

Μέτρηση αποστάσεων στην αστρονομία – καθορισμός της σταθεράς του Hubble.

Το περιθώριο σφάλματος για την μέτρηση της σταθεράς του Hubble είναι σήμερα στο 5%. Η τιμή της είναι έτσι χονδρικά στα 70 km/s /Mpc (με επικρατέστερη τιμή 68 km/s/Mpc). Το μεγάλο πρόβλημα είναι ότι οι δείκτες αποστάσεων που χρησιμοποιούμε στην αστρική γειτονιά μας δεν ισχύουν σε μεγάλες αποστάσεις. Στην κοντινή κοσμική κλίμακα των 100-200 Mpc, οι ίδιες κινήσεις των γαλαξιών (περιστροφή, έλξη μεταξύ τους) μπερδεύουν τις μετρήσεις της διαστολής του σύμπαντος.

Εξαίρεση αποτελούν οι εκρήξεις σουπερνόβα Ia, η λάμψη των οποίων μετριέται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Δεν έχουμε όμως την δυνατότητα να μελετήσουμε τέτοιες κοντινές σουπερνόβα, επειδή είναι πολύ σπάνιες. Έτσι δεν μπορούμε να καλιμπραρουμε σωστά την απόλυτη λαμπρότητά τους (η τιμή της είναι -19,2 mag).

Το καλιμπραρισμα των δεικτών είναι πολύ σημαντικό. Δηλαδή σε κάποια αντικείμενα να μπορούμε να μετράμε την απόστασή τους χρησιμοποιώντας 2 τουλάχιστον διαφορετικούς δείκτες. Η μεγάλη ακρίβεια της παράλλαξης μας βοήθησε να δούμε την απόκλιση της λαμπρότητας των πιο μακρινών αντικειμένων λόγω διαφορών στην μεταλλικότητά τους.

Η ακριβής μέτρηση της σταθεράς του Hubble μας βοηθάει στην μέτρηση της απόστασης των μακρινών αντικειμένων σε σχέση με την φασματική μετατόπισή τους προς το ερυθρό (z, ερυθρολίσθηση).

Οι κλασσικοί δείκτες που χρησιμοποιούμε είναι

1) Η παράλλαξη.

Είναι η φαινόμενη μετατόπιση ενός άστρου στον ουρανό σε σχέση με μακρινά αντικείμενα, που μας φαίνονται σχετικά ακίνητα. Αυτό πετυχαίνεται λόγω της περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο. Έτσι ο παρατηρητής αλλάζει λίγο τη σχετική του θέση προς το αντικείμενο παρατήρησης, με αποτέλεσμα αυτό να φαίνεται μετατοπισμένο στον ουρανό. Μετρώντας την γωνία μετατόπισης μπορούμε να συμπεράνουμε την απόστασή του (λόγω περίπου σταθερής απόστασής μας γύρω από τον Ήλιο). Έχει εύρος παρατήρησης περίπου μέχρι την άκρη του Γαλαξιακού μας δίσκου. Με το νέο διαστημικό τηλεσκόπιο GAIA πετυχαίνουμε μετρήσεις γωνιών παράλλαξης σε όλον τον Γαλαξία μας.

2) Μεταβλητοί αστέρες.

A) Αστέρια RR Λύρας. Αυτά τα μικρά σε μάζα (λιγότερη από 1ηλιακή) άστρα μετά κυρίας ακολουθίας έχουν σχέση παλμών- λαμπρότητας, με μικρότερες περιόδους από τους Κηφείδες. Λόγω μικρής λαμπρότητας η μέτρησή τους φτάνει μέχρι την τοπική ομάδα γαλαξιών.

B) Κηφείδες. Είναι και αυτοί παλλόμενοι μεταβλητοί, μάζας 5-15 ηλιακές. Η ατμόσφαιρά τους σε φάση εξέλιξης μετά την κύρια ακολουθία φουσκώνει και ξεφουσκώνει περιοδικά για να διατηρήσει την ενεργειακή ισορροπία του άστρου που βρίσκεται πλέον στον ασυμπτωτικό κλάδο (λόγω διεργασιών στο εσωτερικό του, όπως οι συντήξεις στον πυρήνα αλλά και σε κελύφη του αστέρα). Η

λαμπρότητα αλλάζει και αυτή περιοδικά, και υπάρχει καλή γνώση της σχέσης παλμού- μέγιστο απολυτής λαμπρότητας (που εκφράζει το μέγεθος της επιφάνειας του αστέρα). Έτσι μετρώντας τους παλμούς γνωρίζουμε την απόλυτη λαμπρότητα, και συμπεραίνουμε την απόσταση από τον λόγο απόλυτης/ φαινόμενης λαμπρότητας.

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι η απόλυτη λαμπρότητα των άστρων (και των μεταβλητών) εξαρτάται από την μεταλλικότητά τους. Λόγω μεγάλων αποστάσεων δεν είναι εφικτό να έχουμε καλή ανάλυση του αστρικού φωτός, ώστε να γνωρίζουμε το φάσμα. Ένας έμμεσος τρόπος είναι να πάρουμε φάσμα από μεγαλύτερη περιοχή του γαλαξία που συνδέεται με το άστρο (π.χ. νεφέλωμα), αλλά μπορεί να υπάρχουν τοπικές διαφοροποιήσεις. Το εύρος παρατήρησης των μεταβλητών φτάνει τα 20 Mpc. Γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής μεταλλικότητας των μεταβλητών. Στο υπέρυθρο η μεταλλικότητα δεν έχει τόσο μεγάλη επίδραση στην λαμπρότητα, αλλά αυτή μειώνεται αρκετά, περιορίζοντας έτσι το εύρος μέτρησης. Ένα ακόμα πρόβλημα για τους Κηφείδες είναι ότι σε μακρινές μετρήσεις μπορεί να έχουμε στην διαδρομή θέασης περισσότερους από έναν τέτοιο μεταβλητό, και να ανακατεύονται οι εκπομπές φωτός τους (Crowding), αλλά ακόμη δεν ξέρουμε σε ποιον βαθμό αυτό επηρεάζει τις μετρήσεις.

3) Καυτοί μπλε υπεργίγαντες.

Είναι μεγάλα αστέρια φασματικού τύπου B1- A4, για τα οποία έχουμε πολύ ακριβή μοντέλα που είναι σύμφωνα με τις παρατηρήσεις. Έχουν σχέση λαμπρότητας με τη φασματική ενεργειακή διασπορά (πάχος γραμμών) και την μεταλλικότητά τους. Το πάχος μιας γραμμής έχει να κάνει όχι μόνο με την πληθώρα του συγκεκριμένου στοιχείου, αλλά και με την επιφανειακή βαρύτητα του αστεριού, άρα την λαμπρότητά του. Λόγω μεγάλης λαμπρότητας (εκατοντάδες χιλιάδες φορές την ηλιακή) είναι ευδιάκριτα. Η μεγάλη λαμπρότητά τους κυριαρχεί στα άλλα αντικείμενα, έτσι δεν μας προβληματίζει η ακριβής ανάλυσή τους ή αν υπάρχουν άλλα άστρα στη γραμμή θέασης. Η απόλυτη λαμπρότητά τους υπολογίζεται από το φάσμα τους. Έτσι μπορούμε να γνωρίζουμε την μεταλλικότητα της περιοχής (του γαλαξία) γενικά. Αυτό μας βοηθάει στο καλιμπράρισμα των Κηφείδων. Το εύρος παρατήρησης φτάνει περίπου αυτό των Κηφείδων.

4) Megamaser.

Είναι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες, στους οποίους μπορούμε να ανιχνεύσουμε περιοχές ιονισμένου υδρογόνου (HII), που δέχονται την ακτινοβολία από το κέντρο του γαλαξία (γιγάντια μαύρη τρύπα). Το προφίλ κίνησης και η γεωμετρική μέτρηση έχει τόση ακρίβεια, ώστε να μπορούμε να συμπεράνουμε την απόσταση αυτών των γαλαξιών με παρόμοια μέθοδος με την παράλλαξη. Το εύρος μέτρησης φτάνει τα εκατοντάδες Mpc.

5) Σχέση Tully- Fisher.

Υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στην λαμπρότητα και την ταχύτητα περιστροφής των σπειροειδών γαλαξιών. Την τελευταία την μετράμε από την μετατόπιση Ντόπλερ (κατά την περιστροφή ένα μέρος του γαλαξία μας πλησιάζει και ένα άλλο απομακρύνεται). Το εύρος μέτρησης φτάνει το 1 Gpc. Υπολογίζοντας μια μέση λαμπρότητα για παρόμοιους γαλαξίες, μετράμε την απόστασή τους.

6) Σουπερνόβα Ια.

Έχουν καλά γνωστή σχέση απολυτής λαμπρότητας/ μορφή καμπύλης λαμπρότητας. Είναι ορατές μέχρι τους πιο μακρινούς γαλαξίες, δηλαδή σε κοσμολογικές αποστάσεις. Η απόλυτη λαμπρότητά τους είναι $-19,2 \text{ mag}$.

Και οι υπόλοιπες κατηγορίες σουπερνόβα χρησιμοποιούνται για την μέτρηση αποστάσεων. Το φάσμα τους μας δίνει πληροφορίες για την ισχύ της έκρηξης (απόλυτη λαμπρότητα).

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες μέτρησης αποστάσεων είναι αντικείμενα με σχετικά γνωστή λαμπρότητα, όπως πλανητικά νεφελώματα, σφαιρωτά σμήνη, ανοιχτά σμήνη (που όμως ξεχωρίζουν δύσκολα από το αστρικό υπόβαθρο) και οι μπλε υπό-νάνοι. Ακόμα χρησιμοποιούμε τις χρονικές διαφορές άφιξης της ακτινοβολίας από αντικείμενα που εξετάζουμε μέσω βαρυτικών φακών. Η μέτρηση των βαρυτικών κυμάτων θα αποτελέσει το απόλυτο εργαλείο μέτρησης αποστάσεων.

Η μεταλλικότητα είναι ένας παράγοντας που περιορίζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Με τα νέα μεγάλα τηλεσκοπία θα έχουμε μεγαλύτερο εύρος μέτρησης στην παράλλαξη και στους Κηφείδες, ιδίως στο κοντινό υπέρυθρο, όπου η μεταλλικότητα έχει μικρότερη σημασία