

Το Σύμπαν στην τσέπη μου

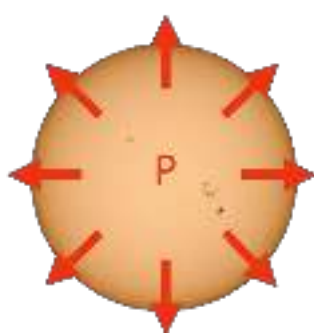
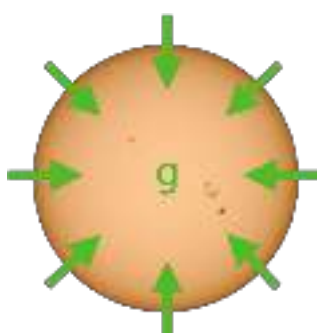


Η ζωή των αστέρων



Αρ. 29

Sylvia Ekström
University of Geneva



Η βαρύτητα (g) προκαλεί τη συστολή του άστρου. Το αέριο θερμαίνεται και δημιουργεί μια πίεση (P) που αντισταθμίζει τη βαρυτική δύναμη: αυτή είναι η φάση της «υδροστατικής ισορροπίας».

Το χρώμα των άστρων υποδεικνύει τη θερμοκρασία της επιφάνειάς τους. Τα πιο θερμά αστέρια είναι μπλε, τα πιο ψυχρά είναι κόκκινα.

ΚΑΥΤΟ

ΚΡΥΟ



25 000 K
Rigel



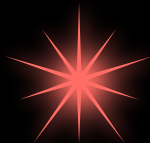
10 000 K
Sirius



6 000 K
Ήλιος



4 000 K
Aldebaran



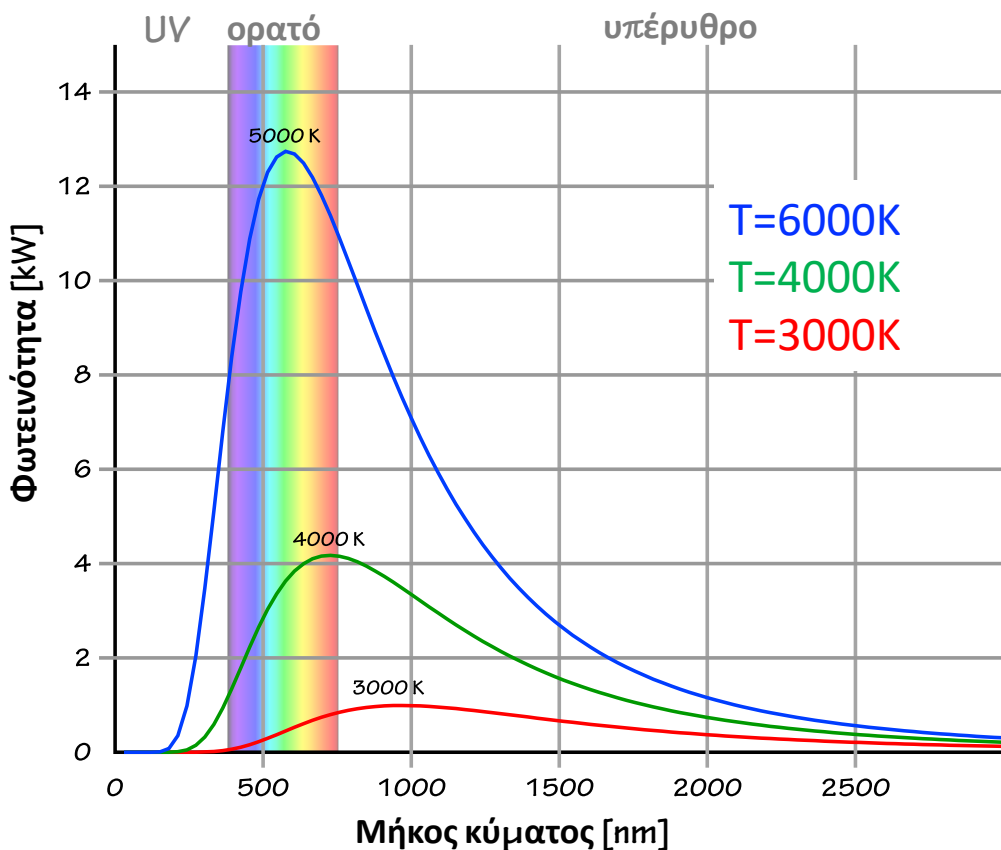
3 000 K
Antares

Τι είναι ένα αστέρι;

Είναι μια **μεγάλη** μπάλα **καυτού** αερίου.

Επειδή είναι τόσο τεράστιο, η βαρύτητα το αναγκάζει να συστέλλεται προς τα μέσα, και αυτή η συμπίεση του αερίου το θερμαίνει: το αέριο αντιδρά ανακινώντας τα άτομα του άστρου, παράγοντας μια πίεση που αντισταθμίζει τη βαρύτητα. Όσο πιο τεράστιο είναι το άστρο, τόσο ισχυρότερη είναι η βαρύτητα, και τόσο πιο θερμό και φωτεινό είναι το άστρο.

Οπτικά, ένα θερμότερο άστρο είναι **μπλε**, όπως το άστρο Rigel στον αστερισμό του Ωρίωνα, ενώ ένα ψυχρότερο άστρο είναι **κοκκινωπό**, όπως ο Betelgeuse, επίσης στον Ωρίωνα. Το άστρο μας, ο Ήλιος, στους σχεδόν 6000°K , είναι κίτρινο.



Αυτό το διάγραμμα δείχνει τη φωτεινότητα ενός σώματος ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Όσο πιο ψυχρό είναι το σώμα, τόσο περισσότερο η κορυφή φωτεινότητας μετακινείται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος.

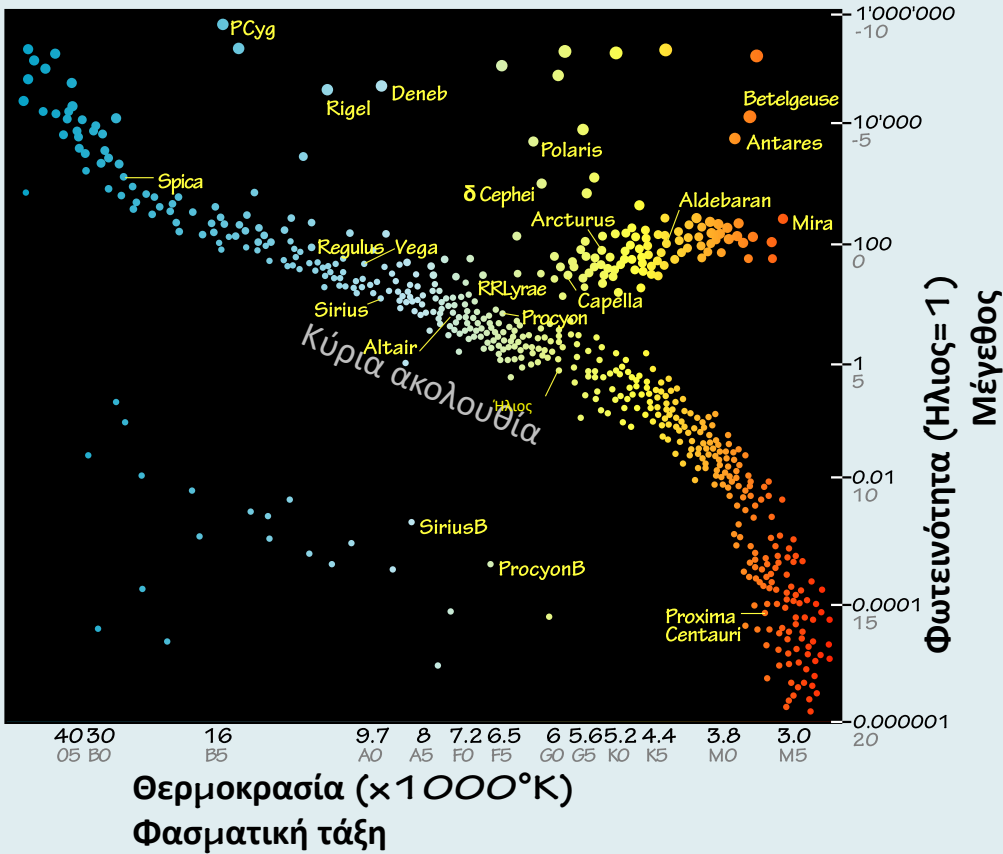


Φωτογραφία μιας γάτας που τραβήχτηκε με θερμική κάμερα, ευαίσθητη στο υπέρυθρο. Καθώς η μύτη είναι πιο κρύα, φαίνεται λιγότερο φωτεινή.

Γιατί λάμπουν τα αστέρια

Αναρωτιόμαστε εδώ και καιρό τι κάνει τον Ήλιο να λάμπει. Μήπως καίει άνθρακα; Μήπως υφίσταται χημικές αντιδράσεις; Τελικά συνειδητοποιήσαμε ότι ο Ήλιος λάμπει απλώς επειδή είναι φτιαγμένος από πολύ θερμό αέριο, το οποίο είναι φωτεινό στο ορατό φως. Ανάλογα με τη θερμοκρασία τους, τα σώματα κορυφώνονται σε φωτεινότητα σε διαφορετικά μήκη κύματος. Το διπλανό διάγραμμα δείχνει τη φωτεινότητα ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Τα αστέρια λάμπουν περισσότερο στο ορατό φως. Τα έμβια όντα είναι επίσης φωτεινά, αλλά στο υπέρυθρο. Εάν συγκρίνουμε την ενέργεια που εκπέμπει μια γάτα ανά μονάδα μάζας, είναι 5.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή που εκπέμπει ο Ήλιος ανά μονάδα μάζας, επειδή οι χημικές αντιδράσεις (ο μεταβολισμός μας) είναι πιο αποτελεσματικές στην παραγωγή θερμότητας.

Διάγραμμα φωτεινότητας έναντι θερμοκρασίας για αστέρια στη γειτονιά του Ήλιου.



Κατά τη διάρκεια της ζωής τους, τα αστέρια μετακινούνται σε αυτό το διάγραμμα. Η κύρια ακολουθία είναι όπου παραμένουν για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Φασματικός τύπος	Θερμοκρασία ($^\circ\text{K}$)	% των αστεριών
O	>30 000	0.05
B	9 700-30 000	0.13
A	7 200-9 700	0.6
F	6 000-7 200	3
G	5 200-6 000	7.6
K	3 800-5 200	12.1
M	2 500-3 800	76.5

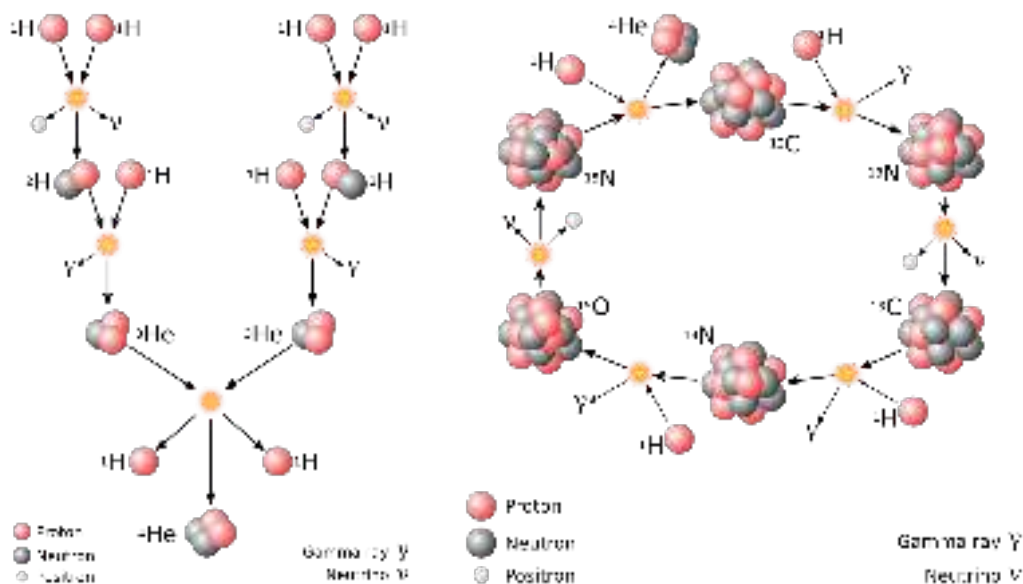
Η κύρια ακολουθία

Όταν σχεδιάζουμε τα αστέρια σε ένα διάγραμμα φωτεινότητας έναντι θερμοκρασίας, βλέπουμε ότι το 90% αυτών βρίσκονται σε μια μεγάλη διαγώνια γραμμή που ονομάζεται **Κύρια Ακολουθία**. Αυτό δείχνει ότι για τα περισσότερα αστέρια, υπάρχει μια σχέση μεταξύ φωτεινότητας και θερμοκρασίας: τα πιο φωτεινά αστέρια είναι επίσης τα πιο θερμά.

Τα αστέρια ταξινομούνται σύμφωνα με τον **φασματικό τους τύπο**, που ορίζεται από την παρουσία και την ένταση των φασματικών τους γραμμών (βλ. TUIMP 30), οι οποίες είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς τους (και επομένως του χρώματός τους): **O, B, A, F, G, K, M**, από το πιο θερμό στο πιο ψυχρό. Κάθε τάξη πηγαίνει από το 0 έως το 9. Τα αστέρια **O** και **B** είναι τα πιο σπάνια. Στην πραγματικότητα, αυτά τα αστέρια με περισσότερες από 8 ηλιακές μάζες αντιπροσωπεύουν μόνο το 0,18% όλων των αστεριών.

Ο Ήλιος είναι τάξης G2. 7

Σχηματισμός ηλίου από αλυσίδες πρωτονίου-πρωτονίου ή τον κύκλο CNO.



Όταν η ακτινοβολία δεν είναι πλέον ένα αποτελεσματικό μέσο για τη μεταφορά ενέργειας, η ύλη αρχίζει να κινείται, όπως το νερό που βράζει σε μια κατσαρόλα: αυτό είναι η μεταφορά.



Αστέρι χαμηλής
μάζας
(< 1.3 μάζες του
Ήλιου)

Αστέρι υψηλής
μάζας
(> 1.3 μάζες του
Ήλιου)



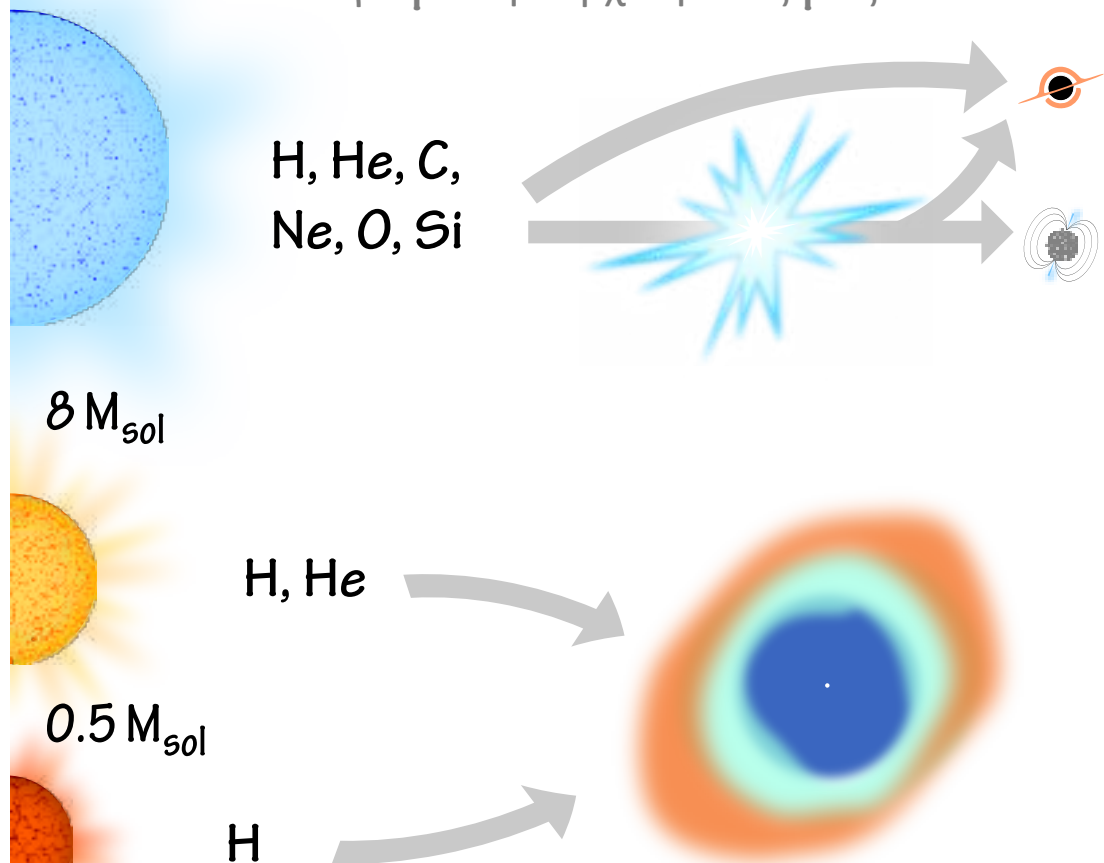
Επειδή οι εντάσεις των πυρηνικών αντιδράσεών τους είναι πολύ διαφορετικές, τα αστέρια χαμηλής μάζας δεν έχουν την ίδια δομή με τα αστέρια υψηλής μάζας: ακτινοβόλο πυρήνα και συναγωγικό φάκελο για τα πρώτα, συναγωγικό πυρήνα και ακτινοβόλο φάκελο για τα δεύτερα.

Όλα συμβαίνουν στον πυρήνα

Παρατηρούμε την **επιφάνεια** των άστρων, αλλά όλα όσα καθορίζουν την εξέλιξή τους λαμβάνουν χώρα στον πυρήνα τους. Αυτός θερμαίνεται σε αρκετά εκατομμύρια βαθμούς από τη βαρυτική συστολή, η οποία είναι αρκετά θερμή για να πυροδοτήσει **πυρηνικές αντιδράσεις**.

Αυτές οι αντιδράσεις συντηρούν το αστέρι επειδή η ενέργεια που παράγουν δημιουργεί μια πίεση που αντισταθμίζει τη βαρύτητα. Οι πυρηνικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το υδρογόνο σε ήλιο (βλ. TUI MP 14) συντηρούν το αστέρι για το 90% της ζωής του. Τα αστέρια μικρότερης μάζας συντήκουν πρωτόνια για να σχηματίσουν ήλιο (**αλυσίδες πρωτονίου-πρωτονίου**). Τα αστέρια μεγαλύτερης μάζας χρησιμοποιούν τους πυρήνες άνθρακα, αζώτου και οξυγόνου ως καταλύτες (**κύκλος CNO**), γεγονός που τους επιτρέπει να παράγουν πολύ περισσότερη ενέργεια, αλλά με πολύ μικρότερη διάρκεια ζωής.

Διάγραμμα της εξέλιξης των άστρων ανάλογα με την αρχική τους μάζα



Τα λιγότερο ογκώδη αστέρια καίνε μόνο υδρογόνο. Όσα έχουν μάζα μεταξύ 0,5 και 8 φορές τη μάζα του Ήλιου καίνε επίσης ήλιο και στη συνέχεια τελειώνουν τη ζωή τους ως λευκοί νάνοι περιτριγυρισμένοι από ένα πλανητικό νεφέλωμα.

Τα αστέρια με περισσότερες από 8 ηλιακές μάζες συντήκουν ακόμη μεγαλύτερα άτομα, όπως C, Ne, O και Si. Τελικά εκρήγνυνται ως υπερκαινοφανείς ή καταρρέουν απευθείας σε μια μαύρη τρύπα.

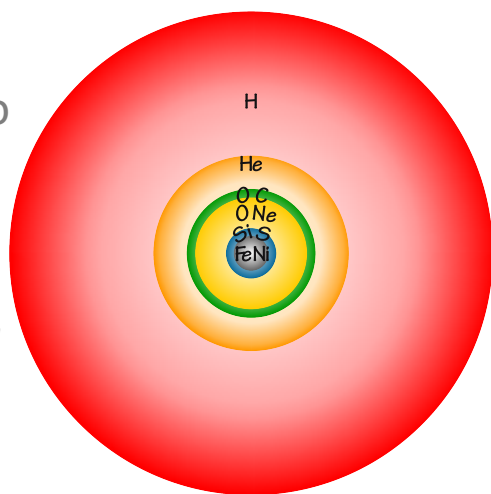
Πώς εξελίσσονται τα αστέρια

Όταν το υδρογόνο στον πυρήνα εξαντλείται, ο πυρήνας συστέλλεται, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του μέχρι να φτάσει στη θερμοκρασία σύντηξης του ηλίου. Αυτή η συστολή απελευθερώνει βαρυτική ενέργεια, προκαλώντας τη διόγκωση του φακέλου και το αστέρι να γίνει **κόκκινος γίγαντας**. Όταν τελειώνει το ήλιο, ο πυρήνας συστέλλεται ξανά.

Για αστέρια μικρότερα των 8 ηλιακών μαζών, αυτό είναι το τέλος της εξέλιξης. Ο πυρήνας τους γίνεται **λευκός νάνος** και δεν εξελίσσεται πλέον. Ψύχεται αργά, ενώ η ατμόσφαιρα γίνεται **πλανητικό νεφέλωμα** (βλ. TUIMP 36).

Τα πιο βαριά αστέρια, από την άλλη πλευρά, φτάνουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες στους πυρήνες τους και περνούν από μια σειρά φάσεων σύντηξης, παρεμβαλλόμενες με φάσεις συστολής. Η εξέλιξη των ογκωδών άστρων τελειώνει με μια υπερκαινοφανή έκρηξη ή άμεση κατάρρευση σε μια μαύρη τρύπα.

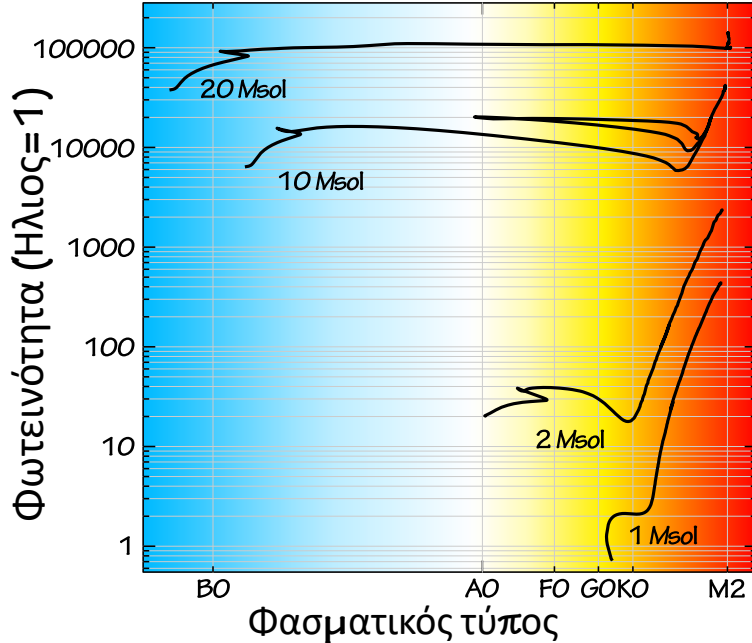
Οι πυρηνικές αντιδράσεις των διαδοχικών φάσεων λαμβάνουν χώρα όλο και πιο βαθιά στους πυρήνες των ογκωδών άστρων. Στο τέλος της εξέλιξής τους, τα αστέρια έχουν μια δομή σαν κρεμμύδι με πολλαπλές στρώσεις.



Όλα τα βαριά στοιχεία παράγονται στα αστέρια. Αυτός ο πίνακας δείχνει σε ποιον τύπο αστεριού παράγονται (C. Kobayashi 2020)

1 H		Μεγάλη Έκρηξη Αποσπασματοποίηση										2 He						
3 Li	4 Be	Σουπερνόβα και αστέρια νετρονίων					Ογκώδη αστέρια					5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg	Αστέρια μικρής μάζας					Έκρηξη λευκών νάνων					13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 -92																
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	12												

Αφού κάψουν υδρογόνο και στη συνέχεια ήλιο στους πυρήνες τους, τα πιο ογκώδη αστέρια χρησιμοποιούν διαδοχικά **άνθρακα**, **νέον**, **οξυγόνο** και **πυρίτιο** ως καύσιμο, σχηματίζοντας βαρύτερα και βαρύτερα στοιχεία όλο και πιο βαθιά στους πυρήνες τους. Η εξέλιξη επιταχύνεται καθώς το αστέρι παράγει όλο και περισσότερα **νετρίνα**, τα οποία απομακρύνουν την ενέργεια που παράγεται στον πυρήνα χωρίς να θερμαίνουν το αστέρι. Ο άνθρακας καίγεται σε λίγες χιλιάδες χρόνια, ενώ το πυρίτιο μπορεί να υποστηρίξει το αστέρι μόνο για λίγες μέρες! Μερικά από τα στοιχεία που παράγονται στους αστρικούς πυρήνες εκτοξεύονται στο διαστρικό μέσο από πλανητικά νεφελώματα ή σουπερνόβα. Άλλα παραμένουν για πάντα φυλακισμένα σε λευκούς νάνους, αστέρια νετρονίων ή μαύρες τρύπες και δεν συμμετέχουν στη χημική εξέλιξη του Σύμπαντος.

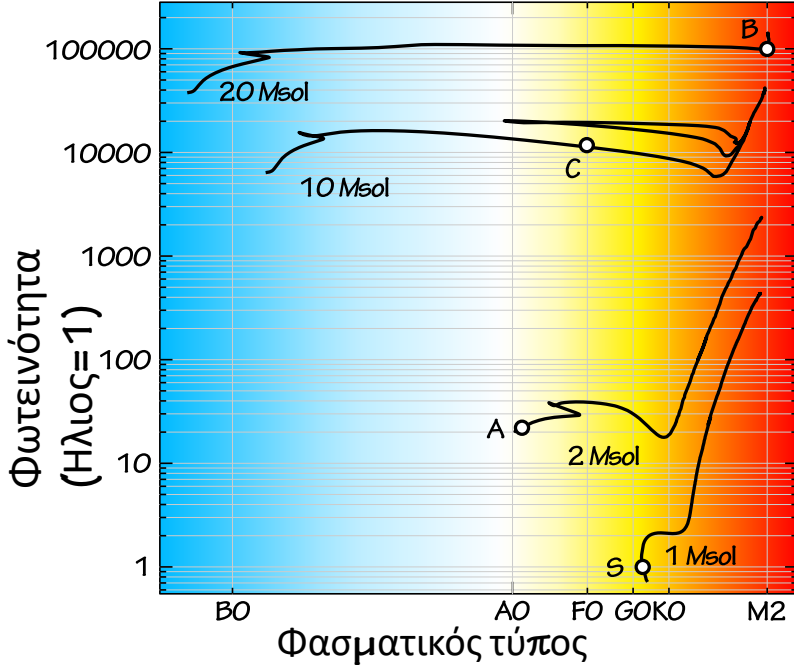


Κουίζ

Αυτό το διάγραμμα δείχνει την εξέλιξη των άστρων 1, 2, 10 και 20 ηλιακών μαζών. Τοποθετήστε τα ακόλουθα αστέρια σε αυτό:

	Φωτεινότητα	Φασματικός τύπος
Ήλιος	1	G2
Σείριος A	25	A1
Κανωπός	13600	F0
Μπετελγκέζ	105000	M2

- 1) Ποιο είναι το πιο ψυχρό από αυτά τα αστέρια; Το πιο θερμό;
- 2) Ποιες είναι οι μάζες αυτών των αστερων;
- 3) Ποια δεν έχουν τελειώσει την καύση όλου του υδρογόνου στον πυρήνα τους;
- 4) Ποια αστέρια θα κάνουν υπερκαινοφανή έκρηξη (σουπερνόβα);
- 5) Ποιο αστέρι θα ζήσει περισσότερο;



Απαντήσεις

Στο διάγραμμα, οι θέσεις του Ήλιου, του Σείριου Α, του Μπετελγκέζ και του Κανώπου αντιπροσωπεύονται από τα γράμματα S, A, B και C.

Απαντήσεις στις ερωτήσεις:

- 1) Μπετελγκέζ. Σείριος Α.
- 2) 1, 2, 10, 20 ηλιακές μάζες.
- 3) Ο Ήλιος και ο Σείριος Α.
- 4) Μπετελγκέζ και Κανωπός.
- 5) Ο Ήλιος.

Το Σύμπαν στην τσέπη μου Αρ. 29

Η Sylvia Ekström, από το Αστεροσκοπείο της Γενεύης, είναι η συγγραφέας αυτού του βιβλαρακιου, που γράφτηκε το 2025. Το βιβλιαρακι αναθεωρήθηκε από την Grażyna Stasińska από το Αστεροσκοπείο του Παρισιού και τον Stan Kurtz από το IRyA (Morelia, Μεξικό).

Εικόνα εξωφύλλου: Μια ματιά στο εσωτερικό του Ήλιου. Ο υπερθερμασμένος πυρήνας παράγει ενέργεια μέσω πυρηνικών αντιδράσεων. Το περίβλημα αναδεύεται από μεταφορά όπως το νερό σε μια κατσαρόλα. Όλες οι εικόνες σε αυτό το φυλλάδιο είναι της Sylvia Ekström, εκτός από τις αλυσίδες αντίδρασης στη σελίδα 8 (Wikimedia Commons) και τη φωτογραφία της γάτας (<https://www.facebook.com/FLIR/posts/happy-internationalcatday/2476717149041777/>).



Για να μάθετε περισσότερα για αυτή τη σειρά και τα θέματα που καλύπτονται σε αυτό το φυλλάδιο, επισκεφθείτε τη διεύθυνση <http://www.tuimp.org>.

Μετάφραση: Τζίνα Πανοπούλου
TUIMP Creative Commons

