

Άστρα – φυσικές ιδιότητες

Μέγεθος

Το σύστημα μεγέθους

Το **μέγεθος (magnitude)** ενός άστρου είναι η λαμπρότητά του μετρημένη κατά έναν ιδιόμορφο τρόπο. Ο Ίππαρχος και ο Πτολεμαίος ταξινόμησαν τα άστρα σαν “πρώτης κλάσεως” (λαμπρότερα) έως “έκτης κλάσεως” (μόλις ορατά). Αυτές οι κλάσεις λαμπρότητας ονομάστηκαν *μεγέθη*, αλλά δεν υπήρχε καμία πρόνοια για ακριβείς μετρήσεις.

Το 1856, ο Norman Pogson πρότεινε την λογαριθμική κλίμακα μεγεθών που είναι σήμερα standard. Το πλεονέκτημα μιας λογαριθμικής κλίμακας είναι ότι μπορεί να καλύψει μια τρομακτική περιοχή λαμπρότητας χωρίς να χρησιμοποιεί πολύ μεγάλους ή πολύ μικρούς αριθμούς (εικόνα 1). Κάθε διαφορά πέντε μεγεθών αντιστοιχεί σε έναν παράγοντα 100 διαφοράς σε λαμπρότητα. Διαφορά ενός μεγέθους αντιστοιχεί σε έναν λόγο λαμπροτήτων ίσο με 2.512.

Relative brightness	Magnitude	Example
1 000 000	-15	-12 full moon
10,000	-10	
100	-5	-4.3 Venus
1	0	-1.4 Sirius 0.0 Vega 2.0 Polaris
1/100	5	6.0 Naked-eye limit
1 / 10 000	10	10.0 Limit of 7 x 35 binoculars
1 / 1 000 000	15	14.0 Limit of 8-inch telescope

Εικόνα 1. Η κλίμακα μεγέθους είναι λογαριθμική· κάθε βήμα πέντε μεγεθών αντιστοιχεί σε έναν λόγο λαμπρότητας 100:1.

Σε αυτό το σύστημα, τα περισσότερα άστρα έχουν, χονδρικά, το μέγεθος που τους απέδωσε ο Πτολεμαίος, αλλά κάποια από τα λαμπρότερα άστρα έχουν αρνητικά μεγέθη. Η πανσέληνος έχει μέγεθος -12 και ο Ήλιος -27. Αυτή η διαφορά 15 μεγεθών σημαίνει ότι ο Ήλιος είναι ένα εκατομμύριο φορές πιο λαμπρός από την Σελήνη. Το άστρο Vega έχει ορισθεί να έχει μέγεθος 0.0, αλλά στην πράξη παίρνουμε την μέση τιμή αρκετών άστρων σαν standard για μετρήσεις.

Η απόκριση στο φως του ανθρώπινου ματιού δεν είναι ακριβώς λογαριθμική, αλλά είναι αρκετά κοντά σε αυτήν για όλες τις πρακτικές περιπτώσεις. Αν ένα άστρο φαίνεται να βρίσκεται στο μέσον, όσον αφορά την λαμπρότητά του, ανάμεσα σε δύο άλλα άστρα, θα βρίσκεται επίσης στο μέσον όσον αφορά και το μέγεθός του.

Τα απόλυτα μεγέθη θα αναφερθούν παρακάτω.

Υπολογισμοί με μεγέθη

Επειδή τα μεγέθη είναι λογαριθμικά, δεν μπορούμε να τα προσθέσουμε ή να τα αφαιρέσουμε άμεσα. Μπορούμε όμως να μετατρέψουμε το μέγεθος (m) σε λαμπρότητα μετρημένη σε γραμμική κλίμακα (L), να εκτελέσουμε την πρόσθεση ή την αφαίρεση, και μετά να μετατρέψουμε το αποτέλεσμα ξανά σε μέγεθος. Εδώ είναι οι αντίστοιχοι τύποι:

$$L = 10^{-0.4m}$$

$$m = -2.5 \log_{10} L$$

Ο αριθμός 2.5 στον δεύτερο τύπο είναι ακριβώς 2.5· δεν είναι στρογγύλεμα του 2.512. Σημειώστε ότι σε πολλά calculators, πιέζοντας INV LOG υπολογίζει το 10^x .

Παράδειγμα: Το διπλό άστρο Σ 2398 αποτελείται από δύο άστρα μεγεθών $m = 8.9$ και 9.7 . Ποιό είναι το συνδυασμένο μέγεθος όταν τα δύο άστρα δεν μπορούν να διαχωρισθούν;

Μετατρέπουμε σε L:

$$L_1 = 10^{-0.4 \times 8.9} = 0.000\ 275$$

$$L_2 = 10^{-0.4 \times 9.7} = 0.000\ 132$$

Προσθέτουμε:

$$0.000275 + 0.000132 = 0.000\ 407$$

Μετατρέπουμε πάλι σε m:

$$m = -2.5 \log_{10} 0.000407 = 8.5$$

Έτσι, τα δύο άστρα μαζί φαίνονται σαν ένα και μόνον άστρο μεγέθους 8.5. Σαν κανόνας, δύο άστρα, συνδυασμένα, δεν θα είναι ποτέ περισσότερο από 0.75 μεγέθη λαμπρότερα από το λαμπρότερο άστρο του ζεύγους.

Όρια μεγέθους στο τηλεσκόπιο

Το οριακό μέγεθος που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι είναι περίπου 6 (ή 7 σε πραγματικά σκοτεινά, καθαρής ατμόσφαιρας μέρη, στην έρημο ή στα βουνά). Με ένα τηλεσκόπιο μπορούμε να δούμε πολύ αμυδρότερα άστρα (μεγάλα μεγέθη). Θεωρητικά, το οριακό μέγεθος εξαρτάται μόνον από το άνοιγμα του τηλεσκοπίου, όχι από την μεγέθυνση, επειδή τα άστρα σχηματίζουν σημειακές εικόνες. Στην πράξη, μέτριες ή υψηλές ενισχύσεις δείχνουν αμυδρότερα άστρα από τις χαμηλές ενισχύσεις.

Εδώ παρουσιάζονται δύο τύποι για την προσεγγιστική εύρεση του οριακού μεγέθους ενός τηλεσκοπίου δοσμένου μεγέθους με έναν μέτρια έμπειρο παρατηρητή κάτω από μέσες συνθήκες. Ένας πεπειραμένος παρατηρητής, κάτω από πραγματικά σκοτεινό ουρανό, μπορεί να δει ίσως και δύο μεγέθη περισσότερο.

$$\text{Οριακό μέγεθος} = 7.5 + 5 \log_{10} \text{άνοιγμα (cm)}$$

$$\text{Οριακό μέγεθος} = 9.5 + 5 \log_{10} \text{άνοιγμα (inches)}$$

Ο πίνακας 1 δείχνει τα οριακά μεγέθη για μερικά κοινά μεγέθη τηλεσκοπίων.

Πίνακας 1 Αναμενόμενα οριακά μεγέθη συναρτήσει ανοίγματος τηλεσκοπίου

Aperture		Magnitude limit
inches	cm	
2.4	6	11.3
3.5	9	12.3
5	12.5	13.0
8	20	14.0
12	30	14.9

Μια κεντρική εμπόδιση της τάξεως του 40% στο άνοιγμα του τηλεσκοπίου (όπως σε κάποια Schmidt-Cassegrain), κοστίζει μόνον 0.2 μεγέθη επειδή μπλοκάρει μόνον το 16% ($= 40\%^2$) του φωτός, και $-2.5 \log_{10}(1 - 0.16) \approx 0.2$

Μεγέθη σε παλιά βιβλία

Πριν από την τυποποίηση από τον Pogson του συστήματος μεγεθών, διαφορετικοί παρατηρητές επέκτειναν το σύστημα κατά διαφορετικούς τρόπους. Ένα μέγεθος 16 στο *A Cycle of Celestial Objects* του Smyth αντιστοιχεί σε μέγεθος 13 στο *Bonner Durchmusterung* (που βρίσκεται πιο κοντά στο σημερινό σύστημα), και σε μέγεθος 10.9 στον κατάλογο διπλών άστρων του F.G.W. Struve.

Πλήθος άστρων στον ουρανό

Οποιαδήποτε στιγμή αυξήσουμε το οριακό μέγεθος κατά 1, θα δούμε τρεις φορές περισσότερα άστρα στην ίδια περιοχή του ουρανού. Έτσι, υπάρχουν περίπου 2000 άστρα σε όλον τον ουρανό λαμπρότερα από μέγεθος 5.0, 6000 άστρα λαμπρότερα από μέγεθος 6.0 κ.ο.κ.

Αυτός είναι εμπειρικός κανόνας. Εάν τα άστρα ήσαν ομοιόμορφα κατανεμημένα και δεν υπήρχε διαστρική σκόνη, ο συντελεστής αυτός δεν θα ήταν 3 αλλά 3.98.

Οι αστροφωτογράφοι που ψάχνουν για άστρα οδήγησης (guide stars), συχνά χρειάζεται να ξέρουν πόσα άστρα αναμένεται να μπορούν να δουν σε ένα πεδίο δοσμένου μεγέθους. Ο πίνακας 2 δείχνει τον αριθμό των άστρων πάνω από διάφορα οριακά μεγέθη, σε ολόκληρο τον ουρανό και σε ένα πεδίο μιας τετραγωνικής μοίρας. Τιμές μέχρι $m = 9.5$ είναι ακριβείς (από το *Millennium Star Atlas*)· οι τιμές για μεγαλύτερα μεγέθη είναι εκτιμήσεις.

Πίνακας 2. Πλήθος άστρων στον ουρανό.

Magnitude limit	Whole sky	In 1° square field		
		Average field	Rich field	Sparse field
1.5	22			
2.5	93			
3.5	283			
4.5	893			
5.5	2822			
6.5	8768			
7.5	26 533			
8.5	77 627	2	4	1
9.5	217 689	5	10	3
10.5	≈600 000	15	29	7
11.5	≈1 800 000	44	87	22
12.5	≈5 400 000	130	260	65

Το εμβαδόν ολόκληρης της ουράνιας σφαίρας είναι 4π στερακτίνια (τετραγωνικά ακτίνια) = 41 252.9 τετραγωνικές μοίρες.

Αποστάσεις των άστρων

Πόσο μακριά είναι τα άστρα; Η απάντηση είναι σύνθετη και περιλαμβάνει πολλές μεθόδους μέτρησης αποστάσεων, και κάθε μια από αυτές χρησιμοποιείται σαν βάση για την βαθμονόμηση της επόμενης. Είναι εύκολο να δούμε την εικασία κάποιου για την απόσταση ενός ουράνιου αντικειμένου, αλλά δεν είναι πάντα φανερό το αν αυτή η εικασία είναι πιθανόν να είναι ακριβής.

Μονάδες απόστασης

Μια **αστρονομική μονάδα (Astronomical unit – AU)** είναι η μέση απόσταση Γης – Ηλίου, περίπου 150 000 000 χιλιόμετρα. Η AU) είναι η βάση της κλίμακας αστρικής παράλλαξης.

Ένα **έτος φωτός (light year - ly)** είναι η απόσταση την οποία διασχίζει το φως στην διάρκεια ενός έτους, προσεγγιστικά 9 500 000 000 000 χιλιόμετρα ($9,2 \times 10^{12}$ km). Όταν κοιτάμε τον Γαλαξία της Ανδρομέδας, 2 εκατομμύρια έτη φωτός μακριά, βλέπουμε το φως που ξεκίνησε από τον γαλαξία της Ανδρομέδας 2 εκατομμύρια χρόνια πριν. Το πλησιέστερο στην Γη άστρο (εκτός από τον Ήλιο) είναι ο Εγγύτατος του Κενταύρου (Proxima Centauri – α Centauri C) στα 4.3 ly. Το πλησιέστερο άστρο που μπορούμε να δούμε από την Ευρώπη είναι το άστρο του Barnard στα 6 ly.

Ένα **παρσέκ (parsec – pc)** είναι η απόσταση ενός άστρου του οποίου η παράλλαξη σε μια απόσταση μιας αστρονομικής μονάδας θα ήταν 1". Ένα parsec ισούται με περίπου 3.26 έτη φωτός. Χρησιμοποιούνται επίσης τα **kiloparsec** (=1 000 pc) και **megaparsec** (=1 000 000 pc).

Παράλλαξη

Όποτε μετακινούμε το κεφάλι μας, έχουμε την εμπειρία της **παράλλαξης**. Τα κοντινά αντικείμενα φαίνονται σαν να μετακινούνται σε σχέση με τα πιο μακρινά αντικείμενα καθώς αλλάζει η οπτική γωνία. Η παράλλαξη είναι ο πιο αξιόπιστος τρόπος μέτρησης ουράνιων αποστάσεων.

Οι αποστάσεις στο Ηλιακό μας Σύστημα μετριοούνται μέσω της παράλλαξης ανάμεσα σε διάφορα σημεία πάνω στην επιφάνεια της Γης. Για παράδειγμα, εάν ένας παρατηρητής στην Βρετανία και ένας παρατηρητής στην Καλιφόρνια κοιτάξουν την Σελήνη ή έναν πλανήτη την ίδια χρονικά στιγμή, θα τα δουν σε ελαφρά διαφορετική θέση σε σχέση με το φόντο των άστρων. Εάν η απόσταση ανάμεσα στους παρατηρητές είναι γνωστή, μπορεί να υπολογισθεί η απόσταση της Σελήνης ή του πλανήτη.

Άπαξ και μια απόσταση γίνει γνωστή, πολλές άλλες αποστάσεις μπορούν να συναχθούν από αυτήν επειδή αυτές σχετίζονται μέσω γνωστών τροχιών. Μετρήσεις αυτού του είδους – που περιλαμβάνουν χρονομετρήσεις αποκρύψεων (occultation timings) από ερασιτέχνες – δίνουν τιμές αυξανόμενης ακρίβειας για την μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο.

Οι αποστάσεις των κοντινότερων άστρων μετριοούνται κατόπιν μέσω παράλλαξης από μια πλευρά της τροχιάς της Γης στην άλλη (6 μήνες αργότερα). Ένα κοντινό άστρο, που παρατηρείται τον Ιούνιο και μετά ξανά τον Δεκέμβριο, θα φαίνεται ότι ολισθαίνει σε σχέση με τα απομακρυσμένα άστρα στο φόντο. Η ολίσθηση αυτή είναι μικρή, μικρότερη από 1''.

Αυτό είναι γνωστό σαν **αστρική παράλλαξη**, πάντοτε σε σχέση με μια γραμμή βάσης ίση με 1 AU. Ο δορυφόρος Hipparcos μέτρησε σχετικά πρόσφατα αστρικές παραλλάξεις με μια ακρίβεια 0.001'' (1 χιλιοστό του δεύτερου λεπτού της μοίρας – 1 milliarcsecond ή **1mas**), δέκα φορές καλύτερη από τις καλύτερες μετρήσεις που έχουν γίνει από

την Γη. Αποστάσεις που μετριοούνται με αυτόν τον τρόπο είναι ακριβείς μέσα σε ένα περιθώριο 10% για αποστάσεις μέχρι 300 έτη φωτός.

Πέρα από αυτό το όριο, οι αποστάσεις που μετριοούνται με παράλλαξη δεν είναι και τόσο ακριβείς όσο φαίνονται. Για παράδειγμα, αν μια βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε από τις μετρήσεις του Hipparcos δίνει την απόσταση ενός άστρου ως “658 έτη φωτός” αυτό που σημαίνει είναι ότι η παράλλαξη μετρήθηκε σε 5 mas, μετά βίας διακριτή από τα 4 mas (823 έτη φωτός) ή τα 6 mas (548 έτη φωτός).

Μέτρηση μεγαλύτερων αποστάσεων

Όταν ένα άστρο βρίσκεται πέρα από τα όρια μέτρησης της παράλλαξης, η απόστασή του δεν μπορεί να μετρηθεί ακριβώς εκτός αν το άστρο είναι μέλος κάποιου σμήνους ή γαλαξία που μπορεί να μελετηθεί σαν μονάδα. Μια από τις πιο σημαντικές τεχνικές είναι η **μέθοδος του κινούμενου σμήνους (moving cluster method)**. Αυτή περιλαμβάνει την εύρεση μιας ομάδας άστρων, τυπικά ενός ανοικτού σμήνους, των οποίων οι ίδιες κινήσεις (proper motions) φαίνονται σαν να συγκλίνουν σε ένα σημείο. Στην πραγματικότητα, τα άστρα κινούνται παράλληλα, και μπορεί να προσδιορισθεί η γωνία υπό την οποία βλέπουμε την κίνησή τους. Αυτή η γωνία, μαζί με την ακτινική ταχύτητα (που μετρείται φασματοσκοπικά), μας δίνει την απόσταση.

Μια άλλη τακτική είναι να συνάγουμε την αληθή λαμπρότητα ενός άστρου από το φάσμα του ή από άλλα χαρακτηριστικά του, κι μετά να συγκρίνουμε την αληθή λαμπρότητα με την φαινομένη λαμπρότητα του άστρου και να εκτιμήσουμε την απόσταση. Αυτή η μέθοδος δουλεύει πολύ καλά με τους μεταβλητούς Κηφείδες, των οποίων η περίοδος συσχετίζεται πολύ καλά με την φωτεινότητά τους. Η κλίμακα αποστάσεων μέσω των Κηφείδων μας δίνει έναν τρόπο να εκτιμήσουμε την απόσταση του M31 (γαλαξίας της Ανδρομέδας) και άλλων κοντινών γαλαξιών στους οποίους μπορούν να παρατηρηθούν ξεχωριστά άστρα.

Εάν ένας γαλαξίας δεν είναι αρκετά κοντά ώστε να μπορέσουμε να δούμε Κηφείδες, μπορεί να έχει άστρα υπεργίγαντες (supergiant

stars) ή νεφελώματα υδρογόνου τα οποία μπορούμε να δούμε από την Γη. Η απόσταση τότε μπορεί να εκτιμηθεί υποθέτοντας ότι αυτά τα αντικείμενα είναι συγκρίσιμα με όμοια αντικείμενα στον γαλαξία μας και στους γειτονικούς γαλαξίες.

Τελικά, οι αποστάσεις των πιο απομακρυσμένων γαλαξιών εκτιμούνται από την ολίσθηση προς το ερυθρό (redshift) που παρουσιάζουν, και η οποία είναι ανάλογη προς την απόστασή τους (**Νόμος του Hubble**).

Απόλυτο μέγεθος

Το **απόλυτο μέγεθος (absolute magnitude)** ενός άστρου, M , είναι το φαινόμενο μέγεθος που θα είχε σε μια απόσταση 10 parsec. Το απόλυτο μέγεθος ενός πλανήτη ή ενός αστεροειδή είναι το μέγεθος που θα είχε εάν βρισκόταν σε απόσταση 1 AU από την Γη και επίσης σε μια απόσταση 1 AU από τον Ήλιο.

Τα απόλυτα μεγέθη των άστρων κυμαίνονται από περίπου -5 (για τους μεγαλύτερους υπεργίγαντες) έως 15 (για τους μικρότερους παρατηρήσιμους νάνους). Το απόλυτο μέγεθος του Ήλιου, ενός άστρου μέσου μεγέθους, είναι 4.8.

Τα φαινόμενα και τα απόλυτα μεγέθη σχετίζονται μέσω του τύπου:

$$M = m - 5 \log_{10} \frac{\text{απόσταση σε pc}}{10} = m - 5 \log_{10} \frac{\text{απόσταση σε ly}}{32.6}$$

$$\text{Απόσταση (parsec)} = 10^x \quad \text{όπου} \quad x = \frac{m-M}{5} + 1$$

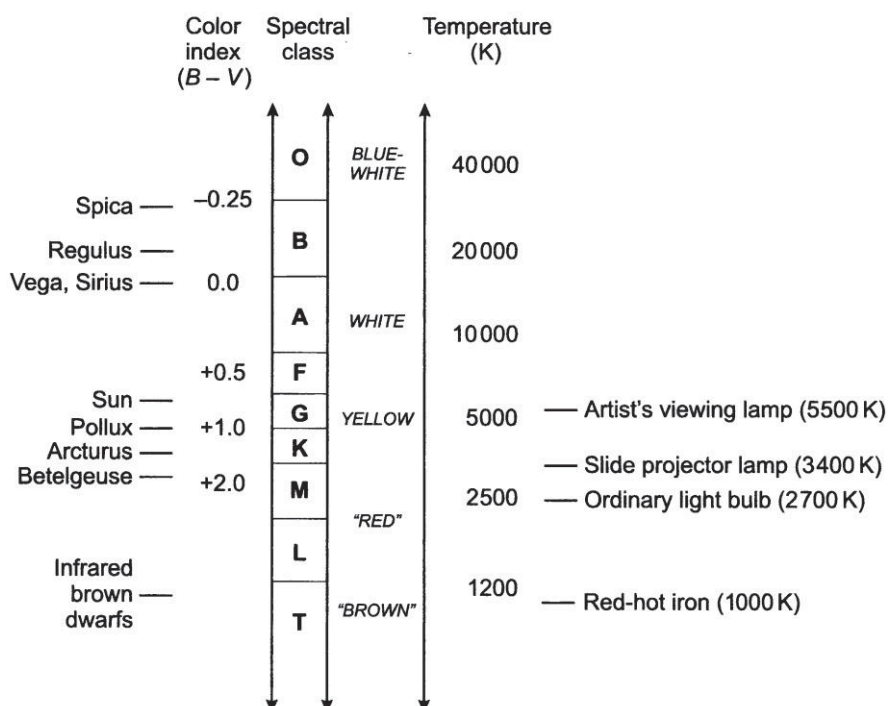
Για παράδειγμα, ο Σείριος έχει φαινόμενο μέγεθος $m = -1.4$ και η απόσταση του είναι 2.64 parsecs. Η πρώτη σχέση μας λέει ότι το απόλυτο μέγεθός του είναι 1.5, αξιοσημείωτα λαμπρότερος από τον Ήλιο.

Χρώματα και φάσματα

Χρώματα των άστρων

Κατά τον 19^ο αιώνα, παρατηρητές όπως ο Smyth και ο Webb κατέγραψαν μερικά παράξενα χρώματα παρατηρώντας διπλά άστρα, όπως «πρασινωπό και λιλά». Κάποια από αυτά τα χρώματα έχουν μια φυσική βάση· άλλα, πιθανώς δείχνουν μη διορθωμένη χρωματική εκτροπή στα παλιά διαθλαστικά τηλεσκόπια. Οποιοδήποτε άστρο μπορεί να φανεί ότι έχει έναν πορφυρό δακτύλιο και/ή κοκκινωπό κέντρο όταν παρατηρείτε ελαφρά εκτός εστίασης από ένα μεγάλο διαθλαστικό τηλεσκόπιο με φακό δύο στοιχείων (μη αποχρωματικό).

Τα χρώματα των άστρων κυμαίνονται από το κοκκινωπό στο μπλε-λευκό, αλλά τα περισσότερα «ερυθρά» άστρα δεν είναι πιο κόκκινα από μια κοινή λάμπα πυρακτώσεως (εικόνα 2). Άστρα χαμηλότερης θερμοκρασίας είναι πιο κοκκινωπά, φυσικά, αλλά είναι επίσης και αμυδρότερα, και δεν μπορούμε να δούμε πολλά από αυτά.



Εικόνα 2 Τα πιο "ερυθρά" άστρα δεν είναι πιο κόκκινα από μια κοινή λάμπα πυρακτώσεως. Η συσχέτιση ανάμεσα στον Δείκτη Χρώματος, την φασματική κλάση και την θερμοκρασία, δεν είναι τέλεια.

Εκτός από την χαμηλή θερμοκρασία, ένα άστρο μπορεί να φαίνεται πιο κόκκινο λόγω ύπαρξης διαστρικής σκόνης (η οποία αφήνει να περάσει περισσότερο ερυθρό φως παρά κυανό), και λόγω ύπαρξης άνθρακα στην σύστασή του.

Μεγέθη B και V· δείκτης χρώματος (color index)

Το μέγεθος ενός άστρου μπορεί να μετρηθεί σε οποιοδήποτε μήκος κύματος φωτός. Οι standard ζώνες μηκών κύματος για την φωτομετρία είναι :

U	(υπεριώδες – ultraviolet)	300 – 400 nm
B	(κυανό – blue)	360 – 550 nm (440 nm peak)
V	(ορατό – visual)	480 – 680 nm (550 nm peak)
R	(ερυθρό – red)	530 – 950 nm
I	(υπέρυθρο – infrared)	700 – 1200 nm

Οι πιο σημαντικές περιοχές είναι οι B και V οι οποίες αντιστοιχούν στην απόκριση των παλιομοδίτικων, ευαίσθητων στο κυανό, φωτογραφικών πλακών και στο ανθρώπινο μάτι αντίστοιχα.

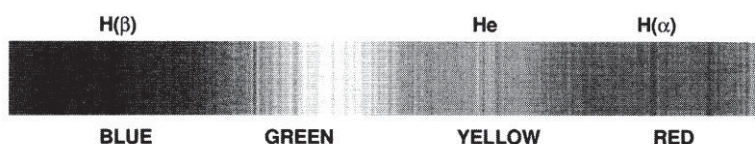
Το άστρο Vega έχει ορισθεί να έχει μέγεθος 0.0 σε όλα τα μήκη κύματος. Αυτό δεν σημαίνει ότι στην πραγματικότητα εκπέμπει ίσα ποσά φωτεινής ενέργειας σε όλο το φάσμα – τελείως αντίθετα! – αλλά μόνον το ότι είναι ένα τυπικό άστρο με το οποίο συγκρίνονται όλα τα άλλα άστρα.

Ο δείκτης χρώματος (color index) ενός άστρου, $B - V$, είναι ένα ποσοτικό μέτρο του πόσο κόκκινο είναι ένα άστρο. Είναι μηδέν για τον Vega, ελαφρά αρνητικό για τα πιο θερμά άστρα και μεγάλο έως 5 ή 6 για κάποια άστρα άνθρακα. (Χρησιμοποιούνται επίσης δείκτες χρώματος $B - I$). Ένας δείκτης χρώματος $B - V$ μεγαλύτερος από 2 συχνά δείχνει ερύθρωση (reddening) από διαστρική σκόνη ή ύπαρξη άνθρακα στο άστρο.

Τα μεγέθη B_T και V_T στους καταλόγους Hipparcos και Tycho έχουν μετρηθεί από το φωτόμετρο του δορυφόρου Tycho, και δεν ταιριάζουν ακριβώς με τις πρότυπες ζώνες διέλευσης (passbands) B και V. Τα B και V μπορούν να υπολογισθούν από τα B_T και V_T .

Φασματοσκοπία

Όταν το φως που έρχεται από ένα άστρο απλωθεί από ένα πρίσμα ή ένα φράγμα περίθλασης, το λείο, ομαλό, συνεχές φάσμα του διακόπτεται από τις λεγόμενες **γραμμές απορρόφησης (absorption lines – Εικόνα 3)**, περιοχές όπου το φως ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος είναι πολύ ασθενικό ή λείπει τελείως. Τα μήκη κύματος υποδεικνύουν την χημική σύσταση του απορροφούντος υλικού, συνεπώς αυτού καθ' αυτού του άστρου. Τα φάσματα κάποιων άστρων έχουν επίσης και **γραμμές εκπομπής (emission lines)**, πράγμα που υποδηλώνει φθορισμό στα εξωτερικά στρώματα του άστρου.



Εικόνα 3 Φάσμα του Altair (α Aquilae), που δείχνει γραμμές απορρόφησης οι οποίες αποκαλύπτουν παρουσία υδρογόνου, ηλίου, και άλλων στοιχείων.

Τα άστρα αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, αλλά και άλλα στοιχεία δηλώνουν καθαρά την ύπαρξή τους ακόμα κι αν παρουσιάζονται μόνον σε μικρές ποσότητες. Τα θερμότερα άστρα περιέχουν άτομα με υψηλό ιονισμό τα οποία μπορούν να υπάρξουν μόνον σε υψηλές θερμοκρασίες· τα ψυχρότερα άστρα περιέχουν βαριά στοιχεία και μόρια.

Τα αστρικά φάσματα αρχικά ταξινομήθηκαν αλφαβητικά με βάση την ένταση των γραμμών υδρογόνου, αλλά γύρω στο 1900 η Antonia Maury του Harvard University τα αναδιέταξε με βάση την θερμοκρασία. Με σύγχρονες επικαιροποιήσεις η ακολουθία είναι:

(θερμά, μπλε-άσπρα) **O – B – A – F – G – K – M – L – T** (ψυχρά, ερυθρά)

Μπορούμε να θυμόμαστε αυτή την ακολουθία από τα αρχικά των λέξεων στην φράση “Oh be a fine girl/guy, kiss me *like this!*”

Άστρα κοντά στο O άκρο καλούνται άστρα **πρώιμου τύπου (early-type)**, και άστρα κοντά στο άλλο άκρο καλούνται άστρα **ύστερου τύπου (late-type)**. Αυτή είναι ακολουθία θερμοκρασιών, όχι χρονική ακολουθία. Τα άστρα κινούνται κατά μήκος της κα προς τις δύο κατευθύνσεις καθώς εξελίσσονται.

Κάθε φασματικός τύπος υποδιαιρείται επιπλέον σε 10 υποκατηγορίες που συμβολίζονται με αριθμούς: O0...O9, B0...B9, κ.ο.κ. (Ο Ήλιος είναι φασματικού τύπου G2). Η κατάληξη e σημαίνει ότι στο φάσμα εμφανίζονται γραμμές εκπομπής, όπως στο γ Κασσιόπης, τύπου B0e.

Οι κλάσεις **C, R, N** και **S** είναι εναλλακτικές της **M** με διαφορετικές χημικές συστάσεις. (Η **R** και **N** ενοποιήθηκαν για να δώσουν την **C**.) Οι κλάσεις **L** και **T** (που εισήχθησαν σχετικά πρόσφατα από μια ομάδα στο Caltech) είναι πολύ ψυχρά αντικείμενα τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν μόνον στο υπέρυθρο· πιθανώς δεν είναι άστρα, αλλά μάλλον «καφέ νάνοι».

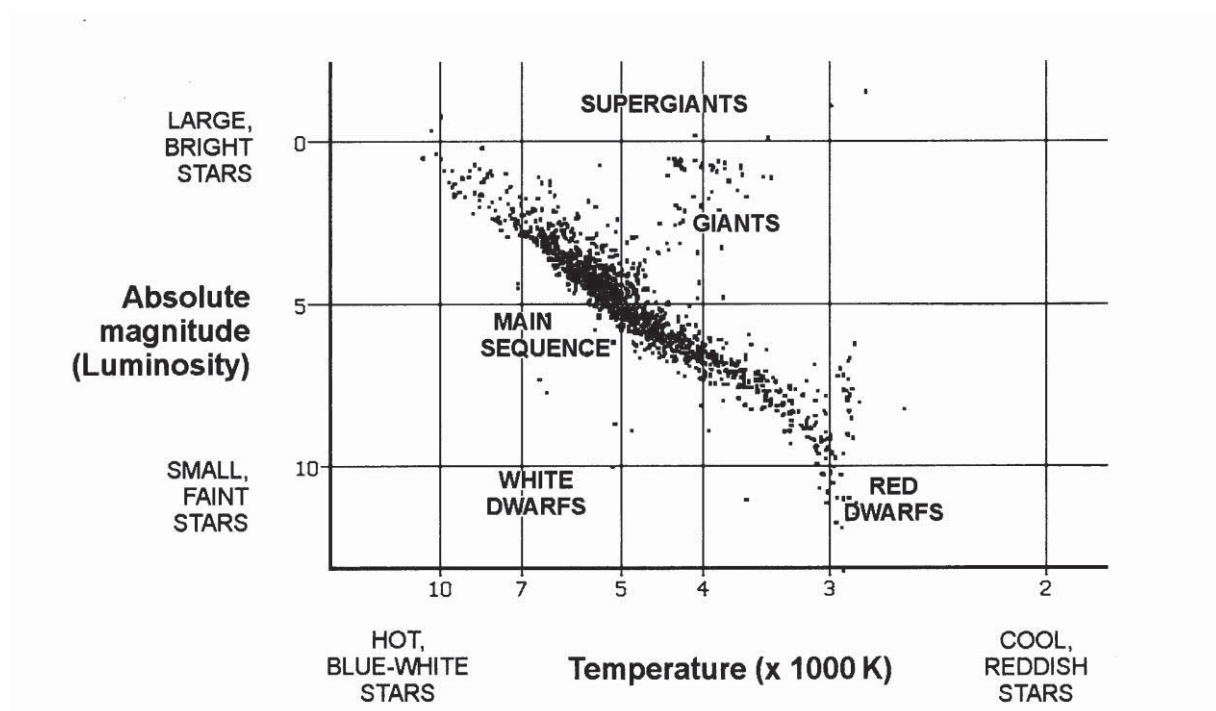
Στο άλλο άκρο, τα άστρα **Wolf – Rayet** είναι πιο ενεργητικά από άστρα κλάσης O και συχνά υποδηλώνονται ως **W**. Πιστεύεται ότι είναι άστρα τα οποία έχουν χάσει τα εξωτερικά στρώματά τους.

Φυσική των άστρων

Μάζα, φωτεινότητα και θερμοκρασία

Τα περισσότερα άστρα περνούν σχεδόν όλη την ζωή τους σαν μέλη της **κύριας ακολουθίας**. Αυτό σημαίνει ότι το ενεργειακό output (η φωτεινότητα) και το συνολικό μέγεθός τους σχετίζονται με την θερμοκρασία τους με έναν απλό τρόπο – τα μεγαλύτερα άστρα είναι θερμότερα και λαμπρότερα.

Στην Εικόνα 4 φαίνεται ένα γράφημα των θερμοκρασιών και λαμπροτήτων περίπου 1200 άστρων στον αστερισμό του Κύκνου. Η κύρια ακολουθία είναι η διαγώνια ζώνη περίπου στην μέση του διαγράμματος.



Εικόνα 4 Διάγραμμα Hertzsprung – Russell περίπου 1200 άστρων στον Κύκνο, σχεδιασμένο με το Starry Night Pro. Οι ερυθροί και λευκοί νάνοι είναι πολύ πιο συνηθισμένοι από ότι υπαινίσσεται το διάγραμμα, αλλά είναι πολύ αμυδροί για να τους δούμε από μεγάλη απόσταση.

Η κύρια ακολουθία δεν είναι μια σειρά βαθμίδων ή καταστάσεων από τις οποίες διέρχεται το άστρο· είναι ένα σύνολο κλάσεων (τύπων άστρων) και οποιοδήποτε συγκεκριμένο άστρο παραμένει σε ένα συγκεκριμένο σημείο πάνω σε αυτήν με μόνον μερικές μικρές μετατοπίσεις μέχρις ότου, σε μεγάλη ηλικία, αφήσει τελείως την κύρια ακολουθία.

Ή μεγάλη ηλικία έρχεται νωρίτερα για κάποια άστρα παρά για άλλα. Άστρα με μεγάλη μάζα είναι θερμά, λαμπρά, και μεγάλα και καίνε το υδρογόνο τους γρήγορα. Άστρα μικρής μάζας δεν γίνονται ποτέ τόσο μεγάλα ή θερμά, και το απόθεμα υδρογόνου τους διαρκεί περισσότερο.

Αστρική εξέλιξη εν συντομία

Η **εξέλιξη** ενός άστρου είναι απλώς η διαδικασία “γήρανσής” του· η αστρική εξέλιξη δεν έχει τίποτα να κάνει με την συνήθη έννοια της λέξης εξέλιξη στην επιστήμη (Δαρβινισμό ή φυσική επιλογή).

Όλα τα άστρα ξεκινούν την ζωή τους σαν μικρές, πυκνές, σχεδόν σημειακές, περιοχές διαστρικού αερίου, αποτελούμενες σχεδόν αποκλειστικά από υδρογόνο. Άπαξ και σχηματισθεί μια τέτοια περιοχή, η βαρύτητά της έλκει περισσότερη ύλη, και έτσι μεγαλώνει. Εντωμεταξύ θερμαίνεται λόγω **βαρυτικής συστολής** – όταν συμπιέζετε ένα αέριο, αυτό γίνεται θερμότερο. Όσο περισσότερη μάζα έχει αυτό το πρωτόαστρο, τόσο θερμότερο γίνεται.

Κατά την διάρκεια της φάσης συστολής στην εξέλιξη ενός άστρου, αυτό είναι μεγάλο και σχετικά λαμπρό, εξ αιτίας της μεγάλης επιφάνειάς του, και η λαμπρότητά του μεταβάλλεται ακανόνιστα. Το άστρο T Tauri πιστεύουμε ότι βρίσκεται σε αυτήν την φάση τώρα.

Το τι συμβαίνει μετά εξαρτάται από το πόση μάζα έχει συσσωρευθεί και το πόσο θερμή είναι. Υπάρχουν τέσσερις δυνατότητες:

1. Εάν το άστρο είναι πολύ μικρό, δεν θα γίνει ποτέ αρκετά θερμό ώστε να ξεκινήσει μια αντίδραση σύντηξης. Σε αυτή την περίπτωση, το αντικείμενο είναι ένας **καφέ νάνος** (brown dwarf) και όχι, μιλώντας αυστηρά, ένα άστρο, αν και λάμπει λόγω της θερμότητας που απέκτησε από την συστολή. Τέτοια αντικείμενα είναι παρατηρήσιμα μόνον με μεγάλα τηλεσκόπια που παρατηρούν στο υπέρυθρο.
2. Εάν το άστρο είναι μέτρια μικρό (π.χ. ένα δέκατο της μάζας του Ήλιου), υπάρχει αρκετή θερμότητα για να ξεκινήσει μια αντίδραση σύντηξης υδρογόνου, αλλά το άστρο δεν θα γίνει ποτέ αρκετά θερμό για να συντήξει ήλιο ή βαρύτερα στοιχεία. Σε αυτή την περίπτωση το άστρο είναι ένας **ερυθρός νάνος** (red dwarf), στο άκρο χαμηλής θερμοκρασίας, μικρής μάζας, της κύριας ακολουθίας. Μετά από πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, θα

ξεμείνει από καύσιμα και θα ψυχθεί. Οι ερυθροί νάνοι είναι μακράν τα πιο συνηθισμένα άστρα, αλλά δεν μπορούμε να δούμε πολλά από αυτά λόγω της χαμηλής λαμπρότητας τους.

3. Εάν το άστρο έχει ένα μέσο μέγεθος (συγκρίσιμο με αυτό του Ήλιου), θα συντήξει υδρογόνο για μεγάλο χρονικό διάστημα και μετά θα αρχίσει σύντηξη του ηλίου. Ο κύκλος ζωής του, από κανονικό άστρο σε ερυθρό γίγαντα και μετά σε λευκό γίγαντα, εξηγείται παρακάτω.
4. Εάν το άστρο είναι πολύ μεγάλο (δέκα φορές η μάζα του Ήλιου), θα συντήξει υδρογόνο, μετά ήλιο και μετά βαρύτερα στοιχεία. Έπειτα, θα εκραγεί σαν **supernova**, διαχέοντας βαριά στοιχεία σε όλο το σύμπαν κατά την έκρηξή του.

Περισσότερη αστρική εξέλιξη

Η εξέλιξη ενός άστρου μεγάλου ή μέσου μεγέθους, ενός άστρου δηλαδή που μπορεί να κάψει και άλλα καύσιμα εκτός από το υδρογόνο, έχει ως ακολούθως:

Ας θυμηθούμε ότι οι αντιδράσεις σύντηξης μέσα στο άστρο εξυπηρετούν δύο σκοπούς. Όχι μόνον δίνουν φως και θέρμανση, αλλά προμηθεύουν επίσης την πίεση που κρατά το άστρο από το να μην καταρρεύσει λόγω της βαρύτητάς του. Μεγάλα άστρα απαιτούν μεγάλη ενέργεια σύντηξης για να κρατηθούν μεγάλα.

Σε ένα άστρο μεγάλου ή μέσου μεγέθους της κύριας ακολουθίας, η σύντηξη υδρογόνου λαμβάνει χώρα κυρίως στον κεντρικό πυρήνα του άστρου, και το τελικό προϊόν είναι το ήλιο. Τελικά, ο πυρήνας θα γεμίσει με ήλιο, το οποίο είναι βαρύτερο από το υδρογόνο, και η αντίδραση σύντηξης θα μετακινηθεί σε εξωτερικά του πυρήνα στρώματα. Όταν συμβεί αυτό, το άστρο θα διασταλεί σε μεγάλο βαθμό, επειδή η πηγή της πίεσης είναι κοντύτερα στην επιφάνεια. Επειδή η ίδια ποσότητα θερμότητας εξαπλώνεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια, το άστρο ψύχεται και γίνεται **ερυθρός γίγαντας**. Μετά από αυτήν την φάση διαστολής, το άστρο υποχωρεί κάπως.

Ο πυρήνας του ερυθρού γίγαντα είναι ακόμα πυκνός, φυσικά, και μετά από κάποιο σημείο, η θερμοκρασία και η πίεση γίνονται αρκετά υψηλές για να ξεκινήσει μια αντίδραση σύντηξης ηλίου. Αυτή η φάση ονομάζεται **ανάφλεξη ηλίου** (helium flash) και είναι εντελώς ξαφνική (πιθανώς ζήτημα δευτερολέπτων) αλλά δεν είναι άμεσα ορατή από το εξωτερικό του άστρου. Το ορατό αποτέλεσμα της είναι ότι το άστρο διαστέλλεται και γίνεται πιο φωτεινό.

Τελικά, ο ερυθρός γίγαντας θα ξεμείνει και από ήλιο, και ο πυρήνας του θα γεμίσει από άνθρακα, που είναι το προϊόν της σύντηξης του ηλίου. Ένα **άστρο άνθρακα** (carbon star) είναι ένα άστρο στο οποίο μεγάλες ποσότητες αυτού του άνθρακα μεταφέρονται στην επιφάνεια με μεταγωγή (convection), επηρεάζοντας το φάσμα του.

Ένα από δύο πράγματα θα συμβεί μετά.

Σε αυτή την φάση, ένα άστρο μεσαίου μεγέθους ξεμένει από καύσιμα. Καθώς το άστρο τελειώνει, η αντίδραση σύντηξης ηλίου μετακινείται προς τα εξωτερικά στρώματα και τα εκτινάσσει στο διάστημα· εάν εκτιναχθεί σημαντική ποσότητα αερίου με αυτόν τον τρόπο, το βλέπουμε σαν ένα **πλανητικό νεφέλωμα** (planetary nebula). Αυτό που απομένει συστέλλεται τρομακτικά γιατί δεν υπάρχει πλέον μια εσωτερική πηγή πίεσης. Το αποτέλεσμα είναι ένας πολύ θερμός, πολύ πυκνός **λευκός νάνος** (white dwarf), που θερμαίνεται μόνον μέσω βαρυτικής συστολής και γιαυτό καταδικασμένος να ψυχθεί και να σβήσει.

Ένα μεγαλύτερο, θερμότερο άστρο **υπεργίγαντας** (supergiant) από την άλλη μεριά, μπορεί να ξεκινήσει αντίδραση σύντηξης βαρύτερων στοιχείων, ειδικότερα άνθρακα. Αυτή η διαδικασία δεν διαρκεί πολύ, αλλά δίνει μεγάλα ποσά ενέργειας, και το άστρο τελειώνει την ζωή του εκρηγνυόμενο σαν **supernova**, διαχέοντας τα απομεινάρια του στο διάστημα.