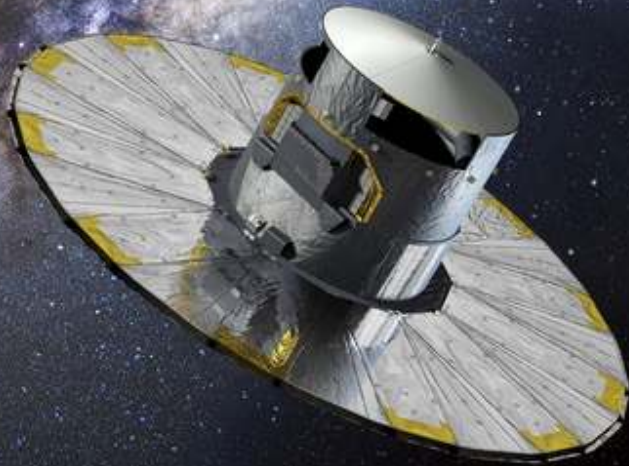


Το Σύμπαν στο τσεπάκι μου

Αποστάσεις



στο Σύμπαν



Αρ. 15

Christiane Vilain

Παρατηρητήριο του Παρισιού



Οι αστρονομικές αποστάσεις δεν μπορούν να μετρηθούν με χάρακα – απαιτούν τεχνάσματα. Ο Έλληνας αστρονόμος Ερατοσθένης ήταν ο πρώτος που υπολόγισε την Ακτίνα της Γης, πριν 2200 χρόνια.

Χρησιμοποίησε μια έξυπνη ιδέα: συνέκρινε την κλίση των ακτίνων του Ήλιου μεταξύ της Συήνης και της Αλεξάνδρειας.

Λίγο αργότερα, στην Αλεξάνδρεια, ο Αρίσταρχος από τη Σάμο είχε μια έξυπνη ιδέα για να μετρήσει την απόσταση από τη Σελήνη. Μέτρησε τη διάρκεια μιας σεληνιακής έκλειψης από τη Γη. Έτσι εκτίμησε ότι η διάμετρος της Γης είναι τριπλάσια της διαμέτρου της Σελήνης (στην πραγματικότητα 3,7 φορές) και ως εκ τούτου συμπεράνε τη διάμετρο της Σελήνης, χρησιμοποιώντας το μέγεθος του Ερατοσθένη για τη Γη. Γνωρίζοντας τη διάμετρο της Σελήνης και το γωνιακό της μέγεθος, μπορούσε να υπολογίσει την απόστασή της.

Για τις πλανητικές αποστάσεις, το 1573 μ.Χ., όταν ο Κοπέρνικος διακήρυξε ότι η Γη περιστρέφεται γύρω



από τον Ήλιο (βλ. Σχήμα αριστερά), γνωρίζαμε μόνο τις αναλογίες των αποστάσεων από τον Ήλιο προς τους πλανήτες Ερμή, Αφροδίτη, Άρη, Δία και Κρόνο, και όχι τις απόλυτες αποστάσεις.

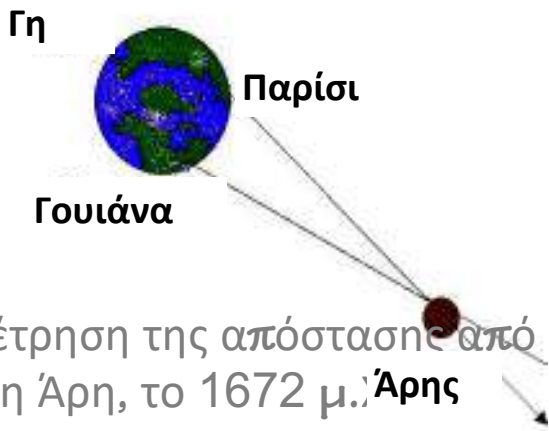
Αποστάσεις στο σύμπαν

Οι αρχαίοι γνώριζαν πώς να υπολογίζουν την ακτίνα της Γης και την απόστασή της από τη Σελήνη (βλέπε διπλανή σελίδα), αλλά όχι την απόστασή της από τον Ήλιο, που είναι 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Η απόσταση αυτή ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα (ΑΜ).

Εκείνη την εποχή, οι άνθρωποι πίστευαν ότι ο Ήλιος ήταν πολύ πιο κοντά. Νόμιζαν επίσης ότι τα αστέρια ήταν πιο απομακρυσμένοι "ήλιοι", αλλά δεν είχαν συνειδητοποιήσει πόσο μακριά βρίσκονται τα αστέρια, ώστε το φως τους να χρειάζεται πολλά χρόνια για να φτάσει σε εμάς. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούμε ως μονάδα μέτρησης της απόστασης το "έτος φωτός" (l.y.), δηλαδή την απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος ή 9,46 δισεκατομμύρια χιλιόμετρα!

Οι σημερινές παρατηρήσεις μας δίνουν πρόσβαση σε όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις - έως και εκατομμύρια έτη φωτός μακριά - χάρη στα μεγάλα επάγεια τηλεσκόπια και στα διαστημικά τηλεσκόπια σε δορυφόρους.

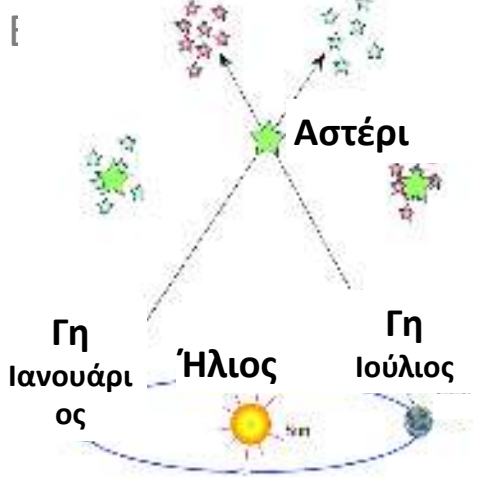
Για τους **πλανήτες** του ηλιακού μας συστήματος, το μέγεθος της Γης μας επιτρέπει να έχουμε δύο διαφορετικές οπτικές γραμμές. Αυτή η τεχνική



χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της απόστασης από το γείτονά μας, τον **πλανήτη Άρη**, το 1672 μ.Χ.

Η γωνία μεταξύ των οπτικών γραμμών από το Παρίσι και τη Γαλλική Γουιάνα κατέστησε δυνατή τη μέτρηση της απόστασης από τον Άρη και, επομένως, την απόσταση από τον Ήλιο. Επειδή γνωρίζαμε ήδη τις αναλογίες των αποστάσεων του Ήλιου από τον Άρη και του Ήλιου από τη Γη, η γνώση της απόστασης Γης-Άρη μας επέτρεψε να υπολογίσουμε την απόσταση Γης-Ήλιου.

Ένα κοντινό **αστέρι** προβάλλεται σε ένα φόντο από μακρινά αστέρια που υποθέτουμε ότι βρίσκονται απείρως μακριά. Στη συνέχεια, έξι μήνες αργότερα, το αστέρι προβάλλεται σε διαφορετικό αστρικό φόντο.



Η βάση του τριγώνου που σχηματίζεται από τις δύο οπτικές γραμμές είναι η διάμετρος της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο και όχι η διάμετρος της Γης, όπως στη μέτρηση του 1672 μ.Χ.

Γεωμετρικές μετρήσεις

Παρατηρώντας το ίδιο αστέρι από δύο διαφορετικά σημεία, προκύπτει ένα τρίγωνο του οποίου η βάση και η γωνία είναι γνωστή, επιτρέποντάς μας έτσι να γνωρίζουμε την απόσταση από το αστέρι.

Η "παράλλαξη" είναι η γωνία κορυφής του τριγώνου του οποίου η βάση είναι η ακτίνα της τροχιάς της Γης.

Ο πλησιέστερος αστέρας, ο Proxima Centauri, απέχει 4,2 έτη φωτός, γεγονός που συνεπάγεται παράλλαξη μόλις 0,74 δευτερόλεπτα της μοίρας ("). Το 1838 μ.Χ., ο Friedrich Bessel πραγματοποίησε την πρώτη μέτρηση παράλλαξης: 0,3" για τον 61ο Αστέρα του Κύκνου. Λίγο αργότερα, μετρήθηκε η παράλλαξη 0,12" του Vega και επίσης του α του Κεντάυρου. Ακολούθησαν και άλλες, αλλά οι αστρονόμοι περιορίζονταν από την ευαισθησία των τηλεσκοπίων.

Οι ευρωπαϊκοί δορυφόροι Hipparcos, τη δεκαετία του 1990, και Gaia, σήμερα, έχουν μετρήσει εκατομμύρια παραλλάξεις.



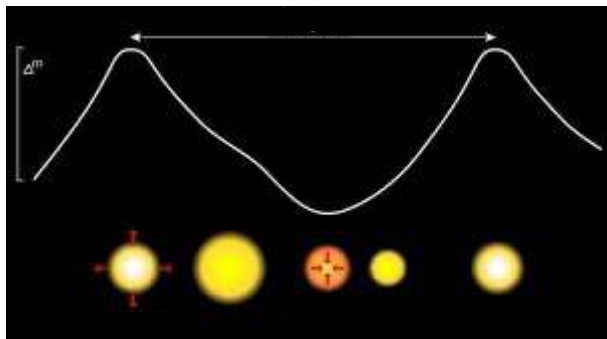
Fig. 53. Miss Henrietta Swan Leavitt, star cataloger, 1905-1921.

Στις αρχές του 20ού αιώνα, η Αμερικανίδα αστρονόμος Henrietta Leavitt (1868 -1921) παρατήρησε ότι ορισμένα αστέρια έχουν μεταβλητή φωτεινότητα με κανονική περίοδο (βλ. παρακάτω σχήμα). Αυτή πρώτη παρατήρησε

αυτούς τους αστέρες στον αστερισμό του Κηφέα, γι' αυτό και ονομάζονται μεταβλητοί Κηφείδες.

Αργότερα παρατήρησε παρόμοια άστρα στους γειτονικούς μας γαλαξίες, τα "νέφη του Μαγγελάνου". Η περίοδος φωτεινότητάς τους εξαρτιόταν από την αστρική φωτεινότητα, η οποία μπορούσε να υπολογιστεί υποθέτοντας ότι όλοι οι αστέρες βρίσκονταν στην ίδια απόσταση με τον γαλαξία-ξενιστή τους.

Αν και το αφεντικό της, ο Έντουαρντ Πίκερινγκ, προσπάθησε να την αποθαρρύνει, η Ενριέτα επέμεινε και εντόπισε σχεδόν δύο χιλιάδες μεταβλητούς Κηφείδες και ήταν σε θέση να συμπεράνει την αναλογικότητα μεταξύ περιόδου και φωτεινότητας. Πέθανε πριν μάθει πόσο σημαντική ήταν η ανακάλυψή της.



Το φως των άστρων φτάνει σε εμάς εξασθενημένο κατά έναν παράγοντα ίσο με το τετράγωνο της απόστασης του άστρου.

Αυτός θα ήταν ένας τρόπος να προσδιορίσουμε την απόστασή τους, αν γνωρίζαμε τη φωτεινότητά τους.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ανακάλυψη της Henrietta Leavitt ήταν τόσο σημαντική. Μεταβλητοί αστέρες του τύπου που ανακάλυψε στον αστερισμό του Κηφέα και στα νέφη του Μαγγελάνου βρίσκονται και σε άλλους γαλαξίες. Η περίοδος της μεταβλητότητάς τους δείχνει τη φωτεινότητά τους, και έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε την απόστασή τους.

Τέτοια αστέρια μπορούν να ανιχνευθούν σήμερα σε αποστάσεις έως και 80 εκατομμύρια έτη φωτός με τη βοήθεια του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble, που εκτοξεύθηκε το 1990.



Ο Γαλαξίας μας, ορατός σε μια καθαρή νύχτα ως γαλακτώδες μονοπάτι στον ουρανό, έχει μήκος 103.000 έτη. Ο Ήλιος μας απέχει περίπου 27.000

έτη από το γαλαξιακό κέντρο (φωτογραφία ESO).

Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας, ορατός με γυμνό μάτι στο βόρειο ημισφαίριο ως μια διάχυτη κηλίδα, βρίσκεται σε απόσταση δύο εκατομμυρίων ετών φωτός.



Οι γαλαξίες ομαδοποιούνται σε σμήνη που περιέχουν εκατοντάδες, ή μερικές φορές χιλιάδες, γαλαξίες, σε αποστάσεις εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών (φωτογραφία ESO).

Νεφελώματα και γαλαξίες

Το 1900, η ύπαρξη άλλων γαλαξιών εκτός του δικού μας, του "Γαλαξία μας", δεν ήταν ακόμη γνωστή. Παρατηρήθηκαν "νεφελώδεις" φωτεινές κηλίδες και θεωρήθηκε ότι ήταν αντικείμενα στο εσωτερικό του Γαλαξία μας.

Η υπόθεση αυτή αμφισβητήθηκε από τον Heber D. Curtis το 1920 στη "μεγάλη συζήτηση" μεταξύ αυτού και του Harlow Shapley.

Αλλά το ερώτημα αν αυτά τα "νεφελώματα" ανήκαν στον Γαλαξία μας παρέμεινε ανοιχτό μέχρις ότου κατέστη δυνατό να προσδιοριστούν οι αποστάσεις τους, χάρη στη μέθοδο των Κηφείδων, και αργότερα με τη βοήθεια των μετατοπίσεων των φασματικών γραμμών (βλ. Τμήμα 2) που προέκυψαν από την ανάλυση του φωτός των αστέρων μέσω πρισμάτων ή πλεγμάτων.



Αριστερά, το τηλεσκόπιο Mount Wilson με το οποίο ο Edwin Hubble έκανε τις παρατηρήσεις του. Το 1929 ο Χαμπλ έδειξε ότι η ταχύτητα των γαλαξιών αυξάνεται με την απόστασή τους από εμάς. Ο Χαμπλ δεν ήταν ο πρώτος που σκέφτηκε μια τέτοια σχέση. Στην πραγματικότητα, ο πάτερ Georges Lemaître, ένας

Βέλγος αστρονόμος και κοσμολόγος, είχε ήδη προτείνει ότι οι ερυθρές μετατοπίσεις των γαλαξιών ήταν ανάλογες με τις αποστάσεις τους.

Η "σταθερά Hubble-Lemaître", η οποία μας λέει πόσο αυξάνεται η ταχύτητα υποχώρησης των γαλαξιών με κάθε Mpc απόστασης από εμάς, εκτιμήθηκε αρχικά ότι είναι περίπου 500 km/s ανά Mpc (1 Mpc = ένα εκατομμύριο parsecs, με ένα parsec να είναι 3,26 έτη φωτός), αλλά από τη δεκαετία του 1950, πολύ καλύτερες εκτιμήσεις δίνουν έναν αριθμό μεταξύ 50 και 100 km/s ανά Mpc. Σήμερα εκτιμάται ότι είναι 73 km/s ανά Mpc, με αβεβαιότητα 2%. Ωστόσο, τα δεδομένα του δορυφόρου Planck, που βασίζονται σε μια κοσμολογική προσέγγιση, δίνουν μια τιμή $67,4 \pm 0,5$ km/s ανά Mpc.

Η φασματική ανάλυση του φωτός των άστρων αποκαλύπτει σκοτεινές γραμμές που οφείλονται στην απορρόφηση του φωτός από χημικά στοιχεία που υπάρχουν στα εξωτερικά στρώματα των άστρων. (βλέπε Tuimps 2 & 10)

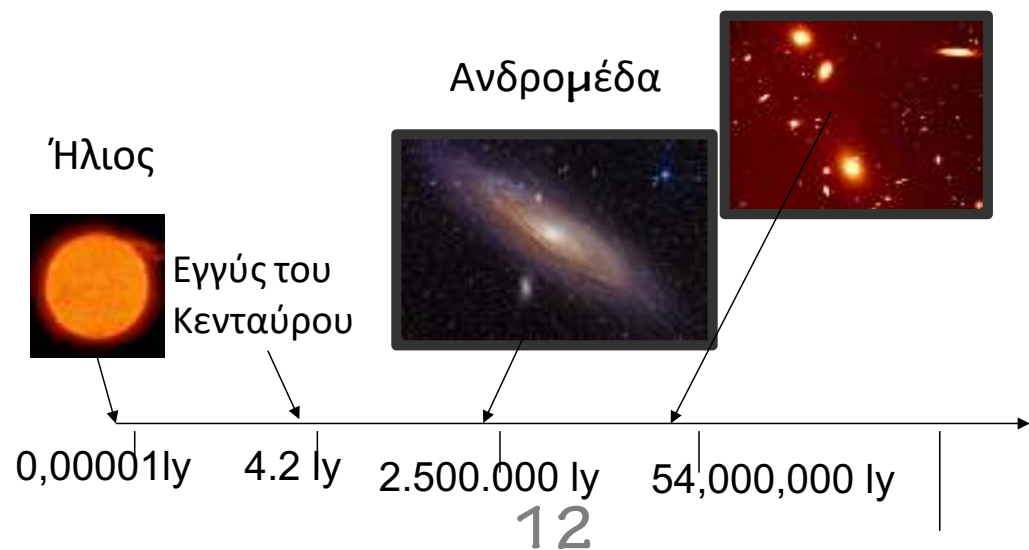
Το 1914 ο *Vesto Slipher* παρατήρησε ότι οι σκοτεινές γραμμές που παρατηρούνται στα φάσματα των γαλαξιών μετατοπίζονται προς το ερυθρό. Η μετατόπιση αυτή ερμηνεύτηκε ως "φαινόμενο Doppler": η συχνότητα του φωτεινού κύματος, και επομένως το χρώμα του, τροποποιείται από την ταχύτητα της πηγής. Το φαινόμενο αυτό είναι παρόμοιο με εκείνο που επηρεάζει τον ήχο μιας κόρνας, ο οποίος είναι υψηλότερος όταν το όχημα πλησιάζει και χαμηλότερος όταν απομακρύνεται. Το πιο κόκκινο φως έχει χαμηλότερη συχνότητα, οπότε υποδηλώνει ταχύτητα υποχώρησης: οι γαλαξίες φαίνεται να "φεύγουν" από εμάς!

Το 1929, ο *Edwin Hubble* υπολόγισε τις αποστάσεις 46 γαλαξιών χρησιμοποιώντας τους Κηφείδες που περιείχαν και έδειξε ότι οι ερυθρές μετατοπίσεις τους αυξάνονταν με τις αποστάσεις τους.

Η απόσταση από τη Σελήνη, την αρχή του ταξιδιού μας ως τις παρυφές του Σύμπαντος, είναι σήμερα καλύτερα γνωστή χάρη στα λέιζερ, τα οποία στέλνουν λάμπψεις φωτός, που αντανακλώνται από καθρέφτες που τοποθετήθηκαν στη Σελήνη κατά τη διάρκεια των αποστολών Apollo. Με τον τρόπο αυτό επαυγχάνουμε μια πολύ ακριβή μέτρηση της απόστασης του δορυφόρου μας, άρα και των αποστάσεων των άλλων πλανητών του Ηλιακού συστήματος.

Για μεγαλύτερες αποστάσεις, χρησιμοποιεί κανείς μια σειρά από μεθόδους: Πρώτα οι παραλλάξεις, μετά οι Κηφείδες. Πιο μακριά, όπου οι Κηφείδες δεν μπορούν πλέον να διακριθούν, χρησιμοποιούνται πιο φωτεινά αντικείμενα, όπως οι υπερκαινοφανείς τύπου I. Αυτή η διαδοχή μεθόδων είναι η κοσμολογική "σκάλα απόστασης", με κάθε σκαλοπάτι της σκάλας να βασίζεται στα προηγούμενα σκαλοπάτια.

Σμήνος γαλαξιών της Παρθένου



Οι γαλαξίες φεύγουν γρηγορότερα αν είναι πιο μακριά. Με τη γενίκευση αυτής της σχέσης, που καθιερώθηκε και έγινε αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα μετά το 1929, η ερυθρομετατόπιση γίνεται με τη σειρά της μέτρο της απόστασης για πιο μακρινά αντικείμενα στα οποία δεν μπορεί κανείς πλέον να παρατηρήσει μεταβλητούς Κηφείδες ή ακόμη και υπερκαινοφανείς τύπου I. Στην πραγματικότητα, οι αστρονόμοι δεν χρησιμοποιούν το έτος φωτός ως μονάδα για να εκφράσουν τις αποστάσεις των πιο απομακρυσμένων γαλαξιών ή κβάζαρ, αλλά απλώς την ερυθρή μετατόπιση. Αυτή η μετατόπιση προς το ερυθρό συμβολίζεται με το γράμμα z και η τιμή της αντιστοιχεί στην κλασματική μεταβολή του μήκους κύματος στο παρατηρούμενο φάσμα. Οι ερυθρές μετατοπίσεις των περισσότερων γαλαξιών στο σμήνος της Παρθένου κυμαίνονται μεταξύ 0,5 και 1, ενώ η ερυθρά μετατόπιση του πιο μακρινού γαλαξία που είναι γνωστός μέχρι στιγμής είναι 11,09.

Κουίζ

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα διαστημόπλοιο ικανό να ταξιδεύει με το ένα δέκατο της ταχύτητας του φωτός...



Πόσος χρόνος θα χρειαστεί για να φτάσετε:

- Ήλιος;
- Proxima Centauri;
- Βέγκα;
- Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας;
- Γαλαξίες από το σμήνος της Παρθένου ?

Απαντήσεις στο
σπισθόφυλλο

Απαντήσεις



- Ήλιος: 80 λεπτά
- Εγγύς του Κεντάυρου: 42 χρόνια
- Vega: 250 χρόνια
- Γαλαξίας της Ανδρομέδας: 25 εκατομμύρια χρόνια.
- Γαλαξίες στο σμήνος της Παρθένου: 540 εκατομμύρια χρόνια.

Το σύμπαν στο τσεπάκι μου Αρ. 15

Το μικρό αυτό βιβλιαράκι συντάχθηκε το 2020 από την Christiane Vilain (από το Παρατηρητήριο του Παρισιού) και αναθεωρήθηκε από την Grażyna Stasińska (Παρατηρητήριο του Παρισιού) και τον Stan Kurtz (UNAM, Μεξικό). Δυστυχώς, η Christiane απεβίωσε ενώ το βιβλιαράκι αυτό επεξεργαζόταν.

Η εικόνα στην πρώτη σελίδα αυτού του φυλλαδίου είναι μια καλλιτεχνική αναπαράσταση του δορυφόρου Gaia, ο οποίος έχει μετρήσει εκατομμύρια αποστάσεις από αστέρια και γαλαξίες. (Πηγή ESA)



Για να μάθετε περισσότερα για τη σειρά αυτή και για τα θέματα που παρουσιάζονται σε αυτό το βιβλιαράκι, επισκεφθείτε [τη διεύθυνση http://www.tuimp.org](http://www.tuimp.org).

Μετάφραση: Τζίνα Πανοπούλου
TUIMP Creative Commons

