

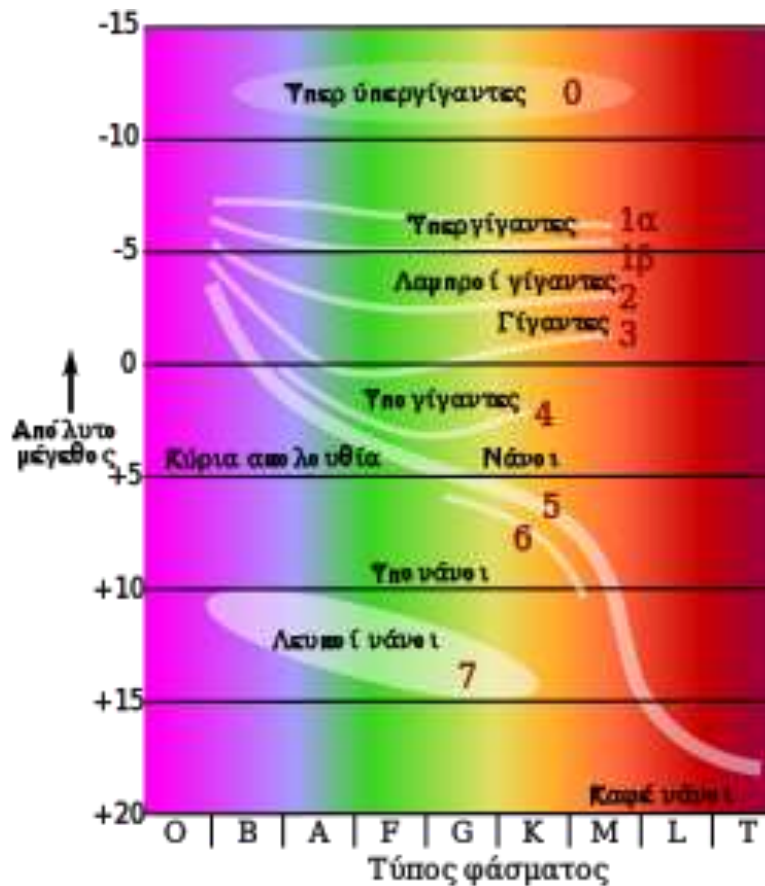
Οι αστέρες δαπανούν περίπου το 90% της διάρκειας της ζωής στη σύντηξη υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο σε υψηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση κοντά στον πυρήνα. Ξεκινώντας από την μηδέν-ηλικία στην κύρια ακολουθία, η αναλογία του ηλίου στον πυρήνα ενός αστέρα θα αυξάνεται σταθερά. Κατά συνέπεια, προκειμένου να διατηρηθεί το απαιτούμενο ρυθμό πυρηνικής σύντηξης στον πυρήνα, το αστέρι θα αυξήσει αργά τη θερμοκρασία και τη φωτεινότητά του. Στον Ήλιο, για παράδειγμα, εκτιμάται ότι έχει αυξηθεί σε φωτεινότητα κατά 40%, δεδομένου ότι έφτασε η κύρια ακολουθία από 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια. Τέτοια αστέρια λέγεται ότι είναι στην κύρια ακολουθία και ονομάζονται αστέρια νάνοι. Κάθε αστέρι δημιουργεί ένα αστρικό άνεμο σωματιδίων που συνεχώς βγάζει αέριο προς το διάστημα χάνοντας κάποια μάζα του. Ο Ήλιος χάνει 10 στην -14 της ηλιακής μάζας κάθε χρόνο, ή περίπου το 0,01% σε όλη τη διάρκεια της ζωής του. Η **κύρια ακολουθία** είναι μία συνεχής και διακριτή λωρίδα αστέρων που εμφανίζεται στο διάγραμμα αστρικού χρώματος που βρησκετε στο τέλος αυτής της παραγράφου. Αυτά τα διαγράμματα είναι γνωστά ως διάγραμμα Χέρτζμπουκ-Ρασελ. Στην αστρονομία όλα τα στοιχεία βαρύτερα από το ήλιο θεωρούνται «μέταλλα», και η συγκέντρωση αυτών των χημικών στοιχείων ονομάζεται μεταλλικότητα. Η μεταλλικότητα μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια που ένα αστέρι θα κάψει τα καύσιμά του, ελέγχει το σχηματισμό των μαγνητικών πεδίων και να τροποποιήσει τη δύναμη του αστρικού ανέμου. Μετά τον σχηματισμό ενός αστέρα, παράγεται ενέργεια στον καυτό, πυκνό πυρήνα του μέσω της πυρηνικής σύντηξης τα H στο εσωτερικό τους και παράγουν He. Τα παρατηρήσιμα μεγέθη των αστεριών καθορίζονται από τη μάζα τους, M, και τη χημική τους σύσταση. Αστέρια που βρίσκο-

νται στη Κύρια Ακολουθία έχουν μάζες: από $0.08 M_{\odot} < M < 100-150 M_{\odot}$. Παρακάτω βλέπουμε μια κατάταξη της μάζας

- Αστέρια μικρότερης μάζας ($0.08 M_{\odot}$) δε θα αναπτύξουν στον πυρήνα υψηλές θερμοκρασίες για την έναρξη των αντιδράσεων σύντηξης H σε He
- Η λαμπρότητα αστέρων μεγαλύτερης μάζας είναι μεγαλύτερη από το όριο Eddington.

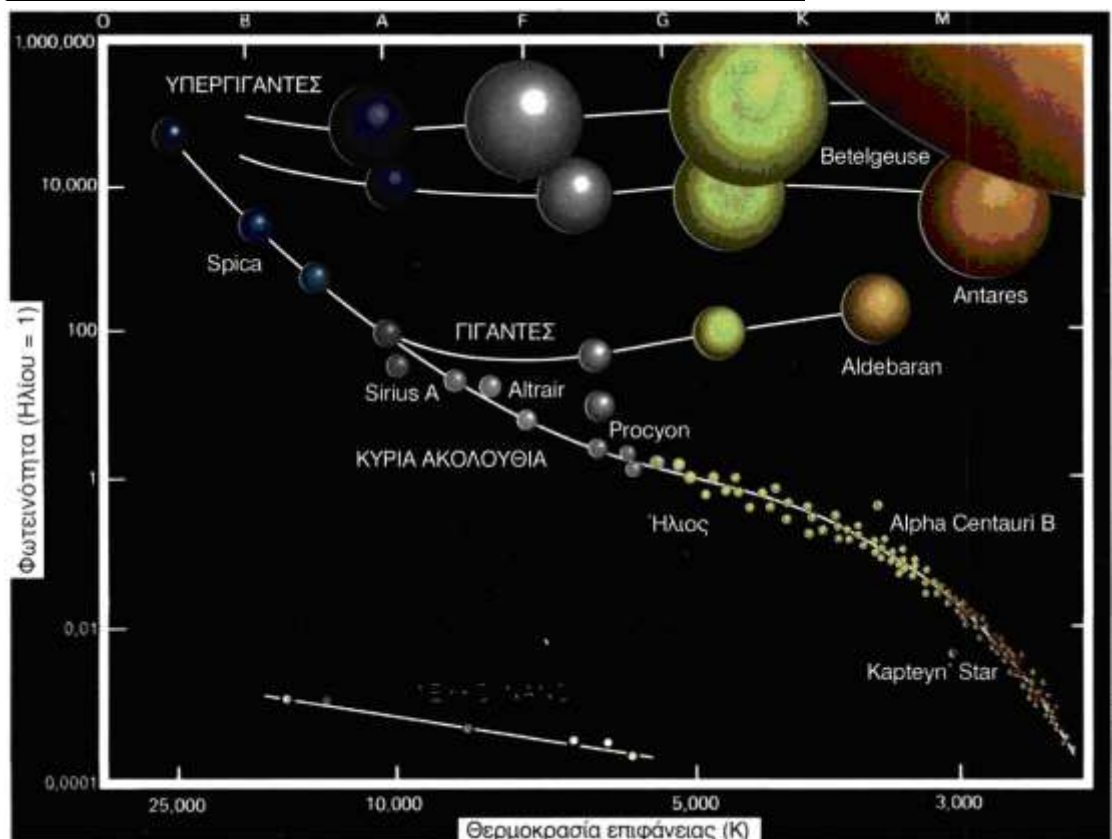
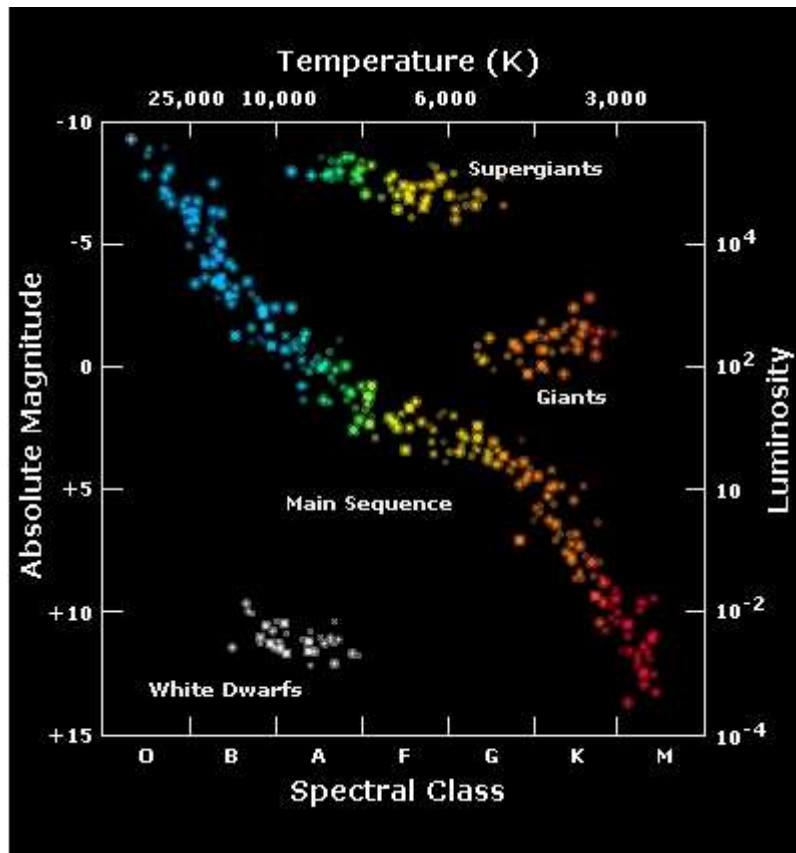
Σε ότι αφορά τη χημική σύσταση των αστέρων:

- Αστέρες πληθυσμού I : περιεκτικότητα σε στοιχεία βαρύτερα από H και He $\sim 2-3\%$ της μάζας τους (όπως ο Ήλιος).
- Αστέρες πληθυσμού II : περιεκτικότητα σε στοιχεία βαρύτερα από H και He είναι πολύ μικρή ($\sim 0.01-0.1\%$ της μάζας τους). Αυτά τα αστέρια βρίσκονται σε σφαιρωτά σμήνη, είναι μικρής μάζας, αμυδρά και "ψυχρά".
- Αστέρες πληθυσμού III: αστέρες χωρίς καθόλου πυρήνες "βαρύτερους" από H και He (πρώτη γενιά αστέρων, δεν έχει παρατηρηθεί ακόμα).



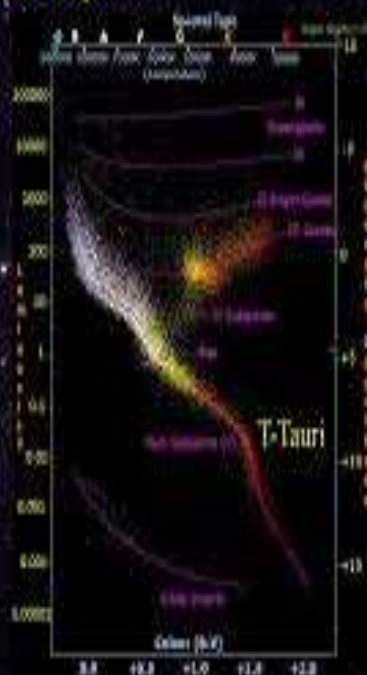
Ακολουθεί η εξέλιξη των αστέρων μετά την κύρια ακολουθία. Το στάδιο της ζωής του αστερά έπειτα της κύριας ακολουθίας αποτελεί την πιο σύντομη φάση της εξέλιξης του. Με την πάροδο των ετών εξαντλούνται τα αποθέματα του Η λόγω των ισχυρών βαρυτικών δυναμεών που δέχεται αρχίζει να συστέλεται παράλληλα όμως αυξάνεται η θερμοκρασία του φτάνοντας περίπου στο 1000000 K και αρχίζει η πυρηνική κάυση του ήλιου σε άνθρακα. Σε περίπου 5 δισεκατομμύρια χρόνια, όταν ο Ήλιος θα είναι ένας ερυθρός γίγαντας, θα αναπτυχθεί σε μέγιστη ακτίνα περίπου 1 αστρονομική μονάδα (150 εκατομμύρια χιλιόμετρα), 250 φορές το σημερινό του μέγεθός του. Ως γίγαντας, ο Ήλιος θα χάσει περίπου το 30% της τρέχουσας μάζας του. Τελικά, ο πυρήνας συμπιέζεται αρκετά για να ξεκινήσει σύντηξη ηλίου, και το αστέρι τώ-

ρα σταδιακά συρρικνώνεται σε ακτίνα και αυξάνει τη θερμοκρασία της επιφάνειάς του.



Εξέλιξη των αστερών

Το διάγραμμα H-R.



Η συναρπαστική «μετά θάνατον» ζωή των αστεριών

Όταν λέμε «ζωή» των αστεριών εννοούμε το στάδιο κατά το οποίο αυτά λάμπουν λόγω της ενέργειας που παράγουν με πυρηνική καύση. Ο Ήλιος, που είναι ένα τυπικό αστέρι, λάμπει ήδη για περίπου 5 δισεκατομμύρια χρόνια και θα λάμπει για περίπου άλλα τόσα. Με άλλα λόγια, έχει κάψει τα μισά περίπου πυρηνικά καύσιμά του. Όσο περίεργο κι αν ακούγεται, όσο πιο μεγάλο είναι ένα αστέρι, τόσο πιο σύντομη είναι η «ζωή του». Παρά το γεγονός ότι τα μεγάλα αστέρια έχουν πολύ περισσότερα πυρηνικά καύσιμα απ' ό,τι τα μικρότερα, τα καίνε ταχύτερα κι έτσι ζουν λιγότερο χρόνο.

Το αστρικό «πτώμα»

Το τέλος της ζωής των αστεριών εξαρτάται από τη μάζα τους. Αστέρια με μάζα περίπου σαν του Ηλίου ή λίγο μεγαλύτερα έχουν ένα σχετικά ήρεμο τέλος. Αφού πετάξουν τα εξωτερικά τους περιβλήματα, η κεντρική περιοχή τους συμπιέζεται από τη βαρύτητα και συμπυκνώνεται σε απίστευτο για την καθημερινή εμπειρία μας βαθμό. Σε ένα κυβικό εκατοστό υπάρχει μάζα ίση με έναν τόνο, δηλαδή ένα εκατομμύριο φορές πιο πυκνό από το νερό ή το ανθρώπινο σώμα. Το αστρικό αυτό «πτώμα», που έχει μάζα το πολύ 1,4 φορές τη μάζα του Ηλίου και έχει ακτίνα περίπου 100 φορές μικρότερη από το αρχικό αστέρι (έχει δηλαδή συρρικνωθεί στο μέγεθος της Γης) λέγεται λευκός νάνος.

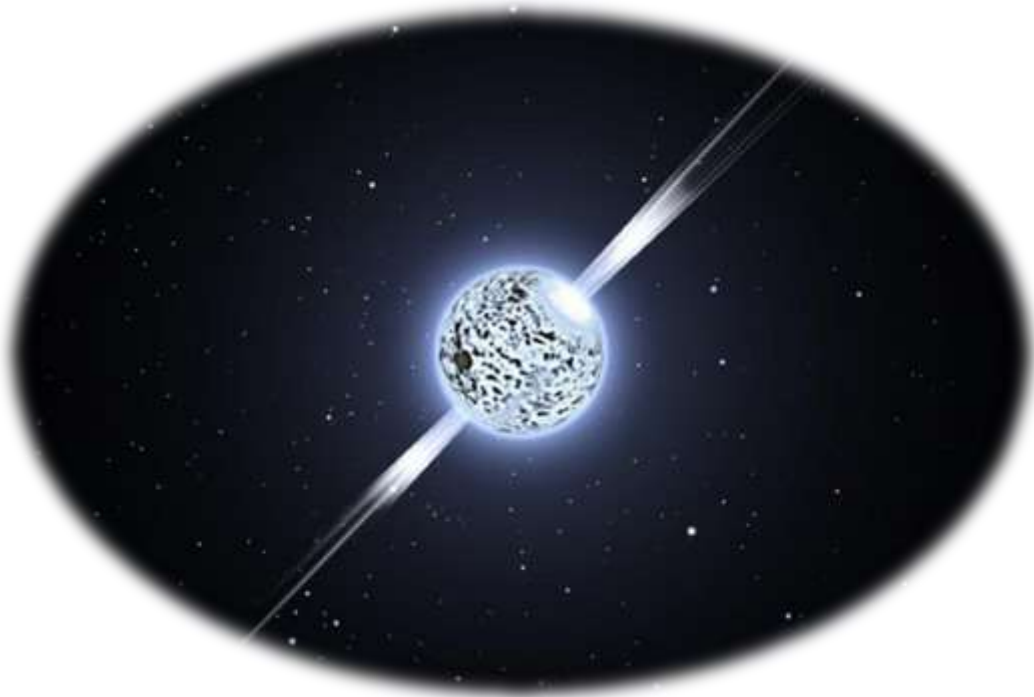


Σύγκριση λευκού νάνου με την γη

Τα μεγαλύτερα αστέρια έχουν πιο επεισοδιακό τέλος. Εκρήγνυνται με τεράστια λάμψη (υπερκαινοφανείς ή supernova), διασκορπίζουν το μεγαλύτερο μέρος της μάζας τους και μόνο το κεντρικό μέρος τους μένει ως «πτώμα». Το «πτώμα» σ' αυτή την περίπτωση εξαρτάται από τη μάζα του αστεριού. Αστέρια μεγάλα μεν, αλλά όχι υπερβολικά μεγάλα (ας πούμε από 5 ως 15 φορές τη μάζα του Ηλίου) αφήνουν ως «πτώμα» ένα αδιανόητα πυκνό αντικείμενο. Σε ένα κυβικό εκατοστό χωρούν 100 εκατομμύρια τόνοι μάζας!! Το αντικείμενο αυτό, με μάζα 1 έως 3 φορές τη μάζα του Ηλίου, είναι μια σφαίρα με ακτίνα μόλις 10 χιλιομέτρων και λέγεται αστέρι νετρονίων. Λόγω της μεγάλης συμπύκνωσης, τα πρωτόνια συγχωνεύτηκαν με τα ηλεκτρόνια και μετατράπηκαν σε νετρόνια. Έτσι τα αστέρια νετρονίων είναι υπέρπυκνες μπάλες νετρονίων. Για να διαφύγει ένα σώμα από την επιφάνεια ενός αστεριού νετρονίων πρέπει να έχει ταχύτητα τουλάχιστον το μισό της ταχύτητας του φωτός.



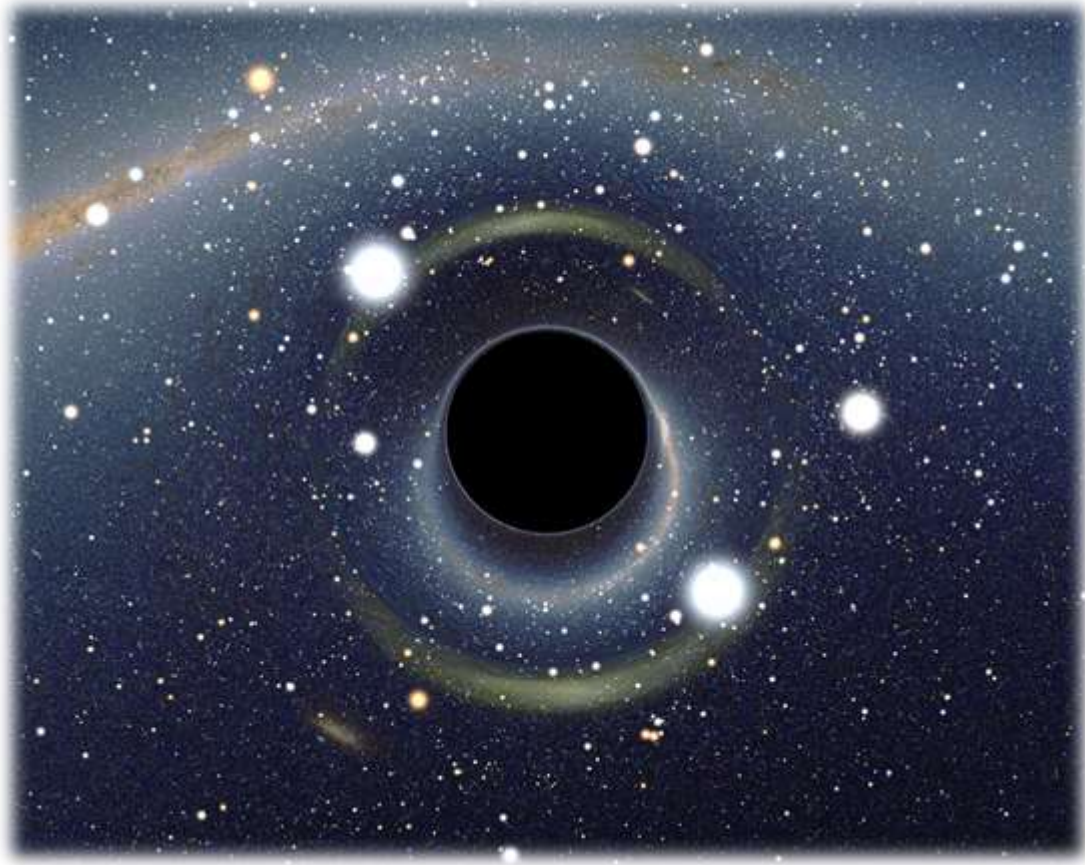
Το νεφέλωμα του καρκίνου (υπόλειμμα supernova)



Αστέρι Νετρονίων

Η έκρηξη ενός αστεριού πολύ μεγάλης μάζας αφήνει πίσω της ένα «πτώμα» πραγματικά εντυπωσιακό. Το «πτώμα» αυτό λέγεται μαύρη τρύπα, έχει μάζα μεγαλύτερη από 3 φορές τη μάζα του Ηλίου και ακτίνα μερικών χιλιομέτρων. Είναι τόσο μεγάλη η βαρυτική έλξη στην «επιφάνεια» (ορίζοντα γεγονότων) μιας μαύρης τρύπας, που όχι μόνο κανένα σώμα δεν μπορεί να

διαφύγει από εκεί, αλλά ούτε το φως. Με άλλα λόγια, μια μαύρη τρύπα ρουφάει ό,τι πέφτει πάνω της και δεν αφήνει τίποτε να φύγει απ' αυτή.



Η Μαύρη Τρύπα

Πώς τα βλέπουμε

Είναι εύλογο επομένως το ερώτημα: αφού τα αστρικά «πτώματα» είναι «νεκρά», πώς τα βλέπουμε; Πώς ανιχνεύουμε την ύπαρξή τους; Η απάντηση είναι ότι η «μετά θάνατον ζωή» των αστεριών είναι πολύ πιο ενδιαφέρουσα από την κανονική ζωή τους. Ας δούμε πώς.

Τα περισσότερα αστέρια με μάζα σαν του Ηλίου ή μεγαλύτερη δημιουργούνται σε ζεύγη. Ο Ήλιος είναι η εξαίρεση σ' αυτόν τον κανόνα. Στο ζεύγος λοιπόν αστεριών, και σύμφωνα με αυτά που είπαμε πριν, το μεγαλύτερο ζει λιγότερο και καταλήγει, ανάλογα με τη μάζα του, να γίνει λευκός νάνος, αστέρι νετρο-

νίων ή μαύρη τρύπα. Το έτερον ήμισυ του ζεύγους συνεχίζει κανονικά τη ζωή του και τόσο το «ζωντανό αστέρι» όσο και το «πτώμα» περιστρέφονται το ένα γύρω από το άλλο. Καθώς το «ζωντανό» αστέρι χάνει μάζα από τα εξωτερικά στρώματά του, μέρος της πέφτει στο «πτώμα». Λόγω της μεγάλης ταχύτητας με την οποία πέφτει αυτή η μάζα και λόγω τριβών κατά την πτώση, η μάζα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες που είναι μερικές δεκάδες εκατομμύρια βαθμούς. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ακτίνων Χ, που τις ανιχνεύουμε με δορυφόρους που στέλνουμε στο διάστημα.

Η πρώτη ανίχνευση τέτοιων ακτίνων Χ έγινε τη δεκαετία του 1960 (ο Riccardo Giacconi πήρε το βραβείο Nobel γι' αυτό το 2002) και έτσι άρχισε η λεγόμενη Αστρονομία ακτίνων Χ, δηλαδή η παρατήρηση και μελέτη αστρικών αντικειμένων με ακτίνες Χ. Η παρατήρηση της «μετά θάνατον ζωής» των αστεριών έφθασε στις μέρες μας να είναι τουλάχιστον το ίδιο ενδιαφέρουσα όσο η ίδια η «ζωή τους». Τόσο στο Πανεπιστήμιο Κρήτης όσο και στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών αρκετοί επιστήμονες ασχολούνται ερευνητικά με τη «μετά θάνατον ζωή» των αστεριών.

Υ.Γ: κάποιες από τις πληροφορίες είναι από τον καθηγητή Αστροφυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης τον κύριο Νίκο Κυλάφη.

Υπερκαινοφανείς αστέρες (σουπερνόβα)

Οι υπερκαινοφανείς αστέρες (ή σουπερνόβα) είναι τύποι εκρήξεων που συμβαίνουν στο τέλος της ζωής των αστεριών. Κατά τη διάρκεια των εκρήξεων αυτών παράγονται εξαιρετικά φωτεινά αντικείμενα που αποτελούνται από πλάσμα, τα οποία σταδιακά χάνουν την φωτεινότητά τους. Σύμφωνα με στατιστικές ένα σουπερνόβα προβλέπεται να συμβαίνει τρεις φορές κάθε αιώνα και η λάμψη του μπορεί να ξεπεράσει και αυτή ενός ολόκληρου γαλαξία.

Για να μπορέσει να υπάρξει ένα άστρο και να παράγει φως και θερμότητα πρέπει στον πυρήνα του να εκτελείται η αντίδραση που παράγει όλη αυτή την ενέργεια η οποία ονομάζεται πυρηνική σύντηξη. Στο τέλος της ζωής των αστεριών όμως αυτή η αντίδραση σταματάει με αποτέλεσμα ο πυρήνας να καταρρεύσει. Όταν συμβεί αυτό το άστρο που έχει χάσει τον πυρήνα του θα συντριφτεί κάτω από τη δύναμη της ίδιας του της βαρύτητας, καταλήγοντας έτσι σε ένα σουπερνόβα.



Ένας ακόμη τρόπος με τον οποίο μπορεί να συμβεί ένα σουπερνόβα είναι ένας λευκός νάνος να απορροφήσει τόση ενέργεια από ένα άλλο άστρο ώστε στο τέλος να υποστεί θερμοπυρηνική έκρηξη.



Στο τέλος των εκρήξεων εκτοξεύεται αστρικό υλικό με ταχύτητα τριών χιλιάδων χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο (3000km/sec) .Κατά συνέπεια δημιουργείται ένα κύμα στο χώρο το οποίο αφήνει τα λεγόμενα υπολείμματα υπερκαινοφανούς τα οποία είναι ένα είδος νεφελώματος .Σε αυτά τα νεφελώματα συναρτώνται διάφορα στοιχεία που έχουν παραχθεί λόγω της έκρηξης μερικά από τα οποία δεν είναι δυνατόν να παραχθούν με κανέναν άλλο τρόπο στο σύμπαν .

Τα στοιχεία αυτά όχι μόνο συμβάλλουν στη δημιουργία νέων άστρων ή πλανητών αλλά είναι και απαραίτητα για την εμφάνιση και διατήρηση της ζωής και είναι βασικά στοιχεία και του δικού μας οργανισμού ,όπως το ασβέστιο .

Εκτός από τα στοιχεία αυτά οι εκρήξεις των υπερκαινοφανών έχουν επίσης βοηθήσει τους επιστήμονες να διαπιστώσουν ότι ζούμε σε ένα σύμπαν που διαρκώς μεγαλώνει .

Υπερνόβα (super luminous supernova ή SLSN)

Τα υπερνόβα είναι τύποι αστρικών εκρήξεων που επίσης μπορούν να τελειώσουν την ζωή ενός άστρου .Πολλά από αυτά εί-

ναι παρόμοια με τα σουπερνόβα αλλά παράγουν σημαντικά περισσότερη ενέργεια και οι εκρήξεις τους θεωρούνται οι δεύτερες πιο ισχυρές σε όλο το σύμπαν μετά το Big Bang .Τα υπερνόβα είναι και υπεύθυνα για μακράς διάρκειας εκρήξεις ακτινίων-γάμα .

Όσο για τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται έχουν σχηματιστεί διάφορα μοντέλα κάποια εκ των οποίων έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια ,κάποια έχουν προταθεί πάνω σε κάποιες παρατηρήσεις ενώ άλλα είναι τελείως θεωρητικά .

