

## CCD ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΑΣΤΡΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

*Στέλιος Κλειδής  
Ελληνική Αστρονομική Ένωση , Αστεροσκοπείο Ζαγορίου  
klidis@freemail.gr  
Γιάννης Ροζάκης  
Ελληνική Αστρονομική Ένωση , Αστεροσκοπείο Ζαγορίου*

### Εισαγωγή

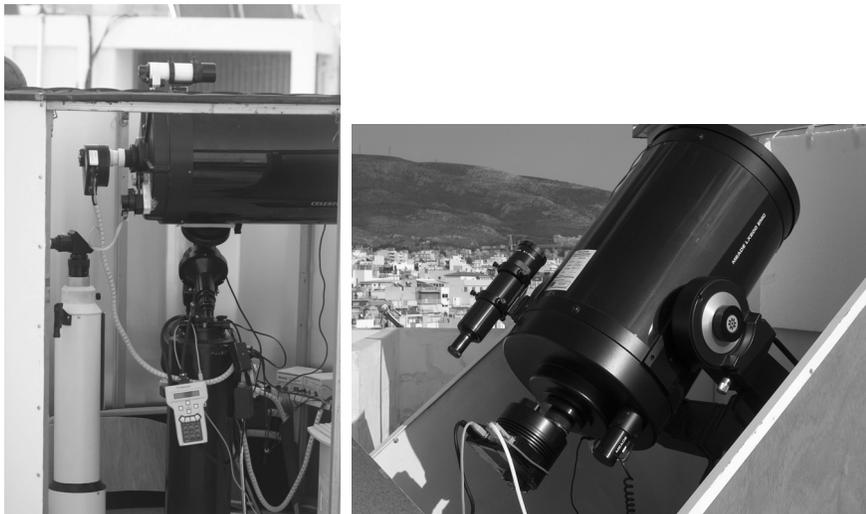
Η εισήγηση αυτή, σκοπό έχει να παρουσιάσει στους ερασιτέχνες αστρονόμους τη διαδικασία καταγραφής των μεταβολών της λαμπρότητας των μεταβλητών αστέρων και να δείξει μερικά χαρακτηριστικά αποτελέσματα σταχυολογημένα από τις παρατηρήσεις της τελευταίας διετίας. Ακόμη, θέλουμε να τονίσουμε τα πλεονεκτήματα της φωτομετρίας, ως ερασιτεχνικής ενασχόλησης, αναφορικά τόσο ως προς την ευκολία εφαρμογής της τεχνικής αλλά και ως προς την ελευθερία επιλογής τόπου παρατήρησης ανεξάρτητα από το επίπεδο φωτορύπανσης.

Με δεδομένο πως καταγράφουμε μεταβολές, η διαδικασία συνίσταται στη διαδοχική λήψη εικόνων της περιοχής του μεταβλητού για όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα είναι εφικτό μέσα σε μία νύχτα. Αυτή επαναλαμβάνεται για όσες νύχτες χρειαστεί, έως ότου συγκεντρωθεί το αναγκαίο πλήθος δεδομένων που θα επιτρέψει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Υπάρχει συστηματική συνεργασία με αστρονόμους ή ομάδες αστρονόμων και οι στόχοι που παρατηρούμε είναι κυρίως αντικείμενα του άμεσου ενδιαφέροντός τους. Η συνεργασία αυτή προσφέρει πολλαπλά οφέλη, τόσο με την άμεση αξιοποίηση των δεδομένων, όσο και με τη βοήθεια, τις συμβουλές και την πληροφόρηση που λαμβάνουμε σχετικά με την εξέλιξη της έρευνας.

## Εξοπλισμός – τοποθεσία παρατήρησης

Όλες οι παρατηρήσεις γίνονται από περιοχές κοντά στο κέντρο της Αθήνας που πλήττονται από ιδιαίτερη φωτορύπανση. Τα τηλεσκόπια έχουν τοποθετηθεί μόνιμα σε ταράτσες και προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες με απλές κατασκευές ανοιγόμενης οροφής. Ο ΣΚ χρησιμοποιεί τηλεσκόπιο LX200 300mm στο  $f/4.4$ , κάμερα SBIG ST-7 με δίσκο αυτόματης εναλλαγής φωτομετρικών φίλτρων, ενώ ο ΓΡ τηλεσκόπιο C14 στο  $f/4.1$  σε βάση Losmandy και κάμερα SBIG ST-7 με φωτομετρικά φίλτρα. Χρησιμοποιείται λογισμικό ελέγχου θέσης και σκόπευσης των τηλεσκοπίων (Connections & TheSky), λογισμικό ελέγχου και προγραμματισμού των συσκευών CCD (Connections & MaxImDL), λογισμικό image calibration και φωτομετρίας (AIP4WIN & Canopus), λογισμικό ανάλυσης περιόδων (Period, Peranso & Canopus) και το MS Excel για τη μαζική επεξεργασία των δεδομένων και την εποπτική παρουσίαση των καμπυλών.



## Διαδικασία παρατηρήσεων και επεξεργασίας

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα κάθε άστρο-στόχος παρατηρείται επί πολλές ώρες κάθε νύχτα. Η ανάγκη αυτοματοποίησης της διαδικασίας ήλθε πολύ νωρίς για να εξασφαλιστεί εκτός από την επιτυχή λήψη των εικόνων και σχετικά επαρκής χρόνος ανάπαυσης των παρατηρητών. Στο ξεκίνημα της περιόδου παρατήρησης λαμβάνονται calibration images (bias, dark & flat) και ρυθμίζονται οι παράμετροι αυτοματισμού της διαδικασίας. Γίνεται η στόχευση της περιοχής που βρίσκονται ο μεταβλητός και τα άστρα συγκρίσεως και ξεκινά η αλληλουχία λήψης των εικόνων. Τυπικοί χρόνοι έκθεσης είναι από 30 έως 80 δευτερόλεπτα ανάλογα με το φίλτρο, τη λαμπρότητα των άστρων και τη ζητούμενη συχνότητα κάλυψης του φαινομένου. Καθώς το τηλεσκόπιο ακολουθεί το πεδίο κατά τη φαινόμενη

κίνησή του, οι λήψεις γίνονται αυτόματα με τη συχνότητα, τη διάρκεια και το φίλτρο που έχουν προδιαγραφεί. Από την πλευρά των παρατηρητών και με δεδομένη την επιτυχή λειτουργία των συστημάτων επί μακρόν, το μόνο που χρειάζεται είναι κάποιος περιοδικός έλεγχος για την ομαλή πορεία της καταγραφής (αλλαγή ατμοσφαιρικών συνθηκών, ανάπτυξη νέφωσης ή υγρασίας, σφάλματα οδήγησης κλπ). Στο τέλος της παρατήρησης οι εικόνες που έχουν συλλεγεί μεταφέρονται μέσω απλού τοπικού δικτύου από τον υπολογιστή που ελέγχει το σύστημα σ' αυτόν που θα κάνει την επεξεργασία και βρίσκεται στην κατοικία του παρατηρητή. Η πρώτη φάση επεξεργασίας είναι πάντα μια πλήρης διαδικασία calibration που έχει σκοπό την απαλλαγή των εικόνων από ανεπιθύμητες προσμίξεις (ηλεκτρ. & θερμικό θόρυβο, ανομοιομορφίες του οπτικού πεδίου κλπ). Επίσης ελέγχονται ώστε να απομακρυνθούν όσες εικόνες παρουσιάζουν πρόβλημα λόγω παροδικών νεφών, ιχνών κοσμικής ακτινοβολίας ή διελεύσεως τεχνητών δορυφόρων. Στη συνέχεια φωτομετρούνται με τη διαδικασία της διαφορικής φωτομετρίας και τα αποτελέσματα αποστέλλονται στους παραλήπτες για περαιτέρω ανάλυση.

### **Ακρίβεια που επιτυγχάνεται**

Ο συνδυασμός εξοπλισμού και συνθηκών παρατήρησης που εν πολλοίς είναι κοινός και για τους δύο παρατηρητές, εξασφαλίζει συνήθεις τιμές λόγου σήματος προς θόρυβο που κυμαίνονται μεταξύ 100 και 700 (για αντικείμενα φαινομένου μεγέθους 10.5 – 12.0) και με μέσες τιμές σφάλματος στην περιοχή των 10 – 15 mmag. Αυτό, σε συνδυασμό με την κάλυψη τουλάχιστον 250 σημείων ανά φίλτρο στη διάρκεια της περιόδου του φαινομένου, προσφέρει πλήρως ικανοποιητικές και αξιοποιήσιμες καμπύλες μεταβολών. Με κατάλληλη τεχνική, το σφάλμα για σχετικώς λαμπρά αντικείμενα μπορεί να πέσει κάτω από τα 5 mmag, οπότε είναι δυνατή η καταγραφή μεταβολών λαμπρότητας σε εύρος από 0.01 έως 0.015 mag.

### **Παρατηρούμενοι μεταβλητοί**

Ο κύριος όγκος των παρατηρήσεων γίνεται σε βραχυπερίόδους παλλόμενους και εκλειπτικούς μεταβλητούς. Οι παλλόμενοι είναι αντικείμενα που βρίσκονται χαμηλά στη ζώνη αστάθειας του διαγράμματος H-R και πιο συγκεκριμένα, δ-Scuti, κηφείδες πληθυσμού II και RR Λύρας. Οι παρατηρήσεις εξυπηρετούν την έρευνα της αστροσεισμολογίας με τον υπολογισμό των πολλαπλών περιόδων παλμών και του τρόπου που αυτοί συσχετίζονται ή του φαινομένου Blazko για τους μεταβλητούς σμηνών. Οι εκλειπτικοί είναι συνήθως συστήματα επαφής ή αντικείμενα τύπου RS CVn και οι παρατηρήσεις έχουν σκοπό τη δημιουργία μοντέλων Roche, τη μελέτη της φωτοσφαιρικής δραστηριότητας ή τον εμπλουτισμό των διαγραμμάτων O-C. Αν και έχουν παρατηρηθεί κατακλυσμαία άστρα ή ενδιάμεσοι πολωτές όπως ο V Sge ή ο QR And αντίστοιχα, δεν υπάρχει επαρκής χρόνος και για τους τομείς αυτούς.

Τέλος, έχουν γίνει δύο καταγραφές διαβάσεων εξωπλανητών με αυτή του TrES1

που έκανε ο κ.Ροζάκης να είναι η πρώτη στην Ελλάδα, ενώ ο ίδιος είναι και ο πρώτος ερασιτέχνης αστρονόμος στη χώρα μας που ανακάλυψε νέο μεταβλητό, έναν κλειπτικό τύπου W UMa.

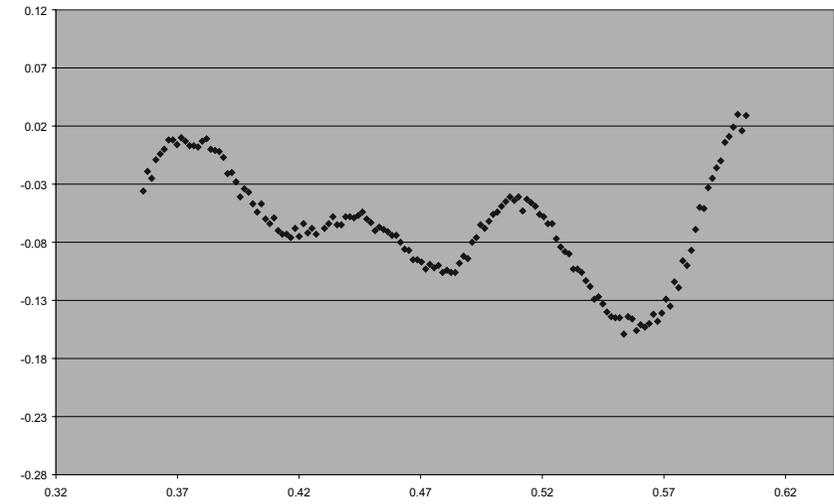
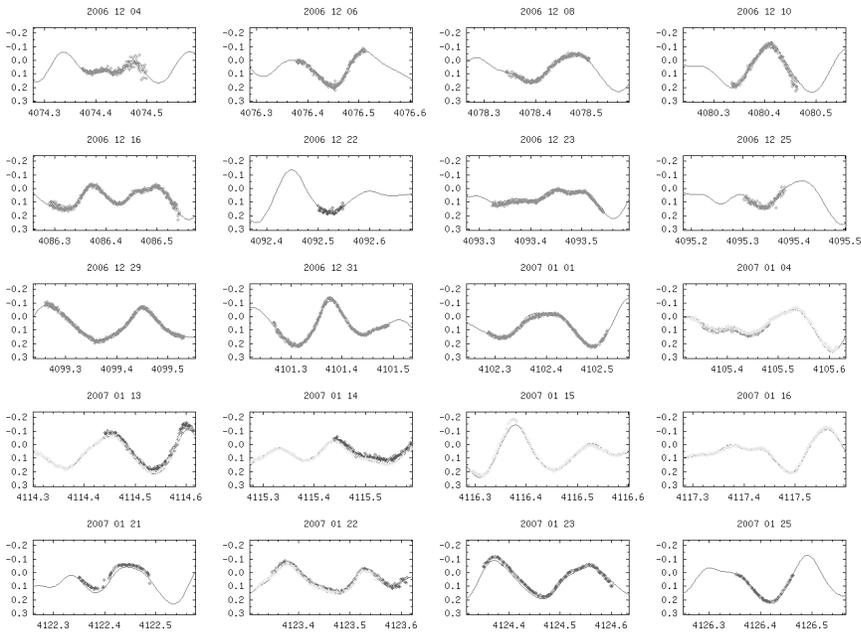
### Γενικά αποτελέσματα

Τα δύο τελευταία χρόνια, έχει συγκεντρωθεί σημαντικός αριθμός μετρήσεων που όλες έχουν υποβληθεί και αξιοποιηθεί. Πρέπει να τονισθεί πάλι, πως για να θεωρηθεί ένα αντικείμενο ως επαρκώς παρατηρηθέν, μπορεί να χρειαστεί χρονικό διάστημα μηνών ή και ετών. Όταν η δραστηριότητα είναι σύνθετη ή εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, επόμενο είναι να μη συλλέγονται τα δεδομένα σε σύντομο χρόνο. Η ευκολία στην πρόσβαση και χρήση του εξοπλισμού μας, δίνει τη δυνατότητα να γίνονται παρατηρήσεις τις περισσότερες από τις ανέφελες νύχτες του χρόνου. Ακόμη κι αν το seeing δεν είναι επαρκές ή η Σελήνη κυριαρχεί στον ουρανό, φωτομετρία και πάλι μπορεί να γίνει με μικρή μόνο ύφεση της ακρίβειας, εφ' όσον τηρούνται οι κανονικές διαδικασίες. Κάθε ένας από εμάς αφιερώνει 80 – 100 νύχτες το χρόνο και η συνολική συγκομιδή μέχρι σήμερα είναι περισσότερα των 120.000 σημείων σε χρήσιμες καμπύλες φωτός.

### Ενδεικτικές Καμπύλες

Σε όλα τα διαγράμματα, στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται ο χρόνος (σε ηλιοκεντρικά διορθωμένες ημέρες), ενώ στον κάθετο η σχετική λαμπρότητα.

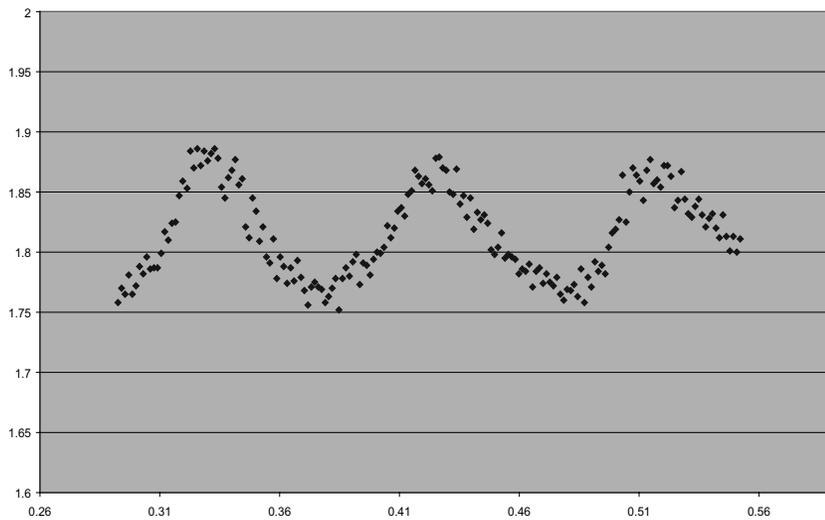
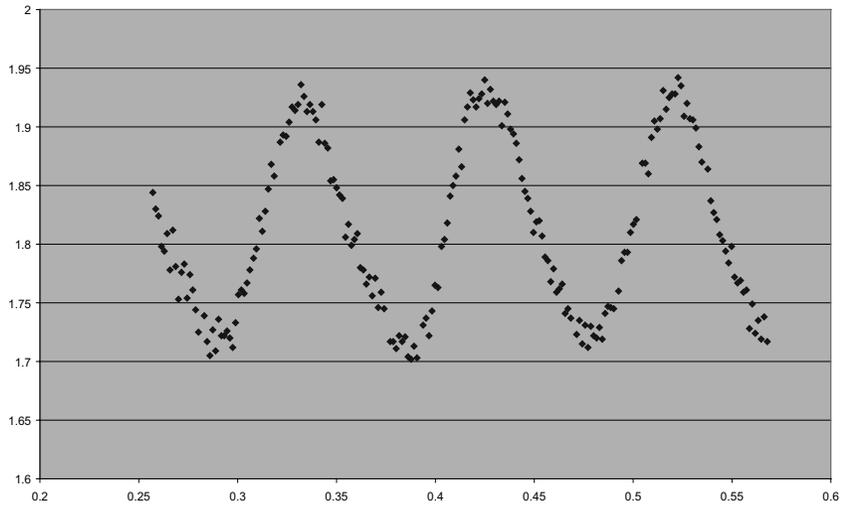
α. **USNO4652/8204:** Ένας HADS δ-Scuti που πάλλεται με 3 ακτινικές, 1 μη-ακτινική και 6 παράγωγες συχνότητες. Το αστροφυσικό ενδιαφέρον είναι πως μόνο τρεις παρόμοιων ιδιοτήτων έχουν ανακαλυφθεί στο Γαλαξία μας. Παρατηρήθηκε επί 43 νύχτες σε διάστημα 109 ημερών και εκτός από εμάς, συμμετείχαν ο Αυστριακός που τον ανακάλυψε και ένας ακόμη Βέλγος ερασιτέχνης. Η ευνοϊκή συγκυρία της καλοκαιρίας κατά τον Δεκέμβριο 2006-Ιανουάριο 2007, μας επέτρεψε να προσφέρουμε το 70% των δεδομένων. Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται ένα τμήμα από όλες τις καμπύλες με τη συνεχή κόκκινη γραμμή να παριστά το θεωρητικό μοντέλο.



Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η δραστηριότητα του άστρου αυτού τη νύχτα 7-8 Ιανουαρίου 2007.

β. **GSC1730:1858** Ένας ακόμη ενδιαφέρων HADS δ-Scuti που παρατηρήθηκε επι

52 νύχτες από 3 παρατηρητές σε διάστημα 73 ημερών. Αποκαλύφθηκαν 5 κύριες και 4 παράγωγες συχνότητες παλμών, ενώ τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στο IBVS Νο5743.



Στα δύο παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η διαφορά στη συμπεριφορά του συγκεκριμένου άστρου.

γ. **HD217860**: Ένας μικρού εύρους δ-Scuti που παρατηρήθηκε από τον Ιούνιο 2005 ως τις 25 Δεκεμβρίου του ίδιου έτους.

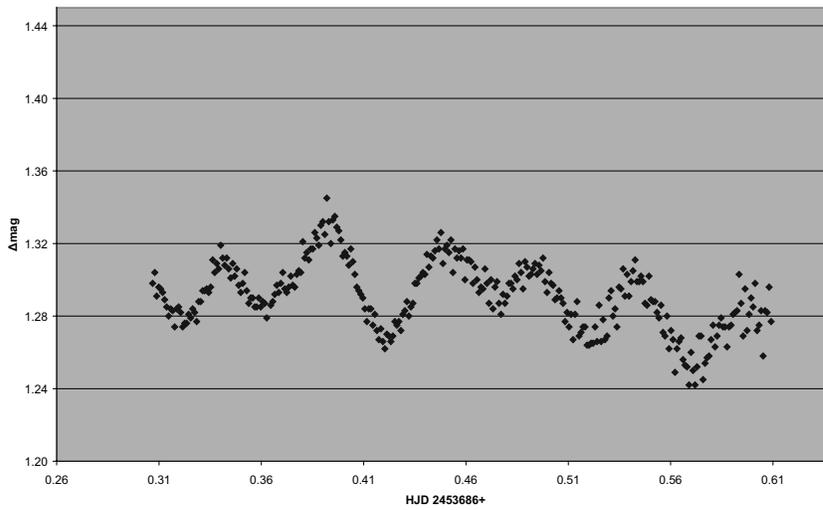
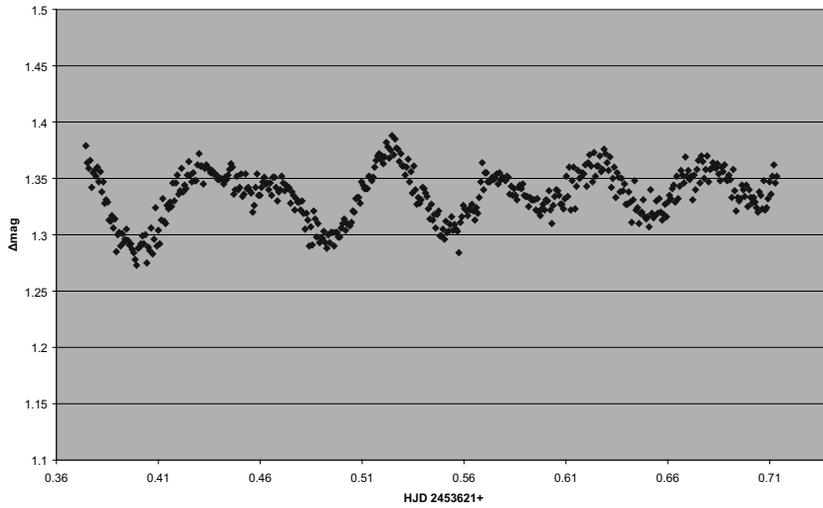
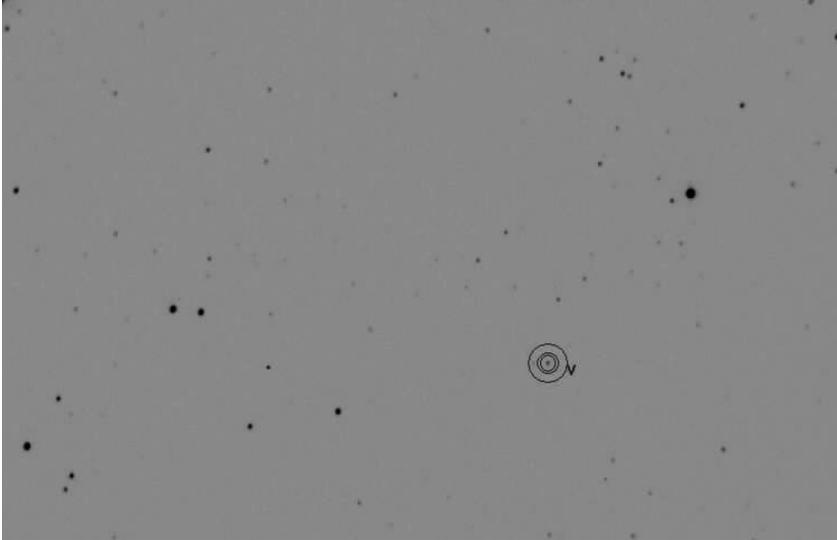


Table 8. Multi-parameter solutions for the combined data sets

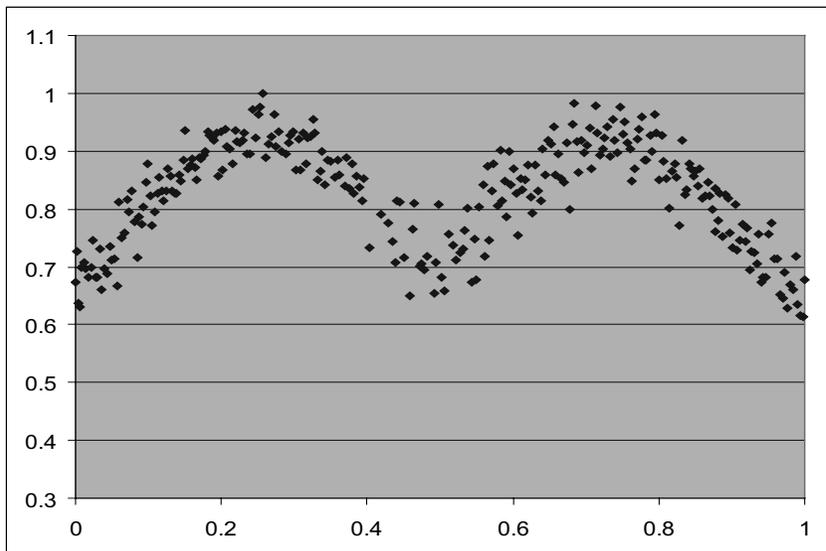
Set	Freq. (c.d <sup>-1</sup> )	Amp. (mmag)	Phase (2πrad)	$\sigma_{res}$ (mmag)	S/N	R %
All						
	<i>Filter B</i>	<i>N = 9911</i>		<i><math>\sigma_{init} = 19.0</math> mmag</i>		
F1	19.74727 ± 0.00001	19.4 ± 0.2	0.392 ± 0.002	13.3	41.9	
F2	12.10489 ± 0.00002	13.3 ± 0.2	0.225 ± 0.003	9.5	21.9	
F3	15.2748(4)	4.2	0.84	9.0	6.6	
F4	8.9110(1)	4.0	0.27	8.6	6.3	
F5	9.6224(0)	4.7	0.60	8.3	7.4	
F6	2.0002(5)	3.6	0.54	8.0	5.6	
F7	8.698(17)	3.1	0.56	7.7	4.9	
F8	31.852(15)	1.7	0.43	7.6	6.8	84

Κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα είναι το αποτύπωμα της δραστηριότητας του για την αντίστοιχη νύχτα, ενώ ο πίνακας δείχνει τις 8 σημαντικότερες συχνότητες που εντοπίστηκαν, όπως αυτές περιέχονται στο *paper* που έχει ήδη εγκριθεί και περιμένει δημοσίευση στο *Astronomy & Astrophysics*. Τότε είχε χρησιμοποιηθεί το τηλεσκόπιο των 8 ιντσών.

**δ. USNO2741/2654: Ένας νέος εκλειπτικός.** Το καλοκαίρι του 2005 ο Γιάννης Ροζάκης φωτομέτρησε τα υπόλοιπα αντικείμενα ενός πεδίου που είχε ήδη παρατηρήσει, και πρόσεξε την μικρή μεταβολή της λαμπρότητας ενός άστρου μεγέθους 14.26. Η επιβεβαίωση της μεταβλητότητας του αντικειμένου αυτού έγινε από τον ΣΚ το φθινόπωρο του ίδιου έτους, ενώ τη συστηματική παρατήρηση έκανε ο ίδιος από τα τέλη Αυγούστου ως τα τέλη Δεκεμβρίου του 2006. Το εν λόγω πεδίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα με το νέο μεταβλητό σημειωμένο με το «V» :

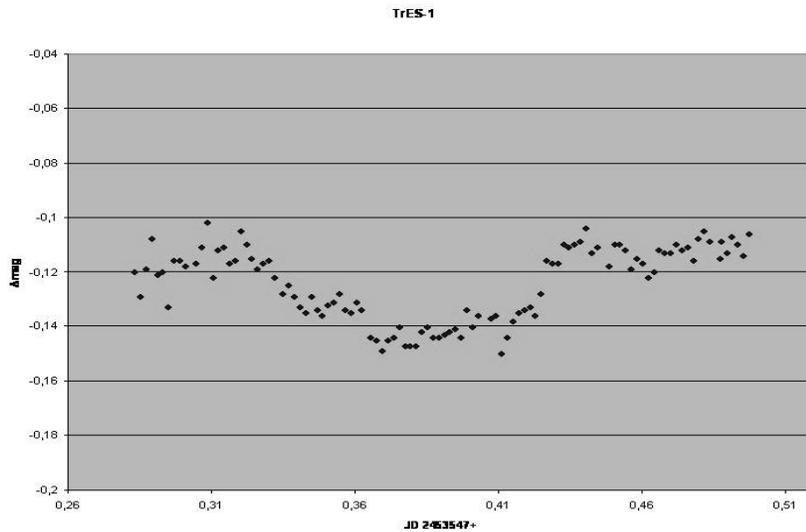


Οι παρατηρήσεις που έγιναν στα φίλτρα V, Ic & C (καθαρό) έδειξαν πως πρόκειται για εκλειπτικό μεταβλητό τύπου W UMa με εφημερίδα:  
**Min= HJD 2454098.30579 + 0.49076d x E ± 0.00008 ± 0.00007**

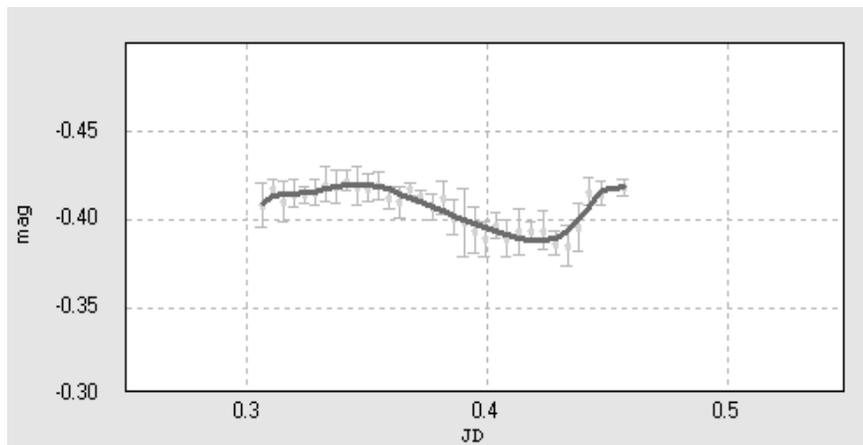


Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η καμπύλη φάσεως σε φίλτρο V. Η αμυδρότητα του αντικειμένου αυτού, απαιτεί τη χρήση αρκετά μεγαλύτερου τηλεσκοπίου για περαιτέρω ανάλυση.

ε. **Εξωπλανήτες** Το καλοκαίρι του 2005 ο Γιάννης Ροζάκης έκανε την (πιθανότατα) πρώτη στη χώρα μας καταγραφή της διέλευσης εξωπλανήτη. Στο παρακάτω διάγραμμα που την αποτυπώνει, κάθε σημείο είναι ο μέσος όρος 10 μετρήσεων του αντικειμένου TrES 1 στη Λύρα.



Αργότερα, το φθινόπωρο του ίδιου έτους ο ΣΚ χρησιμοποιώντας τηλεσκόπιο 8" φωτομέτρησε τον εξωπλανήτη HD189733 στον αστερισμό της Αλεπούς. Αν και το αντικείμενο βρισκόταν πολύ χαμηλά στο δυτικό ορίζοντα, η διάβαση κατεγράφη.



## Επίλογος

Η απόλαυση της καταγραφής των μεταβολών και της δραστηριότητας μεταβλητών, σε συνδυασμό με τη διέξοδο της όσο-συχνά-θέλουμε παρατήρησης συντηρούν και αυξάνουν την επιθυμία μας να συνεχίσουμε στο δρόμο αυτό. Η διαπίστωση από όλους όσοι ασχολούνται με τέτοια εργασία, πως πρόκειται για κάτι εξόχως συναρπαστικό, μας βρίσκει απολύτως σύμφωνους και ελπίζουμε να πείσουμε κι άλλους να κάνουν φωτομετρία. Η υποστήριξή μας σε τέτοιο ενδεχόμενο ας θεωρηθεί αυτονόητη.

## Βιβλιογραφία

1. *Bernhard, K.; Klidis, S.; Hamsch, F.-J.; Wils, P. , 2006IBVS.5743....1B*
2. *Frémat, Y.; Lampens, P.; van Cauteren, P.; Kleidis, S.; Gazeas, K.; Niarchos, P.; Neiner, C.; Dimitrov, D.; Cuypers, J.; Montalbán, J.; and 2 coauthors , 2007A&A...471..675F*