείδη στον γαλαξία της Ανδρομέδας, τον M31. Από την ήδη γνωστή σχέση περιόδου - λαμπρότητας υπολόγισε στη συνέχεια την απόσταση του M31, την οποία βρήκε περίπου ίση με 1 εκατομμύριο έτη φωτός, δηλαδή μισή από την απόσταση που είναι σήμερα αποδεκτή, αφού τότε δεν ήταν γνωστή η διαφορά μεταξύ των Κηφείδων τύπου I και αυτών τύπου II. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η τιμή αυτή ήταν πολύ μεγαλύτερη από το μέγεθος του Γαλαξία που είχε εκτιμήσει ο Shapley, οπότε τοποθέτησε οριστικά τα σπειροειδή έξω από τα όρια του Γαλαξία.

5.1.2 Η ταξινόμηση των γαλαξιών κατά Hubble

Αμέσως μετά την ανακάλυψη αυτή, ο Hubble πρότεινε έναν τρόπο μορφολογικής ταξινόμησης των **κανονικών γαλαξιών**, ο οποίος χρησιμοποιείται ακόμη, παρά την τεράστια πρόοδο που έχει σημειώσει η εξωγαλαξιακή αστρονομία. Η χρησιμοποίηση του όρου κανονικοί γαλαξίες (normal galaxies), έχει σαν σκοπό να αποκλείσει από αυτήν την ταξινόμηση, οποιοδήποτε ιδιαίτερο αντικείμενο μπορεί να παρατηρηθεί, όπως οι quasars, ή τα αντικείμενα BL Lac, τα οποία μπορεί να είναι οι πρόγονοι των σημερινών κανονικών γαλαξιών. Επίσης, η ταξινόμηση αυτή, αφορά κυρίως τους μεγάλους και λαμπρούς γαλαξίες, αφού στην εποχή του Hubble, οι νάνοι γαλαξίες ήταν πολύ δύσκολο να παρατηρηθούν και να μελετηθούν. Στην Τοπική Ομάδα για παράδειγμα, υπάρχουν αρκετοί μικροί γαλαξίες, όπως τα Νέφη του Μαγγελάνου και οι συνοδοί του γαλαξία της Ανδρομέδας (M31). Μάλιστα, κάποιοι από αυτούς, όπως ο Leo II, εκπέμπουν ελάχιστο φως, ενώ η μάζα τους είναι συγκρίσιμη με τη μάζα των μεγάλων σφαιρικών σμηνών που έχουν παρατηρηθεί, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αναγνωριστούν.

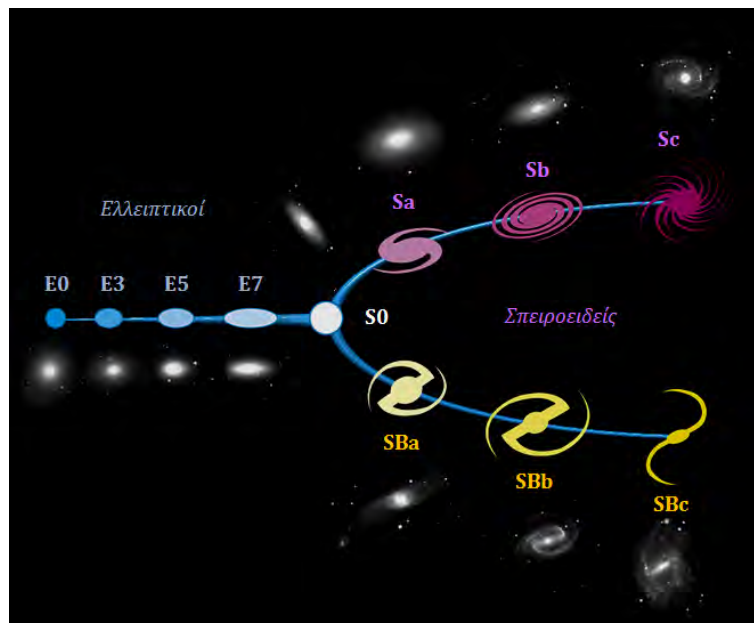
Το διάγραμμα του διαπασών (tuning fork diagram) που κατασκεύασε ο Hubble, χωρίζει τους κανονικούς γαλαξίες σε τρεις κύριες κατηγορίες

1. Τους **ελλειπτικούς** (E).
2. Τους **κανονικούς σπειροειδείς** (S)
3. Τους **ραβδωτούς σπειροειδείς** (SB).

Υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό γαλαξιών, οι οποίοι έχουν ακανόνιστο σχήμα, και τους οποίους ο Hubble ονόμασε ακανόνιστους (*Irr*).

Οι ελλειπτικοί, όπως φανερώνει το όνομά τους, έχουν ελλειπτικό σχήμα και ταξινομούνται κατά σειρά αυξανόμενης πλάτυνσης, από τους E0 έως τους E7. Ο δείκτης δίπλα από το γράμμα E φανερώνει την πλάτυνση του γαλαξία και δίνεται από τη σχέση

$$f = 10 \frac{a-b}{a}, \quad (5.1)$$



Εικόνα 5.4

Το διάγραμμα του διαπασών του Hubble (Πηγή: www.spacetelescope.org).

**Εικόνα 5.5**

Ο ιδιόμορφος ελλειπτικός γαλαξίας Centaurus A (Πηγή: apod.nasa.gov).

όπου a ο μεγάλος και b ο μικρός ημιάξονας της έλλειψης. Ο δείκτης αυτός εξαρτάται, εκτός των άλλων και από την οπτική γωνία από την οποία παρατηρούμε τον γαλαξία. Για παράδειγμα, υπάρχει το ενδεχόμενο, ένας ελλειπτικός γαλαξίας τύπου E0 που παρατηρούμε, να είναι ουσιαστικά ένα δισκοειδές αντικείμενο με μεγάλη πλάτυνση, το οποίο έχει στραμμένο προς εμάς έναν από τους πόλους του. Έτσι, προκειμένου να μελετήσουμε τη δομή και τη δυναμική των ελλειπτικών γαλαξιών, πρέπει, με τη βοήθεια των παρατηρησιακών δεδομένων που έχουμε συλλέξει, να βρούμε το ακριβές, τρισδιάστατο σχήμα τους.

Οι E7 τώρα, μοιάζουν πάρα πολύ με την πρώτη κατηγορία ταξινόμησης των σπειροειδών γαλαξιών, τους S0, οι οποίοι ονομάζονται **φακοειδείς γαλαξίες**, και οι οποίοι φαίνεται να αποτελούν μία ενδιάμεση κατηγορία ανάμεσα στους ελλειπτικούς και τους σπειροειδείς. Από εκεί και πέρα, όπως είδαμε, οι σπειροειδείς γαλαξίες ταξινομούνται σύμφωνα με το εάν έχουν κανονικούς ή ραβδωτούς πυρήνες. Επιπλέον, υπάρχουν κάποια κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία χωρίζουμε τις κατηγορίες S και SB στους τύπους a, b και c. Σύμφωνα με το πρώτο από αυτά, ταξινομούνται με σειρά αυξανόμενης περιεκτικότητας σε μεσοαστρικό αέριο, από το a έως το c. Η ίδια σειρά ταξινόμησης ακολουθείται και με βάση το αυξανόμενο μέγεθος των περιοχών HII, αλλά και της αυξανόμενης απόστασης μεταξύ των σπειρών. Αντίθετα, ταξινομούνται από το a στο c με σειρά μειούμενου μεγέθους του κεντρικού τους εξογκώματος αλλά και με σειρά ελαττούμενης συνολικής μάζας.

Στη συνέχεια, ο de Vaucouleurs επέκτεινε το διάγραμμα του Hubble, υιοθετώντας αρχικά τον πιο παράλληλο συμβολισμό SA και SB για τους τύπους S και SB του Hubble, και προσθέτοντας στη συνέχεια στους τύπους a, b, και c, τους τύπους d και m, ώστε να ταξινομήσει τις δομές οι οποίες δεν είχαν εμφανείς και καλά σχηματισμένες

**Εικόνα 5.6**

Ο ιδανικός σπειροειδής γαλαξίας NGC 628 (M74) (Πηγή: www.roe.ac.uk).

σπείρες, όπως για παράδειγμα τα Νέφη του Μαγγελάνου, που έως τότε χαρακτηρίζονταν ως ακανόνιστοι γαλαξίες. Επίσης προσέθεσε τους δείκτες r και s οι οποίοι δήλωναν την εμφανή παρουσία δακτυλιοειδών και σπειροειδών χαρακτηριστικών αντίστοιχα. Έτσι, τους γαλαξίες που ο Hubble θα κατέτασσε στην κατηγορία Sc , ο de Vaucouleurs τους κατέτασσε στην κατηγορία $SA(rs)cd$.

Μία άλλη χρήσιμη προσθήκη στο διάγραμμα του Hubble ήταν η εισαγωγή της αναμενόμενης αστρικής σύνθεσης των γαλαξιών, από τους Morgan, Mayall και Osterbrock. Ο Morgan πρότεινε ότι το αστρικό φως που προέρχεται από το κεντρικό εξόγκωμα ενός σπειροειδούς γαλαξία πρέπει να έχει μεταγενέστερο σύνθετο φασματικό τύπο απ' ότι το φως που προέρχεται από το δίσκο και τις σπείρες. Έτσι, ο Morgan ταξινόμησε τους γαλαξίες στις κατηγορίες af , f , fg , gk και k , ανάλογα με το κατά πόσο το φως από το κεντρικό εξόγκωμα υπερτερεί του φωτός από ολόκληρο τον δίσκο.

Για να κατανοήσουμε τη βάση της συσχέτισης του Morgan μεταξύ του φασματικού τύπου και του λόγου φωτεινότητας μεταξύ του εξογκώματος και του δίσκου, χρειάζεται να επικαλεστούμε την έννοια των αστρικών πληθυσμών την οποία εισήγαγε ο Walter Baade. Τη δεκαετία του 1920, ο Hubble, κατάφερε να αναλύσει τις εξωτερικές περιοχές των κοντινών σπειροειδών γαλαξιών σε αστέρες. Το αντίστοιχο επίτευγμα για τους ελλειπτικούς γαλαξίες και τα κεντρικά εξογκώματα των σπειροειδών γαλαξιών ανήκει στον Baade, ο οποίος κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου μελέτησε και ανέλυσε σε αστέρες αρκετούς ελλειπτικούς γαλαξίες καθώς και το κεντρικό εξόγκωμα του M31. Κατά την κατασκευή διαγραμμάτων H-R για τους αστέρες αυτούς, ο Baade διέκρινε την ομοιότητά τους με τα άστρα των σφαιρωτών σμηνών, παρατήρηση που οδήγησε στην έννοια των αστέρων Πληθυσμού II, που διαφέρουν από τους αστέρες Πληθυσμού I που βρίσκονται στις σπείρες των σπειροειδών γαλαξιών.

Σήμερα, ως αποτέλεσμα της ποσοτικής παρατηρησιακής εργασίας των Morgan, Spinrad και van der Bergh και άλλων, γνωρίζουμε ότι ο φασματικός τύπος και το χρώμα των γαλαξιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χαρακτηριστική ηλικία του αστρικού μίγματος και εν μέρει από την περιεκτικότητα των αστέρων σε βαρέα στοιχεία. Οι ελλειπτικοί και τα κεντρικά εξογκώματα των σπειροειδών περιέχουν αστέρες μεγάλης σχετικά ηλικίας, της τάξης των 10^{10} ετών. Οι δίσκοι των σπειροειδών περιέχουν ένα μείγμα ηλικιωμένων και νεαρών αστέρων, με τους νεότερους αστέρες να είναι συγκεντρωμένοι στις σπείρες του των γαλαξιών. Μερικοί ακανόνιστοι γαλαξίες είναι ασυνήθιστα κυανοί, με το γαλαξιακό φως να κυριαρχείται από αυτό των νεαρών αστέρων μεγάλης μάζας. Σε κανέναν όμως γαλαξία δεν παρατηρείται σαφής έλλειψη ηλικιωμένων αστέρων, με αποτέλεσμα να έχει δημιουργηθεί η πεποίθηση ότι όλοι οι γαλαξίες έχουν ηλικία περίπου ίση με 10^{10} έτη, αν και σε μερικούς ο σχηματισμός αστέρων γίνεται με πιο εντατικό ρυθμό.

Με βάση την φωτεινότητα και το χρώμα των γαλαξιών, ο van den Bergh, βελτίωσε ακόμα περισσότερο την ταξινόμηση κατά Hubble, εισάγοντας την έννοια των κατηγοριών λαμπρότητας. Το σχήμα του van den Bergh συνίσταται στο να προσαρτηθεί στον τύπο του Hubble έναν δείκτη της κατηγορίας λαμπρότητας, ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ των λατινικών αριθμών I και V. Όπως ακριβώς και στους αστέρες, η κατηγορία λαμπρότητας I αντιστοιχεί στους ενδογενώς λαμπρότερους σπειροειδείς γαλαξίες, ενώ η κατηγορία λαμπρότητας V στους ενδογενώς αμυδρότερους. Επειδή όμως το συνολικό φως που εκπέμπεται στην οπτική περιοχή του φάσματος από έναν γαλαξία είναι ανάλογο της συνολικής μάζας των ορατών αστέρων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι γαλαξίες κατηγορίας λαμπρότητας I είναι και αυτοί που έχουν τη μεγαλύτερη μάζα.

Οι κατηγορίες λαμπρότητας κατά van den Bergh είναι ιδιαίτερα χρήσιμες γιατί σχετίζονται στενά με την κανονικότητα της σπειροειδούς δομής. Οι πιο λαμπροί τείνουν να έχουν την πιο κανονική σπειροειδή δομή. Έτσι, έναν γαλαξίας Sc I είναι ένας πολύ λαμπρός συνήθης σπειροειδής γαλαξίας με μικρό κεντρικό εξογκώμα και με ευδιάκριτους, χαλαρά συνδεδεμένους σπειροειδείς βραχίονες. Ένας τέτοιος γαλαξίας τείνει επιπλέον να περιέχει μεγάλη ποσότητα μεσοαστρικού αερίου, και επομένως πολύ μεγάλες περισχές HII.

5.2 Οι ενεργοί γαλαξίες

Η μεγάλη πλειοψηφία των παρατηρούμενων γαλαξιών, δεν παρουσιάζει καμία δραστηριότητα εκτός από την αναμενόμενη ενός συνόλου άστρων και αερίου. Υπάρχει όμως και ένα μικρό ποσοστό γαλαξιών, στους οποίους παρατηρείται μία βίαιη δραστηριότητα, η οποία ενδεχομένως οφείλεται σε γεγονότα υψηλής ενέργειας στον πυρήνα των γαλαξιών.

5.2.1 Γαλαξίες Seyfert

Οι πρώτες ανωμαλίες ανακαλύφθηκαν σε μία κατηγορία γαλαξιών με πολύ λαμπρά κέντρα, οι οποίοι μελετήθηκαν από τον Carl Seyfert. Λεπτομερής φωτογραφική μελέτη των γαλαξιών αυτών δείχνει ότι τα εξωτερικά μέρη των γαλαξιών Seyfert είναι πανομοιότυπα με αυτά ενός συνήθους σπειροειδούς γαλαξία, ενώ ο πυρήνας τους είναι τόσο λαμπρός, ώστε επισκιάζει όλο τον υπόλοιπο γαλαξία. Επιπλέον, η ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται από ένα γαλαξία Seyfert μπορεί να μεταβάλλεται κατά έναν παράγοντα μεγαλύτερο του 2 σε χρονικό διάστημα μικρότερο του ενός έτους. Δεδομένου ότι για να παρουσιάζει ένα αντικείμενο σύμφωνες μεταβολές σε χρονική κλίμακα t , πρέπει να είναι μικρότερο από την απόσταση ct που μπορεί να διανύσει το φως σε χρόνο t , οπότε το μέγεθος της φωτεινής περιοχής των γαλαξιών Seyfert δεν πρέπει να ξεπερνάει το ένα έτος φωτός.

Επιπλέον, το φως που εκπέμπεται από τον πυρήνα ενός γαλαξία Seyfert είναι αρκετά διαφορετικό από το φως που εκπέμπεται από έναν τυπικό γαλαξία. Πιο συγκεκριμένα, ενώ το φως που εκπέμπεται από έναν συνήθη γαλαξία στην οπτική περιοχή του φάσματος αποτελείται από ένα θερμικό συνεχές με γραμμές απορρόφησης, το φάσμα των γαλαξιών Seyfert παρουσιάζει ισχυρές γραμμές εκπομπής, όμοιες με αυτές των

**Εικόνα 5.7**

Ο ραβδωτός σπειροειδής γαλαξίας Seyfert 1 NGC7469 (Πηγή: www.astronomy.com.cn).

περιοχών ΗII και των πλανητικών νεφελωμάτων, και ένα μη θερμικό συνεχές. Κατά συνέπεια, η πηγή ενέργειας των γαλαξιών Seyfert δεν μπορεί να είναι η θερμοπυρηνική ισχύς των συνηθισμένων άστρων. Η υποψία αυτή ενισχύεται από την παρατήρηση ότι οι γαλαξίες Seyfert εκπέμπουν εξίσου ισχυρά στις ραδιοσυχνότητες, στο υπέρυθρο και στην περιοχή των ακτίνων X.

Στις μέρες μας, η επικρατέστερη θεωρία σχετικά με την εκπομπή των γαλαξιών Seyfert στο υπέρυθρο, είναι αποτέλεσμα της θέρμανσης κόκκων σκόνης από φωτόνια υψηλότερης ενέργειας. Η υπόθεση αυτή, ότι δηλαδή οι πυρήνες των γαλαξιών Seyfert περιέχουν μεγάλες ποσότητες σκόνης και αερίου, επιβεβαιώθηκε από τους Walker, Kraft και Osterbrock οι οποίοι παρατήρησαν ότι από τους πυρήνες των γαλαξιών Seyfert εκτινάζονται πολλές δεκάδες ηλιακές μάζες αερίου ανά έτος, με ταχύτητες αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Η παρουσία αυτού του αερίου και της σκόνης ίσως να εμποδίζει σε μεγάλο βαθμό την παρατήρηση του ίδιου του πυρήνα με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το πραγματικό μέγεθος της κεντρικής μονάδας παραγωγής ενέργειας των γαλαξιών Seyfert, το οποίο ενδεχομένως να είναι αρκετά μικρότερο από ένα έτος φωτός.

5.2.2 Αντικείμενα BL Lac

Εκτός των σπειροειδών, έχουν παρατηρηθεί και ελλειπτικοί γαλαξίες με λαμπρούς πυρήνες, οι οποίοι ονομάζονται γαλαξίες N. Ένα ίσως ακραίο παράδειγμα τέτοιων ελλειπτικών γαλαξιών, πιθανόν να είναι τα αντικείμενα BL Lacertae. Το πρότυπο, το BL Lac, σε βραχεία φωτογραφική έκθεση παρουσιάζει αστρική εικόνα. Το 1929, ο Cuno Hoffmeis-

**Εικόνα 5.8**

Ο σπειροειδής γαλαξίας Seyfert 2 NGC7742 όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (Πηγή: *apod.nasa.gov*).

ter διαπίστωσε ότι το φως του BL Lac παρουσιάζει μία μεταβολή κατά έναν παράγοντα 2 σε διάστημα μίας εβδομάδας και κατά έναν παράγοντα 15 σε διάστημα μερικών μηνών. Η παρατήρηση αυτή οδήγησε αρχικά τους αστρονόμους στην πεποίθηση ότι επρόκειτο για ένα παράξενο είδος μεταβλητού αστέρα. Η θεωρία αυτή καταρρίφθηκε όταν οι MacLeod και Andrew ανακάλυψαν τυχαία ότι το αντικείμενο BL Lac είναι μία έντονη και πολωμένη ραδιοπηγή η οποία βρίσκεται έξω από το Γαλαξία μας.

Μεταγενέστερες φωτογραφίες μεγάλης έκθεσης έδειξαν ότι το BL Lac ήταν *νεφελώδες* αντικείμενο, όχι τόσο εκτεταμένο όσο οι γαλαξίες συγκρίσιμης φωτεινότητας, αλλά σαφώς πιο εκτεταμένο από ένα άστρο. Τα οπτικά φάσματα του BL Lac δεν έδειχναν ούτε γραμμές απορρόφησης, αλλά ούτε και γραμμές εκπομπής. Το ηλεκτρομαγνητικό του φάσμα έμοιαζε να είναι ένα συνεχές χωρίς κανένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό. Επομένως το αντικείμενο BL Lac δεν μπορούσε να ταξινομηθεί ούτε ως αστέρας, ούτε ως ενεργός γαλαξίας, όπως οι γαλαξίες Seyfert ή N.

Η αβεβαιότητα που επικρατούσε σχετικά με τη φύση του αντικειμένου αυτού άρχισε να αίρεται σταδιακά μετά τα τέλη της δεκαετίας του 1970, οπότε μία ομάδα αστρονόμων με επικεφαλής τον Miller, συνεχίζοντας κάποια προγενέστερη εργασία των Gunn και Oke, κατάφερε να πάρει ένα φάσμα της αμυδρής περιοχής του BL Lac, αποκόπτοντας το φως του πυρήνα. Το φάσμα αυτό βρέθηκε σχεδόν όμοιο με αυτό του γαλαξία M32, ενός μικρού ελλειπτικού κοντά στον M31. Οι μικρές διαφορές που υπήρχαν θα μπορούσαν να εξηγηθούν αν η αμυδρή περιοχή γύρω από τη λαμπρή κεντρική περιοχή του BL Lac αντιπροσώπευε έναν γίγαντα ελλειπτικό γαλαξία σε απόσταση ενός περίπου δισεκατομμυρίου ετών φωτός. Με βάση την ερμηνεία αυτή, το ουσιαστικά αδιάφορο συνεχές φάσμα του BL Lac, προέρχεται από έναν πυρήνα εξαιρετικά μεγάλης

φωτεινότητας.

Σήμερα είναι γνωστό ότι το οπτικό φως από τα αντικείμενα BL Lac είναι έντονα μεταβαλλόμενο και έντονα πολωμένο. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του Angel και άλλων, η πόλωση μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά σε ένταση και κατεύθυνση κατά τη διάρκεια μίας και μόνο νύχτας. Έτσι το μέγεθος της κεντρικής μονάδας παραγωγής ενέργειας των αντικειμένων BL Lac πρέπει να είναι μικρότερο από μία ημέρα φωτός. Το γεγονός ότι μπορούμε να δούμε πολύ πιο βαθιά στην καρδιά ενός αντικειμένου BL Lac απ' ό,τι σε έναν γαλαξία Seyfert δείχνει ότι το πρώτο περιβάλλεται από πολύ μικρότερη ποσότητα αερίου και σκόνης, συμπέρασμα που είναι απολύτως συμβατό με τη θεώρηση ότι τα αντικείμενα BL Lac είναι ελλειπτικοί γαλαξίες ενώ οι Seyfert είναι σπειροειδείς.

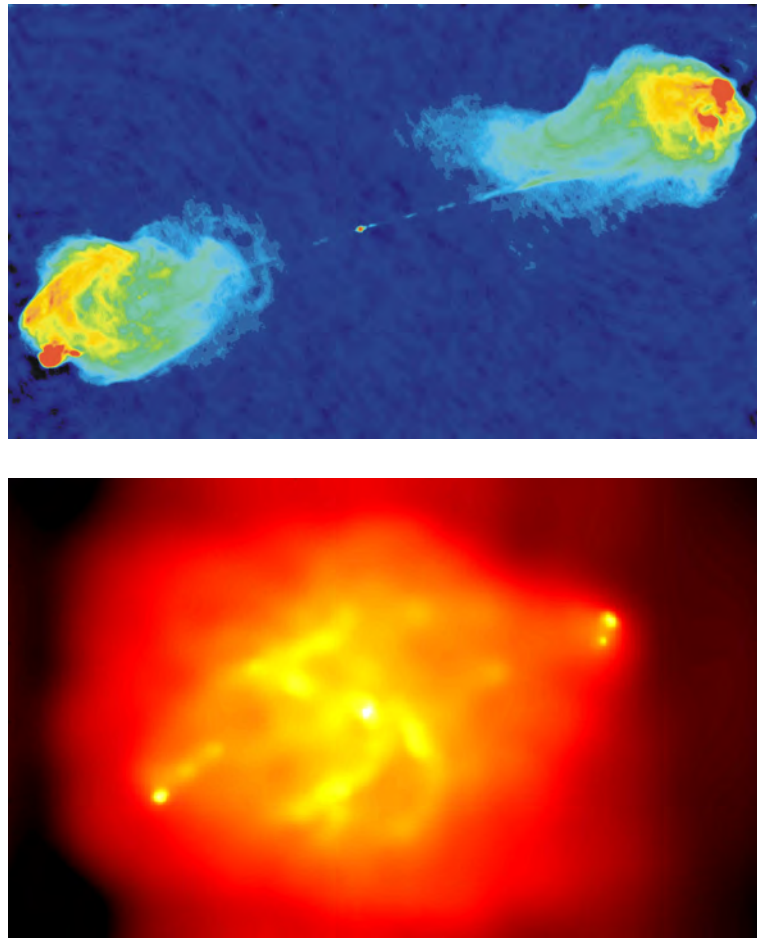
5.2.3 Ραδιογαλαξίες

Μετά την ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου και την εξέλιξη τις ραδιοαστρονομίας, παρατηρήθηκε ότι πολλοί από τους ενεργούς γαλαξίες εκπέμπουν ισχυρά στο ραδιοφωνικό μέρος του φάσματος. Οι πρώτοι που ανακάλυψαν μία ισχυρή εξωγαλαξιακή ραδιοπηγή ήταν οι Hey, Parsons και Phillips. Πιο συγκεκριμένα, ανίχνευσαν στην κατεύθυνση του αστερισμού του Κύκνου μία ισχυρή διακριτή ραδιοπηγή, την οποία ονόμασαν Cygnus A. Λόγω της μικρής διακριτικής ικανότητας του ραδιοτηλεσκοπίου τους, ο Hey και οι συνεργάτες του δεν μπορούσαν να εντοπίσουν την ακριβή θέση του Cygnus A ώστε να γίνει δυνατή η οπτική του αναγνώριση. Αργότερα οι Walter Baade και Rudolf Minkowski μπόρεσαν να προσδιορίσουν το ακριβές σχήμα και την απόσταση του Cygnus A. Στη συνέχεια κατάφεραν να μετρήσουν τη ραδιολαμπρότητά του, η οποία βρέθηκε περίπου ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από αυτή των συνήθων γαλαξιών.

Στο μεταξύ, ο Ryle και οι συνεργάτες του ανακάλυψαν και άλλες διακριτές ραδιοπηγές, οι οποίες όμως ήταν σαφώς ασθενέστερες από τον Cygnus A. Κάποιες από αυτές, κυρίως οι ασθενείς, βρέθηκε ότι συμπίπτουν με γαλαξίες που περιέχουν ενεργούς πυρήνες, όπως οι Seyfert, η ραδιοδομή των οποίων είναι ουσιαστικά σημειακή. Αντίθετα, μερικές από τις πιο ισχυρές εξωγαλαξιακές ραδιοπηγές βρέθηκε ότι έχουν αρκετά εκτεταμένη ραδιοδομή, παρόμοια με αυτή του Cygnus A. Η δομή αυτή αποτελείται από δύο ραδιολοβούς οι οποίοι βρίσκονται σε δύο αντιδιαμετρικές πλευρές ενός κεντρικού γαλαξία και σε αποστάσεις της τάξης των εκατομμυρίων ετών φωτός. Το μέγεθος των περιοχών αυτών κυμαίνεται από το ένα πέμπτο έως το ένα τρίτο περίπου της μεταξύ τους απόστασης. Ο κεντρικός γαλαξίας είναι είτε ένας γίγαντας είτε συνηθέστερα ένας υπεργίγαντας ελλειπτικός.

Οι ραδιοπηγές αυτής της μορφής είναι οι ισχυρότερες ραδιοπηγές του σύμπαντος. Ο μηχανισμός ραδιοεκπομπής στους λοβούς παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας σύγχροτου. Η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται να είναι κατανεμημένη σε σωμάτια κοσμικών ακτίνων και σε μαγνητικά πεδία για να παραχθεί δεδομένη ποσότητα ακτινοβολίας σύγχροτου εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου B . Όσο μεγαλύτερο είναι το B , τόσο περισσότερη είναι η απαιτούμενη μαγνητική ενέργεια, αλλά και τόσο μικρότερη η απαιτούμενη ενέργεια των κοσμικών ακτίνων. Σύμφωνα με τους προσεγγιστικούς υπολογισμούς του Geoffrey Burbidge, η ολική ενέργεια στους λοβούς των ραδιογαλαξιών είναι της τάξης των 10^{61} erg, η οποία αντιστοιχεί στην ενέργεια που απελευθερώνεται από 10 δισεκατομμύρια εκρήξεις supernovae, γεγονός που αποκλείει ουσιαστικά η ενέργεια αυτή να προέρχεται από τέτοιου είδους εκρήξεις.

Με τη βοήθεια της συμβολομετρίας πολύ μεγάλης βάσης (Very Long Baseline Interferometry, VLBI) παρατηρήθηκε ένα είδος ασυνήθιστης δραστηριότητας στον πυρήνα του κεντρικού γαλαξία, όταν υπάρχει μία κεντρική ραδιοπηγή ανάμεσα στους δύο ραδιολοβούς. Κάποιες από αυτές τις κεντρικές ραδιοπηγές μεταβάλλονται σε διάστημα περίπου ενός έτους. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι η κεντρική ραδιοπηγή αρκετών τέτοιων συστημάτων αποτελείται από μία σειρά κηλίδων διατεταγμένων κατά μήκος του άξονα που ενώνει τους δύο ραδιολοβούς. Σύμφωνα με το μοντέλο που πρότειναν οι Blandford, Rees και Scheuer, προβλέπεται η εκτίναξη σωματιδίων υψηλής ενέργειας και μαγνητικών πεδίων κατά μήκος δύο δεσμών, άλλοτε με σχετικιστικές και άλλοτε με μη σχετικιστικές ταχύτητες, κάθε μία εκ των οποίων κατευθύνεται προς

**Εικόνα 5.9**

Η εκτεταμένη ραδιοπηγή Cygnus A στο ραδιοφωνικό μέρος του φάσματος (πάνω) και στις ακτίνες X (κάτω) (Πηγή: *apod.nasa.gov*).

έναν από τους λοβούς. Οι δέσμες αυτές παρέχουν την ενέργεια που παρατηρείται στους λοβούς και στους πίδακες της ραδιοπηγής.

Οι τεχνικές VLBI έχουν χρησιμοποιηθεί και στη μελέτη συμπαγών ραδιοπηγών που δεν παρουσιάζουν λοβούς. Ορισμένα από τα αντικείμενα αυτά, έχουν επίσης επιμήκης δομές, που συνίστανται από δύο ή περισσότερες ελαφρά διαχωρισμένες συνιστώσες, οι οποίες αποχωρίζονται πραγματικά σε διάστημα λίγων ετών. Σε αρκετές περιπτώσεις, ο Irwin Shapiro και οι συνεργάτες του κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η φαινόμενη ταχύτητα διαχωρισμού στην εγκάρσια διεύθυνση είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός. Η αποκαλούμενη υπέρφωτη διαστολή δεν μπορεί να αντιπροσωπεύει πραγματική ταχύτητα ύλης. Η επικρατέστερη θεωρία για την εξήγηση αυτού του φαινομένου βασίζεται στην πρόταση των Blandford και Ree, ότι σε μερικούς ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες οι κηλίδες πλάσματος ενδεχομένως να εκτινάσσονται με σχετικιστικές ταχύτητες σε δύο αντίθετα κατευθυνόμενα δέσμες. Επομένως, εάν ο παρατηρητής βρίσκεται κοντά στη διεύθυνση του άξονα των δύο δεσμών, θα παρατηρήσει διαχωρισμό με ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός.

Καμία από τις υπάρχουσες θεωρίες δε εξηγεί γιατί η εκτίναξη γίνεται κάποιες φορές με σχετικιστικές ταχύτητες και κάποιες με μη σχετικιστικές. Η παραπάνω θεωρία των

Blandford και Ree προσφέρει το πλεονέκτημα ότι ο ίδιος τύπος πηγής μπορεί να φαίνεται διαφορετικός λόγω της γεωμετρίας της παρατήρησης.

5.2.4 Quasars

Το 1963 οι ραδιοαστρονόμοι παρατηρούσαν τη Σελήνη καθώς περνούσε μπροστά από την λαμπρή ραδιοπηγή 3C273, η οποία φαινόταν σαν ένα αμυδρό μπλε σώμα που έμοιαζε με αστέρα, αλλά είχε αρκετά περίεργο φάσμα. Λόγω της μικρής διακριτικής ικανότητας των ραδιοτηλεσκοπίων της εποχής, δεν ήταν εφικτός ο ακριβής προσδιορισμός του αντικειμένου. Όταν το χείλος της Σελήνης σκέπασε τα ραδιοκύματα από τον 3C273, αποκαλύφθηκε η ακριβής θέση της ραδιοπηγής και φάνηκε ότι ήταν πράγματι ο *αστέρας* που είχαν υποψιαστεί.

Η έκλειψη αυτή, έδειξε επίσης ότι ο 3C273 δεν ήταν μία απλή ραδιοπηγή, αλλά περιελάμβανε δύο τμήματα. Αργότερα, λεπτομερείς μελέτες έδειξαν ότι αν και το ένα κομμάτι ήταν σίγουρα μία συμπαγής πηγή, το άλλο έμοιαζε με έναν αμυδρό πίδακα. Το οπτικό φάσμα αυτού του αντικειμένου ήταν αρκετά περίπλοκο γιατί δεν εμφάνιζε καθόλου ίχνη υδρογόνου, που είναι το κύριο συστατικό των αστέρων. Αυτό τουλάχιστον πίστευαν μέχρι τα τέλη του 1963, οπότε παρατηρήθηκε ότι οι γραμμές υδρογόνου υπήρχαν, αλλά είχαν μετατοπιστεί στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος. Επιπλέον, οι γραμμές που κανονικά θα έπρεπε να βρίσκονται στο υπεριώδες είχαν μετατοπιστεί στο ορατό μέρος του φάσματος. Με άλλα λόγια, το αντικείμενο αυτό παρουσίαζε μία εξαιρετικά μεγάλη μετατόπιση στο ερυθρό, πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που θα περιμέναμε αν ήταν αστέρας. Πιο συγκεκριμένα, όπως διαπίστωσε ο Schmidt, το παρατηρούμενο φάσμα του 3C273 μπορούσε να εξηγηθεί μόνο αν δεχόταν μία ερυθρά μετατόπιση $z = 0,158$.

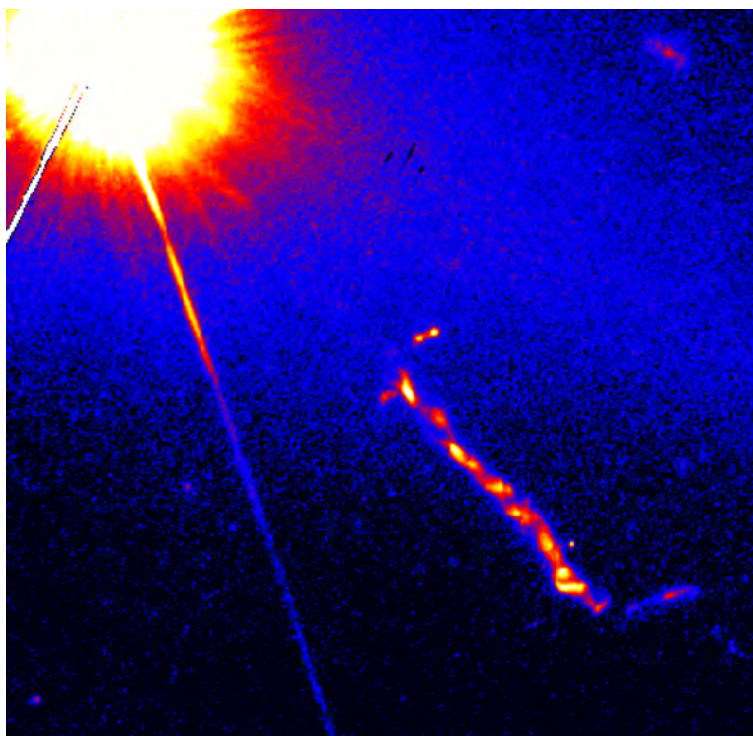
Ότι παρατηρήθηκε για το αντικείμενο 3C273, αποδείχθηκε ότι ισχύει και για το αντικείμενο 3C48, το οποίο ανακαλύφθηκε το 1960 και χαρακτηριζόταν ως μπλε αστέρας. Λόγω της ομοιότητας που παρουσίαζαν τα αντικείμενα αυτά με τους αστέρες, χαρακτηρίστηκαν από τον H. Y. Chiu ως **ημιαστρικές ραδιοπηγές** (quasi-stellar radio sources) ή **quasars**. Αργότερα ανακαλύφθηκαν κι άλλα τέτοια αντικείμενα, τα οποία παρουσίαζαν μεγάλη μετατόπιση στο ερυθρό, αν και τα περισσότερα δεν είχαν το μέγιστο της εκπομπής τους στα ραδιοφωνικά μήκη κύματος. Παρατηρήθηκε ότι για κάθε quasar υπήρχαν περίπου 20 τέτοια αντικείμενα στα οποία δόθηκε το όνομα **ημιαστρικά σώματα** (quasi-stellar objects) ή **QSO**.

Τι ήταν όμως τα quasars και τα QSO; Με τη χρήση ραδιοσυμβολομέτρων μεγαλύτερης γραμμής βάσης, έγινε δυνατή η ανάλυση των ραδιοεικόνων μερικών quasars. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εικόνες αυτές εμφανίζουν την κλασική δίλοβη δομή των κλασικών ραδιογαλαξιών. Η κύρια φαινομενική διαφορά ανάμεσα στους quasars και τους ραδιογαλαξίες είναι ότι η κεντρική εικόνα των quasars δεν είναι σαφές ότι ανήκει σε γαλαξία. Η ομοιότητα των quasars με τους ραδιογαλαξίες και των QSO με τους πυρήνες γαλαξιών Seyfert είναι τόσο έντονη που οδήγησε τους αστρονόμους στο συμπέρασμα ότι τα quasars και τα QSO οφείλουν την ύπαρξή τους στην έντονη δραστηριότητα γαλαξιακών πυρήνων.

Επιπλέον, η συνεχής ανακάλυψη νέων quasars με ολοένα και μεγαλύτερη ερυθρά μετατόπιση η οποία φτάνει μέχρι την τιμή $z = 6$, σημαίνει ότι εάν αυτή οφείλεται αποκλειστικά στο φαινόμενο Doppler¹, τότε πρέπει η ταχύτητα απομάκρυνσης των quasars να αγγίζει την τιμή $0.95c$, η οποία είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που έχει έως τώρα βρεθεί για μακροσκοπικό αντικείμενο. Με βάση αυτή την ερμηνεία, οι quasars θα πρέπει να βρίσκονται σε αποστάσεις 10^9 έως 10^{10} ετών φωτός από εμάς, 5.000 φορές πιο μακριά από τον γαλαξία της Ανδρομέδας. Κατά συνέπεια, αφού ακόμα και στις τεράστιες αυτές αποστάσεις οι quasars και τα QSO εμφανίζονται από άποψη φωτεινότητας ως αμυδροί αστέρες, πρέπει να έχουν τεράστια ενδογενή φωτεινότητα, της τάξης των 10^{46} erg/s.

¹Η σχέση που συνδέει την ταχύτητα απομάκρυνσης ενός αντικειμένου με την ερυθρή μετατόπιση που αυτό παρουσιάζει είναι

$$z = \sqrt{\frac{1 + u/c}{1 - u/c}} - 1$$

**Εικόνα 5.10**

Οπτική εικόνα του Quasar 3C273 (Πηγή: chandra.harvard.edu).

Αυτή αντιστοιχεί σε μία παραγωγή ενέργειας ένα τρισεκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την παραγωγή του Ήλιου. Πρόσφατες παρατηρήσεις που έγιναν στο αστεροσκοπείο Einstein από την ομάδα του Giacconi δείχνουν ότι η λαμπρότητα των quasars στην περιοχή των ακτίνων X είναι ακόμα μεγαλύτερη αγγίζοντας τα 10^{47} erg/s και παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις μέσα σε τρεις μόνο ώρες. Κατά συνέπεια το μέγεθος της κεντρικής μηχανής παραγωγής ενέργειας πρέπει να έχει μέγεθος μικρότερο από τρεις ώρες φωτός. Έτσι, το τελικό συμπέρασμα στο οποίο έχουν καταλήξει οι επιστήμονες, είναι ότι οι κεντρικές μηχανές παραγωγής ενέργειας των quasars είναι αντικείμενα με το μέγεθος του ηλιακού μας συστήματος και τα οποία παράγουν ενέργεια με ρυθμό μεγαλύτερο από δέκα τρισεκατομμύρια Ήλιοι μαζί.

Μία άλλη άποψη που είχε διατυπωθεί, ήταν ότι οι quasars είναι σχετικά κοντινά αντικείμενα, που τυχαίνει να έχουν πολύ μεγάλες ταχύτητες απομάκρυνσης. Αυτή η ερμηνεία απαιτεί να δεχθούμε ότι οι quasars βρίσκονται σε αποστάσεις τουλάχιστον ενός εκατομμυρίου ετών φωτός. Η θεωρία αυτή της τοποθέτησης των quasars σε αποστάσεις συγκρίσιμες με αυτές των πλησιέστερων γαλαξιών αντιμετωπίζει όμως διάφορα προβλήματα. Καταρχήν, αδυνατεί να δώσει απάντηση στο γιατί δεν έχει βρεθεί ποτέ κανένας quasar με κυανή μετατόπιση. Ο Terrell είχε προτείνει ότι ίσως οι quasars να σχηματίστηκαν εξαιτίας μίας τρομακτικής έκρηξης στον πυρήνα του δικού μας γαλαξία, και αυτός είναι ο λόγος που τους βλέπουμε όλους να απομακρύνονται από εμάς. Όμως, για να αποφύγουμε εντελώς το πρόβλημα των κυανών μετατοπίσεων θα πρέπει επιπλέον να υποθέσουμε ότι δεν συνέβη σε κανέναν άλλο γαλαξία παρόμοια έκρηξη, κάτι που θα μας τοποθετούσε σε μία πολύ ιδιαίτερη θέση στο σύμπαν.

5.2.5 Γιγάντιες μελανές οπές

Μετά την ανακάλυψη των ενεργών γαλαξιών, το κυριότερο ερώτημα που απασχόλησε τους επιστήμονες, σχετιζόταν με την προέλευση των τεραστίων ποσοτήτων ενέργειας που εκπέμπονται από τους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (active galactic nuclei, AGN). Η πλέον αποδεκτή θεωρία σχετικά με την προέλευση αυτής της ενέργειας, είναι ότι η κεντρική μηχανή παραγωγής της ενέργειας αποτελείται από μία γιγάντια μελανή οπή η οποία περιβάλλεται από έναν θερμό δίσκο προσαύξησης. Καθώς το υλικό του δίσκου προσαύξησης πέφτει προς τη μελανή οπή εξαιτίας της ισχυρής βαρυτικής έλξης που αυτή ασκεί, θερμαίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ελευθερώνοντας τα μεγάλα ποσά ενέργειας που παρατηρούμε.

Μπορούμε να μελετήσουμε τις κεντρικές μηχανές παραγωγής ενέργειας στηριζόμενοι σε απλές αρχές της φυσικής και θεωρώντας απλά ότι αυτές είναι ισοτροπικές και σταθερές. Για λόγους απλότητας θεωρούμε ένα πλήρως ιονισμένο αέριο υδρογόνου το οποίο εξασφαλίζει την ισοτροπία της μηχανής, ενώ η σταθερότητά της επιτυγχάνεται με τη θεώρηση ότι η πίεση της ακτινοβολίας αντισταθμίζεται από τη δύναμη της βαρύτητας. Η ροή της ενέργειας που εξέρχεται από την πηγή σε απόσταση r από αυτήν είναι

$$F = \frac{L}{4\pi r^2}, \quad (5.2)$$

όπου L η φωτεινότητα της πηγής σε erg/s . Κατά συνέπεια, η πίεση της ακτινοβολίας είναι

$$P_r = \frac{F}{c} = \frac{L}{4\pi r^2 c} \quad (5.3)$$

και η δύναμη που ασκεί η ακτινοβολία σε ένα ηλεκτρόνιο είναι

$$F_r = \sigma_e \frac{L}{4\pi r^2 c}, \quad (5.4)$$

όπου σ_e η ενεργός διατομή Thomson για τη σκέδαση του ηλεκτρονίου.

Η βαρυτική δύναμη που ασκείται από την κεντρική πηγή μάζας M σε ένα ζεύγος πρωτονίου - ηλεκτρονίου με μάζες m_p και m_e αντίστοιχα είναι

$$F_g = G \frac{M(m_p + m_e)}{r^2} \approx G \frac{Mm_p}{r^2}, \quad (5.5)$$

αφού η μάζα του πρωτονίου είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Προκειμένου να διατηρηθεί η πηγή ανέπαφη και να μην διαλυθεί από την πίεση της ακτινοβολίας, θα πρέπει να ισχύει η ανισότητα

$$F_r \leq F_g, \quad (5.6)$$

η οποία με τη βοήθεια των (5.4) και (5.5) δίνει

$$L \leq 4\pi Gc \frac{Mm_p}{\sigma_e} \approx 1,26 \times 10^{38} \frac{M}{M_\odot} erg/s. \quad (5.7)$$

Η τελευταία εξίσωση δίνει το **όριο του Eddington** και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ελάχιστης μάζας ενός αντικειμένου φωτεινότητας L , η οποία είναι

$$M_E = 8 \times 10^5 L_{44} M_\odot, \quad (5.8)$$

και καλείται **μάζα του Eddington**. Η ποσότητα L_{44} είναι η φωτεινότητα της κεντρικής μηχανής σε μονάδες $10^{44} erg/s$, ποσότητα ενέργειας χαρακτηριστικής για έναν γαλαξία Seyfert. Έτσι, για έναν τυπικό quasar φωτεινότητας της τάξης των $10^{46} erg/s$, η κεντρική πηγή πρέπει να έχει μάζα της τάξης των $10^8 M_\odot$.

Ισοδύναμα, μπορούμε να ορίσουμε μία ακόμα ποσότητα, την **φωτεινότητα του Eddington**, η οποία είναι

$$L = 4\pi Gc \frac{Mm_p}{\sigma_e}, \quad (5.9)$$

και η οποία ορίζεται ως η μέγιστη φωτεινότητα μίας πηγής μάζας M .

Όπως και στους αστέρες, έτσι και στους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες, η κυρίαρχη διαδικασία είναι η μετατροπή της μάζας σε ενέργεια. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα με μία απόδοση $\eta < 1$, το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι η ενέργεια που παράγεται από μία μάζα M είναι

$$E = \eta M c^2. \quad (5.10)$$

Ο ρυθμός εκπομπής ενέργειας από τον πυρήνα ισούται με τη φωτεινότητά του και δίνεται από τη σχέση

$$L = \frac{dE}{dt} = \eta \frac{dM}{dt} c^2, \quad (5.11)$$

όπου ο παράγοντας dM/dt ισοδυναμεί με τον ρυθμό προσαύξησης της μάζας της πηγής. Κατά συνέπεια, για να καταστεί ένας γαλαξιακός πυρήνας ενεργός, πρέπει ο ρυθμός προσαύξησης της μάζας του να δίνεται από την έκφραση

$$\frac{dM}{dt} = \frac{L}{\eta c^2} \approx 1,8 \times 10^{-3} \left(\frac{L_{44}}{\eta} \right) M_{\odot}/yr. \quad (5.12)$$

Το κατά πόσο η παραγωγή ενέργειας από την προσαύξηση της μάζας θα υπερσχύει των άλλων μηχανισμών παραγωγής ενέργειας εξαρτάται από το πόσο μεγάλος είναι ο συντελεστής απόδοσης η .

Η δυναμική ενέργεια μίας μάζας m σε απόσταση r από μία κεντρική πηγή μάζας M είναι

$$U = G \frac{Mm}{r}. \quad (5.13)$$

Ο ρυθμός με τον οποίο η δυναμική ενέργεια της μάζας m που αποτελεί τον δίσκο προσαύξησης μετατρέπεται σε ακτινοβολία δίνεται από τη σχέση

$$L \approx \frac{dU}{dt} = G \frac{M}{r} \frac{dm}{dt}. \quad (5.14)$$

Όμως, ο ρυθμός απώλειας της μάζας m ισούται με το ρυθμό προσαύξησης της μάζας της πηγής, οπότε

$$L \approx G \frac{M}{r} \frac{dM}{dt}. \quad (5.15)$$

Από τις εξισώσεις (5.11) και (5.15) προκύπτει ότι

$$\eta \propto \frac{M}{r}, \quad (5.16)$$

το οποίο είναι ένα μέτρο της **συμπαγότητας** (compactness) του συστήματος. Η συμπαγότητα είναι μέγιστη στην περίπτωση μίας μελανής οπής, της οποίας οι διαστάσεις δίνονται από την ακτίνα του Schwarzschild R_S , η οποία δίνει την ακτίνα του ορίζοντα γεγονότων μίας μελανής οπής και δίνεται από τη σχέση

$$R_S = \frac{2GM}{c^2} \approx 3 \times 10^3 M_8 \text{ cm}, \quad (5.17)$$

όπου M_8 είναι η μάζα της μελανής οπής σε μονάδες $10^8 M_{\odot}$. Εάν αγνοήσουμε οποιαδήποτε σχετικιστικά φαινόμενα, βρίσκουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης η παίρνει τιμή κοντά στο 0,1, 14 περίπου φορές μεγαλύτερος από τον συντελεστή απόδοσης της σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο. Για $\eta = 0,1$, η εξίσωση (5.12) δείχνει ότι ο ρυθμός προσαύξησης της μάζας για ένα αντικείμενο QSO είναι περίπου ίσος με $2 M_{\odot}$ ανά έτος. Η ακριβής τιμή του συντελεστή απόδοσης εμπεριέχει μεγάλη αβεβαιότητα και εξαρτάται από τις λεπτομέρειες της διαδικασίας της προσαύξησης. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με τις πρόσφατες παρατηρήσεις, η τιμή $\eta = 0,1$ είναι της σωστής τάξης μεγέθους.

Ορίζουμε τώρα τον ρυθμό προσαύξησης του Eddington dM_E/dt , ο οποίος ισούται με τον απαιτούμενο ρυθμό προσαύξησης της μάζας ώστε να επιτευχθεί μία φωτεινότητα L_E . Η έκφραση του ρυθμού αυτού είναι

$$\frac{dM_E}{dt} = \frac{L_E}{\eta c^2} \approx 2,28 M_8 M_{\odot}/yr. \quad (5.18)$$

Στην περίπτωση που η διαδικασία της προσαύξησης συμβαίνει σφαιρικά, ο ρυθμός του Eddington εκφράζει τον μέγιστο δυνατό ρυθμό προσαύξησης. Εάν όμως δεν υπάρχει σφαιρική συμμετρία, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση όπου η ύλη συγκεντρώνεται σε έναν δίσκο γύρω από την κεντρική πηγή, ο ρυθμός προσαύξησης του Eddington μπορεί να προκύψει πολύ μεγαλύτερος, ενώ η ακτινοβολία μεταδίδεται κατά μήκος του άξονα περιστροφής του δίσκου.

Το πρόβλημα με τη θεωρία αυτή έχει να κάνει με τον υπολογισμό της γωνιακής στροφορμής του δίσκου προσαύξησης, αφού ο τελευταίος είναι σχετικά πολύ μικρός. Το γεγονός βέβαια ότι η παρατηρούμενη ακτινοβολία φαίνεται να διαδίδεται κατά μήκος του άξονα του δίσκου προσαύξησης δείχνει ότι η περιστροφή του δίσκου πρέπει να είναι σημαντική. Επιπλέον, το αέριο που πέφτει προς το δίσκο, πρέπει να χάνει το μεγαλύτερο μέρος της γωνιακής του στροφορμής πριν φτάσει στο δίσκο προσαύξησης. Σύμφωνα με μία θεωρία, αυτό μπορεί να συμβεί μέσω της βαρυτικής αλληλεπίδρασης του ενεργού γαλαξία με τους γειτονικούς του γαλαξίες, παρακάμπτοντας έτσι το πρόβλημα της γωνιακής στροφορμής.

Όσον αφορά το αέριο που τροφοδοτεί τον δίσκο προσαύξησης, αυτό κατά πάσα πιθανότητα προέρχεται από τους αστέρες που βρίσκονται στη γειτονία της μελανής οπής. Προκειμένου να χρησιμεύσει το αέριο αυτό ως καύσιμο της κεντρικής μηχανής παραγωγής ενέργειας, πρέπει οι γειτονικοί αστέρες να διασπώνται παλιρροιακά και όχι να καταβροχθίζονται από τη μελανή οπή. Αυτή η παρατήρηση θέτει ένα ανώτατο όριο στη μάζα της μελανής οπής. Ένας αστέρας πυκνότητας ρ_* δεν μπορεί να πλησιάσει ένα σώμα πυκνότητας ρ_{BH} και ακτίνας R περισσότερο από το γνωστό όριο του Roche

$$r_R = 2,4 \left(\frac{\rho_{BH}}{\rho_*} \right)^{1/3} R. \quad (5.19)$$

Μόλις ο αστέρας περάσει στο εσωτερικό της σφαίρας ακτίνας r_R θα αρχίσει να διαλύεται παλιρροιακά. Προκειμένου τώρα να μην καταβροχθιστεί από τη μελανή οπή θα πρέπει η ακτίνα r_R να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα του Schwarzschild. Γράφοντας την πυκνότητα της μελανής οπής συναρτήσει της συνολικής μάζας M που βρίσκεται στο εσωτερικό της ακτίνας του Schwarzschild, μπορούμε να ξαναγράψουμε την (5.18) στη μορφή

$$\frac{r_R}{R_S} = 2,4 \left(\frac{3M}{4\pi R_S^3 \rho_*} \right)^{1/3} > 1, \quad (5.20)$$

η οποία με τη βοήθεια της (5.17) δίνει

$$M < 0,64 \left(\frac{c^6}{G^3 \rho_*} \right)^{1/2} \approx 5 \times 10^8 \rho_*^{-1/2} M_\odot. \quad (5.21)$$

Κατά συνέπεια, αστέρες με πυκνότητα η οποία είναι περίπου ίση με την ηλιακή, διαλύονται παλιρροιακά έξω από την ακτίνα Schwarzschild μελανών οπών μάζας $M < 10^8 M_\odot$. Για μελανές οπές με μεγαλύτερη μάζα, το όριο του Roche είναι μικρότερο από την ακτίνα του Schwarzschild και οι γειτονικοί αστέρες διέρχονται από τον ορίζοντα γεγονότων της μελανής οπής χωρίς να έχουν διαλυθεί παλιρροιακά. Σε αυτή την περίπτωση, αυξάνεται η μάζα της μελανής οπής, παράγοντας ταυτόχρονα μόνο βαρυτικά κύματα και όχι τα ηλεκτρομαγνητικά που εμείς παρατηρούμε.

Τελικά, το αέριο που αποσπάστηκε παλιρροϊκά από τους γειτονικούς αστέρες, εκπέμπει μεγάλα ποσά ενέργειας με τη μορφή ωστικών κυμάτων και ακτινοβολίας, διατηρώντας τη στροφορμή του, ιδιότητα που οδηγεί στο σχηματισμό ενός δίσκου προσαύξησης. Ο ακριβής τρόπος σχηματισμού αυτού του δίσκου προσαύξησης εξαρτάται από μία μεγάλη ποικιλία παραμέτρων, όπως η ένταση του μαγνητικού πεδίου και ο ρυθμός προσαύξησης.

Για να μελετήσουμε τώρα τη δομή του δίσκου προσαύξησης, θεωρούμε ότι αυτός είναι ένα μέλαν σώμα. Σύμφωνα με το θεώρημα του Virial, η μισή από τη βαρυτική δυναμική ενέργεια του δίσκου που ελευθερώνεται χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αερίου και η υπόλοιπη μισή ακτινοβολείται με ρυθμό

$$L = G \frac{M}{2r} \frac{dM}{dt} = 2\pi r^2 \sigma T^4, \quad (5.22)$$

όπου σT^4 η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας, πr^2 η επιφάνεια του δίσκου και ο παράγοντας 2 υπάρχει επειδή ο δίσκος έχει δύο επιφάνειες. Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση, η θερμοκρασία σε απόσταση r από τον δίσκο δίνεται από τη σχέση

$$T = \left(\frac{GM}{4\pi\sigma r^3} \frac{dM}{dt} \right)^{1/4}. \quad (5.23)$$

Με μία λεπτομερέστερη μελέτη, λαμβάνοντας υπ' όψη και άλλες παραμέτρους καταλήγουμε σε μία ακριβέστερη έκφραση για τη θερμοκρασία, η οποία είναι

$$T = \left[\frac{3GM}{8\pi\sigma r^3} \frac{dM}{dt} \left(1 - \left(\frac{R_{in}}{r} \right)^{1/2} \right) \right]^{1/4}, \quad (5.24)$$

όπου R_{in} είναι η εσωτερική ακτίνα του δίσκου προσαύξησης. Στην περίπτωση όπου $r \gg R_{in}$ και λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το κατώτερο όριο της R_{in} είναι η ακτίνα R_S του Schwarzschild, καταλήγουμε στην σχέση

$$T(r) \approx \left(\frac{3GM}{8\pi\sigma R_S^3} \frac{dM}{dt} \right)^{1/4} \left(\frac{r}{R_S} \right)^{-3/4}, \quad (5.25)$$

η οποία με τη βοήθεια της (5.17) δίνει

$$T(r) \approx \left(\frac{3c^6}{64\pi\sigma G^2 M^2} \frac{dM}{dt} \right)^{1/4} \left(\frac{r}{R_S} \right)^{-3/4}. \quad (5.26)$$

Μπορούμε να γράψουμε αυτή τη θερμοκρασία ως συνάρτηση του ρυθμού προσαύξησης του Eddington, οπότε καταλήγουμε στη σχέση

$$T(r) \approx 6,3 \times 10^5 \left(\frac{dM/dt}{dM_E/dt} \right)^{1/4} M_8^{-1/4} \left(\frac{r}{R_S} \right)^{-3/4} K. \quad (5.27)$$

Για έναν δίσκο ο οποίος περιβάλλει μία μελανή σπη μάζας της τάξης των $10^8 M_\odot$ και η οποία προσαυξάνει τη μάζα της με ρυθμό ίσο με τον ρυθμό προσαύξησης του Eddington, το μέγιστο της εκπομπής παρατηρείται σε συχνότητα

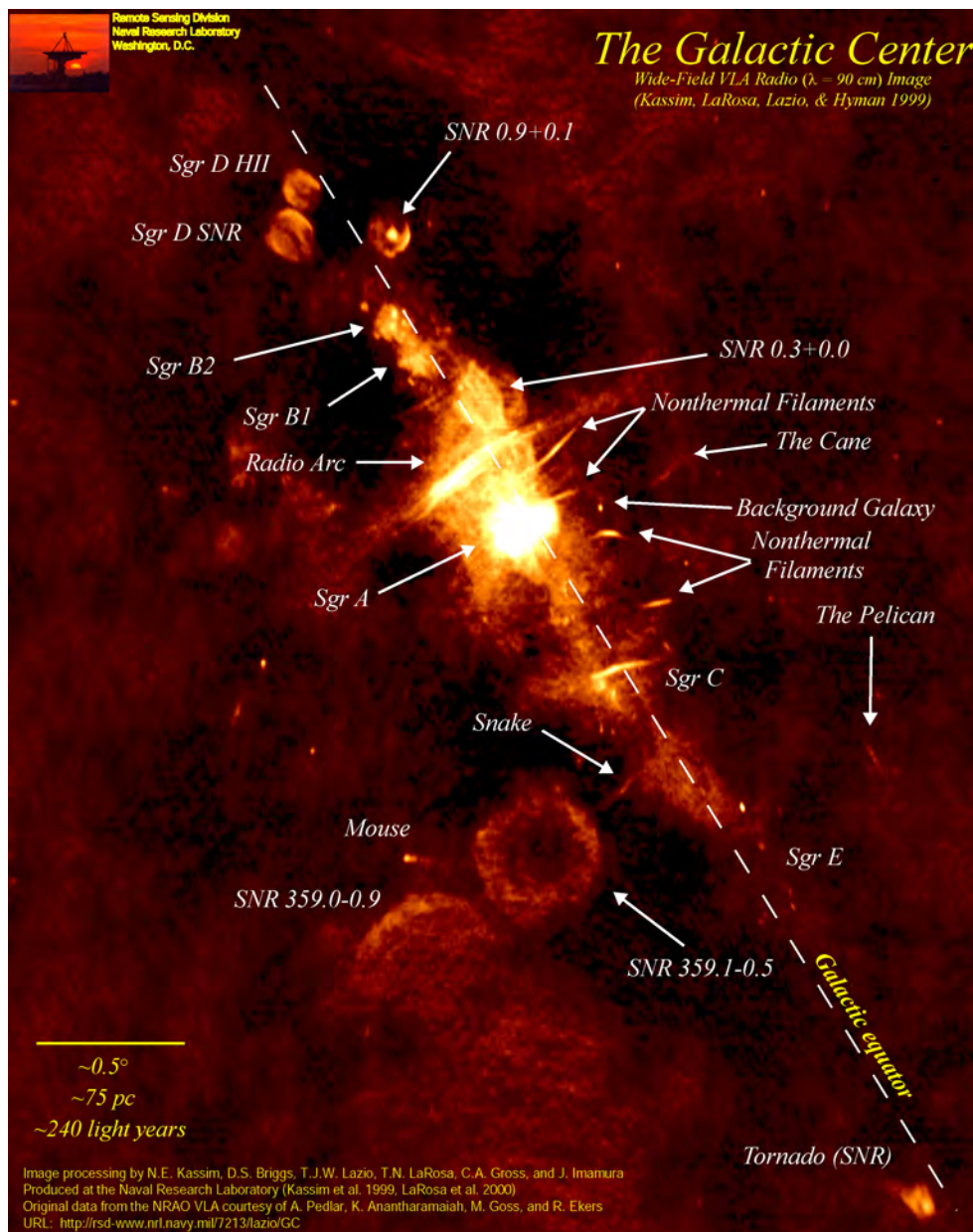
$$\nu_{\max} = \frac{2,8kT}{h} \approx 3,6 \times 10^{16} \text{ Hz}, \quad (5.28)$$

η οποία αντιστοιχεί σε ένα μήκος κύματος της τάξης των $100 \text{ \AA}$ περίπου ή σε ένα φωτόνιο ενέργειας περίπου 100 eV . Κατά συνέπεια, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία εντοπίζεται στην περιοχή των ακτίνων X.

5.2.6 Ανίχνευση γιγάντιων μελανών σπών

Μετά την κατασκευή του θεωρητικού μοντέλου για την ύπαρξη γιγάντιων μελανών σπών στα κέντρα των ενεργών γαλαξιών, οι προσπάθειες των επιστημόνων στράφηκαν στην ανίχνευση μερικών από αυτών. Όπως είναι λογικό, οι παρατηρήσεις ξεκίνησαν από τον πυρήνα του δικού μας Γαλαξία. Η μελέτη του πυρήνα του Γαλαξία μας παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι βρίσκεται πολύ κοντά σε εμάς, σε σχέση με τους υπόλοιπους γαλαξιακούς πυρήνες, οπότε μπορούμε να πετύχουμε μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα για αυτόν απ' ό,τι για οποιονδήποτε άλλο. Το μειονέκτημα είναι ότι η ύπαρξη μεσοαστρικής ύλης στην κατεύθυνση του γαλαξιακού πυρήνα, μας εμποδίζει να πραγματοποιήσουμε παρατηρήσεις στα μήκη κύματος του οπτικού, του υπεριώδους και των μαλακών ακτίνων X. Η μελέτη του πυρήνα του Γαλαξία απαιτεί παρατηρήσεις στα ραδιοκύματα, στο υπέρυθρο, στις σκληρές ακτίνες X και στις ακτίνες γ .

Οι πρώτες μελέτες των κεντρικών περιοχών του Γαλαξία μας έγιναν το 1960 από τους Rougoor και Oort στην περιοχή των ραδιοκυμάτων. Το αποτέλεσμα της μελέτης αυτής,

**Εικόνα 5.11**

Το γαλαξιακό κέντρο με την ραδιοπηγή Sgr A να βρίσκεται στο κέντρο της εικόνας
(Πηγή: rscd-www.nrl.navy.mil).

ήταν η ανακάλυψη ότι το ατομικό υδρογόνο είναι διατεταγμένο στη μορφή ενός μικρού δίσκου, ομόκεντρου με τον Γαλαξία και με ακτίνα αρκετές εκατοντάδες έτη φωτός. Η μοναδική κίνηση που φαίνεται να πραγματοποιεί ο κεντρικός δίσκος είναι η κυκλική περιστροφή, ενώ έξω από αυτόν, υπάρχουν ενδείξεις σημαντικών κινήσεων διαστολής του αέριου υδρογόνου. Στην ίδια περιοχή που βρίσκεται ο δίσκος του υδρογόνου, έχουν βρεθεί και κάποια συμπλέγματα μοριακών νεφών, τα οποία παρουσιάζουν ενδείξεις σημαντικών μη κυκλικών κινήσεων. Μέχρι στιγμής παραμένει άγνωστο εάν αυτές οι μη κυκλικές κινήσεις προέρχονται από κάποια έκρηξη ή εάν έχουν βαρυτική προέλευση.

Επιπλέον, στην κατεύθυνση προς το κέντρο του Γαλαξία βρίσκεται μία διακριτή ραδιοπηγή μη θερμικού ραδιοσυνεχούς, η οποία ονομάζεται **Τοξότης Α** (Sagittarius A). Η πηγή αυτή, το όνομα της οποίας οφείλεται στο γεγονός ότι είναι η ισχυρότερη ραδιοπηγή στον αστερισμό του Τοξότη, θεωρείται σήμερα ότι συμπίπτει με το κέντρο του Γαλαξία. Εκτενείς μελέτες της δυτικής πλευράς της ραδιοπηγής αυτής, η οποία ονομάζεται Sgr A West, φανερώνουν την ύπαρξη μίας κεντρικής ραδιοπηγής μεγέθους μόνο μίας ώρας φωτός περίπου, η οποία είναι εν γένει όμοια με τις συμπαγείς ραδιοπηγές που έχουν παρατηρηθεί και στους άλλους γαλαξίες.

Στην περιοχή κοντά στο γαλαξιακό κέντρο, υπάρχει επίσης έντονη θερμική δραστηριότητα. Σε μικρή γωνιακή απόσταση από τον Sgr A, βρίσκεται ένα γιγάντιο μοριακό νέφος, το Sgr B2, στο οποίο έχει βρεθεί η μεγαλύτερη ποικιλία μεσοαστρικών μορίων που έχει παρατηρηθεί ποτέ.

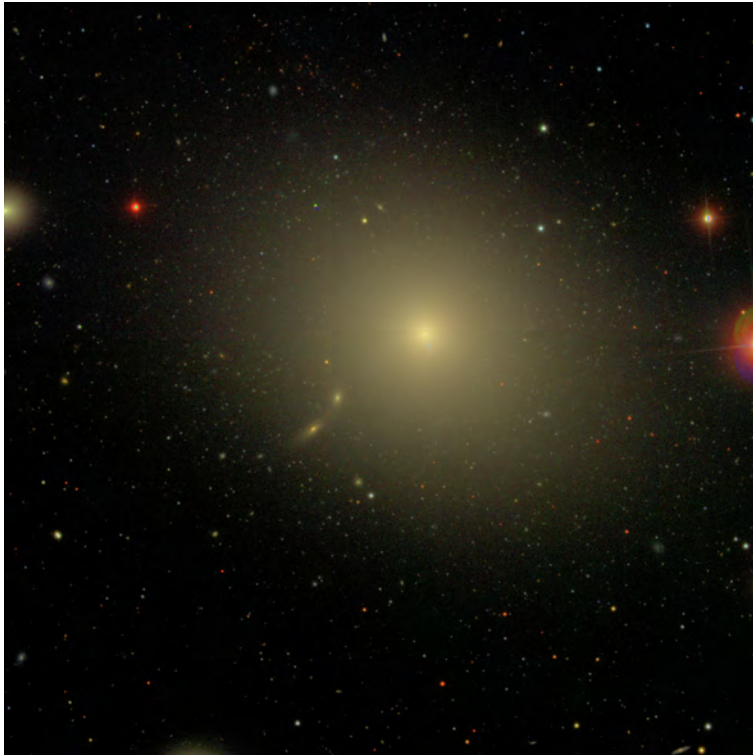
Επιπλέον, έχουν βρεθεί και πολλές διακριτές περιοχές εκπομπής ακτίνων X. Οι περισσότερες από αυτές είναι διπλές πηγές ακτίνων X, οι οποίες δημιουργούνται από την πρόσπτωση ύλης από έναν αστέρα σε έναν αστέρα νετρονίων ή σε μία μελανή οπή. Υπάρχει όμως και μία πηγή ακτίνων X, σε ακτίνα μερικών ετών φωτός από τον Sgr A η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι υπέρυθροι χάρτες της περιοχής αυτής αποκαλύπτουν αρκετές διακριτές πηγές υπέρυθρου. Η επικρατούσα άποψη είναι ότι οι πηγές αυτές αντιστοιχούν σε νέφη σκόνης που θερμαίνονται εν μέρει από έναν ομαλά κατανεμημένο πληθυσμό αστερών μεγάλης ηλικίας και εν μέρει από έναν ανομοιογενή πληθυσμό νεαρών αστερών Ο και Β. Στην ίδια περιοχή υπάρχουν πολλά νέφη ιονισμένου αερίου, που έχουν μελετηθεί εντατικά από τον Townes και τους συνεργάτες του. Αναλύοντας τα στατιστικά δεδομένα των παρατηρήσεών τους, μπόρεσαν να θέσουν της τάξης των μερικών εκατομμυρίων ηλιακών μαζών στην ποσότητα της βαρυτικής ύλης που βρίσκεται στο κέντρο του Γαλαξία. Έτσι, εάν στο κέντρο του Γαλαξία υπάρχει μία γιγάντια μελανή οπή, αυτή δεν μπορεί να έχει μάζα μεγαλύτερη της τάξης των $10^6 M_{\odot}$.

Σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες των νεφών ιονισμένου αερίου που βρίσκονται στην περιοχή κοντά στο Γαλαξιακό κέντρο, υπάρχουν ορισμένα αναπάντητα ερωτήματα. Το κάθε ένα από τα νέφη αυτά περιέχει ένα μόνο κλάσμα της ηλιακής μάζας. Ο Townes και οι συνεργάτες του έχουν διατυπώσει την υπόθεση ότι αυτά τα διακριτά νέφη ίσως έχουν αποκολληθεί από το περιβάλλον συγκρουόμενων ερυθρών γιγάντων κοντά στο κέντρο του Γαλαξία. Επιπλέον, η εικόνα που παρουσιάζει ο ιοντισμός των νεφών αυτών είναι κάπως παράξενη, αφού τα άτομα δεν είναι ιονισμένα στο βαθμό που θα ήταν εάν είχαν εκτεθεί στο φως μίας συνηθισμένης ομάδας αστερών Ο και Β. Πιθανόν λοιπόν να υπάρχει κάποια άλλη πηγή ιονίζουσας ακτινοβολίας, όπως ένας δίσκος προσαύξησης που περιβάλλει μία γιγάντια μελανή οπή με μάζα της τάξης των $10^6 M_{\odot}$.

Από πρόσφατες μελέτες των ταχυτήτων περισσότερων από 100 αστερών σε μία περιοχή λίγων δευτερολέπτων της μοίρας γύρω από τον Sgr A, έχει βρεθεί ότι η μάζα του αντικειμένου που βρίσκεται στο κέντρο του Γαλαξία είναι περίπου ίση με $3 \times 10^6 M_{\odot}$, ενώ εκτείνεται σε μία περιοχή ακτίνας μικρότερης από $6 \times 10^{-3} pc$. Με βάση την πολύ μεγάλη πυκνότητα μάζας που προκύπτει, συμπεραίνουμε ότι κατά πάσα πιθανότητα πρόκειται για μία γιγάντια μελανή οπή.

Στην περίπτωση τώρα του γίγαντα ελλειπτικού γαλαξία M87, οι ενδείξεις για την ύπαρξη μίας γιγάντιας μελανής οπής στο κέντρο του, είναι αρκετά πειστικότερες. Ο γαλαξίας αυτός είναι το τρίτο φωτεινότερο σύστημα στο σμήνος της Παρθένου, και κίνησε για πρώτη φορά το ενδιαφέρον των αστρονόμων το 1928, όταν ο H. D. Curtis ανακάλυψε σε αυτόν έναν οπτικό πίδακα που εκτεινόταν από τον πυρήνα προς τα έξω. Αυτού του είδους οπτικός πίδακας, παρατηρήθηκε αργότερα και στον quasar 3C273. Τόσο ο M87 όσο και ο 3C273 παρουσιάζουν έντονη εκπομπή ακτίνων X. Από τη λήψη εικόνων στην περιοχή των ακτίνων X από το αστεροσκοπείο Einstein το 1980, αποκάλυψε επίσης ενδείξεις παρουσίας πιδάκων ακτίνων X και στα δύο αντικείμενα.

Στο μεταξύ, η θεωρητική εργασία σε πολλά διαφορετικά μέτωπα άρχισε να εστιάζεται σε ένα ενδιαφέρον πρόβλημα αστρικής δυναμικής που έθεσε ο Peebles. Συγκεκριμένα προσπαθούσαν να βρουν ποια θα είναι η απόκριση μίας κατανομής αστερών στην έλξη από μία πολύ μεγάλη σημειακή μάζα τοποθετημένη στο κέντρο ενός σφαιρικού αστρικού συστήματος. Η μαθηματική απάντηση που έδωσε αρχικά ο Peebles αποδείχθηκε

**Εικόνα 5.12**

Ο γίγαντας ελλειπτικός γαλαξίας M87 (Πηγή: www.astro.princeton.edu).

λανθασμένη, αλλά η εργασία του παρακίνησε τους Bahcall και Wolf και αργότερα αρκετούς άλλους, να εξετάσουν το ενδεχόμενο η τάση που έχει ένα σώμα μεγάλης μάζας να προσελκύει αστέρες προς το μέρος του να έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μίας κεντρικής αιχμής φωτός. Συνδυάζοντας την ιδέα αυτή με το μοντέλο της ύπαρξης γιγάντιων μελανών οπών στο κέντρο των ενεργών γαλαξιών, οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μία γιγάντια μελανή οπή θα μπορούσε να αυξήσει την κεντρική επιφανειακή φωτεινότητα του γαλαξία, δημιουργώντας μία αιχμή φωτός. Αυτή η κεντρική αιχμή φωτός θα μπορούσε να παρατηρηθεί, μόνο εάν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με αρκετά μεγάλη γωνιακή διακριτική ικανότητα και ευαισθησία.

Όλες αυτές οι μελέτες παρακίνησαν μία ομάδα αστρονόμων από το Caltech και τη Μεγάλη Βρετανία, με επικεφαλής τους Young, Sargent και Boksenberg, να επιχειρήσουν μία πιο προσεκτική οπτική μελέτη του πυρήνα του M87. Το 1978 ανακοίνωσαν τα αποτελέσματά τους, σύμφωνα με τα οποία η κατανομή της επιφανειακής φωτεινότητας του M87 παρουσιάζει μία εμφανή κεντρική φωτεινή αιχμή. Φασματοσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν επιπλέον, ότι η διασπορά ταχυτήτων στο κέντρο του M87 αυξάνει δραστικά προς το κέντρο της φωτεινής αιχμής. Μία τέτοια αύξηση των ταχυτήτων διαπιστώθηκε ότι προβλέπεται και θεωρητικά στην περίπτωση που η γιγάντια μελανή οπή καταβροχθίζει αστέρες με σχετικά αργό ρυθμό. Επιπροσθέτως, ένα λεπτομερές θεωρητικό μοντέλο για τον M87 έδειξε ότι τόσο η φωτεινή αιχμή, όσο και η αύξηση της διασποράς των κεντρικών ταχυτήτων ήταν σύμφωνες με την παρουσία μίας γιγάντιας μελανής οπής με μάζα $5 \times 10^9 M_{\odot}$.

Αν και ο M87 είναι ο γαλαξίας στον πυρήνα του οποίου υπάρχουν οι περισσότερες πιθανότητες να υπάρχει μία γιγάντια μελανή οπή, το θέμα δεν έχει κλείσει. Οι παρατηρήσεις του M87, αν και πραγματοποιούνται με αξιοθαύμαστο τρόπο, είναι αρκετά

δύσκολες. Επιπλέον, η ακριβής συμπεριφορά της κεντρικής φωτεινής αιχμής στα θεωρητικά μοντέλα εξαρτάται και από τις αστρικές αλληλεπιδράσεις, η σημασία των οποίων δεν είναι τόσο καλά τεκμηριωμένη για τους γαλαξιακούς πυρήνες. Επίσης, οι King και Illingworth έδειξαν ότι είναι δυνατόν να αναπαραγάγει κανείς παρόμοιες αυξήσεις της φωτεινότητας στο κέντρο των σφαιρωτών σμηνών χωρίς την παρουσία γιγάντιων μελανών οπών. Παρόμοια μοντέλα θα μπορούσαν να κατασκευαστούν και για τους ελλειπτικούς γαλαξίες. Βέβαια, παρά τις πιθανές αυτές αντιρρήσεις, το μοντέλο της γιγάντιας μελανής οπής παρέχει την πιο κοινή ερμηνεία των φαινομένων που παρατηρούνται στον πυρήνα του M87.

5.3 Σμήνη γαλαξιών

5.3.1 Αλληλεπιδρώντες διπλοί γαλαξίες

Οι μακροχρόνιες παρατηρήσεις μας έδειξαν, ότι όπως ακριβώς τα περισσότερα άστρα ανήκουν σε μικρές ομάδες ή και σε σμήνη αστέρων, το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τους περισσότερους γαλαξίες.

Τα ζεύγη ισχυρώς αλληλεπιδρώντων γαλαξιών που θα περιγράψουμε παρακάτω, αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνόλου των γαλαξιών. Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον, καθώς στις πιο ισχυρές αλληλεπιδράσεις, δημιουργούν ασυνήθιστες δομές που δεν παρατηρούνται σε απλούς γαλαξίες. Για παράδειγμα, έχουν παρατηρηθεί διπλά γαλαξιακά συστήματα, τα οποία έχουν δημιουργήσει γέφυρες μεταξύ των γαλαξιών, ουρές ή και δακτυλίου. Η θεωρητική μελέτη των συστημάτων αυτών είναι μία αρκετά δύσκολη διαδικασία. Πρωτοπόροι σε αυτή την προσπάθεια είναι οι Holmberg, Alladin, Toomre και Wright, οι οποίοι μελέτησαν τα συστήματα αυτά με διάφορες αριθμητικές προσομοιώσεις.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι προσομοιώσεις των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων κοντινών δισκοειδών γαλαξιών οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από τους Toomre και Toomre με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η μεγαλύτερη διαταραχή προκύπτει όταν οι τροχιές των γαλαξιών είναι τέτοιες ώστε η πλησιέστερη περιστρεφόμενη πλευρά του ενός δίσκου, να κινείται προς την ίδια κατεύθυνση με τον δεύτερο διερχόμενο γαλαξία. Αν οι μάζες των δύο γαλαξιών διαφέρουν σημαντικά, τότε μπορεί ο μικρός γαλαξίας να αποσπάσει ύλη από την πλησιέστερη πλευρά του μεγαλύτερου γαλαξία, δημιουργώντας μία γέφυρα, η οποία καλύπτει προσωρινά το χάσμα ανάμεσα στους δύο γαλαξίες. Από την άλλη πλευρά, αν οι μάζες των δύο αλληλεπιδρώντων γαλαξιών είναι περίπου ίδιες, τότε μπορεί να αναπτυχθεί σε κάθε έναν από αυτούς μία ουρά μεγάλου μήκους, η οποία εκτείνεται σε κατεύθυνση αντίθετη προς τον άλλο γαλαξία. Οι μεγάλου μήκους γέφυρες και ουρές είναι πιο εύκολο να δημιουργηθούν όταν οι τροχιές των δύο γαλαξιών είναι δέσμιες, έτσι ώστε τα δύο συστήματα να μην κινούνται με μεγάλη ταχύτητα το ένα προς το άλλο όταν φτάνουν στην πλησιέστερη μεταξύ τους απόσταση. Στην ιδιαίτερα σπάνια περίπτωση, τώρα, όπου ο ένας γαλαξίας διεισδύει μέσα στον άλλο, είναι δυνατόν να σχηματιστούν οι λεγόμενοι **δακτυλιοειδείς γαλαξίες**.

5.3.2 Συγχωνεύσεις γαλαξιών

Οι κοντινές προσεγγίσεις μεταξύ γαλαξιών προκαλούν συνήθως έντονες κινήσεις στο εσωτερικό τους. Η ενέργεια που αντιστοιχεί σε αυτήν την έντονη δραστηριότητα, προέρχεται προφανώς από την σχετική τροχιακή κίνηση μεταξύ των γαλαξιών. Ενώ σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα σύνολο βαρυτικά αλληλεπιδρώντων αστέρων, η κινητική ενέργεια δεν είναι δυνατόν να διασκορπιστεί και να εγκαταλείψει τελικά το σύστημα ως ακτινοβολία, σε μία γαλαξιακή σύγκρουση δεν συμβαίνει αυτό. Τα μεμονωμένα άστρα περνούν το ένα δίπλα από το άλλο, υφιστάμενα μόνο βαρυτικές εκτροπές, οι οποίες προκαλούνται από τη συνολική κατανομή των αστέρων. Παρ' όλα αυτά, το σύνολο των αστέρων τείνει από τη μία να διατηρήσει τη συνολική του ενέργεια, ενώ από την άλλη μπορεί να μετατρέψει μία μορφή ενέργεια σε μία άλλη, όπως για παράδειγμα την τροχιακή ενέργεια σε τυχαίες κινήσεις.

**Εικόνα 5.13**

Η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο γαλαξιών, σε αρχικό στάδιο (πάνω) και σε τελικό (κάτω)(Πηγές: www.dancingcatstudios.com, www.spacetelescope.com).

Με τη βοήθεια στατιστικών μελετών, μπορεί πλέον να υποστηριχθεί ότι οι επανειλημμένες προσεγγίσεις μεταξύ δύο γαλαξιών θα τείνουν να φέρουν τους γαλαξίες πλησιέστερα μεταξύ τους, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην παραβιάζεται η αρχή διατήρησης της στροφορμής και η αρχή διατήρησης της ενέργειας. Η κοντινή προσέγγιση δύο δέσμιων σπειροειδών γαλαξιών που περιέχουν αρκετή ενέργεια στη μορφή της περιστροφής των δίσκων τους και της τροχιακής τους κίνησης γύρω από το κοινό κέντρο μάζας, θα τείνει τελικά να προκαλέσει τη συγχώνευσή τους σε ένα ενιαίο σύνολο αστερών που θα περιέχει πολύ περισσότερη ενέργεια στην άτακτη μορφή των τυχαίων κινήσεων των αστερών. Αυτή η μορφή συγχώνευσης, περιλαμβάνει μία διαδικασία στην οποία τα βίαια μεταβαλλόμενα βαρυτικά πεδία συντελούν στη διαμόρφωση μίας τελικής, ομαλής κατανομής αστερών. Αν εξαιρέσουμε την ύπαρξη σχετικά μεγάλων ποσοτήτων μεσοαστρικού αερίου και σκόνης, ένα τέτοιο σύνολο αστερών πιθανότατα θα έμοιαζε με έναν ελλειπτικό γαλαξία.

Ο Francois Schweizer βρήκε το 1981 ένα σύστημα, το NGC7252, που είναι εξαιρετικά πιθανό να έχει δημιουργηθεί από μία τέτοια διαδικασία συγχώνευσης. Μία

**Εικόνα 5.14**

Ο γιγάντιος σπειροειδής γαλαξίας NGC7252, ο οποίος πιθανότατα προέκυψε από τη συγχώνευση δύο επίσης γιγάντιων σπειροειδών γαλαξιών (Πηγή: upload.wikimedia.org).

προσεκτική μελέτη του συστήματος αυτού, αποκαλύπτει την ύπαρξη δύο ουρών μεγάλου μήκους, χαοτικών εσωτερικών κινήσεων καθώς και ενδείξεις για την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων μεσοαστρικού αερίου και σκόνης καθώς και για τον πρόσφατο σχηματισμό αστερών. Το κεντρικό σώμα του συστήματος μοιάζει εκπληκτικά με έναν γιγάντιο ελλειπτικό γαλαξία. Η συνολική λαμπρότητα του συστήματος αυτού είναι περίπου ίση με αυτή δύο σπειροειδών γαλαξιών κατηγορίας λαμπρότητας I. Το τελικό συμπέρασμα που προκύπτει για το σύστημα αυτό, είναι ότι μάλλον πρόκειται για τη βαρυτική συγχώνευση δύο γιγάντιων σπειροειδών γαλαξιών σε ένα ενιαίο σύνολο αστερών. Όταν πλέον το μεσοαστρικό αέριο και η σκόνη εξαντληθούν εξαιτίας της δημιουργίας νέων αστερών, το σύστημα που θα προκύψει είναι πιθανό να ενταχθεί στην κατηγορία των συνήθων ελλειπτικών γαλαξιών.

Ο Alar Toomre έχει υποστηρίξει στο παρελθόν, ότι ίσως όλοι οι ελλειπτικοί γαλαξίες να έχουν σχηματιστεί με αυτόν τον τρόπο. Η άποψή του αυτή στηρίζεται στην παρατήρηση ότι από τους περίπου 4.000 γαλαξίες του NGC², μόνο δέκα περίπου είναι αλληλεπιδρώντα συστήματα που εμφανίζουν γέφυρες και ουρές. Από την άλλη πλευρά, οι αριθμητικές προσομοιώσεις έχουν δείξει ότι τέτοιες γεωμετρικές μορφές είναι παροδικές και μπορούν να διατηρηθούν μόνο για ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα της τάξης των 10^8 ετών. Κατά συνέπεια, σε ένα θεωρούμενο διάστημα 10^{10} ετών, ίσο περίπου με την ηλικία του σύμπαντος, θα πρέπει τουλάχιστον 400 από τους γαλαξίες NGC να έχουν προέλθει από τέτοια συγχώνευση. Με άλλα λόγια, οι συγχωνεύσεις των σπειροειδών θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του 10% του συνόλου των γαλαξιών σε ελλειπτικούς. Το πραγματικό ποσοστό των ελλειπτικών γαλαξιών στο σύμπαν υπολογίζεται ότι είναι κάπου μεταξύ του 20% και 30% ενώ η πλειοψηφία τους βρίσκεται στα πλούσια

²Ο NGC είναι ο Νέος Γενικός Κατάλογος αστρονομικών αντικειμένων, που έχει πάρει την ονομασία του από τα αρχικά των λέξεων New General Catalog.

γαλαξιακά σμήνη. Η απόκλιση αυτή, σύμφωνα με τον Toomre μπορεί να δικαιολογηθεί με βάση την υπόθεση ότι οι συγχωνεύσεις των σπειροειδών γαλαξιών ήταν πολύ πιο συνηθισμένες στο παρελθόν απ' ότι τώρα και επιπλέον ότι συμβαίνουν συχνότερα στα γαλαξιακά σμήνη απ' ότι στον υπόλοιπο χώρο.

Αν και η πρόταση του Toomre φαίνεται ιδιαίτερα ελκυστική, υπάρχουν αρκετές αντιρρήσεις σχετικά με την ορθότητά της. Η σημαντικότερη αφορά την αδυναμία της θεωρίας αυτής να εξηγήσει κάποιες από τις συστηματικές ιδιότητες των γιγάντιων ελλειπτικών γαλαξιών. Για παράδειγμα, θα περιμέναμε σε μία πρώτη προσέγγιση το προϊόν της συγχώνευσης να έχει λιγότερους αστέρες στο κέντρο απ' ότι οι σπειροειδείς από τους οποίους προήλθε, γεγονός που δεν παρατηρείται, αφού οι σημερινές φωτεινότητες των κεντρικών περιοχών των γιγάντιων ελλειπτικών γαλαξιών είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των γιγάντιων σπειροειδών. Το βέβαιο πάντως είναι ότι ορισμένοι ελλειπτικοί γαλαξίες, αν όχι όλοι, έχουν προέλθει από συγχωνεύσεις σπειροειδών γαλαξιών.

5.3.3 Ιεραρχική ομαδοποίηση

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, εκτός από τα διπλά συστήματα, οι γαλαξίες σχηματίζουν επιπλέον μικρές ομάδες, οι οποίες αποτελούνται από μερικές δεκάδες γαλαξίες, ή ακόμα και πλούσια σμήνη τα οποία απαριθμούν μερικές χιλιάδες μέλη. Οι μικρές ομάδες γαλαξιών καταλαμβάνουν περιοχές ακτίνας μερικών εκατομμυρίων ετών φωτός, ενώ τα πλούσια σμήνη μπορούν να καταλάβουν περιοχές ακτίνας μερικών δεκάδων εκατομμυρίων ετών φωτός. Σε ακόμη μεγαλύτερες κλίμακες παρατηρούνται και κάποια υπερσμήνη γαλαξιών, τα οποία ουσιαστικά είναι σμήνη σμηνών γαλαξιών και καταλαμβάνουν περιοχές ακτίνας εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών φωτός. Μέχρι στιγμής δεν είναι απολύτως γνωστό εάν υπάρχει ομαδοποίηση σε μεγαλύτερη κλίμακα. Σύμφωνα πάντως με λεπτομερείς στατιστικές αναλύσεις που πραγματοποίησαν οι Shane και Wirtanen, ο Peebles και οι συνεργάτες του κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η όποια ομαδοποίηση σταματά σε κλίμακες μεγαλύτερες των 60 εκατομμυρίων έτη φωτός, γεγονός που καθιστά μάλλον αδύνατη την ύπαρξη σμηνών υπερσμηνών.

Σμήνη γαλαξιών

Ο πρώτος που παρατήρησε ότι οι γαλαξίες είναι συγκεντρωμένοι σε σμήνη, ήταν ο Ελβετός αστρονόμος Fritz Zwicky, το 1930. Λίγο αργότερα έγινε γνωστό ότι ο δικός μας γαλαξίας, όπως και ο γαλαξίας της Ανδρομέδας, ανήκει σε ένα μικρό σμήνος γαλαξιών, γνωστό ως Τοπική Ομάδα, η οποία αποτελείται από 28 τουλάχιστον μέλη, ενώ καλύπτει μία περιοχή ακτίνας 2 περίπου εκατομμυρίων ετών φωτός. Από εκεί και πέρα δεν παρατηρείται κανένας γαλαξίας σε απόσταση 10 περίπου εκατομμυρίων ετών φωτός από τον δικό μας.

Έξω από την Τοπική Ομάδα, το πλησιέστερο σε εμάς πλούσιο σμήνος, είναι το σμήνος της Παρθένου, το οποίο βρίσκεται στην κατεύθυνση του ομώνυμου αστερισμού. Πρόκειται για μία αχανή συγκέντρωση γαλαξιών, από τους οποίους περίπου 200 είναι ιδιαίτερα λαμπροί, σε μία μέση απόσταση 52 περίπου εκατομμυρίων ετών φωτός. Το σχήμα του σμήνους είναι κάπως ακανόνιστο, με τη μεγαλύτερη διάστασή του να είναι περίπου 8.8 εκατομμύρια έτη φωτός. Το 68% των γαλαξιών του σμήνους είναι σπειροειδείς, το 19% ελλειπτικοί και οι υπόλοιποι είναι ακανόνιστοι ή μη ταξινομημένοι. Παρά την αριθμητική κυριαρχία των σπειροειδών, οι τέσσερις λαμπρότεροι γαλαξίες του σμήνους είναι ελλειπτικοί. Ένας από αυτούς είναι ο γνωστός γιγάντιος ελλειπτικός γαλαξίας M87, τύπου E0, ο οποίος βρίσκεται σχεδόν στο κέντρο του σμήνους.

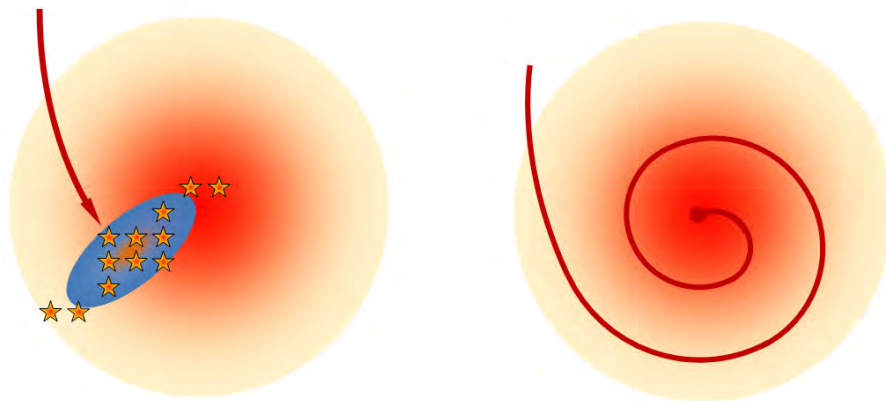
Σε μία μέση απόσταση περίπου 326 εκατομμυρίων ετών φωτός βρίσκεται το σμήνος της Κόμης, το οποίο αριθμεί πάνω από 1.000 μέλη. Έχει περίπου σφαιρικό σχήμα και η διάμετρός του είναι τουλάχιστον 10 εκατομμύρια έτη φωτός. Το σμήνος αυτό έχει έναν κεντρικό πυρήνα ο οποίος είναι σχεδόν τρεις φορές πυκνότερος από το υπόλοιπο σμήνος. Αυτό πιθανότατα συμβαίνει επειδή το σμήνος είναι αρκετά παλιό, με αποτέλεσμα το βαρυτικό του πεδίο να έχει μεταφέρει τους περισσότερους μεγάλους γαλαξίες κοντά στο κέντρο του σμήνους. Οι περισσότεροι γαλαξίες του σμήνους της Κόμης εί-

ναι ελλειπτικοί ή τύπου S0. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Rood, μόνο το 15% των συστημάτων του σμήνους είναι σπειροειδείς ή ακανόνιστοι γαλαξίες. Η αξιοσημείωτη έλλειψη σπειροειδών γαλαξιών από το σμήνος της Κόμης, είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό των μεγάλων σμηνών. Αντίθετα στο γενικό πεδίο και στις ολιγομελές ομάδες κυριαρχούν οι σπειροειδείς γαλαξίες. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που παρατηρείται τόσο στο σμήνος της Κόμης, όσο και στα υπόλοιπα μεγάλα σμήνη, είναι η ύπαρξη ενός ή δύο πολύ λαμπρών γιγάντιων ελλειπτικών γαλαξιών κοντά στο κέντρο του σμήνους. Στο κέντρο του σμήνους της Κόμης υπάρχουν ένας μεγάλος και ένας υπεργίγαντιος ελλειπτικός γαλαξίας, ο οποίος δεσπόζει στην εικόνα όλου του σμήνους. Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις, η ύπαρξη των υπεργιγάντιων αυτών ελλειπτικών γαλαξιών, οι οποίοι ονομάζονται γαλαξίες cD, δικαιολογεί σε μεγάλο βαθμό την απουσία σπειροειδών γαλαξιών από τα πλούσια σμήνη.

Γαλαξιακός κανιβαλισμός

Η σημαντικότερη ίσως ιδιότητα των γαλαξιών cD είναι η ύπαρξη ενός ιδιαίτερα εξογκωμένου περιβλήματος από αστέρες. Ένα καλό παράδειγμα είναι ο ραδιογαλαξίας NGC6166 που βρίσκεται στο σμήνος Abell 2199. Αυτός ο γαλαξίας cD έχει ορατή ακτίνα ενός περίπου εκατομμυρίου ετών φωτός, σχεδόν 20 φορές μεγαλύτερη από αυτή ενός συνηθισμένου γίγαντα ελλειπτικού ή σπειροειδούς γαλαξία. Ο Oemler έχει μελετήσει την επιφανειακή φωτεινότητα των εκτεταμένων περιβλημάτων των γαλαξιών cD, και έχει βρει ότι μειώνεται με την απόσταση από το κέντρο με ρυθμό βραδύτερο απ' ό,τι στους συνηθεις ελλειπτικούς γαλαξίες.

Μία αρκετά διαδεδομένη άποψη, που βασίστηκε στις προσπάθειες των Ostriker, Richstone, Spitzer και Termaine, είναι ότι οι γαλαξίες cD έχουν εξογκωθεί καταβροχθίζοντας τους μικρότερους γείτονές τους. Ουσιαστικά, πρόκειται για μία παραλλαγή της ιδέας των γαλαξιακών συγχωνεύσεων. Στην περίπτωση αυτή, όπου ο θηρευτής γαλαξίας είναι πολύ μεγαλύτερος από το θήραμά του, μπορούμε να χωρίσουμε τη διαδικασία



Εικόνα 5.15

Γαλαξιακός κανιβαλισμός. Ένας υπεργίγαντας γαλαξίας cD καταβροχθίζει έναν μικρό γείτονά του σε δύο στάδια. Αριστερά: Οι αστέρες στην περιφέρεια του μικρού γαλαξία αποσπώνται από το μητρικό σώμα μέσω της παλιρροϊκής απογύμνωσης. Δεξιά: Ο πυκνός πυρήνας του μικρού γαλαξία βυθίζεται βαθμιαία ελικοειδώς μέσα στις κεντρικές περιοχές του γαλαξία cD λόγω της δυναμικής τριβής.

σε δύο μέρη. Το πρώτο καλείται **παλιρροϊκή απογύμνωση** και το δεύτερο **δυναμική τριβή**.

Η παλιρροϊκή απογύμνωση είναι αρκετά εύκολο να κατανοηθεί, με βάση την ανάλυση του Roche. Σύμφωνα με αυτήν, όταν ένα αντικείμενο μάζας m και ακτίνας R που συγκρατείται ενωμένο από την ιδιοβαρύτητά του, προσεγγίσει ένα σώμα μεγάλης μάζας M σε μία απόσταση r μικρότερη από την οριακή τιμή

$$r_R = \left(\frac{2M}{m} \right)^{1/3} R, \quad (5.29)$$

η οποία όπως είδαμε και παραπάνω ονομάζεται όριο του Roche, τότε θα διαλυθεί από τις παλιρροϊκές δυνάμεις. Έτσι, ένας γαλαξίας cD μάζας M η οποία είναι 500 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα m του θύματος, θα αρχίσει να αποσπά τους αστέρες του τελευταίου σε μία απόσταση r που είναι δεκαπλάσια από την ακτίνα R του θύματος. Η διαδικασία αυτή μπορεί να εξηγήσει την παρουσία του εκτεταμένου περιβλήματος γύρω από έναν γαλαξία cD. Επιπλέον, με αυτή τη διαδικασία, δεν είναι απαραίτητο ότι θα συλληφθεί βαρυτικά όλο το αποσπώμενο υλικό από τον γαλαξία cD, αφού είναι πιθανόν, μερικοί από τους αστέρες του θύματος να τεθούν σε τροχιά γύρω από το συσσωμάτωμα των δύο γαλαξιών.

Η εξίσωση (5.29) έχει και μία απλή φυσική ερμηνεία. Έστω ότι η μάζα m του μικρού γαλαξία είναι κατανεμημένη ομογενώς στον όγκο μίας σφαίρας ακτίνας R , οπότε η μέση πυκνότητά του θα είναι $3M/4\pi R^3$. Επιπλέον, έστω ότι η μάζα M του μεγάλου γαλαξία είναι κατανεμημένη σε μία σφαίρα ακτίνας r ίσης με την απόσταση του μικρού γαλαξία, οπότε η μέση πυκνότητά του είναι $3m/4\pi r^3$. Με αυτές τις υποθέσεις και με τη βοήθεια της (5.29) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το όριο Roche προκύπτει όταν η μέση πυκνότητα του μικρού γαλαξία είναι διπλάσια από αυτήν του μεγάλου. Υπάρχει όμως ένας περιορισμός στην εφαρμοσιμότητα της εξίσωσης (5.29), ο οποίος οφείλεται στο γεγονός ότι οι γαλαξίες είναι πολύ ανομοιογενείς, και παρουσιάζουν μέγιστο πυκνότητας στο κέντρο. Οι αραιές εξωτερικές περιοχές του μικρού γαλαξία θα ικανοποιούν το κριτήριο Roche σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις r από τον μεγάλο γαλαξία και η παλιρροϊκή απογύμνωση θα δρα αποτελεσματικά στην ύλη των περιοχών αυτών. Ωστόσο, οι πυκνοί πυρήνες ακόμη και των μικρών γαλαξιών, θα πρέπει να διεισδύσουν πολύ βαθιά στην καρδιά ενός συστήματος cD για να συναντήσουν εσωτερικές πυκνότητες συγκρίσιμες με τη δική τους. Δεδομένου όμως ότι τέτοιου είδους τροχιές είναι πολύ σπάνιες, το ερώτημα που τίθεται αφορά στο πώς καταφέρνει ένας γαλαξίας cD να καταβροχθίζει τους πυρήνες άλλους γαλαξιών.

Αυτό μπορεί να συμβεί με το δεύτερο μέρος της διαδικασίας, τη δυναμική τριβή. Στα σώματα που αλληλεπιδρούν βαρυτικά, η δυναμική τριβή εμφανίζεται για τους λόγους που περιγράφονται στο παρακάτω σχήμα. Καθώς ένας βαρύς πυκνός πυρήνας m , ο οποίος θεωρείται κατά προσέγγιση ως σημειακή μάζα, κινείται σε ένα μέσο που περιέχει αστέρες, όπως το περίβλημα ενός γαλαξία cD, ο πυρήνας εκτρέπει τους αστέρες που προσπερνά. Οι εκτροπές αυτές τείνουν στατιστικά να δημιουργήσουν ένα μικρό πλεόνασμα αστερών πίσω από τη μάζα m . Αυτή η πλεονάζουσα μάζα έλκει τη μάζα m και επομένως τείνει να μειώσει την κίνησή της ως προς την κατανομή των αστερών. Έτσι, το συνολικό αποτέλεσμα της δυναμικής τριβής θα είναι να φέρει τον γαλαξιακό πυρήνα κοντά στο κέντρο του γαλαξία cD. Η πέψη πραγματοποιείται όταν ο γαλαξιακός πυρήνας φτάσει σε πυκνότητες περιβάλλοντος συγκρίσιμες με τη δική του, οπότε διαμελίζεται από παλιρροϊκές δυνάμεις, αφήνοντας τους αστέρες του ελεύθερους να ενωθούν με τους άλλους στην κεντρική περιοχή του γαλαξία cD.

Θερμό αέριο στα πλούσια σμήνη

Ορισμένες δορυφορικές παρατηρήσεις που έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του 1970 αποκάλυψαν ότι από το χώρο μεταξύ των γαλαξιών στα πλούσια σμήνη εκπέμπονται ακτίνες X. Από μετρήσεις σε διαφορετικά μήκη κύματος ακτίνων X έγινε δυνατόν να πάρουμε φασματικές πληροφορίες, η ανάλυση των οποίων οδήγησε στο συμπέρασμα πως η εκπομπή προέρχεται από θερμό αέριο με θερμοκρασίες μεταξύ 10 και 100

εκατομμυρίων βαθμών K . Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η μάζα του αερίου σε ένα τυπικό σμήνος, όπως αυτό της Κόμης, είναι συγκρίσιμη με τη συνολική μάζα που περιέχεται στα οπτικά ορατά μέλη των γαλαξιών που απαρτίζουν το σμήνος. Η προέλευση του αερίου αυτού δεν είναι γνωστή με βεβαιότητα. Σήμερα πιστεύεται ότι το αέριο πρέρχεται από εκρήξεις *supernova* των αστέρων των γαλαξιών και αυτό γιατί έχει παρατηρηθεί στο αέριο μία φασματική γραμμή σιδήρου, ο οποίος συντίθεται μόνο στα εσωτερικά στρώματα αστέρων μεγάλης μάζας.

Υπάρχουν διάφοροι θεωρητικοί τρόποι με τους οποίους το αέριο που εκτινάσσεται από τις εκρήξεις *supernova* θα μπορούσε να καταλήξει τελικά στον μεσογαλαξιακό χώρο του σμήνους. Οι Mathews και Baker πρότειναν ότι στους ελλειπτικούς γαλαξίες η μεσοαστρική ύλη μπορεί να είναι τόσο θερμή ώστε το αέριο που χάνεται από τους αστέρες να εκρέει συνεχώς από τους γαλαξίες, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που ξεφεύγει ύλη από το στέμμα του Ήλιου υπό τη μορφή του ηλιακού ανέμου. Αυτό θα μπορούσε να ισχύει τόσο για τους απομονωμένους ελλειπτικούς όσο και για όσους βρίσκονται σε πλούσια σμήνη. Στη γενικότερη περίπτωση, οι Axford και Johnson έδειξαν ότι το αέριο στις εσωτερικές περιοχές ρέει προς τον πυρήνα και στις εξωτερικές περιοχές εκρέει από τον γαλαξία υπό τη μορφή γαλαξιακού ανέμου. Οι διεργασίες αυτές θα απομάκρυναν πρακτικά όλο το αέριο από τα κυρίως σώματα των ελλειπτικών γαλαξιών. Στους σπειροειδείς γαλαξίες, πιθανόν να υπάρχει τόσο πολύ αέριο στο δίσκο, ώστε οι διάφοροι μηχανισμοί θέρμανσης να μην μπορούν να διατηρήσουν πολύ υψηλή θερμοκρασία. Έτσι, οι Faber και Gallagher διατύπωσαν την υπόθεση ότι ο μηχανισμός του ανέμου είναι πολύ λιγότερο αποτελεσματικός στην απαγωγή αερίου από δισκοειδή συστήματα. Στα πλούσια σμήνη υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί που θα μπορούσαν να απογυμνώσουν έναν γαλαξία από το μεσοαστρικό του αέριο. Οι Spitzer και Baade πρότειναν ότι ένας από αυτούς είναι οι άμεσες συγκρούσεις μεταξύ των γαλαξιών. Οι αστέρες στο εσωτερικό των συγκρουόμενων γαλαξιών θα προσπερνούσαν ο ένας τον άλλον παραμένοντας άθικτοι, αλλά το μεσοαστρικό αέριο θα υφίστατο μία σφοδρότατη σύγκρουση και θα έμενε ακινητοποιημένο στο μέσον. Τον ίδιο ακριβώς μηχανισμό, είχαν προτείνει οι Baade και Minkowski για να εξηγήσουν τη μορφή του ραδιογαλαξία Cygnus A. Σήμερα οι αστρονόμοι γνωρίζουν ότι μία άμεση σύγκρουση μεταξύ δύο γαλαξιών σχεδόν ίδιου μεγέθους είναι πολύ σπάνιο φαινόμενο. Έτσι, η ασυνήθιστη οπτική εικόνα του Cygnus A είναι πιθανότερο να έχει προκύψει από την πρόσφατη κατάποση ενός πλούσιου σε αέριο συνήθους γαλαξία από έναν υπεργίγαντα ελλειπτικό. Το επιπλέον αέριο που αποκτήθηκε με αυτόν τον τρόπο πιθανώς να συντελέσει στην τροφοδοσία της κεντρικής μηχανής παραγωγής ενέργειας του γαλαξία.

Ένας άλλος αποτελεσματικός τρόπος απογύμνωσης των γαλαξιών των πλούσιων σμηνών από το αέριό τους, ενδεχομένως να είναι η **πίεση πρόσπτωσης** που δημιουργείται από τη σχετική κίνηση των γαλαξιών στο εσωτερικό του σμήνους. Ένας απλός υπολογισμός, που έγινε αρχικά από τους Gott και Gunn, δείχνει ότι ένας σχετικά ισχυρός άνεμος αερίου του σμήνους, θα αρκούσε για να αφαιρέσει το μεσοαστρικό αέριο, ακόμη και από σπειροειδείς γαλαξίες. Η απογύμνωση λόγω της πίεσης πρόσπτωσης μπορεί επομένως να εξηγηθεί εν μέρει γιατί οι σπειροειδείς είναι πολύ πιο σπάνιοι από τους S0 και τους ελλειπτικούς στα πλούσια σμήνη.

Η υπόθεση της πίεσης πρόσπτωσης ενισχύεται έμμεσα από ορισμένες πρόσφατες παρατηρήσεις στο οπτικό μέρος του φάσματος και στις ακτίνες X. Οι Butcher και Oemler βρήκαν ότι τα πλούσια σμήνη που παρουσιάζουν ερυθρές μετατοπίσεις μεγαλύτερες από περίπου 0,5 φαίνονται σημαντικά κυανότερα από αυτά που παρουσιάζουν μικρότερες ερυθρές μετατοπίσεις. Κατά την κοσμολογική ερμηνεία, τα αντικείμενα με μεγαλύτερες ερυθρές μετατοπίσεις βρίσκονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, και όταν τα παρατηρούμε ουσιαστικά ρίχνουμε μία ματιά στο παρελθόν των αντικειμένων αυτών. Έτσι, η παρατήρηση των Butcher και Oemler καταδεικνύει ότι παλαιότερα τα σμήνη περιείχαν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες αερίου απ' ό,τι τώρα. Οι εικόνες ακτίνων X πλούσιων σμηνών οι οποίες καταγράφηκαν με το τηλεσκόπιο απεικόνισης του διαστημικού αστεροσκοπίου Einstein, δείχνουν ότι υπάρχουν δύο διακριτές μορφολογικές κατηγορίες τέτοιων σμηνών. Ο πρώτος τύπος παρουσιάζει μία συνεχή κατανομή αερίου στο σμήνος, παρόμοια με αυτήν που προβλέπεται από τα απλά θεωρητικά μοντέλα. Ο δεύτερος τύπος εμφανίζει

μία κατακερματισμένη όψη, με το αέριο να είναι συγκεντρωμένο γύρω από μεμονωμένους γαλαξίες ή ομάδες γαλαξιών. Σύμφωνα με την Jones και τους συνεργάτες της, αυτό υποδηλώνει ότι ο δεύτερος τύπος αντιπροσωπεύει μία πιο πρόωμη φάσης της εξέλιξης του αερίου του σμήνους, κατά την οποία το αέριο που έχει αποβληθεί από τους αστέρες ενός γαλαξία δεν έχει προλάβει να διαχυθεί στο χώρο μεταξύ των γαλαξιών του σμήνους.

Ελλειπούσα μάζα στα πλούσια σμήνη

Οι Shane, Wirtanen και de Vaucouleurs ανακάλυψαν ότι ο αριθμός γαλαξιών ανά μονάδα επιφάνειας στο σμήνο της Κόμης, μεταβάλλεται με την απόσταση r από το κέντρο του σμήνους, σύμφωνα με τη σχέση

$$\mathcal{N}(r) = \mathcal{N}(0)e^{-(r/r_0)^{1/4}}, \quad (5.30)$$

όπου η κεντρική τιμή $\mathcal{N}(0)$ και ο παράγοντας κλίμακας r_0 είναι εμπειρικές σταθερές που προσδιορίζονται ώστε να υπάρχει συμφωνία με τους αριθμούς που καταμετρούνται παρατηρησιακά. Στη συνέχεια, πολλοί ερευνητές, μεταξύ των οποίων και οι Fritz, Zwicky και Neta Bachall, παρατήρησαν ότι οι κατανομή των γαλαξιών στα πλούσια σμήνη μοιάζει με τη θεωρητικά αναμενόμενη για ένα σύστημα μαζών που αλληλεπιδρούν βαρυτικά και στο οποίο έχει αποκατασταθεί σε μεγάλο βαθμό ισορροπία. Όταν όμως επιχρήρησαν να εκτιμήσουν τη μάζα διαφόρων σμηνών, διαπίστωσαν ότι η συνολική μάζα που απαιτείται ώστε να είναι τα σμήνη βαρυτικά δέσμια, είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή που είναι οπτικά παρατηρούμενη. Η ασυμφωνία αυτή ελαττώθηκε με την ανακάλυψη του θερμού αερίου στα σμήνη, αλλά και πάλι η παρατηρούμενη ύλη ήταν πέντε φορές μικρότερη από την θεωρητικά απαιτούμενη, γεγονός που συνιστά το λεγόμενο **πρόβλημα της ελλειπούσας μάζας** στα πλούσια σμήνη. Μία από τις εξηγήσεις που έχουν δοθεί, είναι ότι η ελλειπούσα μάζα βρίσκεται στη μορφή αστέρων μικρής μάζας, που μπορεί να βρίσκονται δεσμευμένα είτε στην άλω των γαλαξιών, είτε να είναι διασκορπισμένα σε όλο το χώρο του σμήνους. Με αυτήν την παραδοχή επιλύεται και ένα άλλο πρόβλημα. Στα περισσότερα αστρικά συστήματα, η μάζα του μεσοαστρικού αερίου ισούται με ένα μικρό ποσοστό της μάζας που υπάρχει στους αστέρες των συστημάτων. Όμως, η ποσότητα του αερίου στα πλούσια σμήνη είναι συγκρίσιμη με την οπτικώς μετρήσιμη μάζα των γαλαξιών. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την παραδοχή ότι στα σμήνη υπάρχουν περίπου δέκα φορές περισσότεροι αστέρες από αυτούς που είναι οπτικώς ορατοί.

Βιβλιογραφία

- [1] B. M. Peterson, *Active Galactic Nuclei*, Cambridge University Press, 1997
- [2] A. E. Roy and D Clarke, *Astronomy - Principles and Practice*, Third Edition, Insitute of Physics Publishing, London, 1994
- [3] F. Shu, *Αστροφυσική - Δομή και Εξέλιξη του Σύμπαντος*, Τόμος I - Αστέρες, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1991
- [4] F. Shu, *Αστροφυσική - Δομή και Εξέλιξη του Σύμπαντος*, Τόμος II - Γαλαξίες και Ηλιακό Σύστημα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1991
- [5] M. Sarazin and F. Roddier *The ESO Differential Imaga Motion Monitor*, *Astronomical and Astrophysics*, 227, 294-300, 1990
- [6] J. Vernin and C. Munoz-Tunon *Measuring Astronomical Seeing: Tha DA/IAC DIMM*, *Astronomical Society of Pacific*, 107, 265-272, 1995 March
- [7] P. Boumis, A. Steiakaki, F. Mavromatakis, G. Paterakis and J. Papamastorakis *Seeing Measurments at Skinakas Observatory Using the DIMM Method*
- [8] P. R. Wood, A. W. Rodgers and K. S. Russell *Seeing Measurments at Freeling Heights and Siding Spring Observatory*, publ. *Astron. Soc.*, 12, 97-105, 1995 August

Ιστοσελίδες

- [1] www.sat.dundee.ac.uk
- [2] www.astro.noa.gr
- [3] www.accuweather.com
- [4] www.weatheronline.com
- [5] www.hnms.com
- [6] www.meteofrance.com
- [7] www.zamg.com
- [8] www.kalavrita-ski.gr
- [9] forecast.uoa.gr
- [10] www.snowforecast.com
- [11] www.wikipedia.org
- [12] www.nasa.org