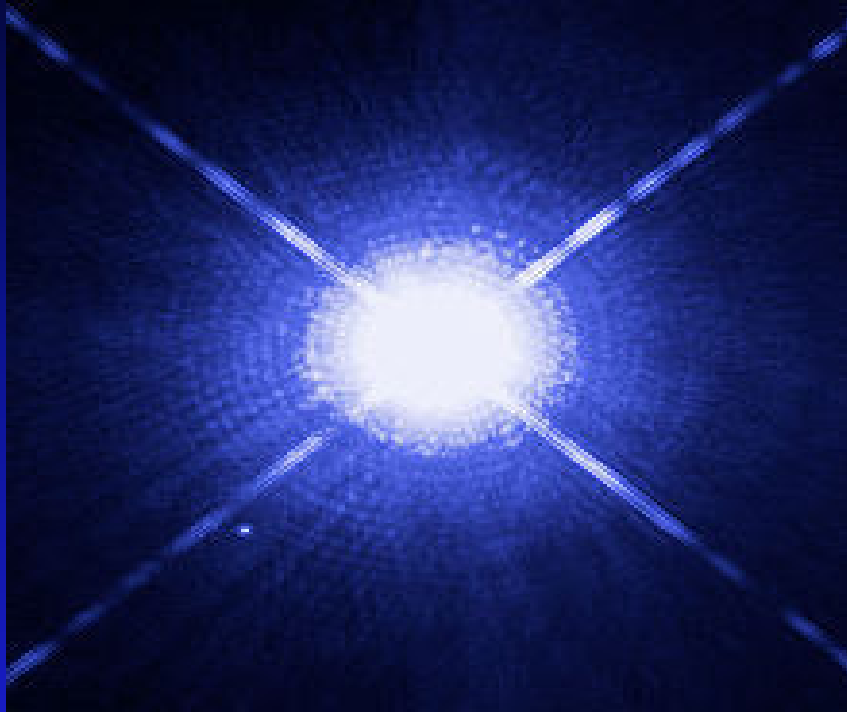




Τελικά στάδια  
της εξέλιξης  
των αστέρων

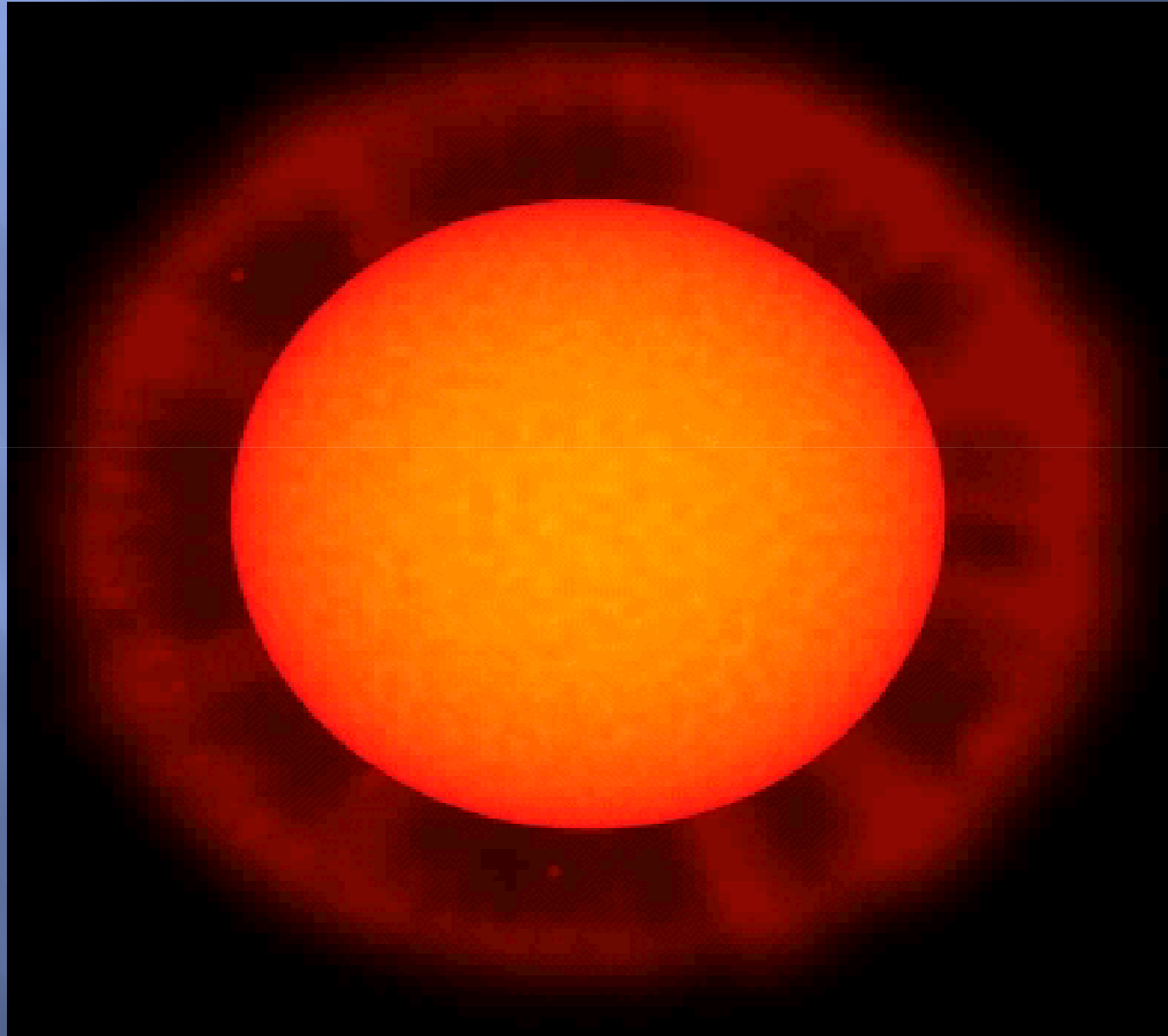
# Α. ΛΕΥΚΟΙ ΝΑΝΟΙ



Το διπλό σύστημα του Σείριου, από το Τηλεσκόπιο *Hubble*. Ο Σείριος Α, στο κέντρο, είναι το λαμπρότερο αστέρι στον ουρανό της Γης.

Ο Σείριος Β, κάτω αριστερά, είναι λευκός νάνος, ο πρώτος που ανακαλύφθηκε, το 1915. Το σύστημα έχει περίοδο περιστροφής περίπου 50 χρόνια.

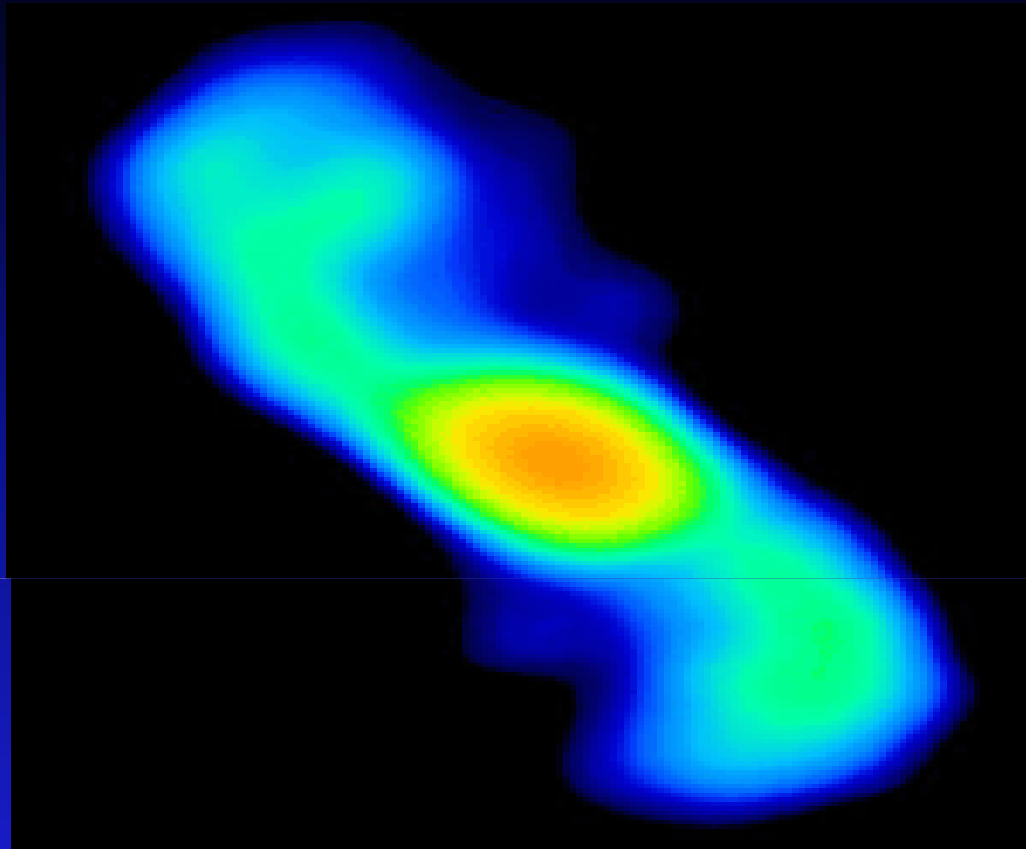
# Ερυθρός Γίγαντας



Λευκοί νάνοι είναι αστέρες,  
που δεν περνάνε από τη φάση  
της πυρηνικής καύσης του άνθρακα,  
έχουν μάζα περίπου σαν του Ήλιου  
ενώ η πυκνότητα τους φθάνει  
τα  $10^9 \text{ kg/m}^3$  και η ακτίνα τους  
είναι συγκρίσιμη με αυτήν της Γης.  
(Η σημερινή πυκνότητα του Ήλιου  
είναι μόλις  $1.400 \text{ kg/m}^3$ ).

Μια καραμέλα  
από ύλη λευκού νάνου  
θα ζύγιζε στη Γη  
περισσότερο από  
ένα αυτοκίνητο.

Μετά το στάδιο του ερυθρού γίγαντα  
χάνουν σταδιακά  
μέσα σε 1.000 χρόνια περίπου  
το 10-20% της αρχικής τους μάζας,  
λόγω του πολύ ισχυρού αστρικού  
ανέμου που εκπέμπεται  
από την επιφάνεια του αστέρα.  
Η ύλη που μεταφέρεται από τον  
αστρικό άνεμο σχηματίζει ένα  
πλανητικό νεφέλωμα



Άστρο που καταρρέει



**Αυτή η εικόνα του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble μας παρουσιάζει ένα από τα πιο σύνθετα πλανητικά νεφελώματα που έχουν καταγράψει ποτέ οι αστρονόμοι, το NGC 6543 ή όπως αλλιώς ονομάζεται 'Νεφέλωμα Μάτι της Γάτας'.**



Στα νεφελώματα της γαλαξιακής  
ζώνης γεννιούνται τ' άστρα,  
με μια αδιάκοπη διαδικασία  
δισεκατομμύρια χρόνια τώρα,  
στο εσωτερικό τους.

Μέσα στις τεράστιες δηλαδή  
σκοτεινές εκτάσεις των αερίων  
και της σκόνης.

- Στα τέλη του 1920  
ο περίφημος Ινδός  
αστροφυσικός  
Chandrasekhar  
ανέπτυξε τη θεωρία  
των λευκών νάνων.

Όταν τελειώσουν τα καύσιμα υδρογόνου,  
αρχίζει η καύση του στοιχείου ηλίου,  
που έχει παραχθεί από  
την σύντηξη του υδρογόνου,  
σε βηρύλλιο  
και στη συνέχεια σε άνθρακα  
(μετατροπή του άστρου σε ερυθρό γίγαντα),  
ενώ τα εξωτερικά στρώματα του άστρου  
θα εκτιναχθούν στο Διάστημα.

Λόγω μικρής μάζας  
οι βαρυτικές δυνάμεις  
δεν είναι τόσο ισχυρές,  
ώστε η πίεση και η θερμοκρασία  
που προκαλούν  
να φτάσουν τις τιμές που απαιτούνται  
για να ξεκινήσει  
η πυρηνική καύση του άνθρακα.

Τελικά

ο πυρήνας φτάνει  
σε μια κατάσταση,  
όπου η ύλη  
βρίσκεται σε  
πλήρη ιονισμό.

Ο Pauli στις αρχές του 1925  
διατύπωσε μια νέα  
ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΑΡΧΗ  
ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ,  
σύμφωνα με την οποία:

*ΔΥΟ ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΙΔΙΟΥΣ  
ΚΒΑΝΤΙΚΟΥΣ ΑΡΙΘΜΟΥΣ  
ΕΙΝΑΙ ΑΔΥΝΑΤΟΝ  
ΝΑ «ΣΥΓΚΑΤΟΙΚΟΥΝ»  
ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΑΤΟΜΟ.*

Οι κβαντικοί αριθμοί  
είναι κάποιοι αριθμοί που αντιστοιχούν  
σε φυσικές ποσότητες  
(όπως η ενέργεια, η στροφορμή  
και το σπιν).

Τα ηλεκτρόνια  
και τα νετρόνια  
είναι φερμιόνια,  
δηλαδή  
υπακούουν  
στην απαγορευτική αρχή  
του Pauli.



όνομα	σύμβολο	τροχιακό νόημα
κύριος κβαντικός αριθμός	$n$	φλοιός
αξιμουθιακός κβαντικός αριθμός ( <a href="#">στροφορμή</a> )	$l$	υποφλοιός
μαγνητικός κβαντικός αριθμός	$m_l$	μετατόπιση ενέργειας
κβαντικός αριθμός του σπιν	$m_s$	σπιν

Τα ελεύθερα πλέον ηλεκτρόνια  
σχηματίζουν ένα νέφος,  
που αναπτύσσει ισχυρή εσωτερική πίεση  
στον πυρήνα του αστέρα  
(λόγω της απαγορευτικής αρχής  
του Pauli).

Η πίεση του νέφους των ηλεκτρονίων  
αντισταθμίζει τη βαρυτική συστολή και  
έτσι ο αστέρας ισορροπεί.

Μετατρέπεται σε έναν λευκό νάνο.

Μέχρι το 1926 όλοι πίστευαν  
στην αιτιοκρατία.  
Αιτιοκρατία σημαίνει  
ότι ένας παρατηρητής  
μπορεί να κάνει πρόβλεψη  
για οτιδήποτε θα συμβεί  
στο Σύμπαν  
αρκεί να πληρούνται  
οι παρακάτω δύο προϋποθέσεις:

*> Να γνωρίζει πλήρως την  
κατάσταση του Σύμπαντος  
κάποια χρονική στιγμή,*

*και*

*> Να χρησιμοποιήσει ένα  
σύνολο επιστημονικών νόμων  
για να κάνει  
τους υπολογισμούς του.*

*Ο Heisenberg έδειξε ότι η πρώτη  
προϋπόθεση είναι αδύνατη.*

*Απέδειξε ότι*

*δεν μπορούμε να μετρήσουμε  
ταυτόχρονα τη θέση και τη ταχύτητα  
ενός σωματιδίου με όση ακρίβεια  
επιθυμούμε, ασχέτως εάν τα όργανα  
μέτρησης που χρησιμοποιούμε  
είναι πολύ ακριβή.*

Αυτή είναι η αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg που είναι θεμελιώδης, αναπόδραστη χαρακτηριστική ιδιότητα του Κόσμου.

Η σχέση που εκφράζει την αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg είναι :

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Από την απαγορευτική αρχή  
του Pauli  
και την αρχή αβεβαιότητας  
του Heisenberg  
συνεπάγεται ότι κάθε αέριο που  
περιέχει και ελεύθερα ηλεκτρόνια  
θα ασκεί πίεση στα τοιχώματα  
του δοχείου ακόμη και  
στη θερμοκρασία  
του απολύτου μηδενός.

Αυτή η συνεισφορά  
στην ολική πίεση  
ενός αερίου ηλεκτρονίων,  
που είναι καθαρά ένα  
κβαντικό φαινόμενο,  
αναφέρεται ως  
πίεση εκφυλισμού  
των ηλεκτρονίων.



Το αέριο ηλεκτρονίων παρουσιάζει  
κινήσεις οφειλόμενες  
σε κβαντικά φαινόμενα .

Σε ιδιαίτερα υψηλές πυκνότητες,  
η μέση απόσταση  $\Delta x$   
μεταξύ δύο γειτονικών ηλεκτρονίων  
είναι πάρα πολύ μικρή.

Σύμφωνα με την αρχή  
αβεβαιότητας του Heisenberg,  
η ορμή πρέπει αντίστοιχα,  
να είναι πολύ μεγάλη.

Κατά συνέπεια, ηλεκτρόνια  
συμπιεσμένα σε πολύ υψηλές  
πυκνότητες αποκτούν πολύ  
μεγάλες ταχύτητες ( $v = p/m$ ),  
ιδιαίτερα μάλιστα εξαιτίας της  
πολύ μικρής μάζας τους.

Οι μεγάλες και τυχαίες κινήσεις  
οδηγούν σε πιέσεις λόγω  
εκφυλισμού των ηλεκτρονίων  
πολύ υψηλές.

Αυτή η πίεση εξισορροπεί τον  
λευκό νάνο, υπερνικώντας τις  
ισχυρές δυνάμεις βαρύτητας.

Μετά από λεπτομερή ανάλυση ο Chandrasekhar έδειξε ότι αν η μάζα του λευκού νάνου είναι αρκετά μεγάλη, το άστρο θα έπρεπε να συρρικνωθεί και η ακτίνα του να μηδενιστεί.

Η οριακή μάζα, στην οποία θα αντιστοιχούσε μηδενική ακτίνα του λευκού νάνου, λέγεται όριο Chandrasekhar

$$M_{CH} = 0.20 \cdot \left( \frac{Z}{A} \right)^2 \cdot \left( \frac{h c}{G m_p^2} \right)^{3/2} \cdot m_p$$

Το όριο Chandrasekhar  
υπολογίστηκε αριθμητικά  
από την προηγούμενη  
εξίσωση

$$M_{\text{CH}} = 1.4 M_{\odot}$$

Στο εσωτερικό του λευκού νάνου  
δε συμβαίνουν πια  
θερμοπυρηνικές αντιδράσεις.  
Αυτός αποτελείται κυρίως  
από άνθρακα με κρυσταλλική δομή  
και συνεχίζει να εκπέμπει ακτινοβολία  
από την εσωτερική ενέργεια  
που περιέχει.

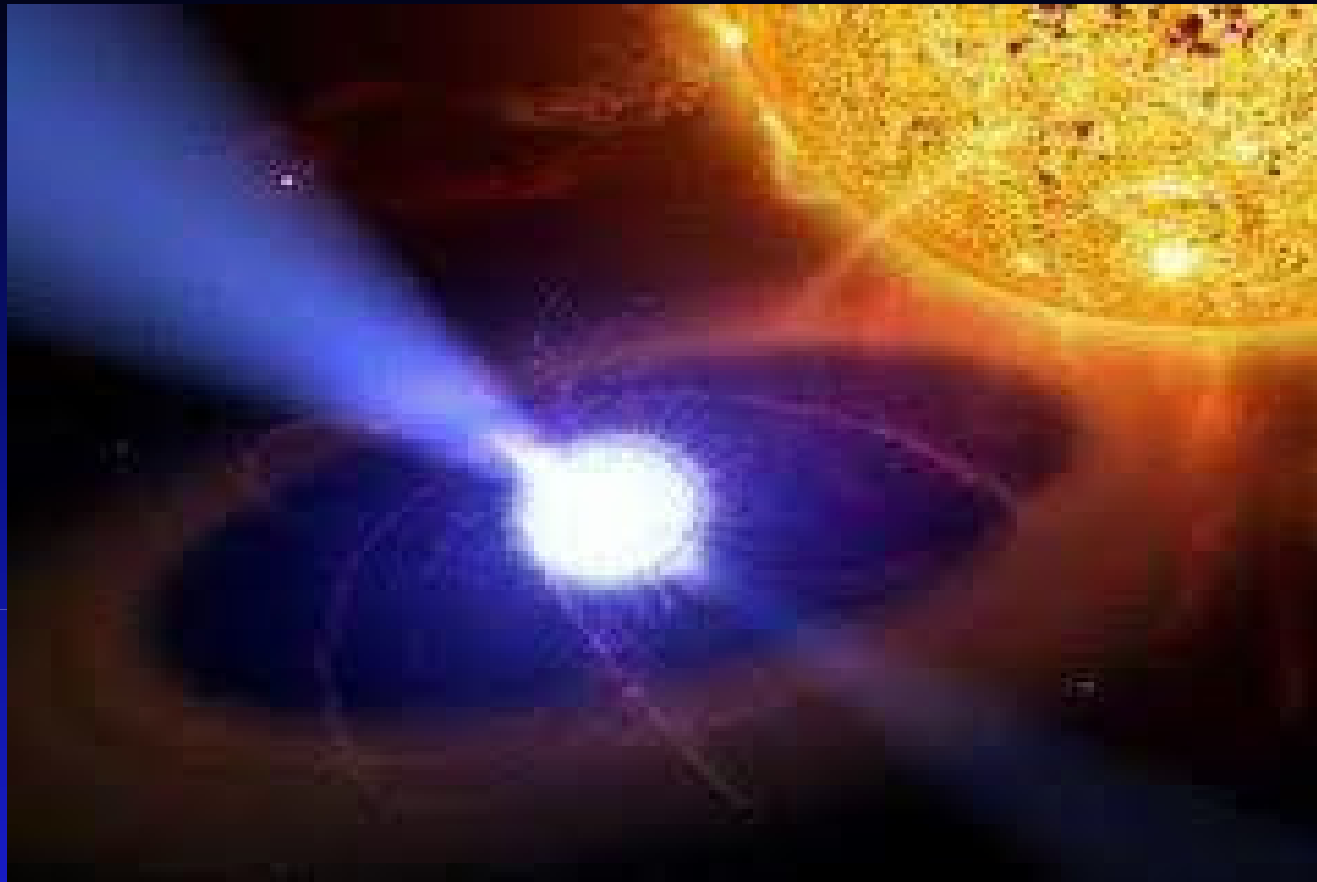
Επειδή δεν έχει πηγές ενέργειας,  
ο λευκός νάνος σταδιακά ψύχεται,  
η ακτινοβολία που εκπέμπει  
μειώνεται και τελικά μετατρέπεται  
σε ένα **καστανό** και  
σε συνέχεια σε ένα  
**μαύρο νάνο.**











ΤΕΛΟΣ