ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΔΙΠΛΑ ΑΣΤΡΑ ΜΕ ΜΙΑ ΒΙΝΤΕΟΚΑΜΕΡΑ

Μανόλης Καπετανάκης (mkapet@yahoo.com)
Ελληνική Αστρονομική Ένωση

Περίληψη: Λέγοντας «μέτρηση διπλού άστρου» εννοούμε τη μέτρηση δύο γωνιών, της «γωνίας θέσης» (position angle, θ) και της «γωνιακής απόστασης» (separation, ρ) των μελών του. Στην προκειμένη περίπτωση θα περιγράψουμε πώς μπορεί να γίνει αυτή η μέτρηση με τη χρήση μιας ευαίσθητης βιντεοκάμερας (εικόνα 1).

Εικόνα 1

Εισαγωγή: Οπτικά Διπλά Άστρα είναι αυτά που βλέπουμε, μέσω τηλεσκοπίου, να βρίσκονται πολύ κοντά το ένα με το άλλο, όπως προβάλλονται πάνω στην ουράνια σφαίρα. Όπως καταλαβαίνουμε, η θέση μας και η θέση πολλών από αυτά απλώς τυχαίνει να βρίσκονται περίπου στην ίδια ευθεία, αλλά το ένα από τα δύο να βρίσκεται πολύ μακρύτερα από εμάς απ' ότι το άλλο, δηλαδή να μην υπάρχει καμιά φυσική σύνδεση μεταξύ τους. Σε πολλές όμως περιπτώσεις, τα δύο (ή περισσότερα) άστρα βρίσκονται πράγματι τόσο κοντά ώστε να αλληλεπιδρούν βαρυτικά και να περιφέρονται γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους ή έστω να κινούνται μαζί στο χώρο (Common Proper Motion). Αντιλαμβανόμαστε επίσης ότι δεν είναι και πολύ σαφής ο διαχωρισμός μεταξύ ενός πολλαπλού αστρικού συστήματος και ενός μικρού αστρικού σμήνους. Γενικά πάντως, σμήνη θεωρούμε τις ομάδες άστρων που αλληλεπιδρούν βαρυτικά και που αποτελούνται από τουλάχιστον οκτώ-δέκα μέλη. Θα πρέπει να αναφέρουμε επίσης πως, απ' ό,τι φαίνεται, πάνω από το 50% των άστρων αποτελούν διπλά ή πολλαπλά αστρικά συστήματα.

Γιατί ενδιαφερόμαστε για τα διπλά άστρα; Γιατί αποτελούν τη μοναδική περίπτωση κατά την οποία μπορούμε να προσδιορίσουμε άμεσα τη μάζα ενός ουράνιου αντικειμένου. Λέγοντας άμεσα εννοούμε χρησιμοποιώντας κάποιο φυσικό νόμο (π.χ. 3ος νόμος του Kepler), αρκεί να μετρήσουμε την περίοδο περιφοράς του συστήματος και να γνωρίζουμε την τροχιά του δευτερεύοντος μέλους γύρω από το πρωτεύον, πράγματα καταρχήν εφικτά. Το καταρχήν εδώ σημαίνει ότι πρακτικά δεν είναι και τόσο εύκολα τα πράγματα.

Μια άλλη μέτρηση η οποία είναι χρήσιμο να γίνεται, είναι η μέτρηση των μεγεθών των μελών του συστήματος, με φωτομετρικά φίλτρα. Συνήθως βέβαια, επειδή χρησιμοποιούνται μεγάλες μεγεθύνσεις, στο οπτικό πεδίο δεν υπάρχουν άλλα άστρα, ή αν υπάρχουν είναι πολύ αμυδρά για να κάνουμε «συγκριτική

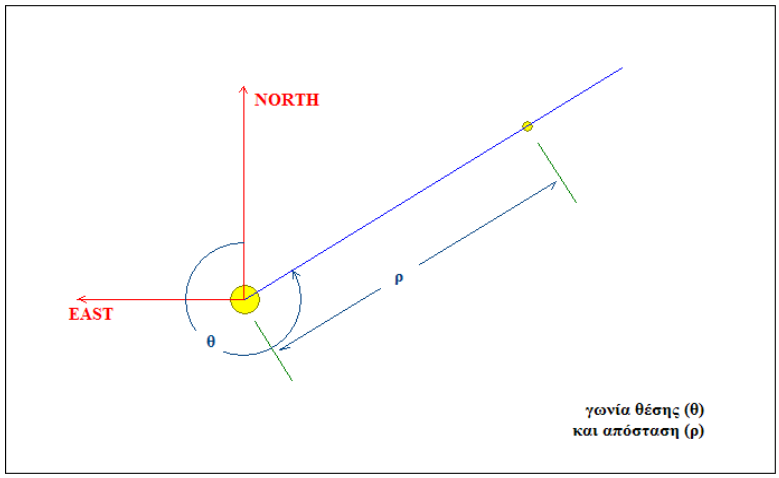
φωτομετρία». Μπορούμε όμως να προσδιορίσουμε τη διαφορά των μεγεθών των μελών του συστήματος.

Ας δούμε τώρα τι ακριβώς μετράμε για να προσδιορίσουμε τη σχετική θέση των μελών ενός διπλού άστρου.

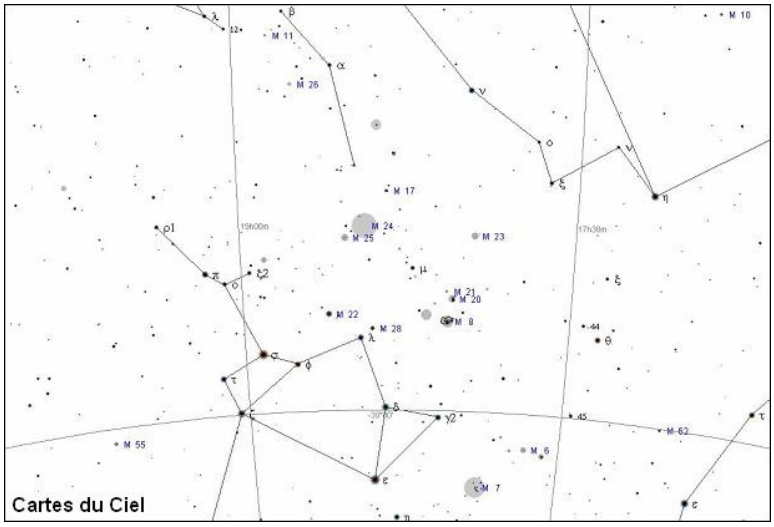
Καταρχήν το λαμπρότερο μέλος του ζεύγους είναι κατά κανόνα το «πρωτεύον» άστρο και το αμυδρότερο το «δευτερεύον». Συμφωνούμε να θεωρούμε ακίνητο το πρωτεύον άστρο (σύστημα αναφοράς), οπότε το δευτερεύον περιστρέφεται γύρω από αυτό σε χρόνο μιας περιόδου, διαγράφοντας γενικά ελλειπτική τροχιά.

«Γωνία θέσης», (θ), είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία που ενώνει τα δύο άστρα του ζεύγους με τη κατεύθυνση του Βορρά, μετρημένη από το Βορρά προς την Ανατολή (εικόνα 2). Μετριέται σε μοίρες και ακρίβεια ενός τουλάχιστον δεκαδικού ψηφίου είναι καλή.

«Γωνιακή απόσταση», (ρ), ή απλά «απόσταση», λέμε τη γωνία υπό την οποία βλέπουμε τα δύο αστέρια. Επειδή λοιπόν τα αστέρια είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο, σε σχέση βέβαια με μας, η «απόσταση (ρ)» θα είναι μια πολύ μικρή γωνία και μετριέται σε δεύτερα λεπτά της μοίρας (arcsec).Ακρίβεια δύο τουλάχιστον δεκαδικών ψηφίων είναι αρκετή.



Εικόνα 2

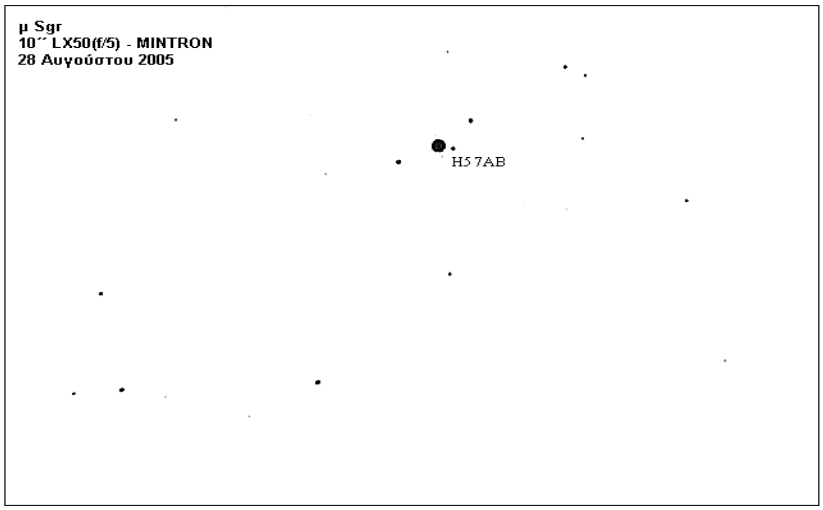


Εικόνα 3.1

Διαδικασία: Θα δούμε τώρα πώς μπορούμε να μετρήσουμε αυτές τις γωνίες, μέσα από ένα παράδειγμα. Στην εικόνα 3.1 (κέντρο), φαίνεται το άστρο μ Sgr.

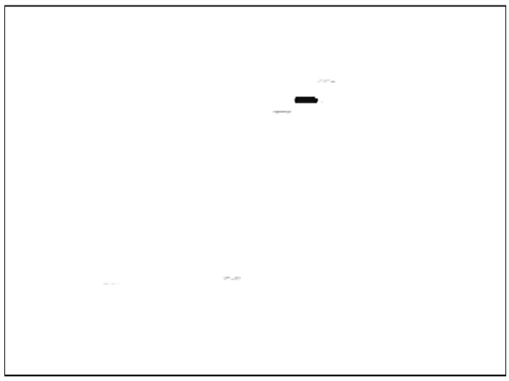
Η εικόνα 3.2 είναι μια φωτογραφία (ένα frame) του άστρου μ Sgr, με τηλεσκόπιο 25cm /f10, με focal reducer 0,5X και μια βιντεοκάμερα MINTRON 12V1-EX, όπου φαίνεται το διπλό άστρο H5 7AB, και του οποίου προτιθέμεθα να μετρήσουμε τη γωνία θέσης και την απόσταση.

Θα πρέπει επομένως να γνωρίζουμε αφενός μεν τον ακριβή προσανατολισμό της εικόνας, ποια είναι δηλαδή η ακριβής κατεύθυνση του Βορρά και της Ανατολής, και αφετέρου την κλίμακα: δευτερόλεπτα μοίρας ανά pixel, ώστε οι μετρήσεις να πραγματοποιηθούν με τον υπολογιστή.

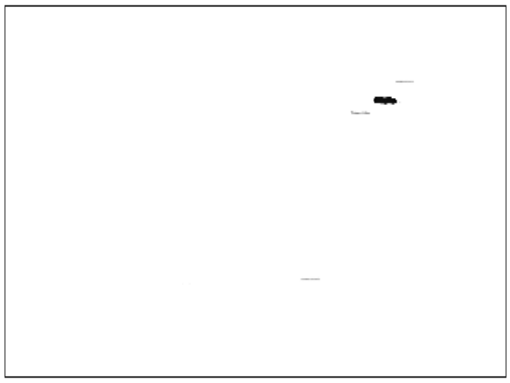


Εικόνα 3.2

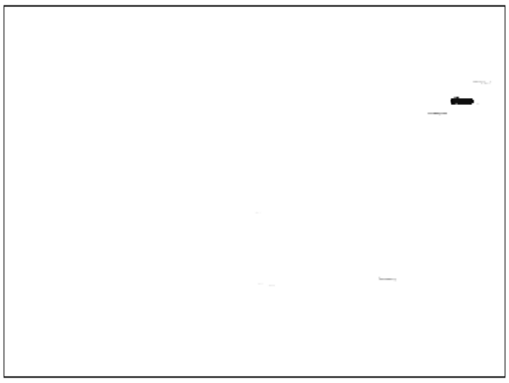
Τον ακριβή προσανατολισμό της εικόνας μπορούμε να τον βρούμε εκμεταλλευόμενοι το γεγονός πως, όταν το τηλεσκόπιο δεν οδηγείται, τα άστρα μέσα στο οπτικό πεδίο κατευθύνονται ακριβώς προς δυσμάς. Κλείνουμε λοιπόν τον κινητήρα του τηλεσκοπίου και καταγράφουμε σε video (ή φωτογραφίζουμε σε τακτά χρονικά διαστήματα) τα άστρα όπως κινούνται.



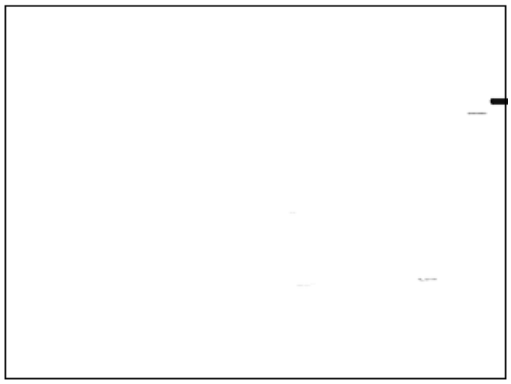
Εικόνα 3α



Εικόνα 3β

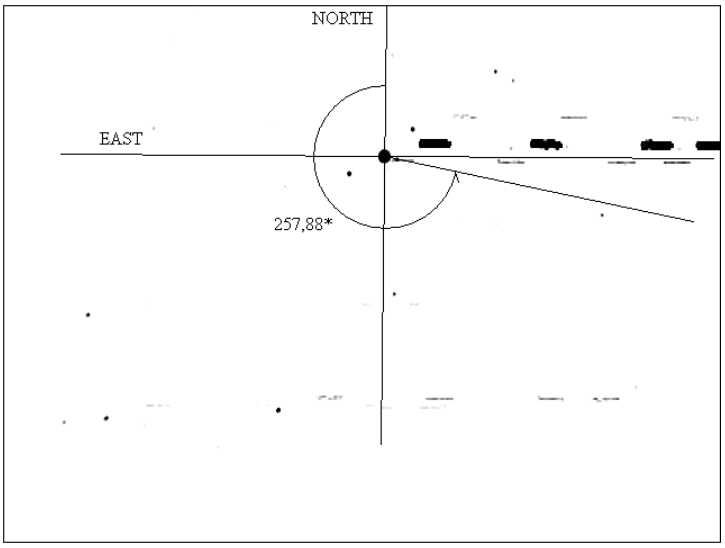


Εικόνα 3γ



Εικόνα 3δ

Οι εικόνες 3α, 3β, 3γ και 3δ είναι frames από το αρχείο AVI. Τώρα, προσθέτοντας τις εικόνες 2, 3α, 3β, 3γ και 3δ, παίρνουμε την εικόνα 4.



Εικόνα 4

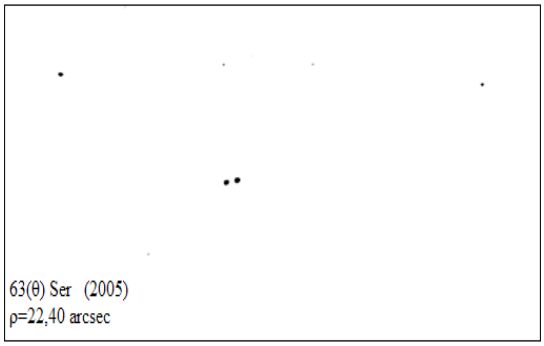
Στην ίδια εικόνα βλέπουμε τη γωνία που μετρήσαμε ως «γωνία θέσης» του H5 7AB. Η διαδικασία της μέτρησης έγινε με τον υπολογιστή χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό. Συνήθως βέβαια με αυτά τα προγράμματα, ο υπολογιστής θεωρεί σαν Βορρά την ακριβώς την προς τα πάνω κατεύθυνση στην οθόνη και πραγματοποιεί την μέτρηση δεξιόστροφα. Εμείς κατά περίπτωση, με τις κατάλληλες προσθαφαιρέσεις γωνιών, βρίσκουμε την γωνία θέσης του άστρου.

Όσον αφορά τώρα την (γωνιακή) απόσταση (ρ) των δύο άστρων του ζεύγους, είπαμε πως πρέπει να γνωρίζουμε την κλίμακα. Αυτή μπορεί να καθοριστεί εάν φωτογραφήσουμε (με τον ίδιο ακριβώς εξοπλισμό) άλλα διπλά άστρα των οποίων η απόσταση είναι γνωστή, και έπειτα με τον υπολογιστή, πάνω στην φωτογραφία, μετρήσουμε την απόσταση των άστρων σε pixels. Με την διαίρεση υπολογίζουμε την κλίμακα (π.χ. 3 arcsec/pixel).

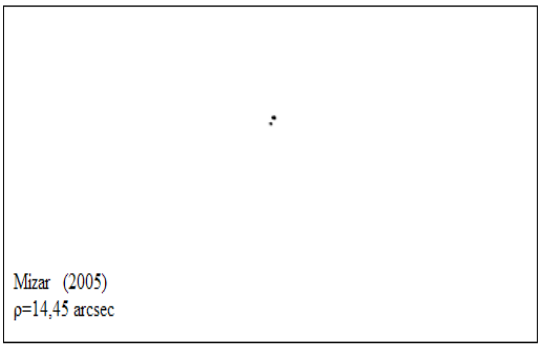
Στις φωτογραφίες 5 και 6, φαίνονται τα διπλά άστρα 63 Ser και Mizar αντίστοιχα. Πρόκειται για διπλά άστρα πολύ καλά μελετημένα και το 2005, πού έγιναν οι μετρήσεις, οι αποστάσεις τους ήταν αντίστοιχα 22,40 arcsec και 14,45 arcsec αντίστοιχα.

Με τον υπολογιστή λοιπόν μετρούμε τις αποστάσεις πάνω στις φωτογραφίες, και βρίσκουμε 13,57pixels για το θ Ser και 8,97pixels για τον Mizar. Έτσι έχουμε:

$$\frac{22,40\,arcsec}{13,57\,pixels} = 1,65\,\frac{arcsec}{pixel} \quad \text{και} \quad \frac{14,45\,arcsec}{8,97\,pixels} = 1,61\,\frac{arcsec}{pixel}.$$



Εικόνα 5



Εικόνα 6

Βρίσκουμε το μέσο όρο των δύο τιμών (προφανώς όσο περισσότερες τιμές έχουμε τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια πετυχαίνουμε), δηλαδή ότι η κλίμακά μας είναι: $1,63\,arcsec/pixel$.

Μετρούμε τώρα και την απόσταση των μελών του H5 7AB στη φωτογραφία και την βρίσκουμε 10,56pixels. Συνεπώς η γωνιακή απόσταση των μελών του H5 7AB είναι:

$$1,63\,\frac{arcsec}{pixel}\,10,56\,pixels = 17,21\,arcsec$$

Δηλαδή, τελικά το 2005 στο διπλό άστρο H5 7AB, η θέση του δευτερεύοντος άστρου σε σχέση με το πρωτεύον ήταν: **θ=257,9° και ρ=17,21arcsec**

Παρατηρήσεις: Πρέπει να τονίσουμε ότι δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι το παραπάνω αποτέλεσμα είναι απόλυτα ακριβές. Η επανάληψη των μετρήσεων με περισσότερα διπλά άστρα για τον καθορισμό της κλίμακας θα μας δώσει ακριβέστερο αποτέλεσμα για την κλίμακά μας. Επίσης, οι πολλαπλές μετρήσεις του H5 7AB (τις επόμενες νύχτες) και η εξαγωγή του μέσου όρου θα μας έδινε μικρότερο σφάλμα στα αποτελέσματά μας. Προφανώς, τα άστρα που παρατηρούμε με μικρά τηλεσκόπια δεν αλλάζουν θέση σε διάστημα μερικών ημερών.

Η μεγέθυνση, την οποία χρησιμοποιούμε, πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή, γιατί τότε θα έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματά μας. Βέβαια, αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το πόσο λαμπρά είναι τα άστρα, η κατάσταση της ατμόσφαιρας κλπ. Προσοχή και στον κορεσμό των pixel στην εικόνα μας.

Επίσης, αν κάποιος δεν μπορεί ή δεν θέλει να χρησιμοποιήσει υπολογιστή για τις μετρήσεις, μπορεί να χρησιμοποιήσει μοιρογνωμόνιο και υποδεκάμετρο. Σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να εκτυπώσει τις φωτογραφίες πάντοτε με την ίδια μεγέθυνση και να μετρήσει τις γωνίες με το μοιρογνωμόνιο, με ακρίβεια δεκάτου της μοίρας, και τις αποστάσεις σε χιλιοστά (mm), επίσης με ακρίβεια δεκάτου του χιλιοστού. Τότε η κλίμακά του θα είναι σε arcsec/mm. Όλη η υπόλοιπη διαδικασία

είναι η ίδια. Οπωσδήποτε όμως η ακρίβεια σε αυτή την περίπτωση θα είναι μειωμένη, όσο προσεκτικοί και αν είμαστε.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικά λαμπρά διπλά άστρα για τον προσδιορισμό της αντιστοιχίας pixel και arcsec, τα οποία προτείνονται στο βιβλίο «Observing and Measuring Visual Double Stars» που αναφέρεται στη βιβλιογραφία.

ΔΙΠΛΑ ΑΣΤΡΑ ΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑΣ PIXEL→ARCSEC				
	M1	M2	θ (2010)	ρ (2010)
ζ Psc	5,2	6,4	62,8	22,73
δ Ori	2,2	6,8	0,1	52,45
ι Cnc	4	6,6	307,5	30,37
Σ1627	6,6	7,1	195,6	19,99
STF1657	5	6,6	270,2	20,18
α CVn	2,9	5,6	228,5	19,3
ζ Uma	2,2	3,9	152,6	14,45
ν Dra	4,9	4,9	310,9	62,09
θ Ser	4,6	5	103,6	22,42
16 Cyg	6	6,3	133,2	39,69
ο Cap	5,9	6,7	238,4	21,85
Το πρωτεύον του δ Ori και το δευτερεύον του ζ Psc είναι επίσης διπλά άστρα και διακρίνονται σε πολύ μεγάλα τηλεσκόπια				

Προτεινόμενη βιβλιογραφία γενικά για μετρήσεις σε διπλά άστρα:

- Double and Multiple Stars and How to Observe Them, James Mullaney, Springer, 2005
- Observing and Measuring Visual Double Stars, Bob Argyle (Editor), Springer, 2004
- A Method of Measuring High Delta m Doubles, James A. Daley, Journal of Double Star Observers, Vol.3, No.4, Fall 2007
- Sky Catalogue 2000 Vol.2, Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press, reprinted 1999
- Uncool Imaging Video Cameras and Uncooled Imagers, John E. Hoot, San Clemente, CA, July 2004
- Double Star Imaging and Measurement with Unconventional Cameras, Part II: Binary Imaging with the Meade LPI and DSI Cameras, Rod Mollise, Journal of Double Star Observations, Vol. 2, No 3, Summer 2006
- Lambda Arietis = WDS 01579+2336, Wolfgang Vollmann, Journal of Double Star Observations, Vol. 2, No 2, Spring 2006
- CCD Imaging of STF 93 C & D, James A Daley, Journal of Double Star Observations, Vol. 2, No. 2, Spring 2006
- CCD Differential Photometry of Visual Double Stars, James A. Daley, Journal of Double Star Observations, Vol. 1, No. 3, Fall 2005