

*Τρίπολη, Μάιος 2023*

*Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Κατεύθυνση Εφαρμοσμένων  
Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών*

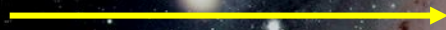
# *Οι μελανές οπές και η αιχμαλωσία του φωτός*

*Δρ. Αντώνιος Α. Αντωνίου  
Αστροφυσικός*

*Ερευνητική Ομάδα Αστρικής  
Φασματοσκοπίας (AsTA) Τομέας  
Αστροφυσικής, Αστρονομίας,  
Μηχανικής Πανεπιστημίου Αθηνών  
<http://antonios-antoniou.gr/>*

▪ **1 ε.φ. (ένα έτος φωτός):** Η απόσταση που διανύει το φως σε ένα έτος όταν η ταχύτητά του είναι 300.000 km/sec.

300.000 km/s



Πριν ένα έτος



Τώρα



1 ε.φ.

1 ε.φ.  $\approx$  10.000.000.000.000 (10 τρις km)

Το φως λοιπόν επιβεβαιώνει την νομοτέλεια...

«Οτιδήποτε στη φύση, γεννιέται, ζει και πεθαίνει».

Από αυτή τη νομοτέλεια δεν ξεφεύγει τίποτα.

Ούτε και τα άστρα

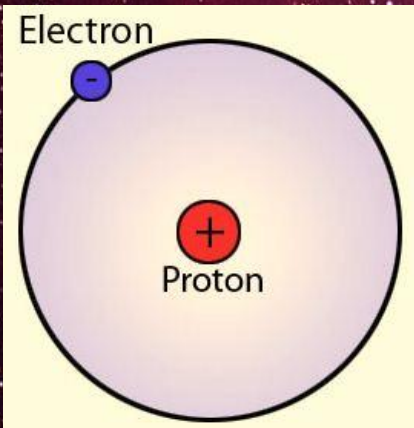
Τα άστρα

➤ «γεννιούνται»

➤ «ζουν»

➤ «πεθαίνουν»

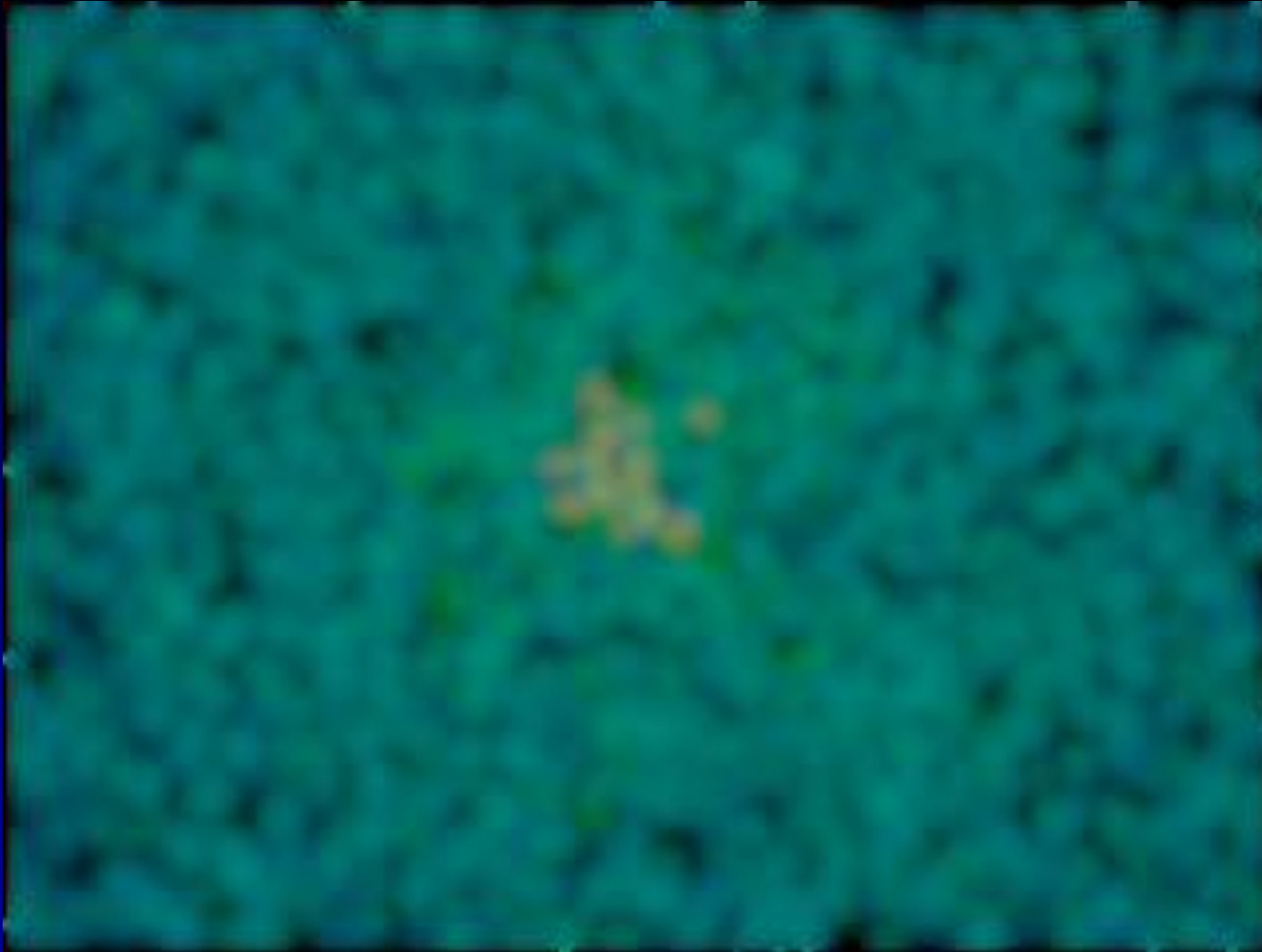
**Κάποτε, 4,5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια πριν...**



**Μηχανισμός δημιουργεί  
ή συμβάλλει στην  
συρρίκνωση του.**

**Μεσοαστρικό νέφος  $0.1 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$**

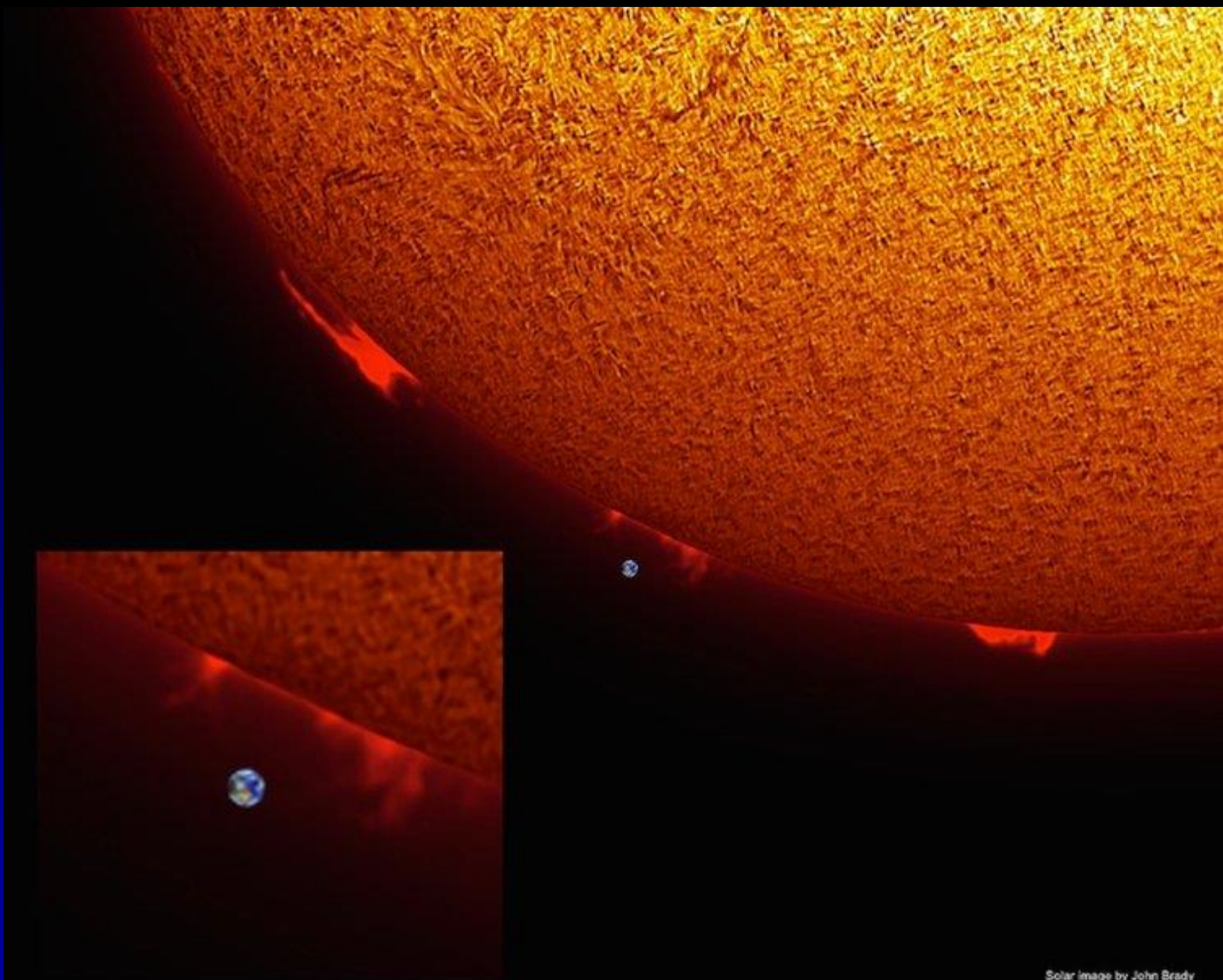
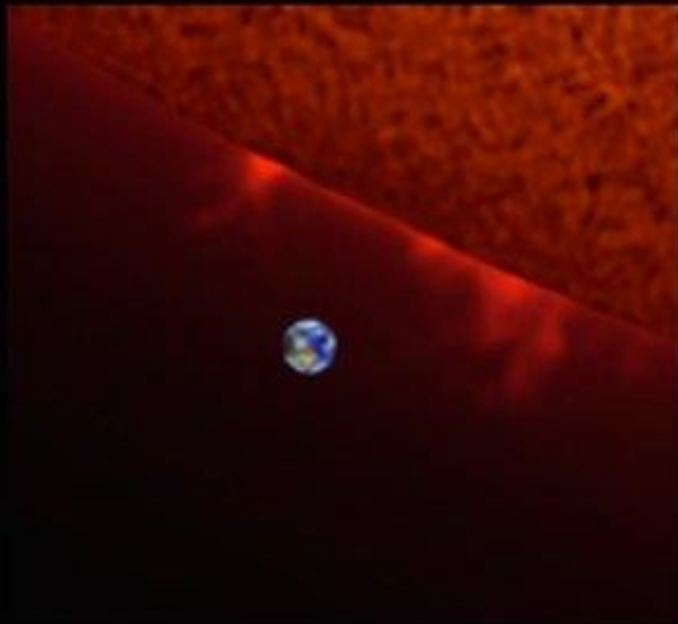
# Η δημιουργία του Ήλιου



Η διαδικασία αυτή διαρκεί εκατομμύρια χρόνια. Για τον Ήλιο χρειάστηκαν περίπου ένα εκατομμύριο χρόνια μέχρι να γίνει ένας πρωταστέρης

# Η δημιουργία του Ήλιου και των πλανητών





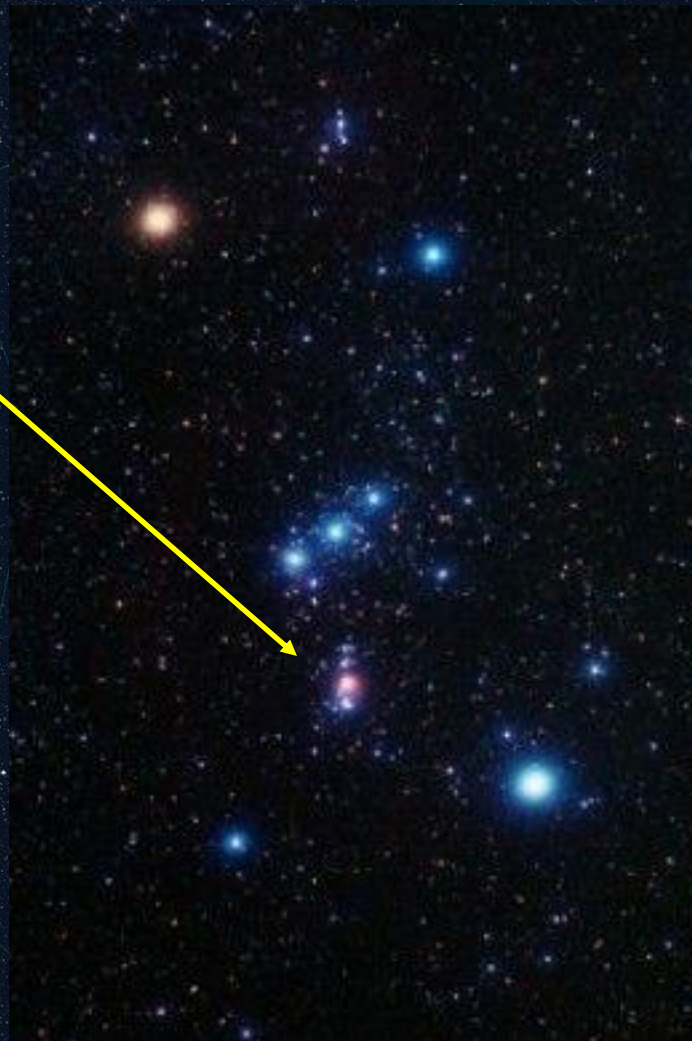
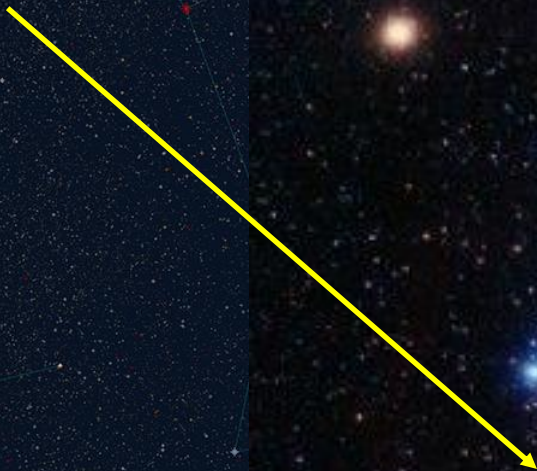
# «Βρεφοκομεία» αστέρων

Νεφέλωμα του  
Ωρίωνα





**Νεφέλωμα του  
Ωρίωνα**



# «Βρεφοκομεία» αστέρων



**“Monkey Head Nebula” (Νεφέλωμα «Κεφαλή  
του πιθήκου», 6.400 ε.φ.)**



# Εξέλιξη

Η μάζα είναι τελικά αυτή που θα καθορίσει τον τρόπο που θα ζήσει, τη διάρκεια της ζωής του και το πώς θα πεθάνει.

Λαμπρότητα:

$$L \propto \frac{M^{5.5}}{R^{0.5}} \quad \text{για αστέρες μικρής έως ενδιάμεσης μάζας}$$

$$L \propto M^3 \quad \text{για αστέρες μεγάλης μάζας}$$

$$L \propto M \quad \text{για αστέρες πολύ μεγάλης μάζας}$$

$$\text{Χρόνος ζωής: } t_{\text{ζωης}} \propto M^{-3}$$

$$\text{Μέγεθος: } R \propto M$$

$$\text{Ενεργός θερμοκρασία: } T_{\text{eff}} \propto M^{1/2}$$

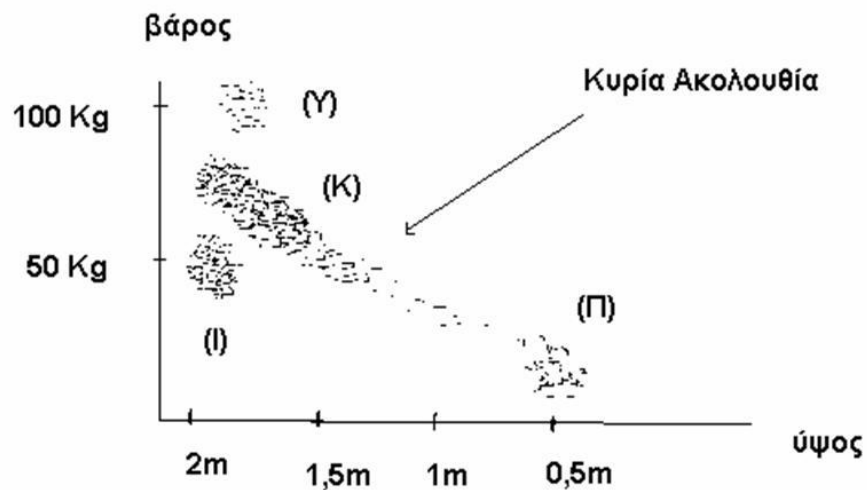
# Εξέλιξη

Μάζα (Μο)	Θερμοκρασία (σε β. Κελσίου)	Λαμπρότητα (Ήλιος=1)	Διάρκεια ζωής (έτη)
25	35.000	50.000	3.000.000
15	30.000	10.000	15.000.000
3	11.000	60	500.000.000
1,5	7.000	5	3 δις.
1	6.000	1	10 δις
0,75	5.000	0,5	15 δις
0,5	4.000	1/40	200 δις

# Πώς είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη ενός αστέρα

Ας φανταστούμε το εξής: Μια ομάδα «εξωγήινων» επιστημόνων επισκέπτεται τη Γη για πρώτη φορά. Θέλουν να μελετήσουν την ενεργειακή κατάσταση των ανθρώπινων κυττάρων όλων των δυνατών ηλικιών. Έχουν όμως στη διάθεσή τους μόνο 24 ώρες και επομένως δεν είναι σε θέση να **μελετήσουν την ενεργειακή κατάσταση των κυττάρων ενός ανθρώπου από τη στιγμή της γέννησής του μέχρι τον θάνατό του**. Επομένως το μόνο που μπορούσαν να κάνουν είναι να μελετήσουν τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των κυττάρων όλων των κατοίκων μιας μεγάλης πόλης της Γης και να **φτιάξουν ένα διάγραμμα ηλικίας-ενεργειακής κατάστασης κυττάρων ή ύψους-βάρους**. Στο διάγραμμα αυτό θα υπάρχουν ενεργειακά δεδομένα από κύτταρα όλων των δυνατών ανθρωπίνων ηλικιών, που θα δίνουν την δυνατότητα στους «εξωγήινους» παρατηρητές με δεδομένα μόνο μιας ημέρας να εκφράσουν άποψη για την εξέλιξη των ανθρώπινων κυττάρων μέσα στο χρόνο.

# Πώς είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη ενός αστέρα



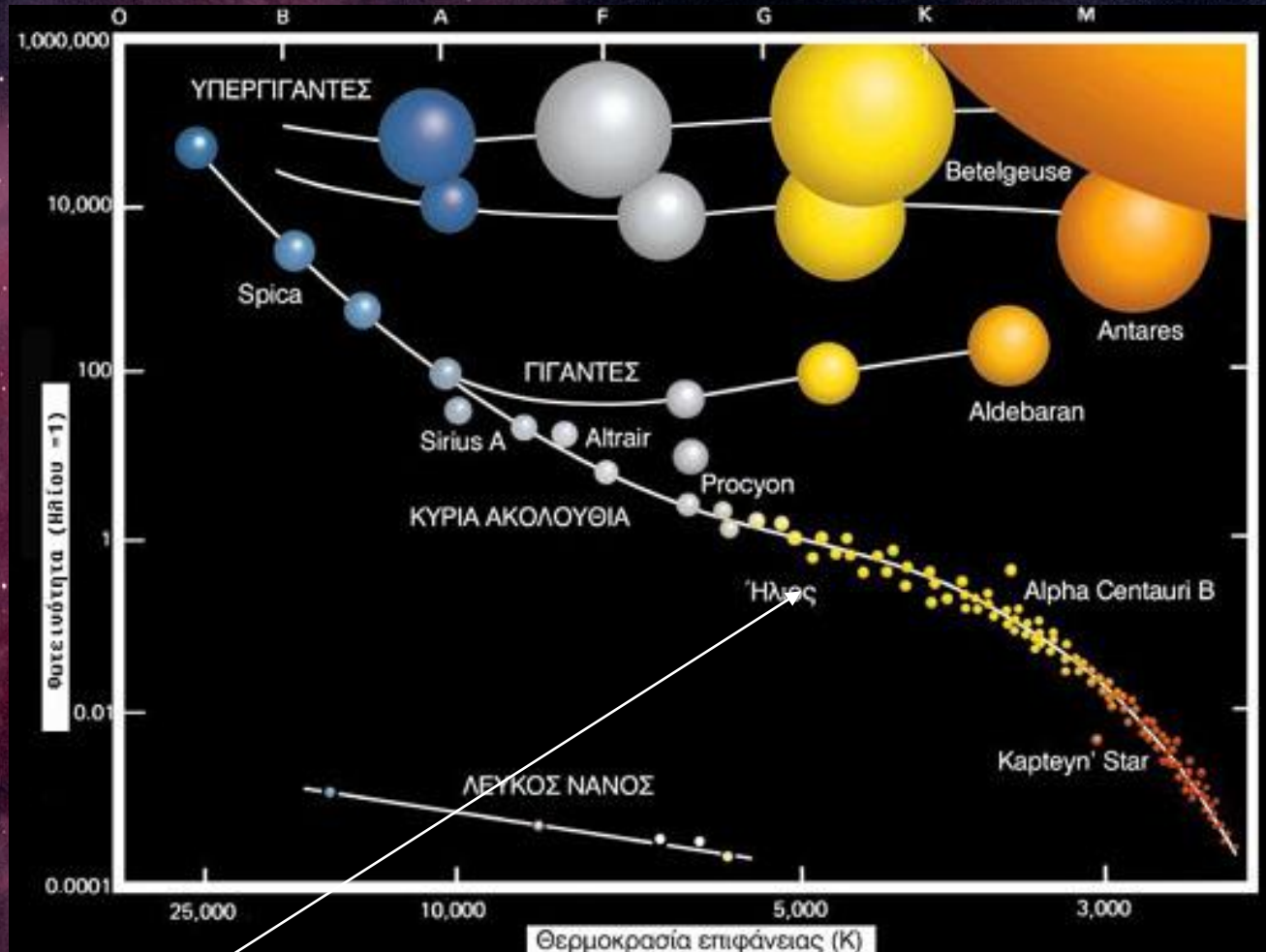
(Κ): Κανονικοί  
(Π): Παιδιά  
(Υ): Υπέρβαροι  
(Ι): Ισχυνοί (ψηλοί και αδύνατοι)

## Το διάγραμμα Hertzsprung - Russel

Επειδή ο χρόνος της ζωής μας είναι **μια στιγμή** σε σχέση με τον χρόνο ζωής ενός άστρου και ως εκ τούτου δεν έχουμε τη δυνατότητα της παρακολούθησης της εξέλιξης ενός και μόνο άστρου, **μελετάμε στο σύντομο χρονικό διάστημα της ζωής μας τα ενεργειακά χαρακτηριστικά (απόλυτο μέγεθος, λαμπρότητα, θερμοκρασία, φασματικό τύπο κλπ.)** ενός μεγάλου αριθμού αστεριών μέσω των φασμάτων τους και τα τοποθετούμε σε ένα διάγραμμα που παραπέμπει στη σχέση ανάμεσα σε αυτά τα χαρακτηριστικά. Το διάγραμμα αυτό λέγεται **«διάγραμμα Hertzsprung –Russel» (ή H-R)**



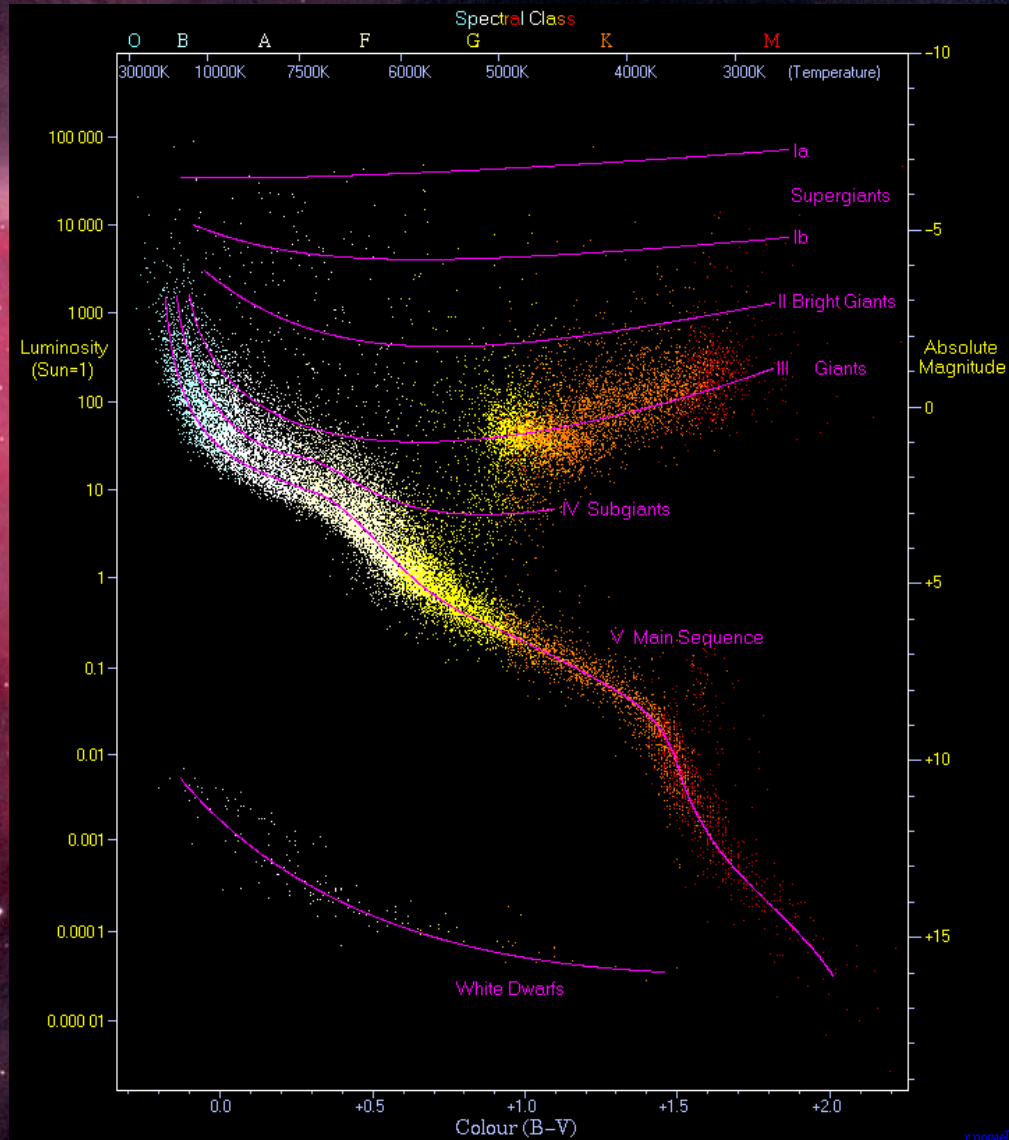
# Το διάγραμμα Hertzsprung - Russel



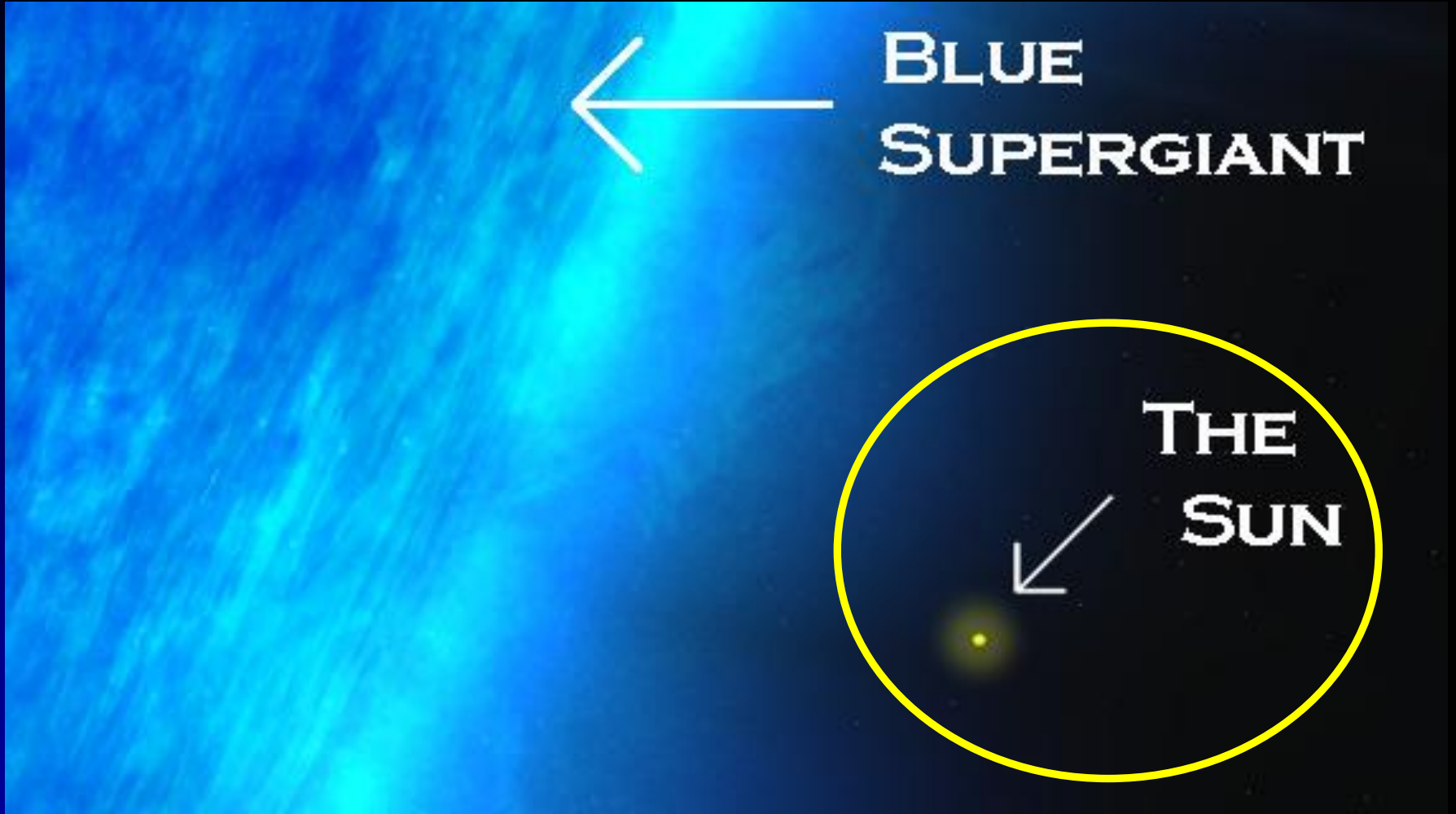
Oh!!!  
Be A Fine  
Girl.  
Kiss Me

Ήλιος: Φασματικός τύπος G2V

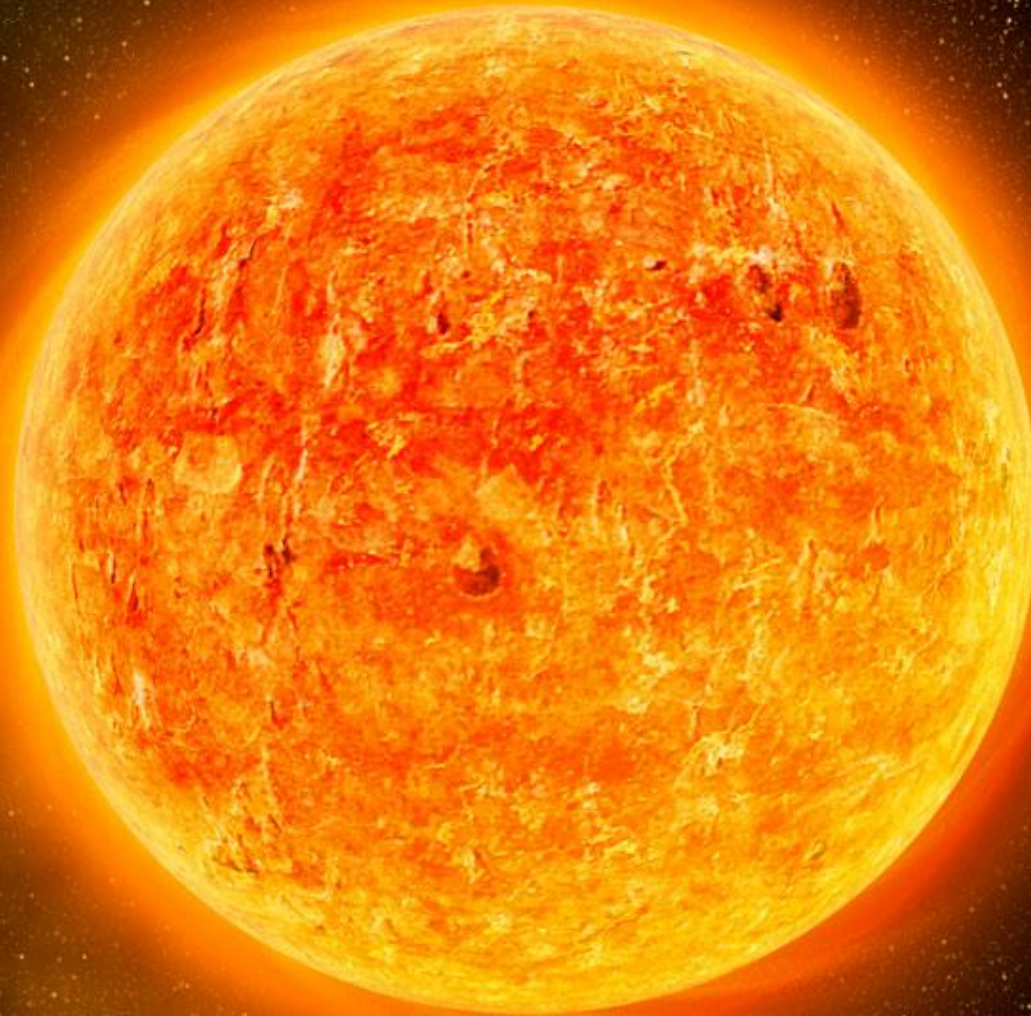
# Το διάγραμμα Hertzsprung – Russel για περισσότερα από 22.000 άστρα



# Η εξέλιξη των «μικρών» άστρων



# Η εξέλιξη των «μικρών» άστρων





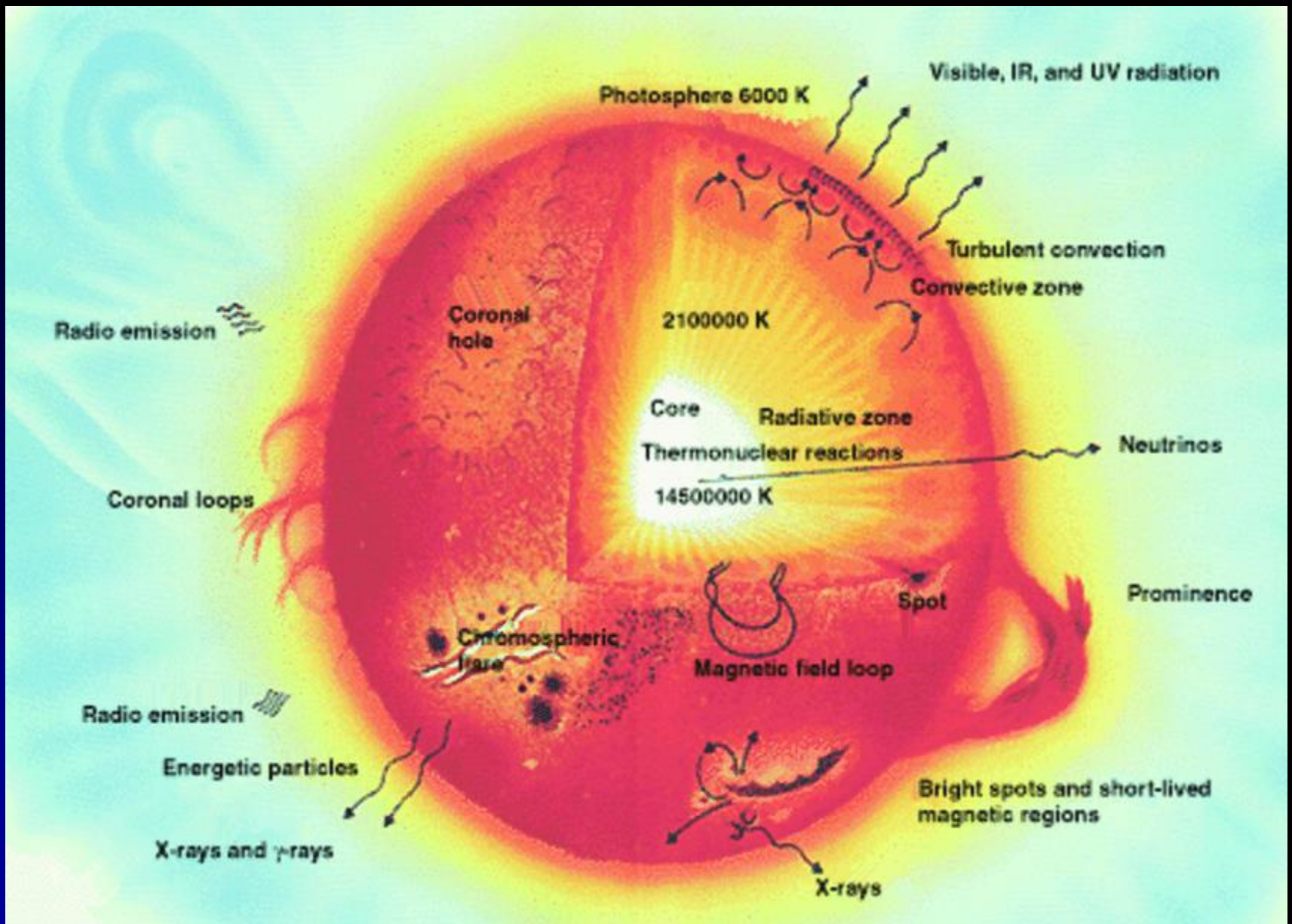
4 πρωτόνια από 4 άτομα υδρογόνου συντήκονται και γίνονται 1 πυρήνας ηλίου  
Έλλειμμα μάζας  $\Delta M = 0.0286$  atomic mass unit, ισοδύναμο με  $4.67 \times 10^{-26}$  gr  
Η μάζα που περισσεύει μετατρέπεται σε ενέργεια, σύμφωνα με την εξίσωση  
 $E=mc^2$



CHROMOSPHERE  
TEMP: 4300 TO 8300 K

CORONA  
TEMP: 1 MILLION K

**Σε κάθε δευτερόλεπτο στην καρδιά του Ήλιου 700 εκ. τόνοι υδρογόνου (H) μετατρέπονται σε 695 εκ. τόνους αερίου ηλίου (He). Τα υπόλοιπα 5 εκ. μάζας μετατρέπονται σε ενέργεια.**





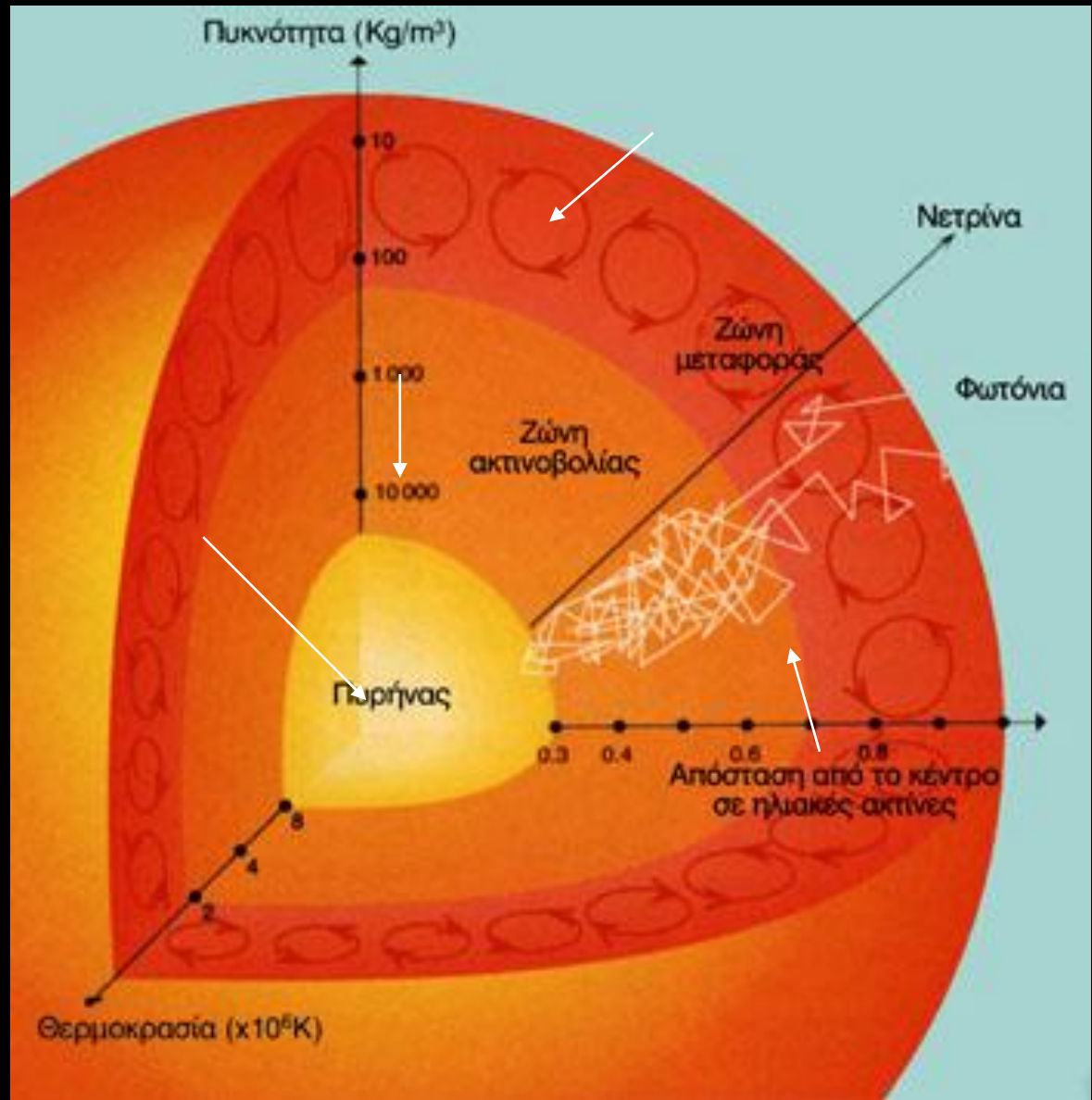


$$t = \frac{3R^2}{lc}$$

$$R \cong 7 \cdot 10^{10} \text{ cm},$$
$$l = 0.2 \text{ εως } 2 \text{ cm},$$
$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$$

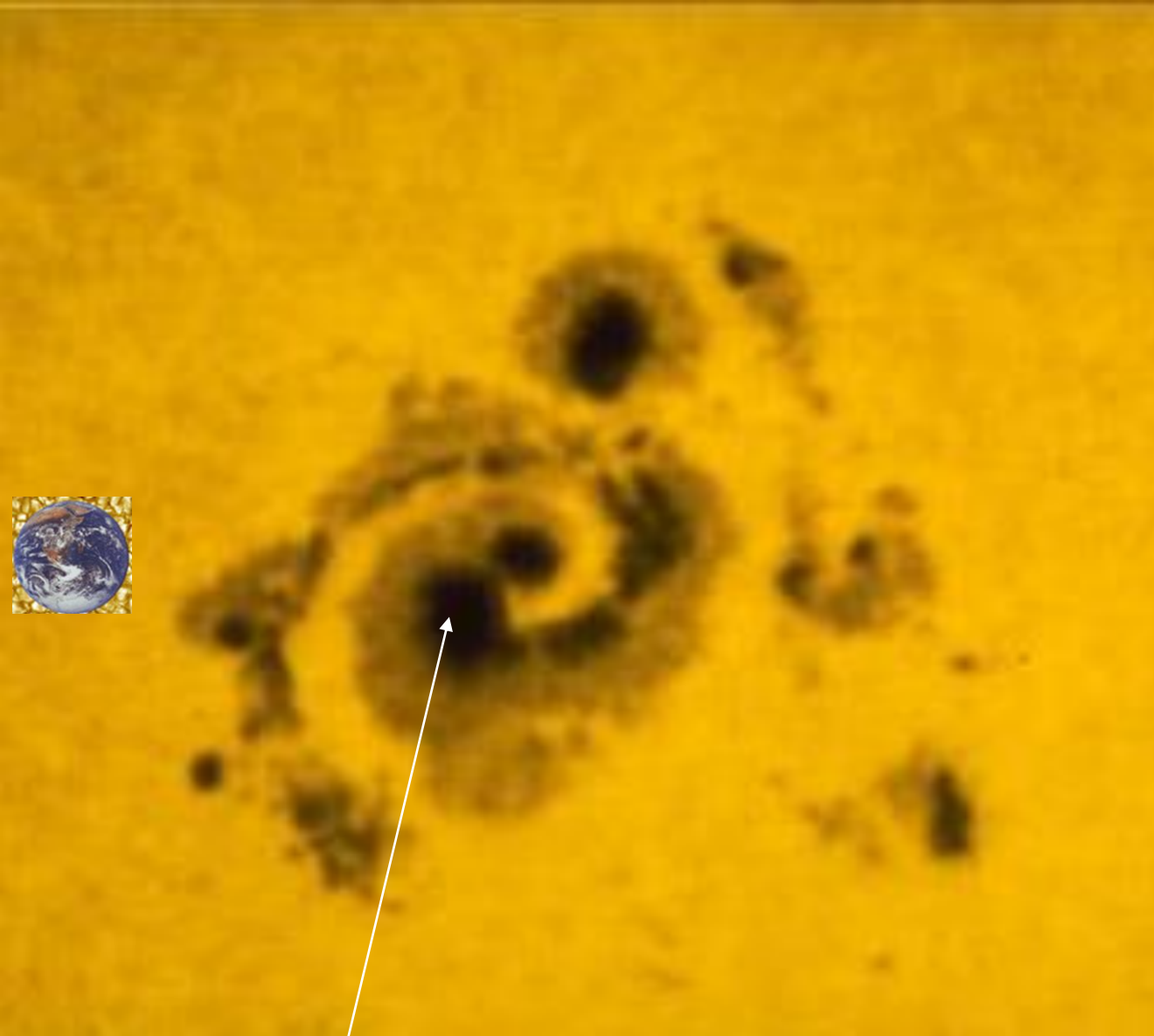
$$t = 8000 \text{ εως } 80000 \text{ χρόνια}$$

$$t = 30000 \text{ χρόνια}$$



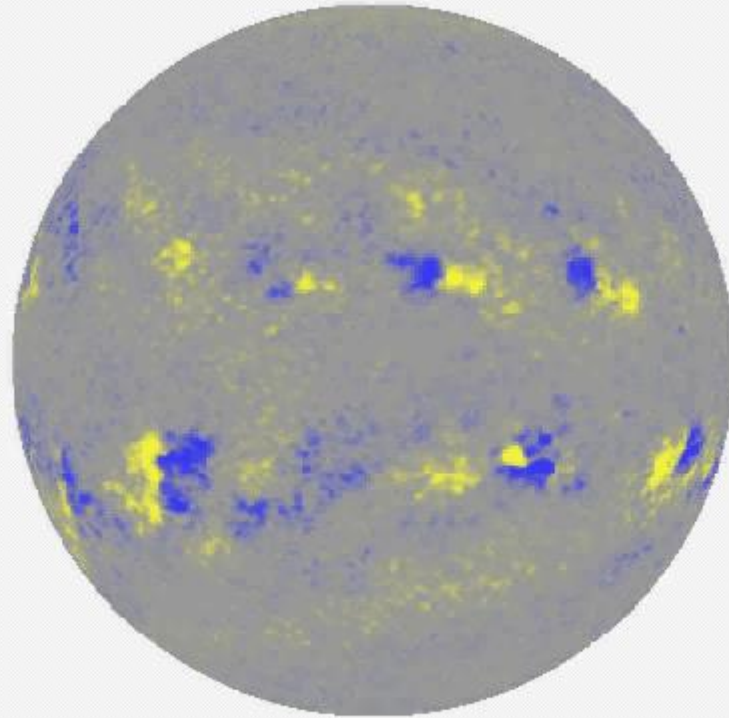
# Φωτόσφαιρα





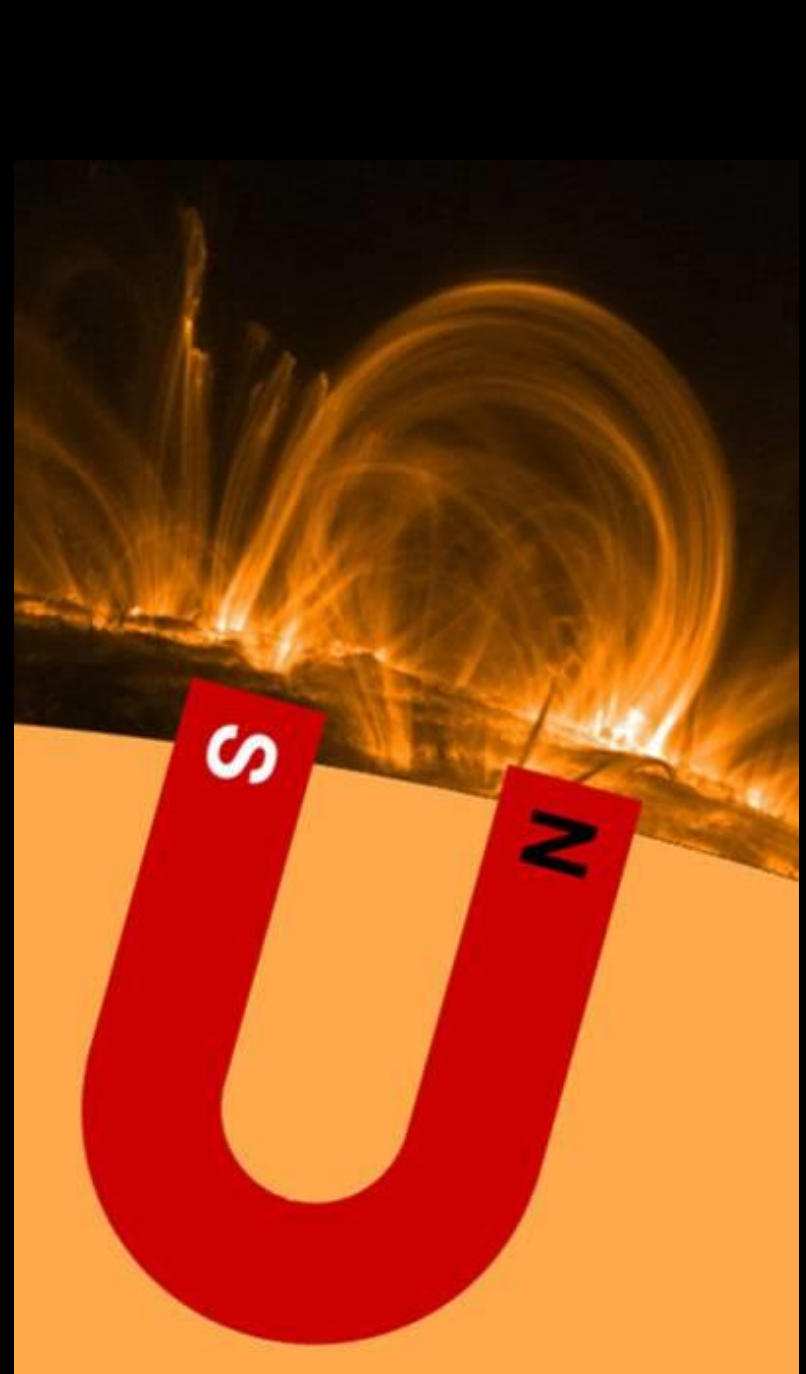
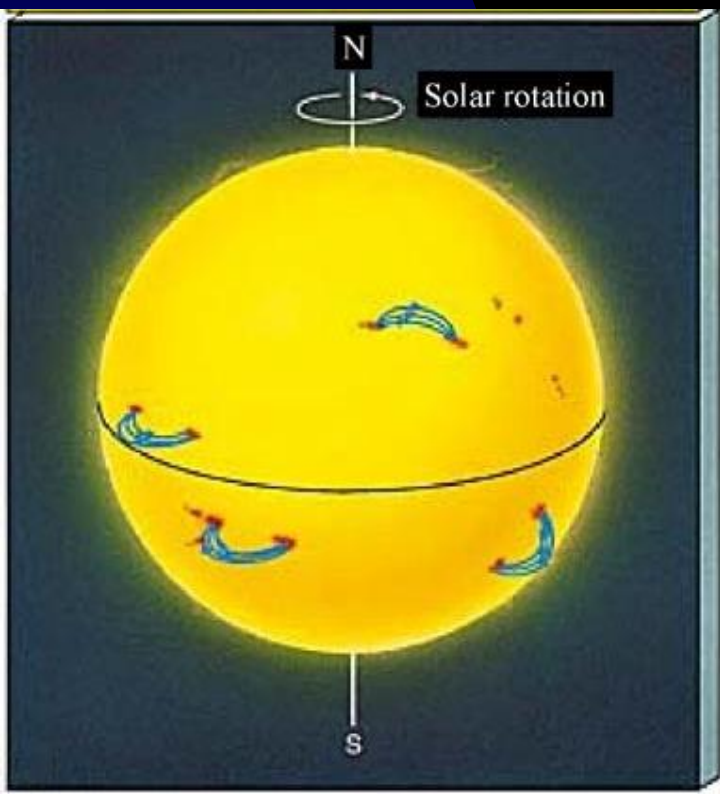
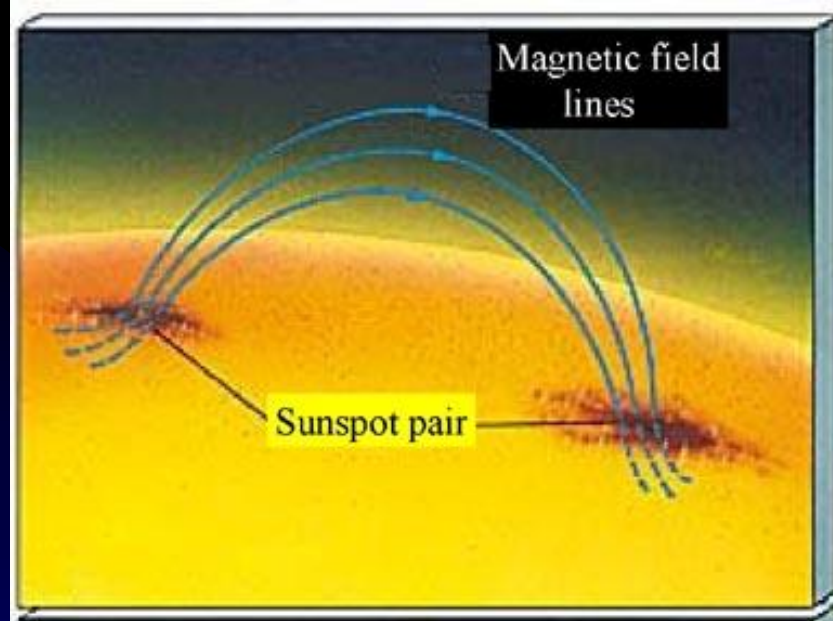
*Ομάδα κηλίδων που παρατηρήθηκε στις 19-2-1982 στο Αστεροσκοπείο Kitt Peak. Η μεγάλη κηλίδα που διακρίνεται στην εικόνα έχει ένα ασυνήθιστο σπειροειδές σχήμα, ενώ η διάμετρός της είναι 6 φορές περίπου μεγαλύτερη από αυτήν της Γης! (AURA/NOAO/NSF)*

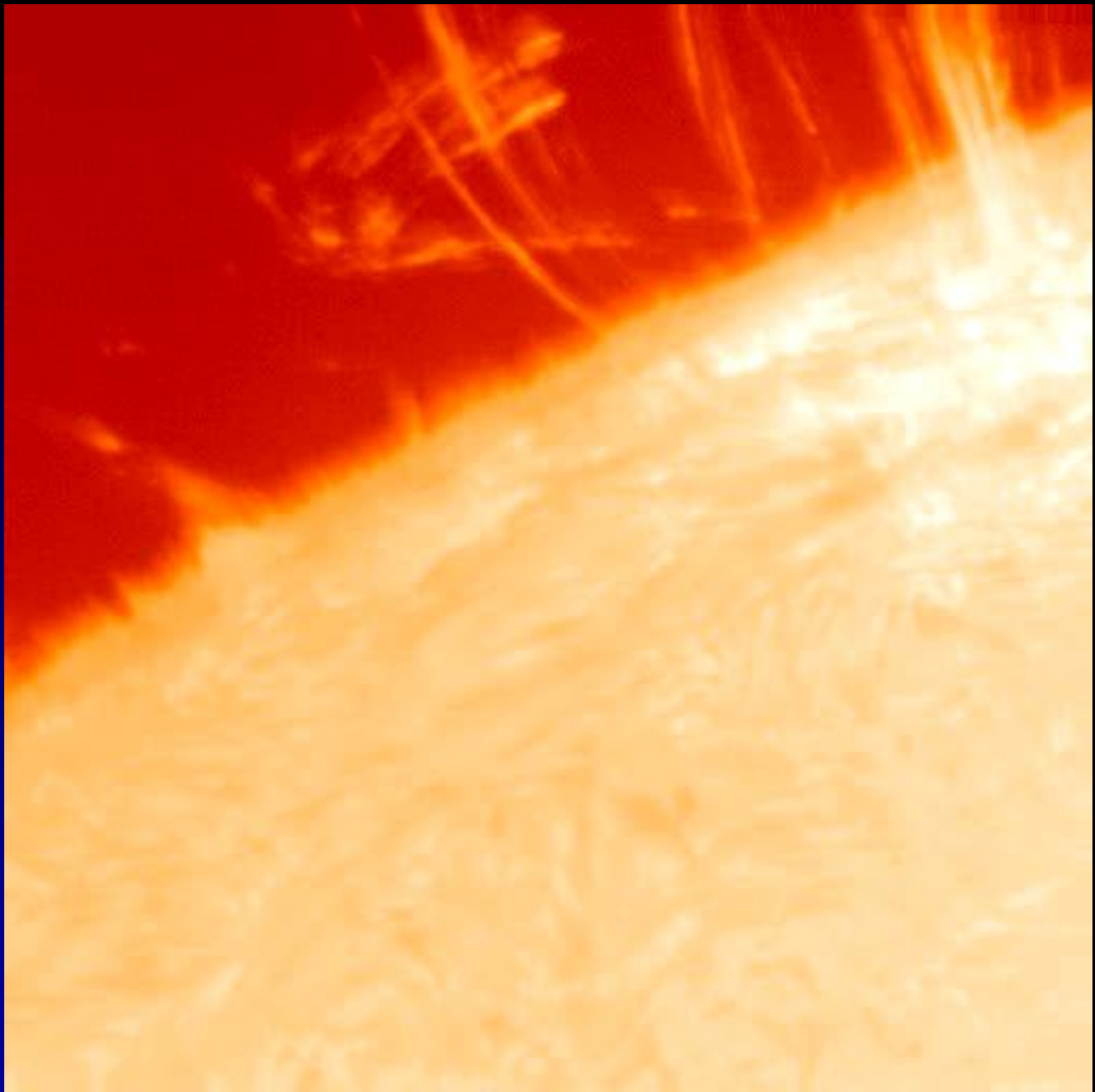
# Ο ενδεκαετής κύκλος εμφάνισης των κηλίδων



# Σχηματισμός κηλίδων (μ.δ.γ. στο εσωτερικό του Ήλιου, Ζώνη μεταφοράς)







# Ηλιακή δραστηριότητα





# Ηλιακός άνεμος



# Πολικό σέλας



# Πολικό σέλας



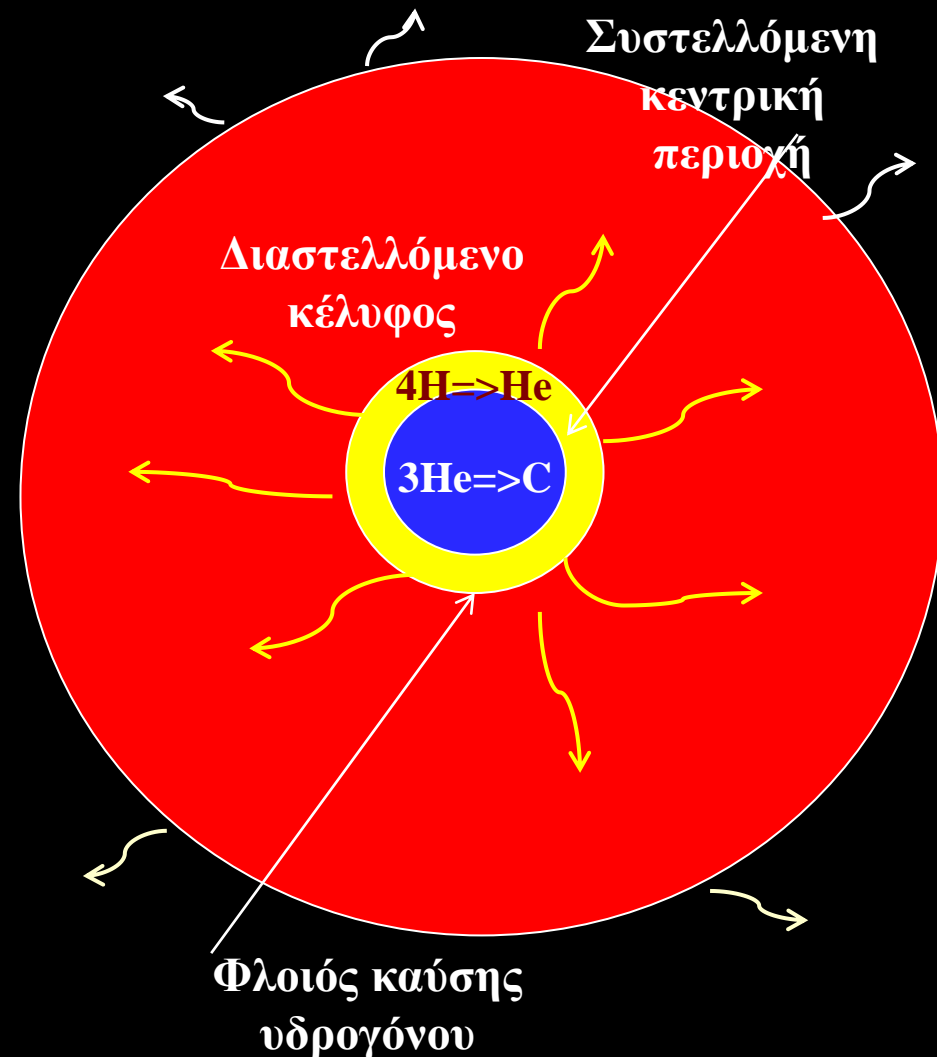
# Ηλιακό στέμμα



# Το τέλος της νιότης του αστεριού μας

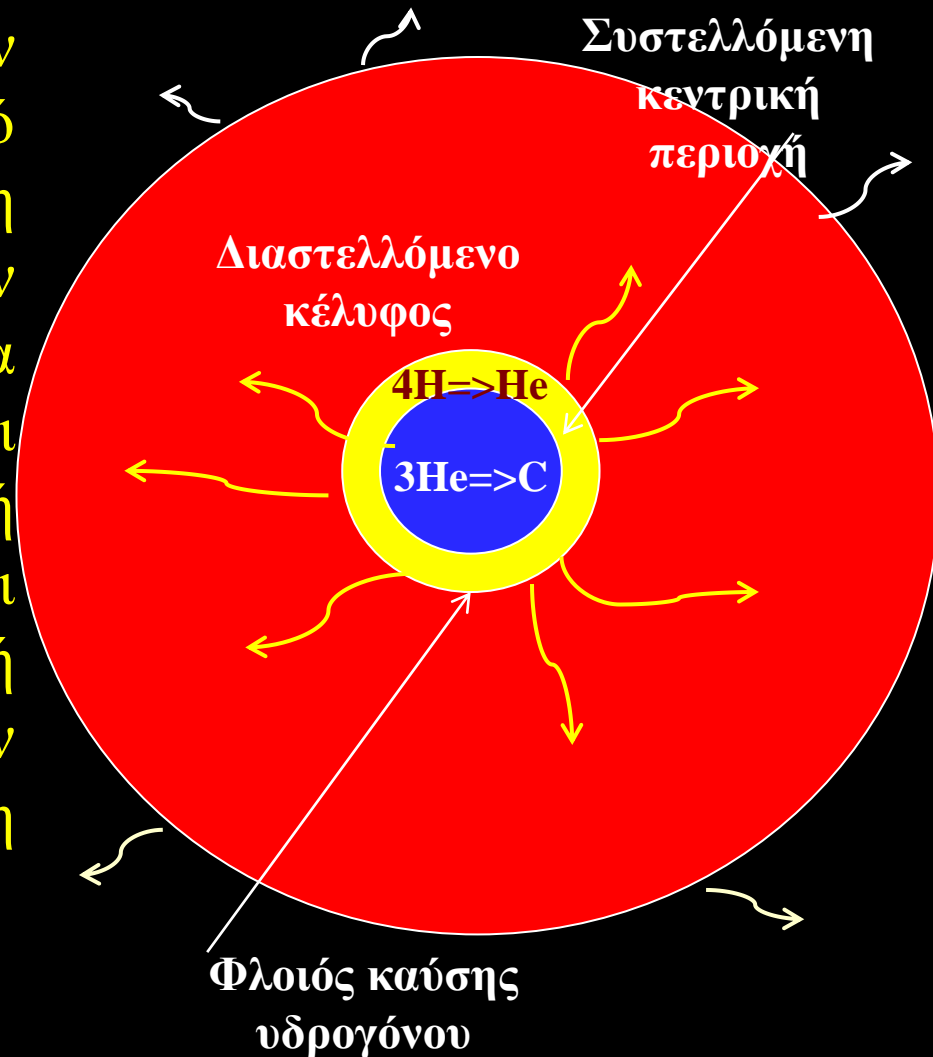
Μετά το τέλος (10% περίπου) της καύσης του  $H$  στον πυρήνα του άστρου η δομή του πια αρχίζει και αλλάζει.

Επειδή δεν παράγεται πυρηνική ενέργεια στην κεντρική περιοχή, αυτή συστέλλεται λόγω βαρύτητας. Καθώς συστέλλεται θερμαίνεται και θερμαίνει και τα υπερκείμενα στρώματα. Στις νέες υψηλότερες θερμοκρασίες το υδρογόνο αρχίζει την καύση σε έναν φλοιό γύρω από την κεντρική περιοχή.



# Ερυθρός Γίγαντας

Η διαφορά ανάμεσα στην λαμπρότητα που παράγεται στον φλοιό και εκείνη που διαφεύγει από την φωτόσφαιρα καταναλώνεται στη θέρμανση των ενδιάμεσων στρωμάτων κάνοντας το άστρο να διασταλεί τόσο που να το μετατρέψει σε κόκκινο γίγαντα. Η διαστολή αυξάνει την ακτίνα  $R$  του άστρου και με δεδομένη μια σταθερή επιφανειακή λαμπρότητα  $L$ , από την σχέση  $L = 4\pi R^2 \sigma T_e^2$  προκύπτει η μείωση της θερμοκρασίας  $T$ .











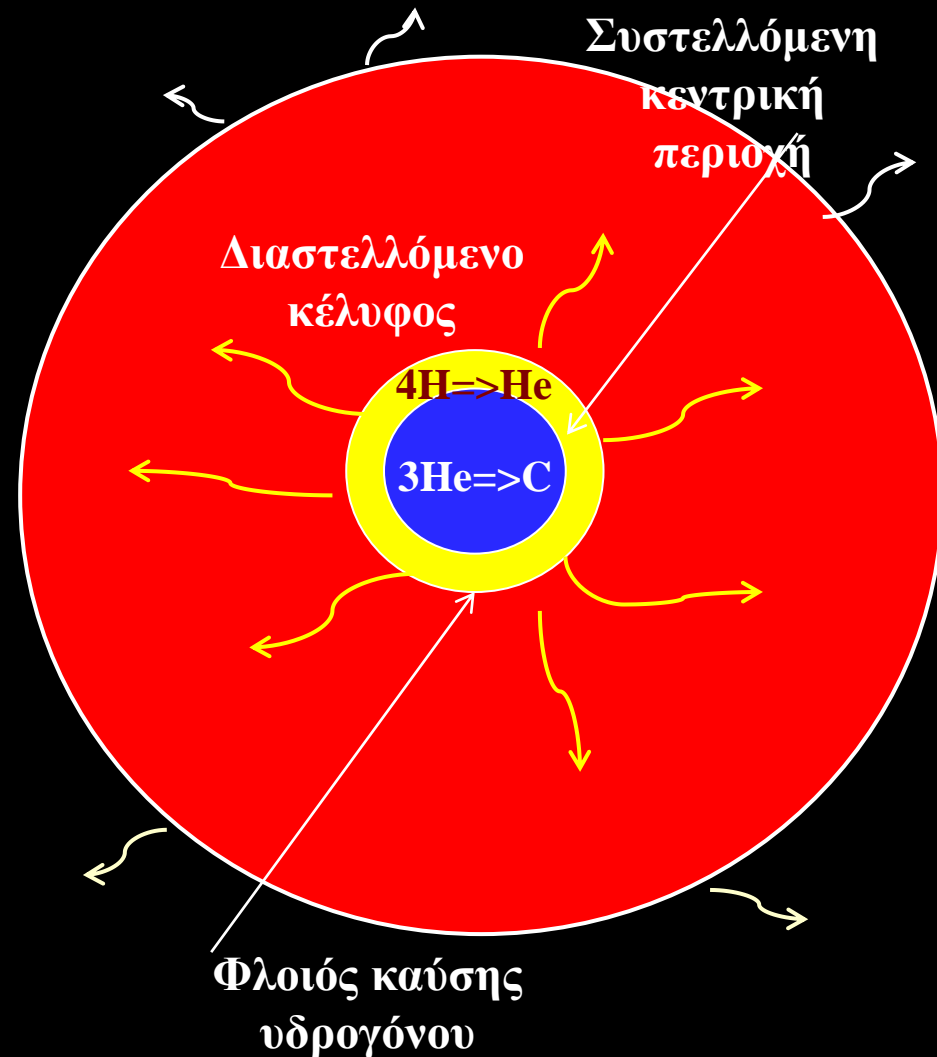




# Ερυθρός Γίγαντας

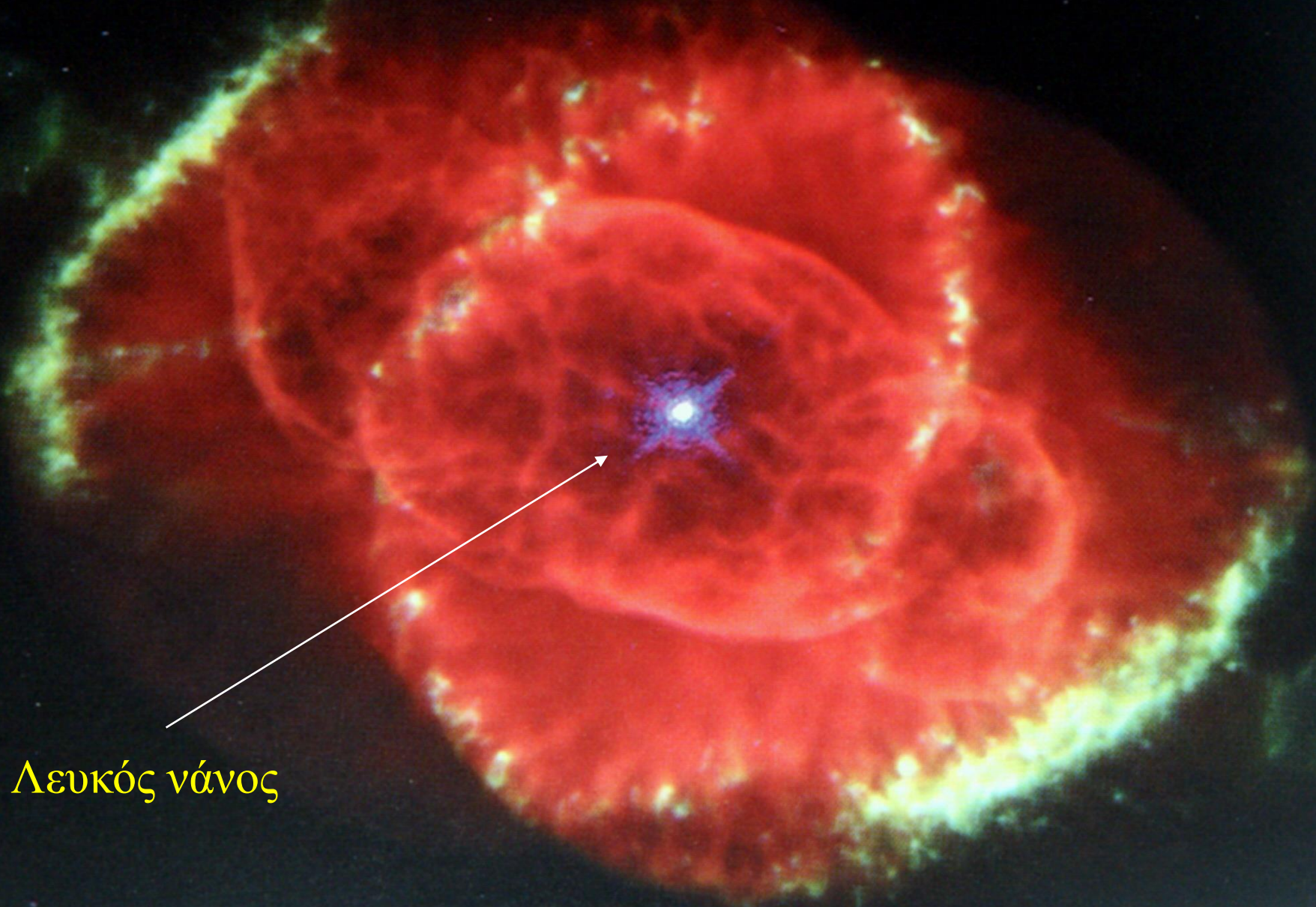
Υπολογίζεται ότι μια αύξηση της ακτίνας του άστρου κατά 40 – 400 ηλιακές ακτίνες και πτώση θερμοκρασίας περί τους **3000 K**. Με δεδομένο ότι η απόσταση Γης – Ηλίου είναι **214 ηλιακές ακτίνες**

.....



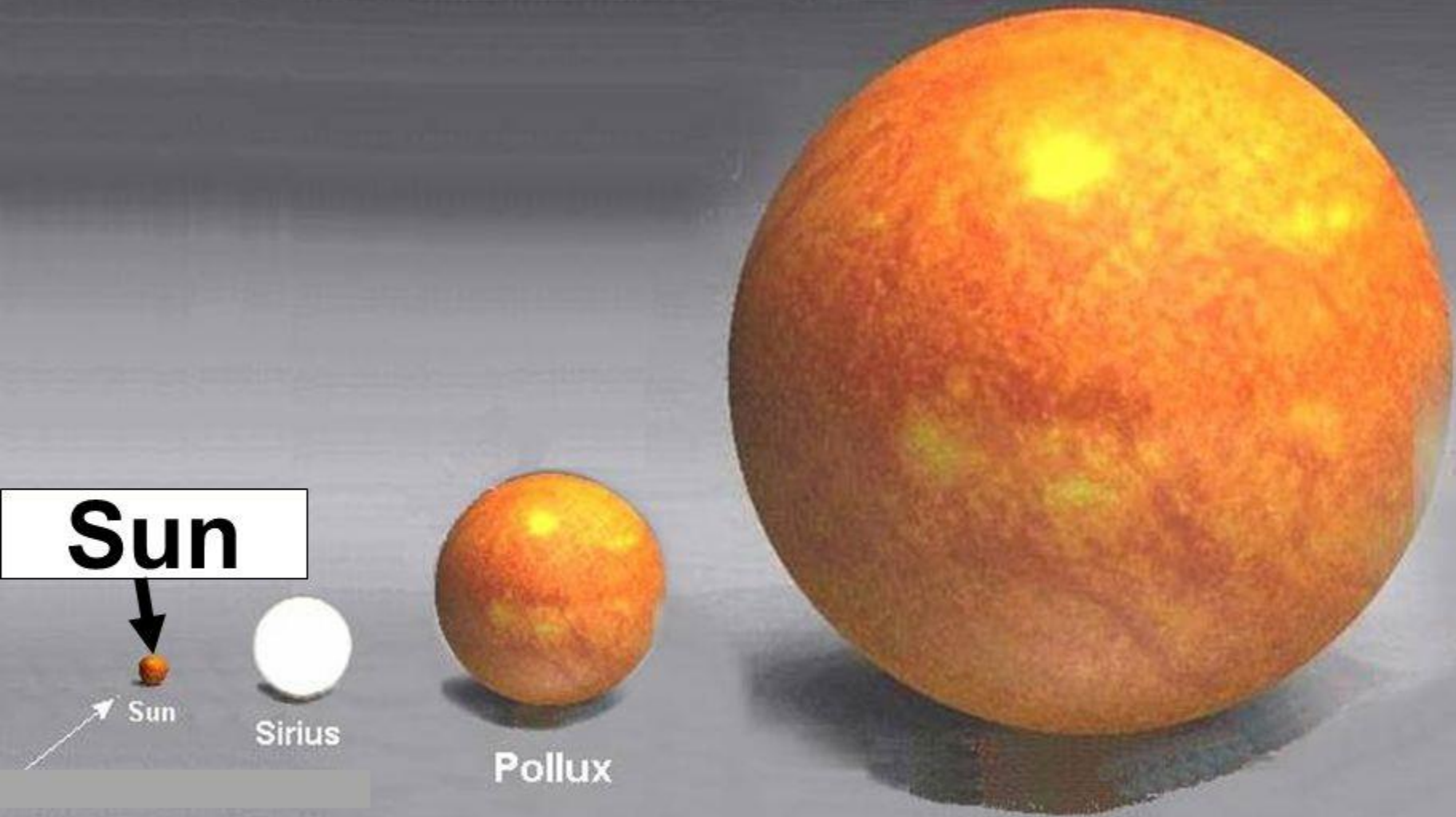


# Πλανητικό νεφέλωμα NGC 6543 ή «μάτι της γάτας»



Λευκός νάνος

# Σύγκριση του Ήλιου με γνωστούς ερυθρούς γίγαντες



**Sun**



Sun



Sirius



Pollux



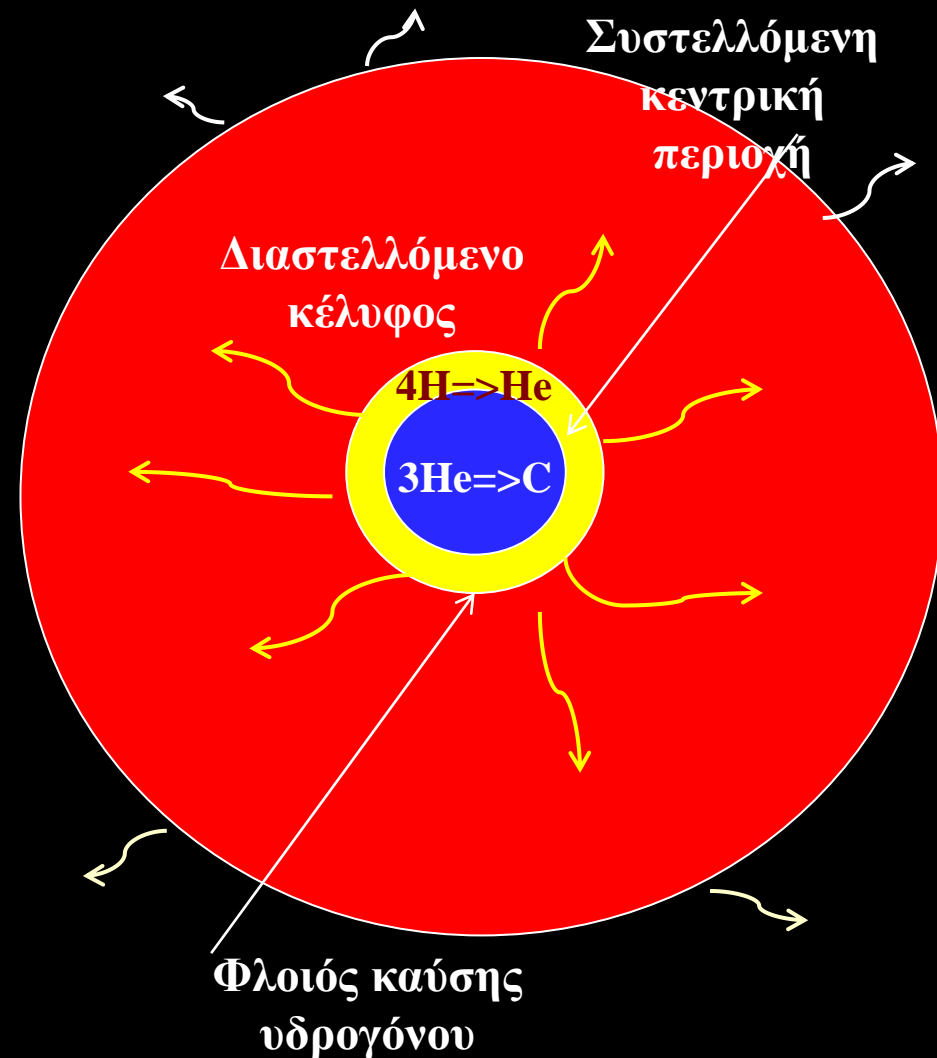
**Earth is invisible**

**Arcturus**

# Πως σχηματίζεται ο Λευκός Νάνος

Η κεντρική περιοχή, που αποτελείται από ήλιο, δεν παράγει πυρηνική ενέργεια με αποτέλεσμα να συνεχιστεί η συστολή της.

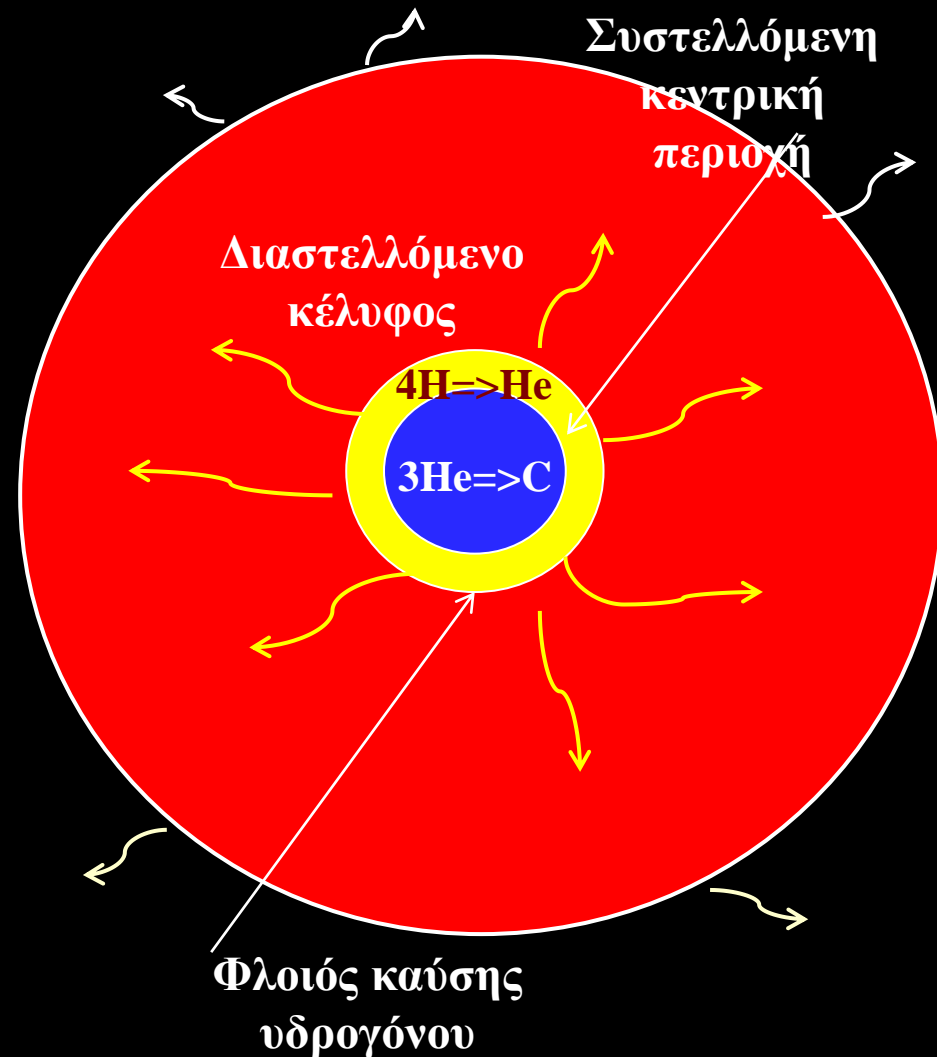
Η συστολή υποβοηθείται καθώς ο περιβάλλον φλοιός, όπου γίνεται η καύση του υδρογόνου, επιρρίπτει διαρκώς και περισσότερη «στάχτη» ηλίου στην κεντρική περιοχή.





# Πως σχηματίζεται ο Λευκός Νάνος

Η συστολή της κεντρικής περιοχής συνοδευόμενη από επιπρόσθετη μάζα αυξάνει συνεχώς την βαρύτητα στα υπερκείμενα στρώματα και έτσι ενισχύεται συνεχώς το πεδίο βαρύτητας στον φλοιό που γίνεται η καύση του υδρογόνου.



## Λευκός Νάνος

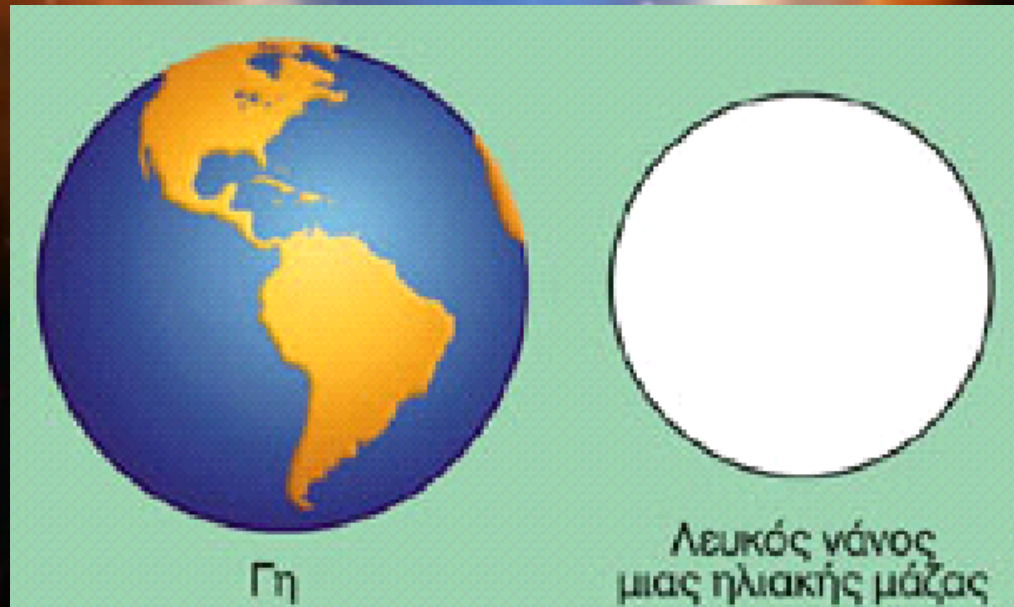
### Αστρικό «πτώμα» ενός άστρου μικρής σχετικά μάζας

Καθώς ο αστέρας συστέλλεται => αύξηση της πίεσης=> διαμελισμός των ατόμων σε ηλεκτρόνια και γυμνούς πυρήνες

Από την απαγορευτική αρχή Pauli για φερμιόνια σε συνδυασμό με την κβαντική αρχή  $\Delta x \cdot \Delta p \approx h$  προκύπτουν μεγάλες ορμές για τα ηλεκτρόνια και λόγω της  $E = \frac{p^2}{2m}$  προκύπτουν μεγάλες ενέργειες των ηλεκτρονίων που σταματά την βαρυτική κατάρρευση. Το όριο που μπορούν να «αντέξουν» τα ηλεκτρόνια είναι περίπου **1,4  $M_{\odot}$  (όριο Chandrasekhar)**

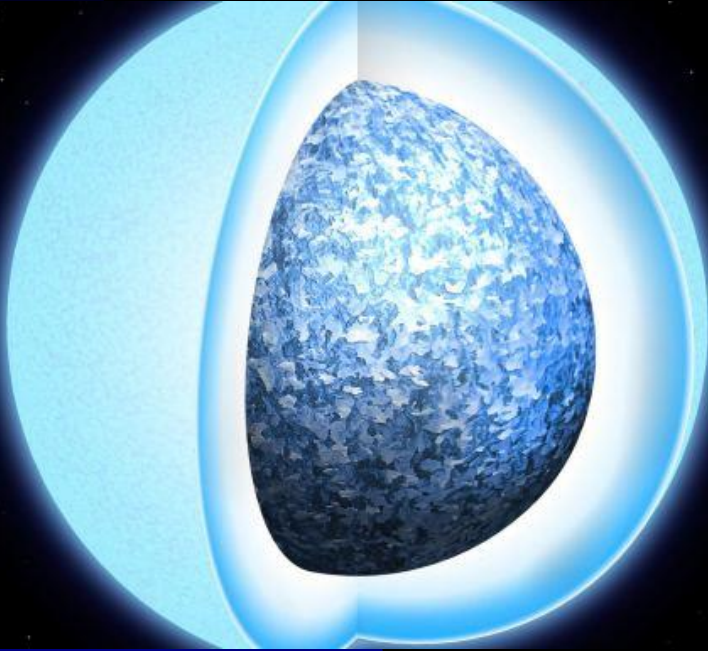
# Λευκός Νάνος

Αστρικό «πτώμα» ενός άστρου μικρής σχετικά μάζας



# Λευκός Νάνος

## Αστρικό «πτώμα» ενός άστρου μικρής σχετικά μάζας

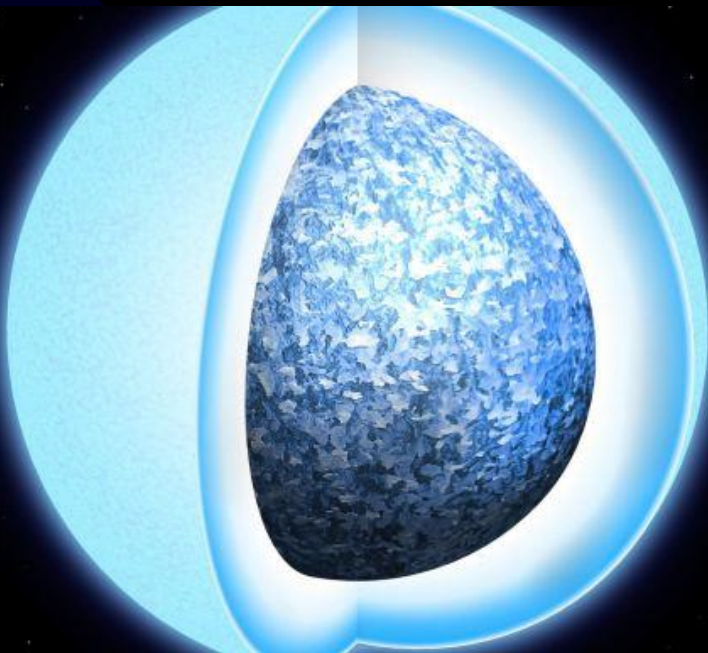


Στο εσωτερικό ενός λευκού νάνου, οι ατομικές δομές καταστρέφονται και τα ηλεκτρόνια, αποδεσμευμένα από την έλξη του πυρήνα, **κινούνται ελεύθερα μέσα σε μια «εκφυλισμένη θάλασσα»**. Παρά την τεράστια συμπίεση των ηλεκτρονίων, περισεύει ακόμη πολύς χώρος: οι πυρήνες (**κυρίως άνθρακα και οξυγόνου**) είναι τόσο απομακρυσμένοι μεταξύ τους -σε σχέση με τις διαστάσεις τους- ώστε να συμπεριφέρονται ακόμα ως μόρια του αέρα. Η φυσική δομή ενός λευκού νάνου στην ουσία εξαρτάται από τη συμπεριφορά της θάλασσας των ηλεκτρονίων ενώ η θερμική του δομή εξαρτάται από την κίνηση των πυρήνων.

Η εσωτερική θερμοκρασία φτάνει στα **εκατό εκατομμύρια βαθμούς K** για πρόσφατα σχηματισμένους λευκούς νάνους και σε μερικά εκατομμύρια για λευκούς νάνους μεγάλης ηλικίας.

## Λευκός Νάνος

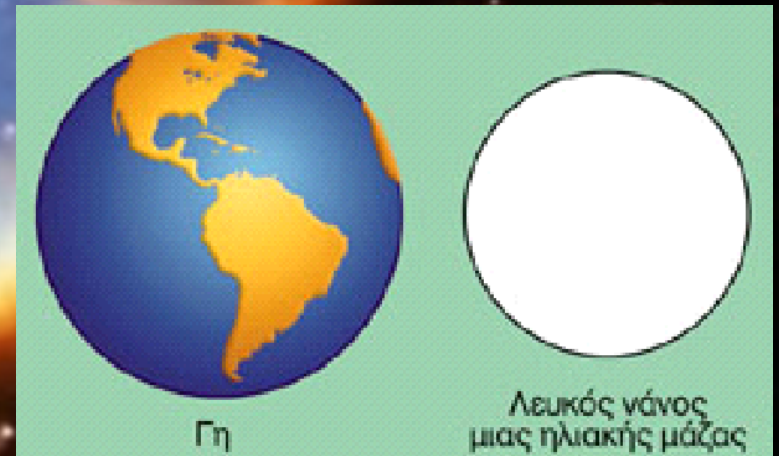
### Αστρικό «πτώμα» ενός άστρου μικρής σχετικά μάζας



Το εσωτερικό ενός λευκού νάνου προστατεύεται από το διαστρικό ψύχος χάρη σε ένα **μανδύα πάχους λίγων χιλιομέτρων, εξαιρετικά αδιαφανή και μονωτικό από μη εκφυλισμένη ύλη** η θερμοκρασία του οποίου δεν υπερβαίνει τους **εκατό χιλιάδες βαθμούς K**. Σε αυτήν ακριβώς την επιφανειακή θερμοκρασία, που είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από εκείνη του Ηλίου, οφείλεται και η φωτεινότητα του λευκού νάνου. Όμως καθώς η εκπέμπουσα επιφάνεια συρρικνώνεται σαν να ήταν από πετσί, η **συνολική φωτεινότητα εξασθενίζει, πράγμα που κάνει τους λευκούς νάνους να μοιάζουν με χλωμά φαντάσματα**: είναι εξαιρετικά δυσδιάκριτοι σε μεγάλες αποστάσεις.

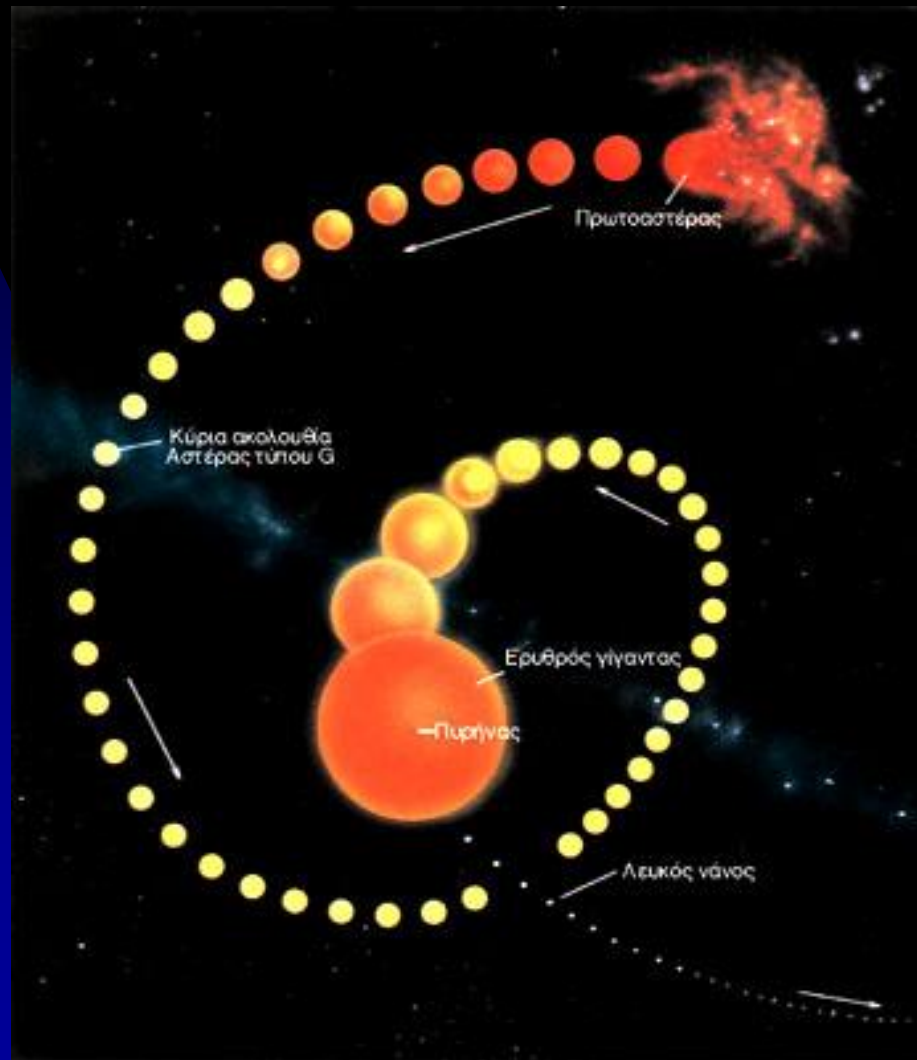
# Λευκός Νάνος

Αστρικό «πτώμα» ενός άστρου μικρής σχετικά μάζας

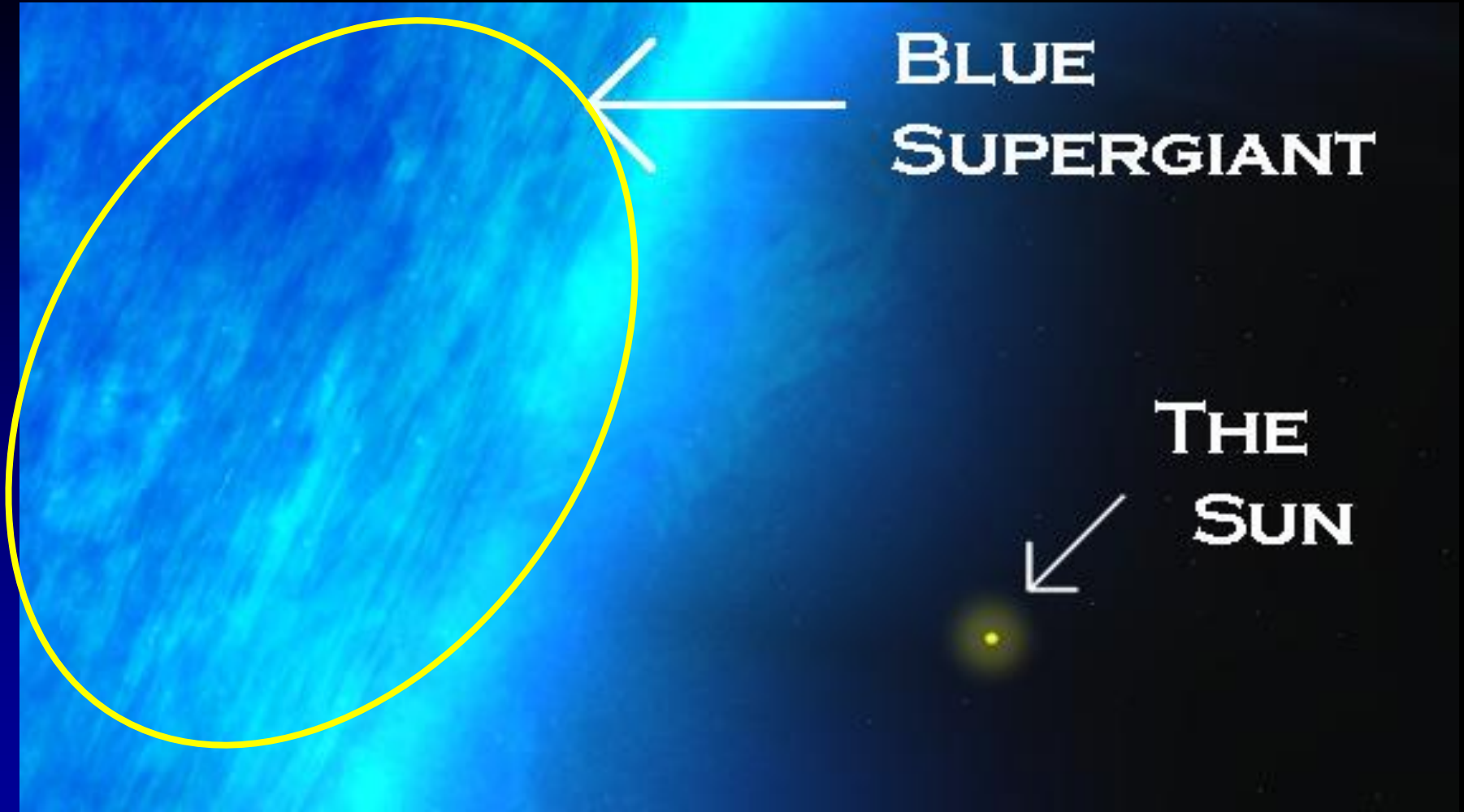


- 1 κουταλάκι υλικού από έναν λευκό νάνο ζυγίζει όσο ένα αυτοκίνητο ( $\approx 10^6 \text{ gr/cm}^3$ )

# Η προβλεπόμενη εξέλιξη του Ήλιου



# Η εξέλιξη των μεγαλύτερων άστρων





# Η εξέλιξη των μεγαλυτέρων άστρων



**Wolf-Rayet star (WR 104), 8000 ly, O-star, Keck Telescope**

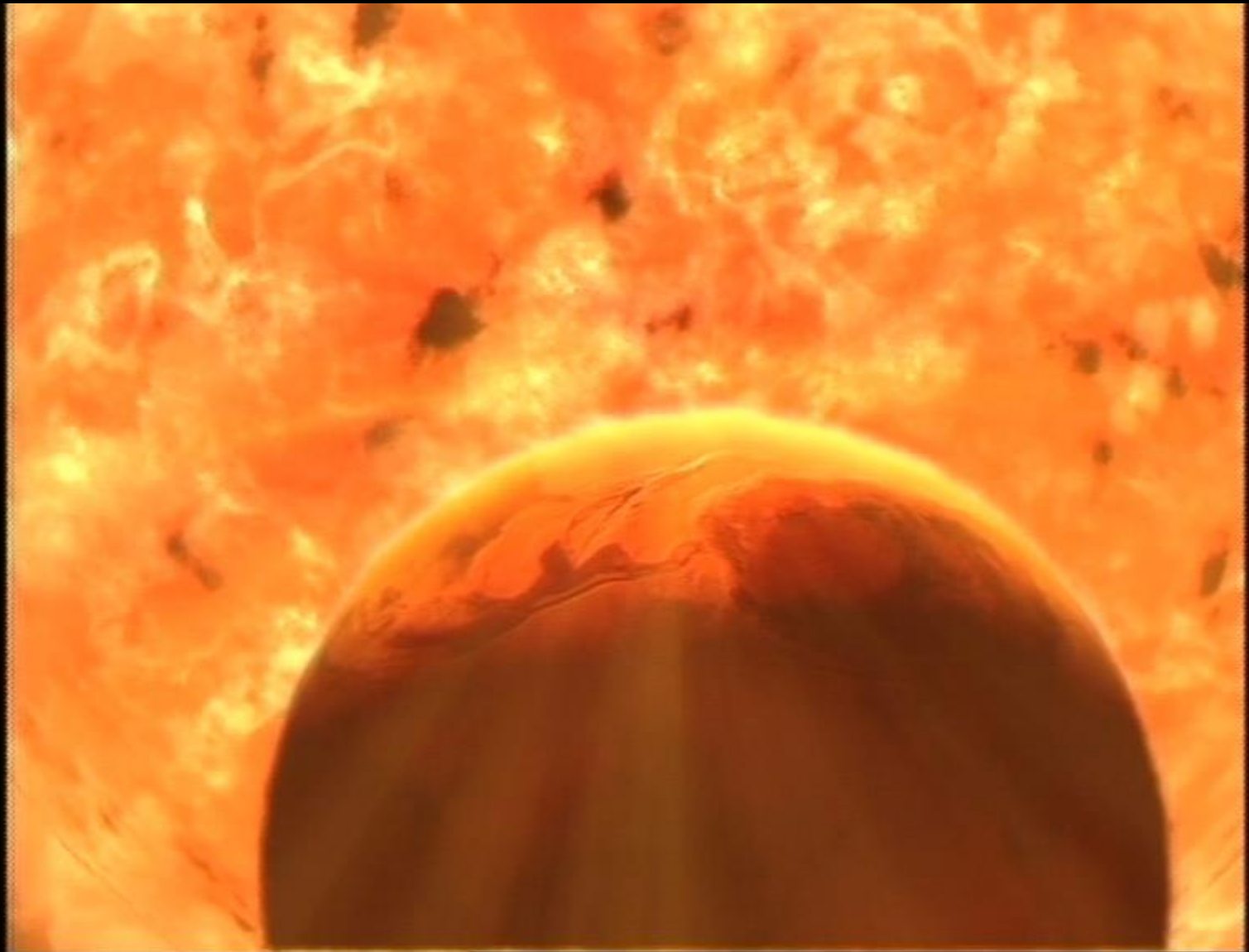


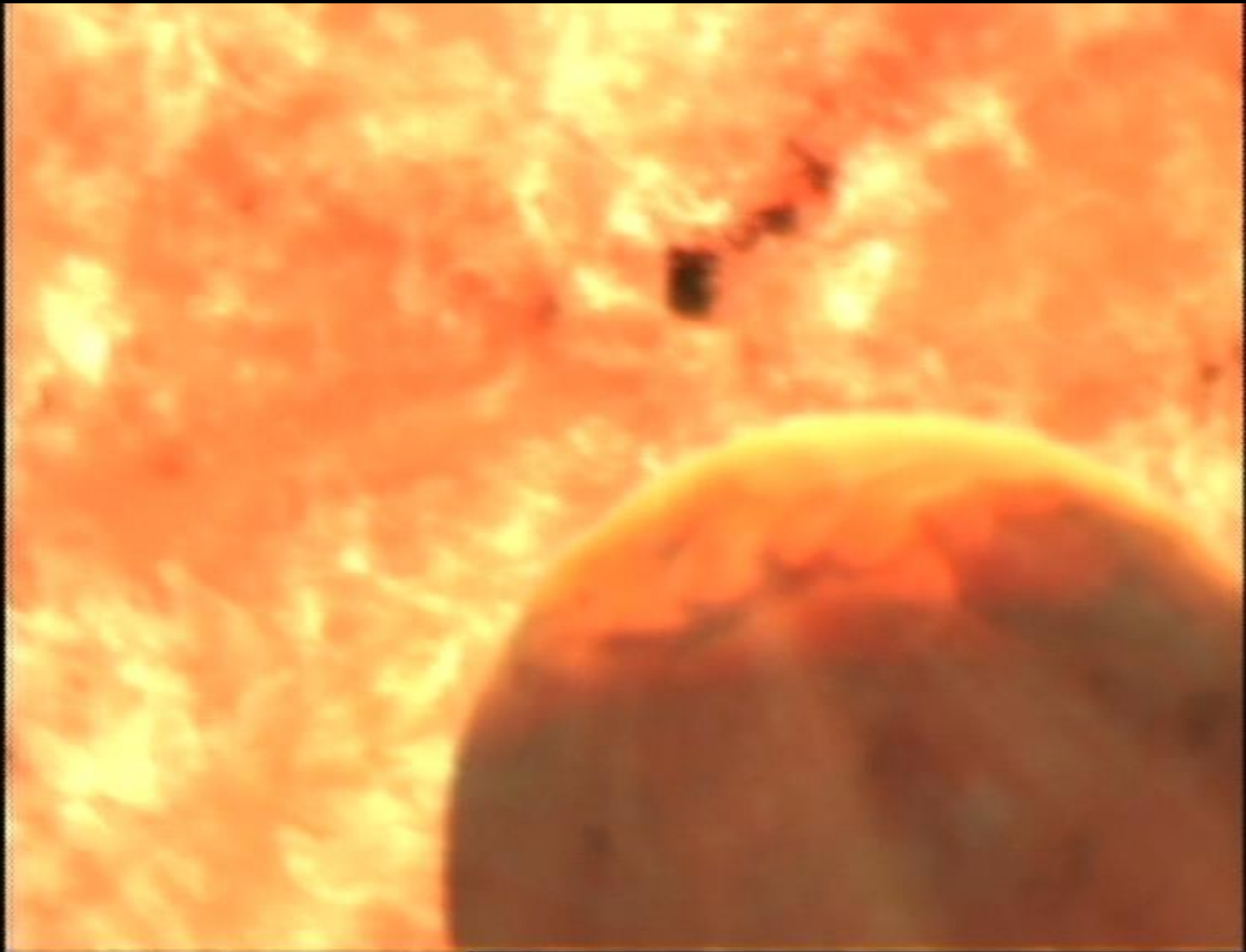








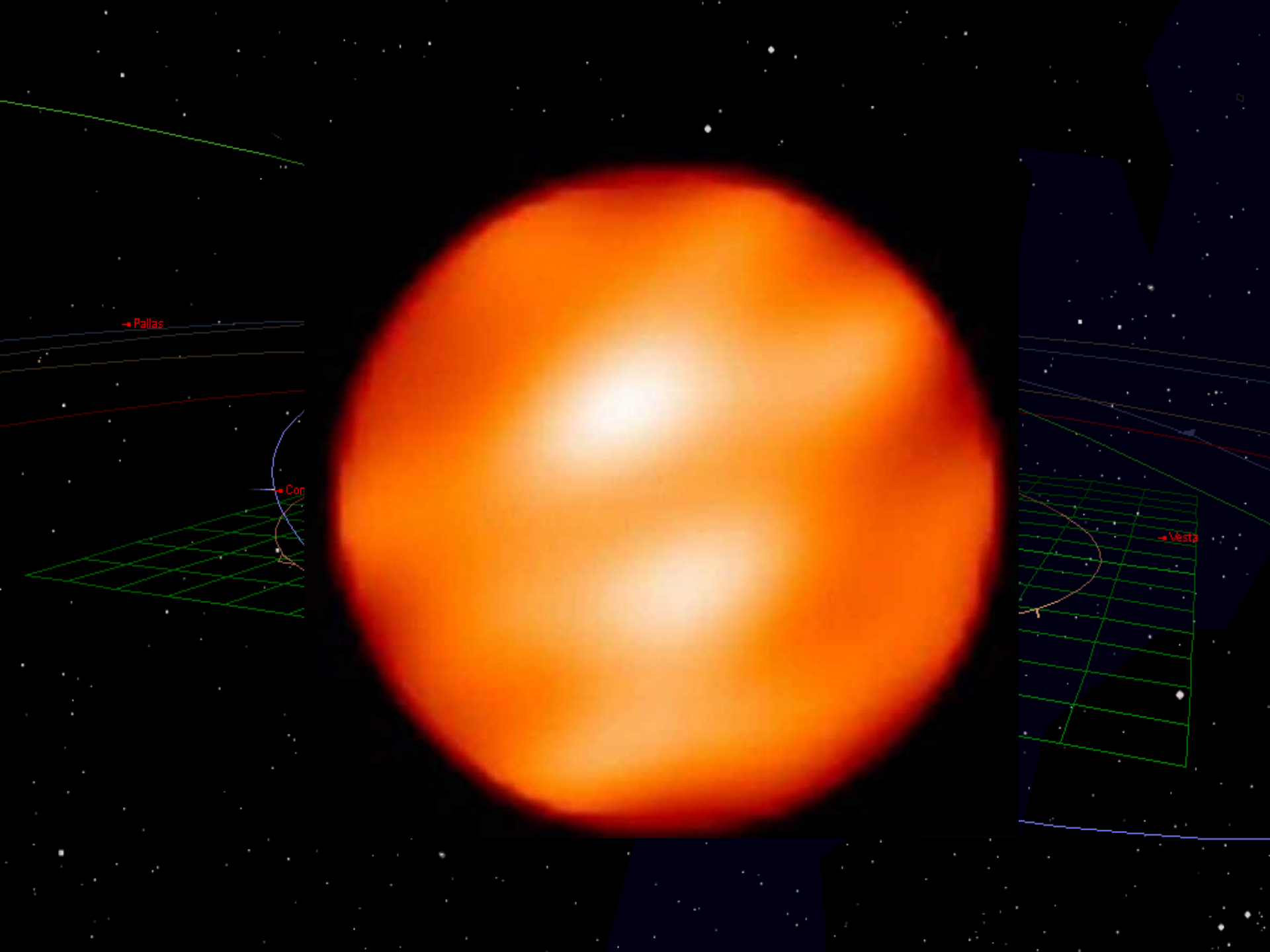




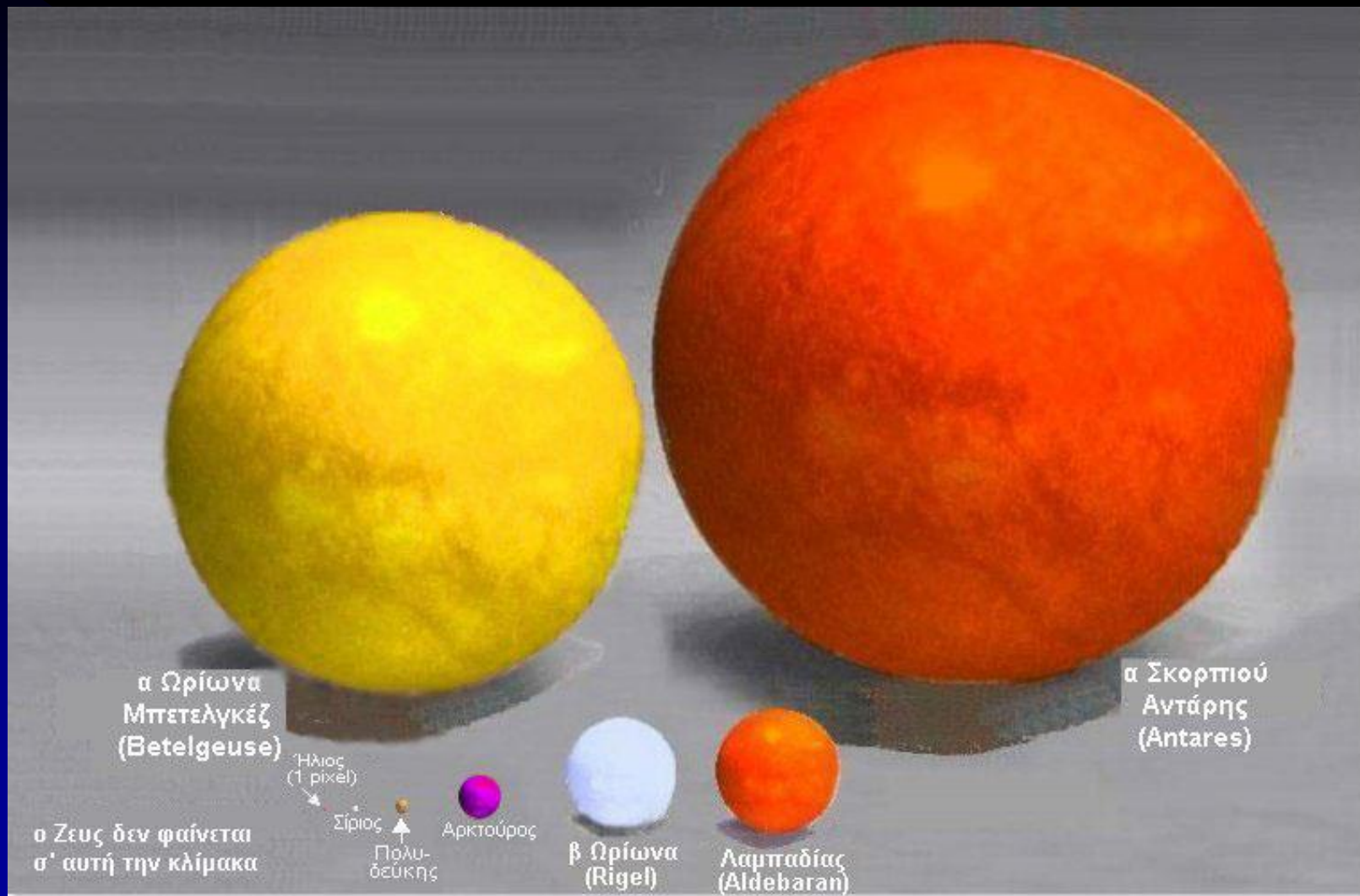


**α του Ωρίωνα ή Μπέτελγκεζ**





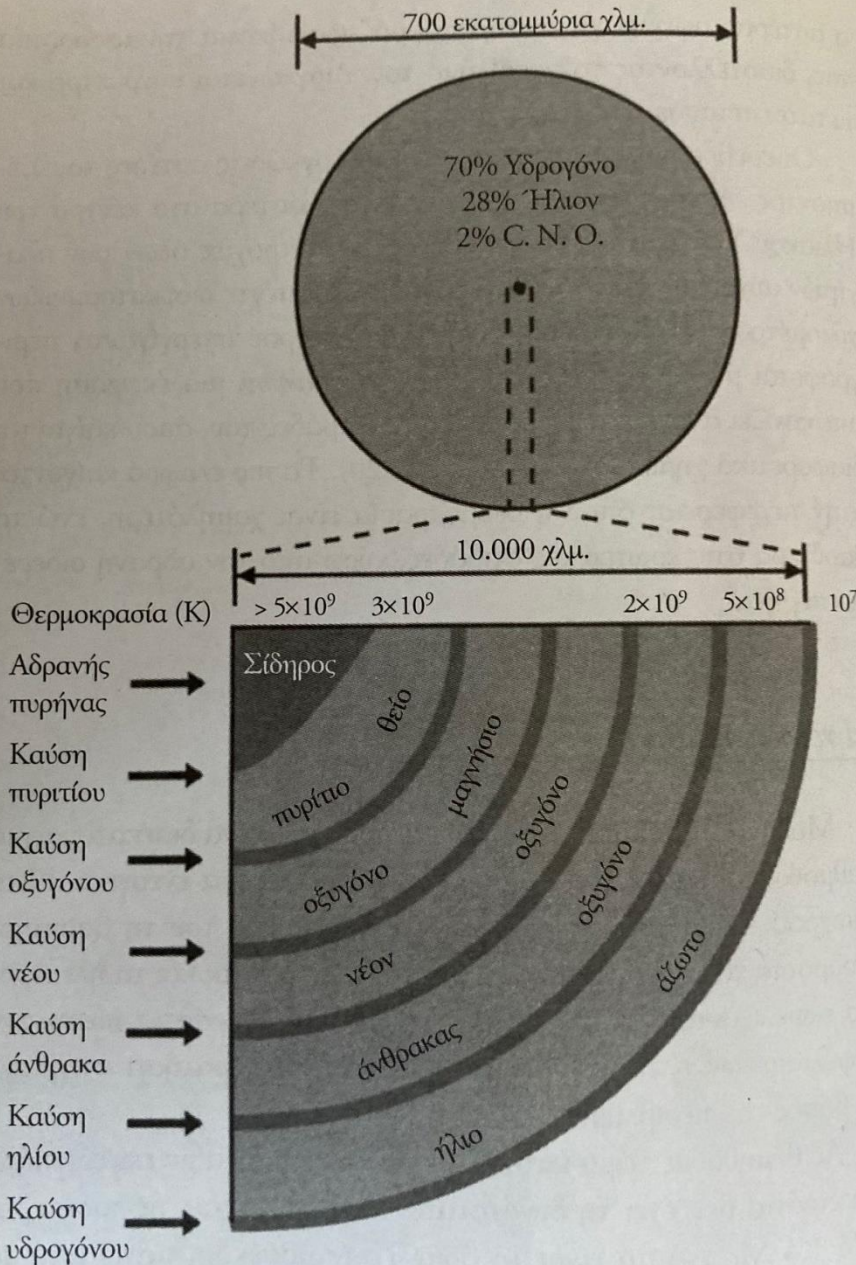
# Σύγκριση του Ήλιου με ερυθρούς υπεργίγαντες



# Πριν τον θάνατο...

**Δομή τύπου «κρεμμυδιού» ενός Υπεργίγαντα Αστέρη πολύ μεγάλης μάζας πριν από την έκρηξη σουπερνόβα.** Η χημική σύνθεση κάθε στιβάδας αποτελεί το προϊόν των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που συντελούνται σε τιμές θερμοκρασίας και πυκνότητας συνεχώς αυξανόμενες καθώς βυθιζόμαστε από έξω προς το κέντρο του αστήρα.

**Καταστροφική η εμφάνιση σιδήρου.**



# Ο θάνατος...



# SN 1987A



*Αναπαράσταση της έκρηξης του SN 1987A*

**Supernova SN2007gy. Η έκρηξη έγινε σε δύο στάδια.**



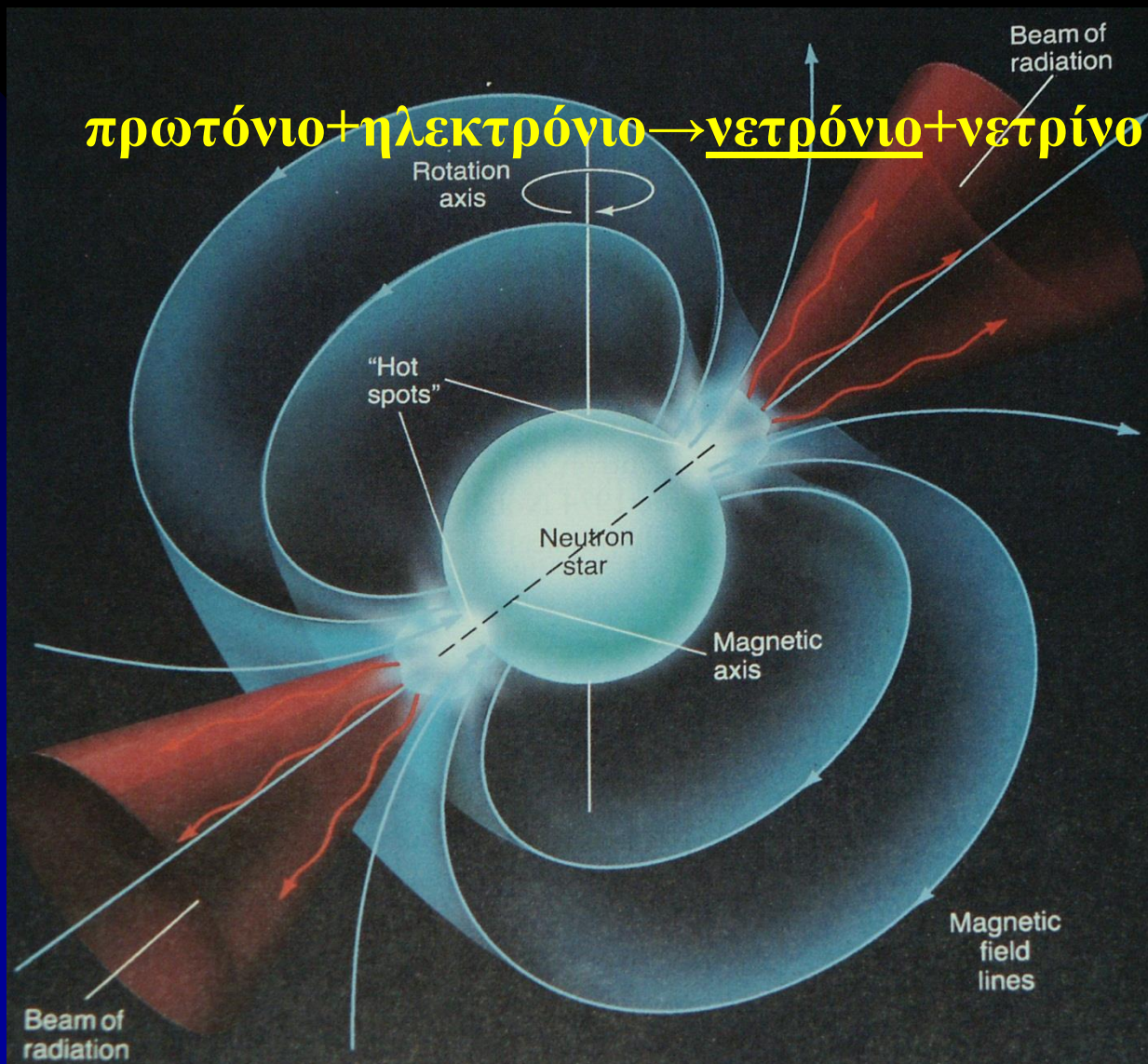
# Αστέρας νετρονίων (Pulsar)

Από την προηγούμενη σφοδρότατη έκρηξη έχει απομείνει μια μικροσκοπική γρήγορα περιστρεφόμενη μπάλα διαμέτρου 10-30 km. Στη φάση αυτή τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του υλικού επιταχύνονται σε σχετικιστικές ταχύτητες και εξαναγκάζονται να ενωθούν με τα πρωτόνια και έτσι οι πυρήνες του υλικού αυτού αποτελούνται μόνο από νετρόνια. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το αστέρι μας έχει μετατραπεί σε ένα αστέρι νετρονίων με διάμετρο 10 έως 30 χλμ. και μάζα περίπου μια ηλιακή (αν η μάζα του εναπομείναντος άστρου είναι από 1,4 έως 3,2 ηλιακές μάζες)

Από τους μαγνητικούς του πόλους δύο πίδακες εκτοξεύουν στο διάστημα υπερθερμασμένα αέρια και ακτινοβολίες σαν ένας παράξενος κοσμικός φάρος που ταξιδεύουν σε δέσμη για εκ. ε.φ.



# Αστέρας νετρονίων (Pulsar)

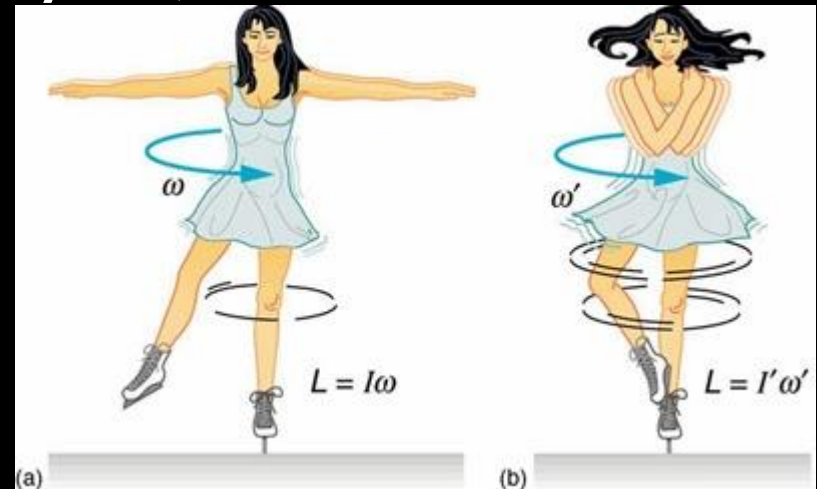


# Αστέρας νετρονίων (Pulsar)

## 1. Περιστρέφεται πολύ γρήγορα

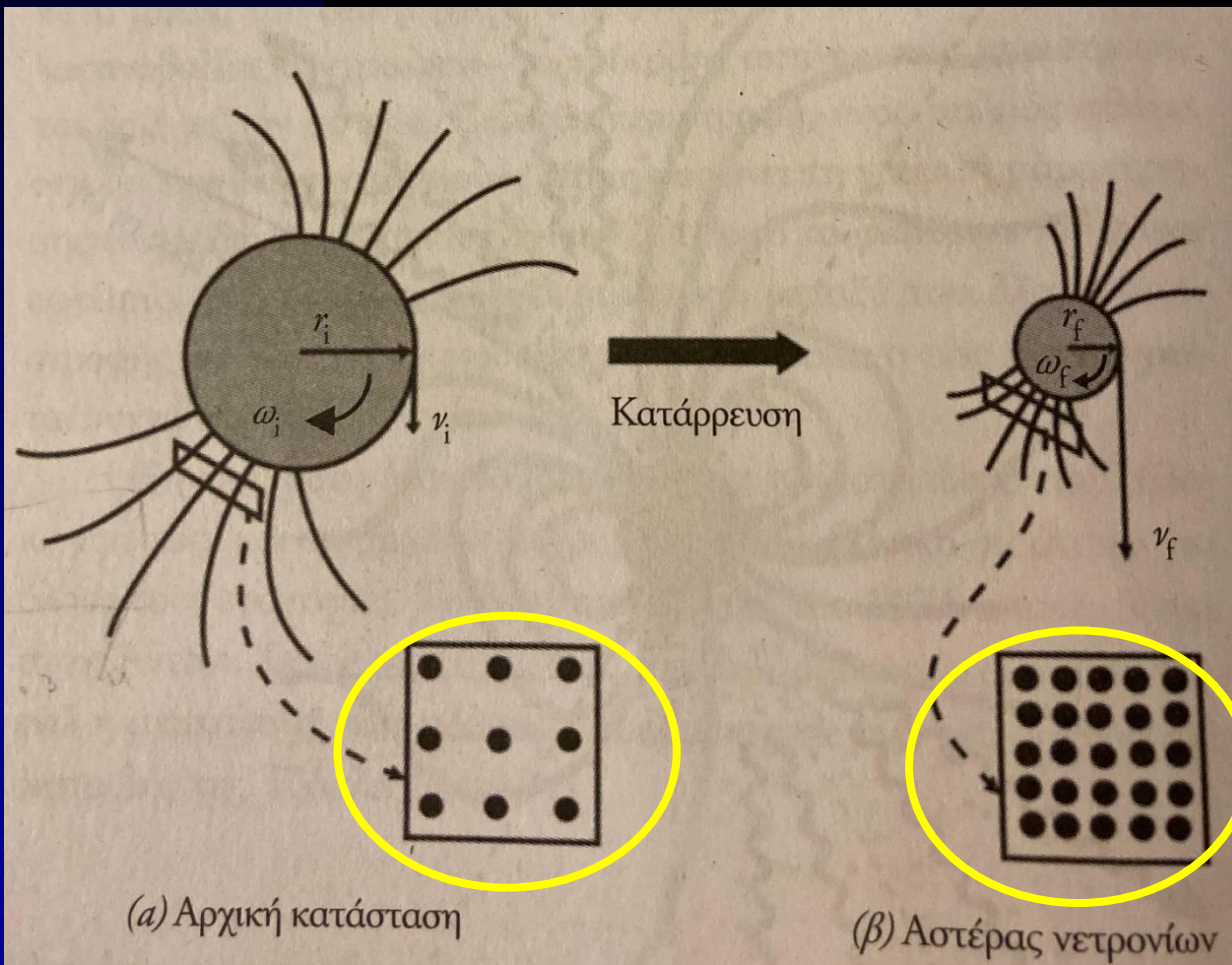
$$J = I \cdot \omega$$

Αρχή διατήρησης στροφορμής  
 $\Rightarrow J = \text{σταθ.}$  και επειδή ελαττώνεται η  
ροπή αδράνειας  $I$  αυξάνεται το  $\omega$   
 $\Rightarrow$  πολύ γρήγορη περιστροφή (200-300  
στρ/sec)



# Αστέρας νετρονίων (Pulsar)

2. Πανίσχυρο μαγνητικό πεδίο (100 δισ. gauss, Ηλίου 1 gauss, μέγιστη ένταση μαγν. πεδίου στο εργαστήριο 300.000 gauss)



Με δεδομένο ότι το μαγνητικό πεδίο παραμένει συνδεδεμένο με την συστελόμενη ύλη, η έντασή του, όπως υπολογίζεται από τον αριθμό των δυναμικών γραμμών του πεδίου που διέρχεται από μια μονάδα επιφάνειας είναι αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της ακτίνας του αστέρα.

# Αστέρας νετρονίων (Pulsar)

3. Ακραίες τιμές πυκνότητας,  $10^{15} \text{ gr/cm}^3$

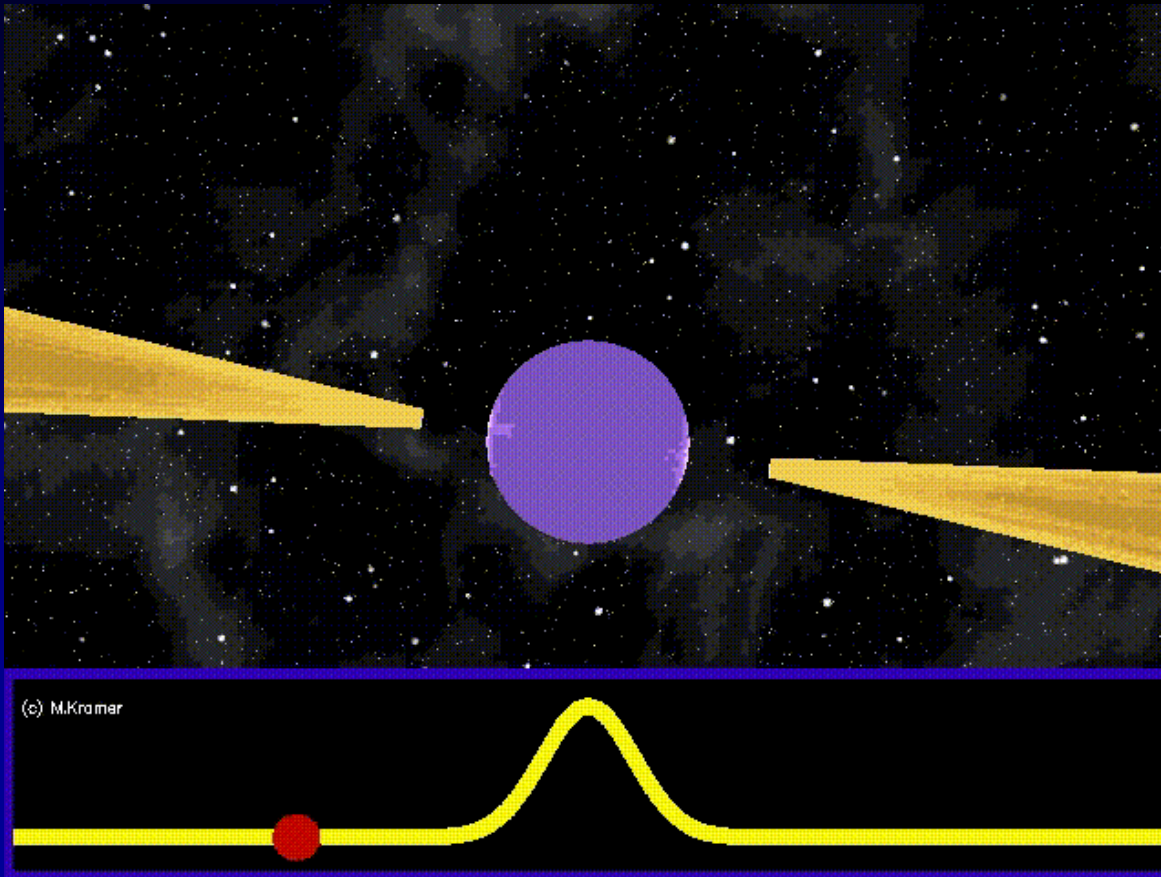


Ένα κουταλάκι υλικού από έναν αστέρα νετρονίων ζυγίζει όσο όλος ο πληθυσμός της Γης

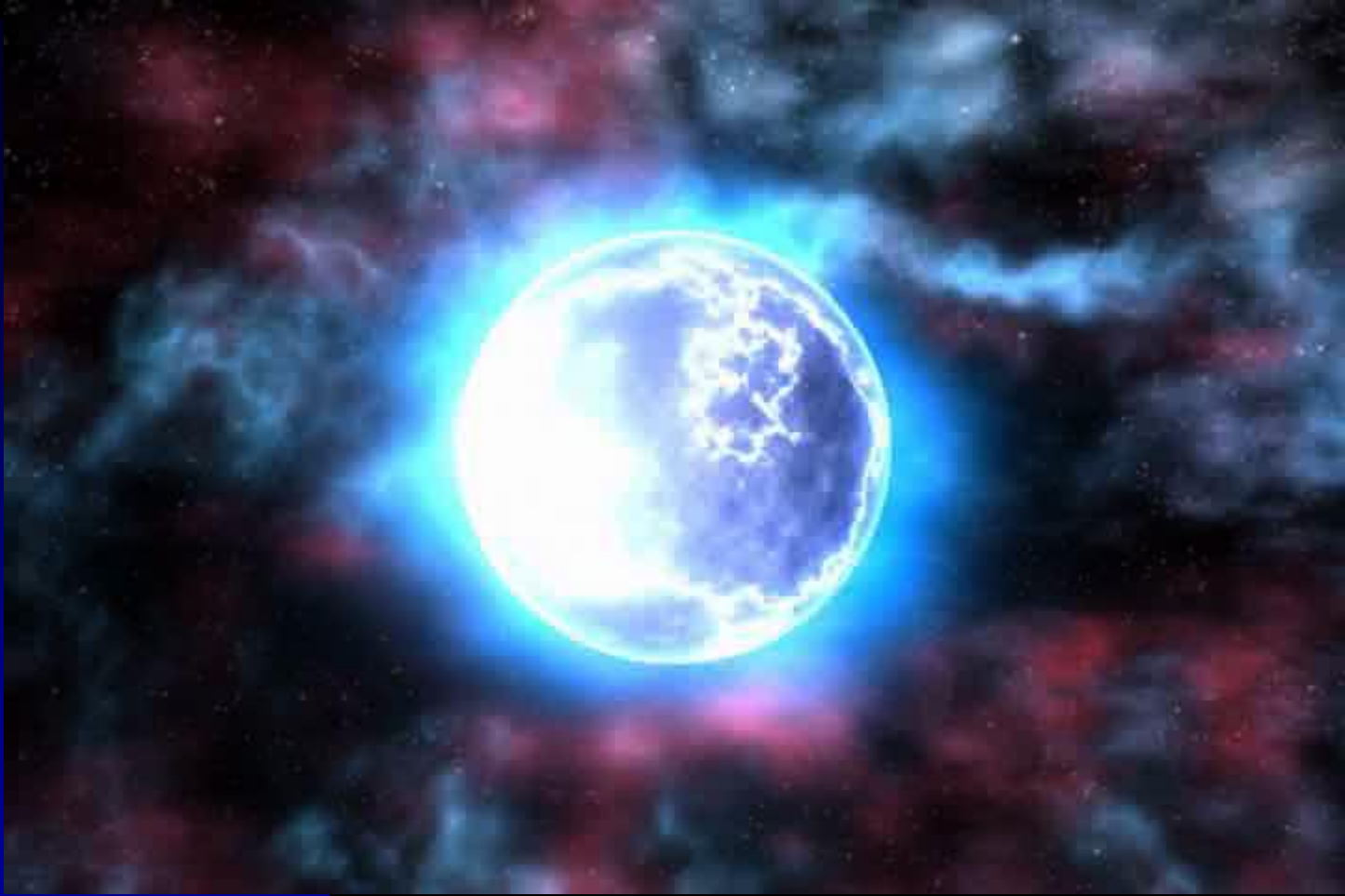
# Αστέρας νετρονίων (Pulsar)

## 4. Ακτινοβολία σύγχροντρον (:ακτινοβολία ηλεκτρονίων εντό μαγνητικού πεδίου)

Το εξαιρετικά ισχυρό μαγνητικό πεδίο του αστέρα νετρονίων επιταχύνει τα ηλεκτρόνια, τα οποία εκπέμπουν ραδιοκύματα κατά μήκος του μαγνητικού άξονα. Ο τελευταίος δεν συμπίπτει με τον άξονα περιστροφής του αστέρα νετρονίων, με αποτέλεσμα σε κάθε περιστροφή η δέσμη ραδιοκυμάτων (ραδιοπαλμών) να σαρώνει τη γραμμή παρατήρησης ενός επίγειου παρατηρητή.



(c) M.Kramer



**Αυτός ο αστέρας νετρονίων στο εσωτερικό ενός ταχύτατα διαστελλόμενου κελύφους, είναι ότι απέμεινε από την έκρηξη της supernova Cassiopeia A**

Μετά την έκρηξη ενός υπερκαινοφανούς αστέρα το υπόλειμμα του αστεριού στο κέντρο της έκρηξης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 3,2 ηλιακές μάζες. Σε αυτή την περίπτωση η πίεση που ασκεί το υλικό του στις περιοχές του πυρήνα του λόγω της συντριπτικής δύναμης της βαρύτητάς του είναι τεράστια και το αστέρι δε μπορεί να ισορροπήσει ούτε σαν λευκός νάνος ούτε σαν αστέρας νετρονίων. Η κατάρρευση του πυρήνα του θα γίνει τόσο γρήγορα ώστε το υλικό του θα καταλήξει σε μια υπέρπυκνη κατάσταση με άπειρη θεωρητικά πυκνότητα. Στην περίπτωση αυτή το βαρυτικό πεδίο γύρω του είναι τόσο ισχυρό ώστε δεν καταπίνει μόνο ό,τι υλικό βρεθεί στη γύρω περιοχή αλλά δεν επιτρέπει ακόμα και στο δικό του φως να απομακρυνθεί από την επιφάνειά του περισσότερο από μια απόσταση γύρω του που την ονομάζουμε ορίζοντα γεγονότων.

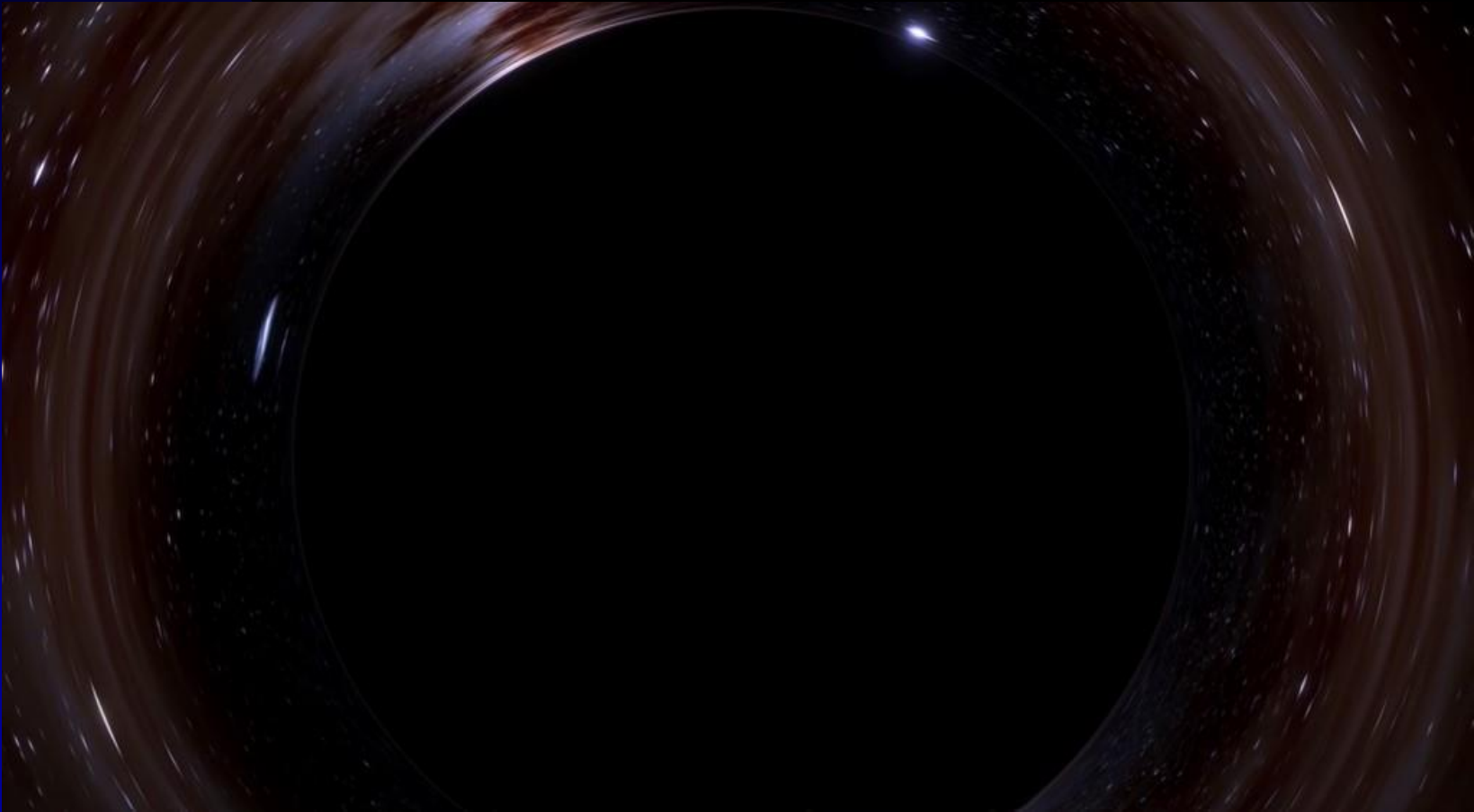
Αφού λοιπόν από το υπέρπυκνο αυτό αστρικό αντικείμενο δεν μπορούμε να πάρουμε καμιά πληροφορία, μοιάζει η περιοχή αυτή να είναι κενή κάτι σαν μια μαύρη τρύπα στον ουρανό. Για το λόγο αυτό ονομάστηκαν τα αντικείμενα αυτά μελανές οπές ή μαύρες τρύπες (αμερικανός αστρονόμος John Wheeler). Η βαρυτική κατάρρευση και η συστολή στο κέντρο αυτού του αστεριού δεν σταματά ποτέ αλλά συνεχίζεται μέχρι να συμβεί κάτι λογικά αδύνατο. Ολόκληρο το υλικό του συγκεντρώνεται σε ένα και μοναδικό σημείο. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημειακή ιδιομορφία ή σημειακή ανωμαλία.





# Ορισμός της Μελανής Οπής

Μελανή οπή: Μια χωροχρονική περιοχή στο εσωτερικό της οποίας το βαρυτικό πεδίο είναι τόσο ισχυρό, ώστε αποτρέπει κάθε διαφυγή ύλης και ακτινοβολίας.



# Η «αιχμαλωσία» του φωτός

## Ταχύτητα διαφυγής

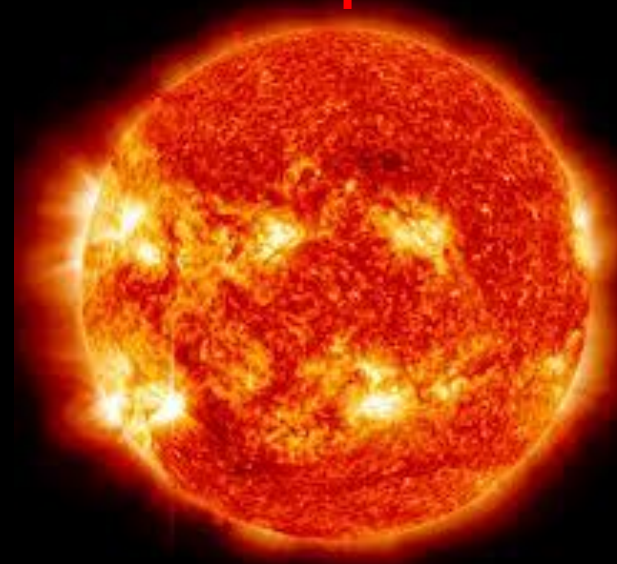
$V_{esc}=11,2$  km/s



$V_{esc}=5$  km/s



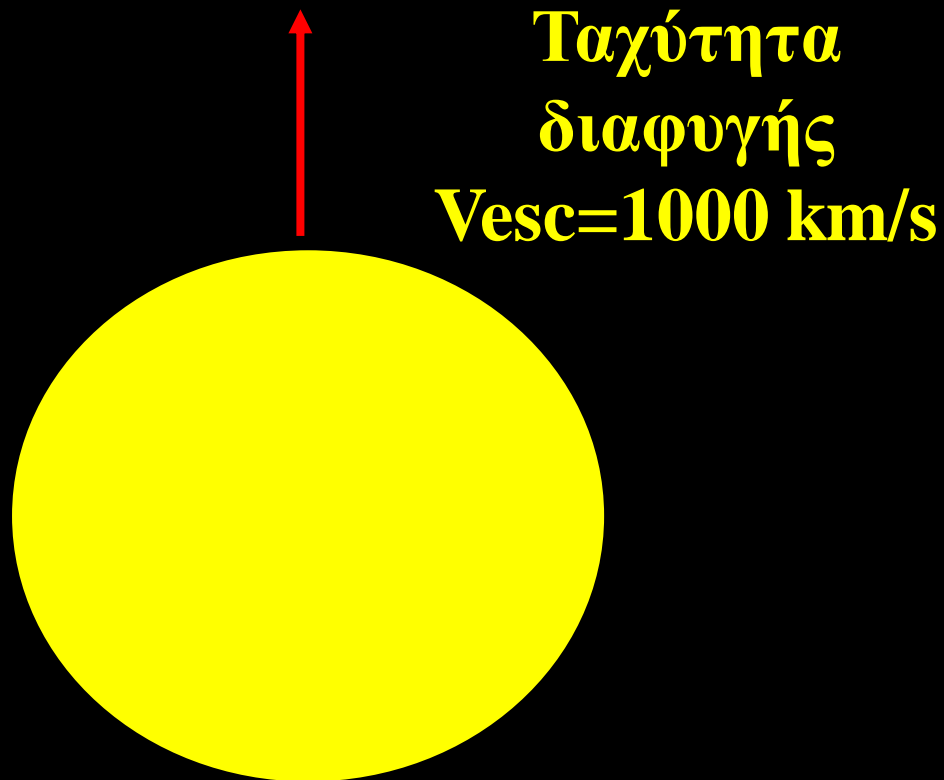
$V_{esc}=617,5$  km/s



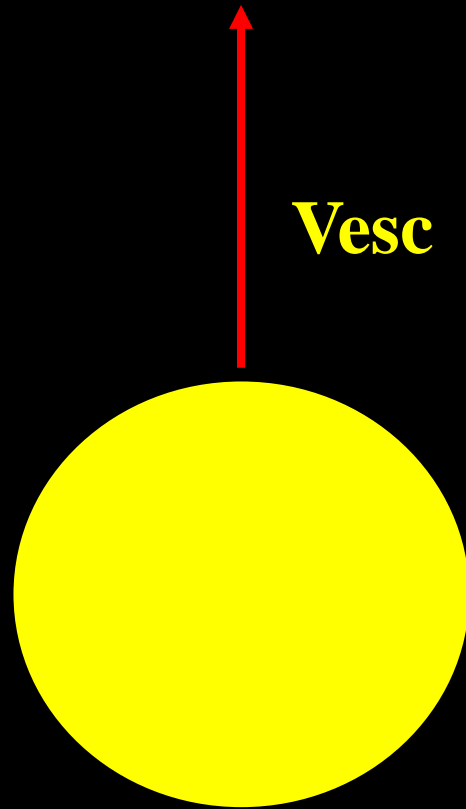
$$V_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

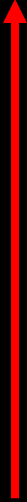
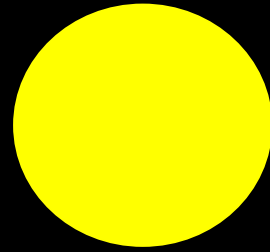
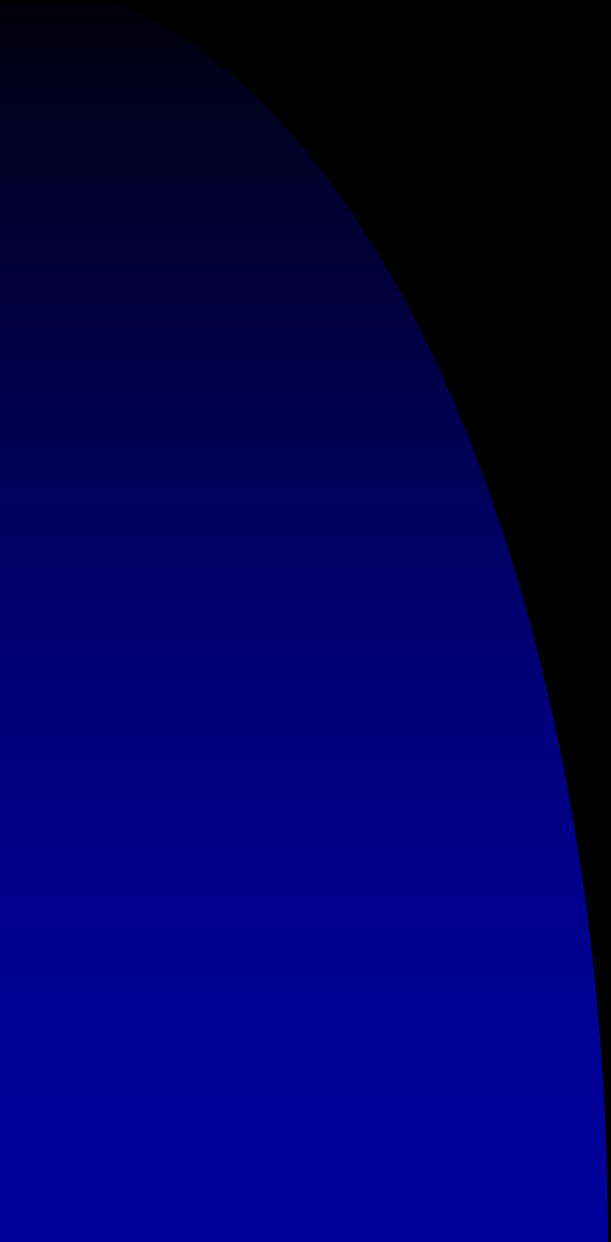
# Η «αιχμαλωσία» του φωτός

Άστρο με μάζα 15πλάσια της ηλιακής και ακτίνα 5πλάσια της ακτίνας του Ήλιου.

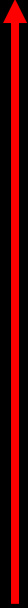
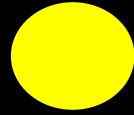
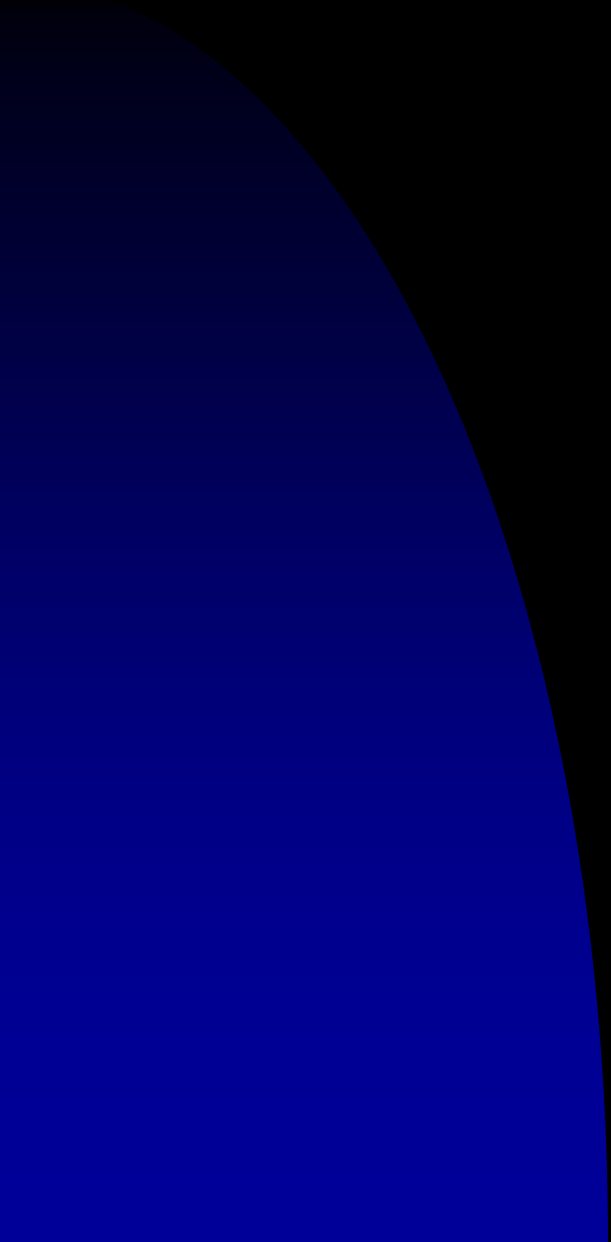


Μετά την εξάντληση των πυρηνικών του αποθεμάτων: **Συνεχής**  
**συρρίκνωση του άστρου με παράλληλη αύξηση της έντασης**  
**βαρύτητας και άρα της ταχύτητας διαφυγής**





**Vesc**

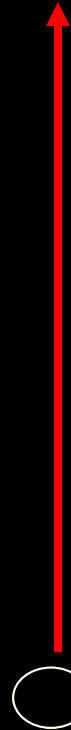


**Vesc**

# Μελανή οπή Schwarzschild



Ταχύτητα διαφυγής  
 $V_{esc} = 300.000 \text{ km/s} = c$



$R = 30 \text{ km}$

$$R_{sch} = \frac{2GM}{c^2}$$

Ακτίνα Schwarzschild

Ορίζοντας  
γεγονότων



## Ορίζοντας γεγονότων

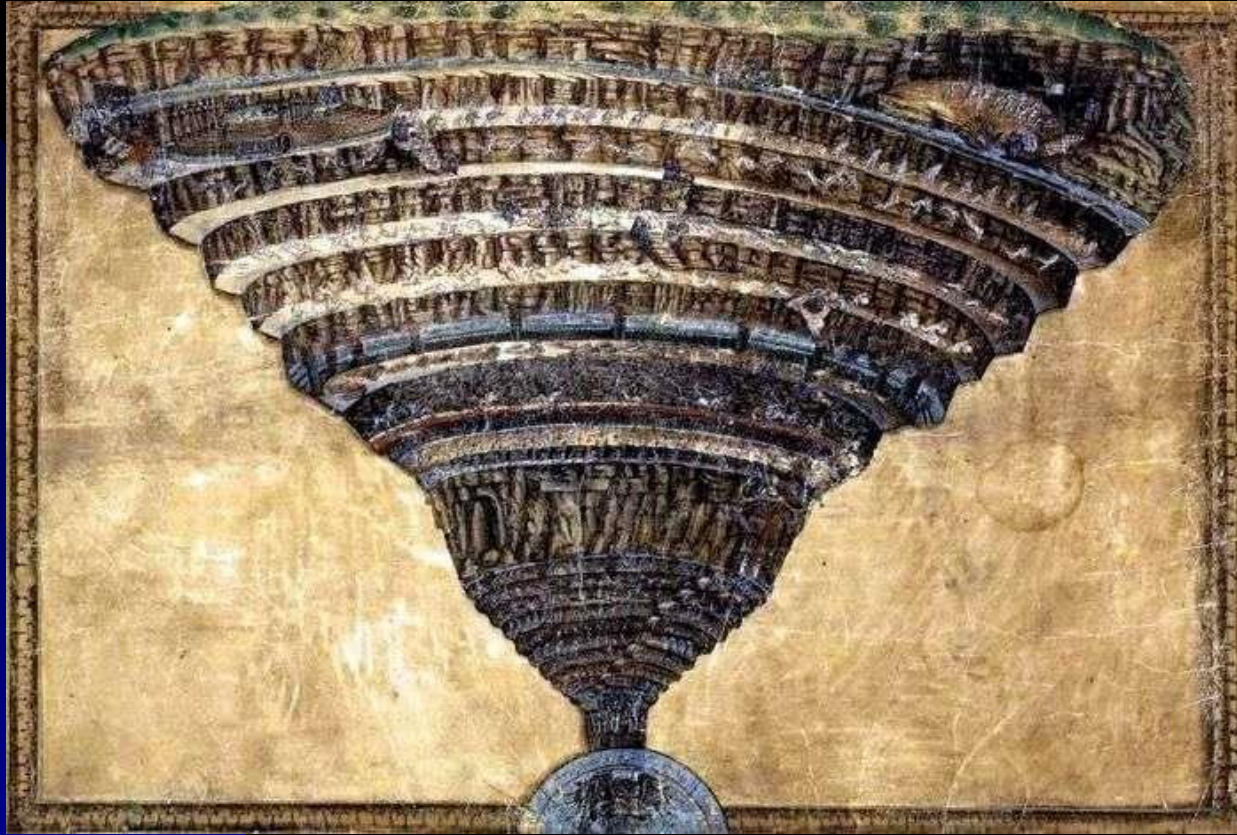
Είναι οι διαδρομές στον χωρόχρονο των ακτίνων του φωτός που μόλις *και δεν καταφέρνουν να διαφύγουν* από τη μαύρη τρύπα



**Ο,τι περάσει το σύνορο αυτό δεν  
υπάρχει πια επιστροφή**

# Ορίζοντας γεγονότων

## Η κόλαση του Δάντη

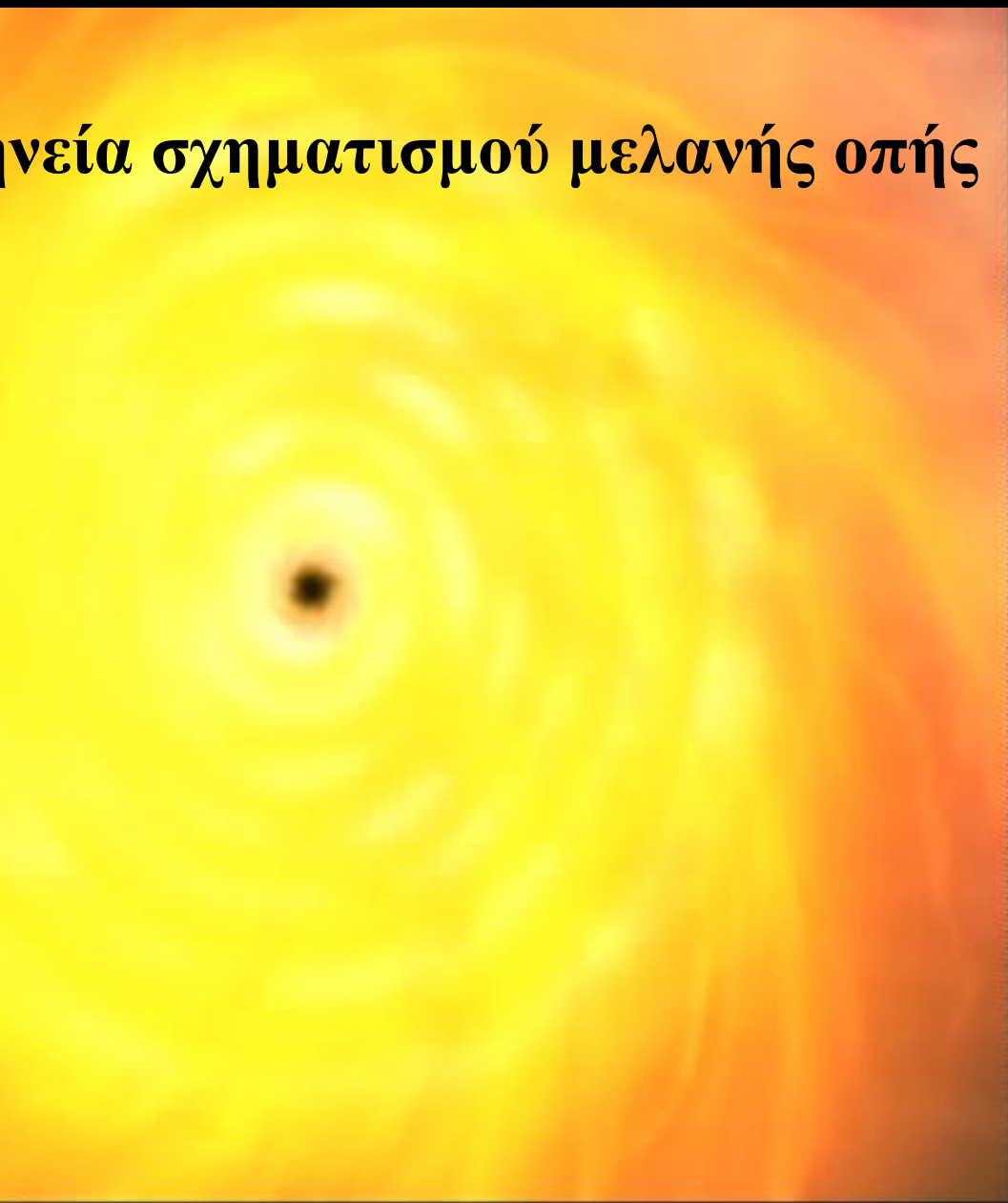
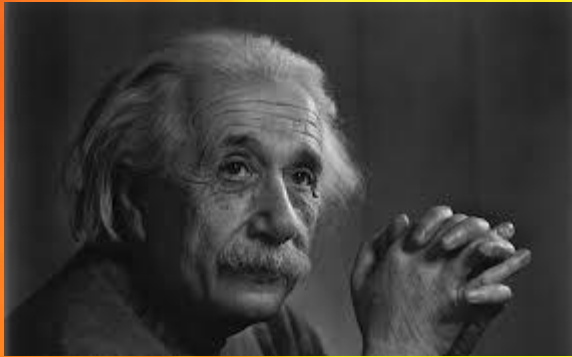


Θα μπορούσε να πει κανείς για τον ορίζοντα γεγονότων αυτό που είπε ο Δάντης ότι ήταν γραμμένο πάνω από την είσοδο της κόλασης:

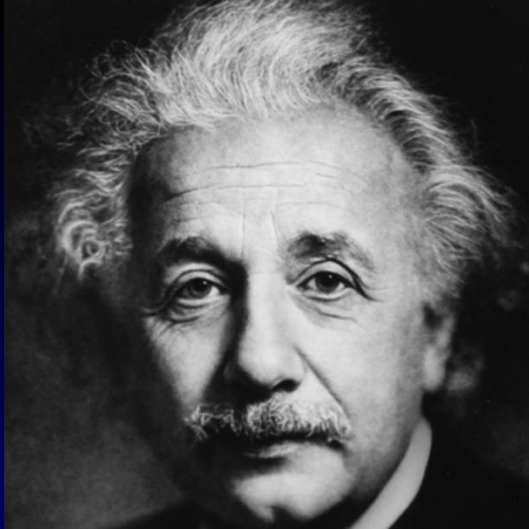
**«Εγκαταλείψτε κάθε ελπίδα, ω εσείς, που εισέρχστε εδώ»**

**Stephen Hawking**

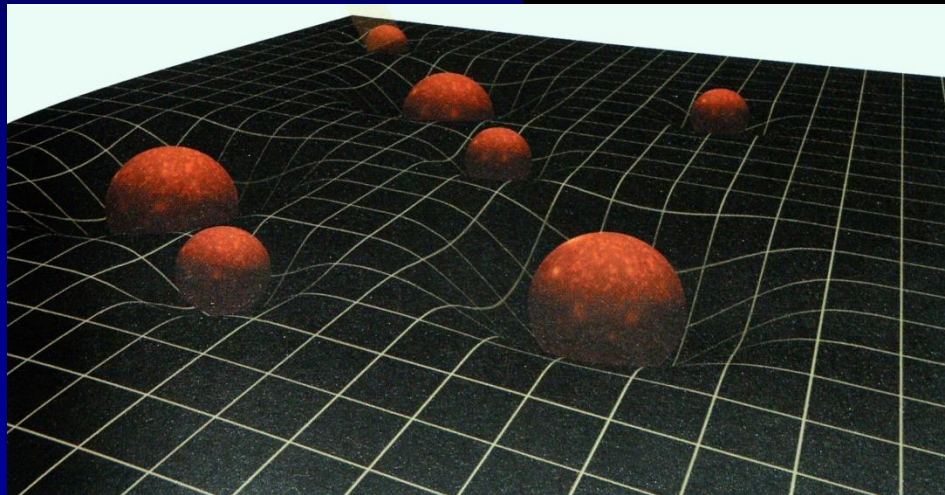
# Σχετικιστική ερμηνεία σχηματισμού μελανής οπής



# Γενική Σχετικότητα



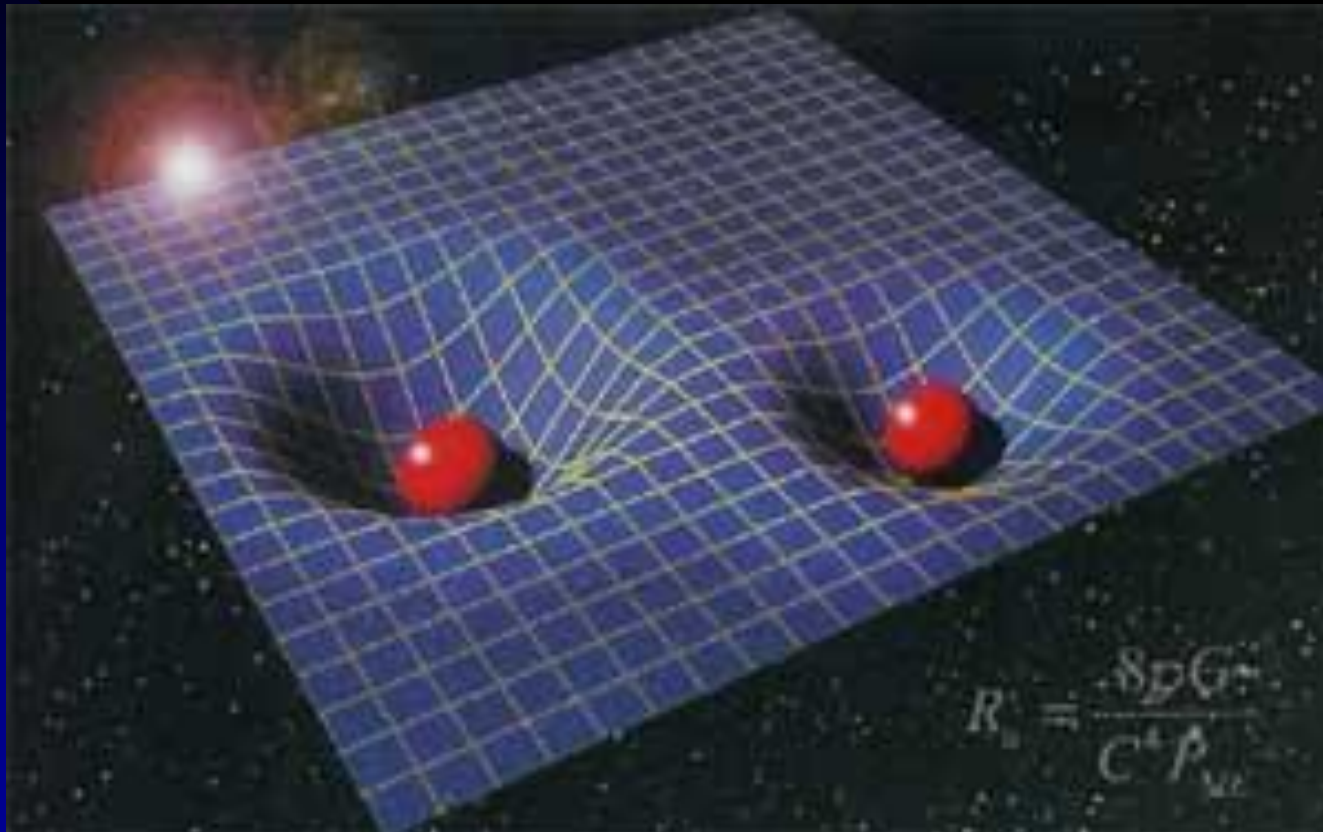
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



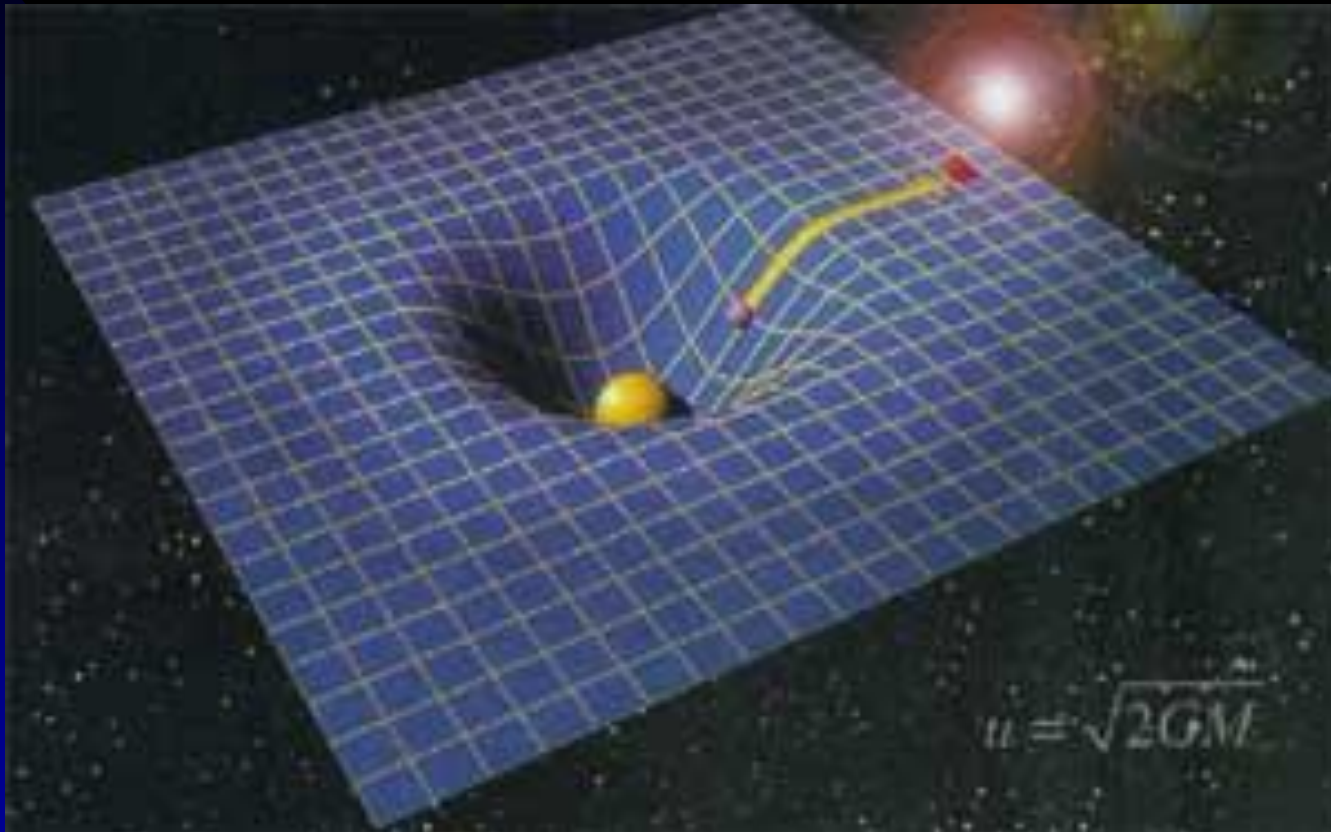
Γεωμετρικές  
ιδιότητες  
αυτού του  
χώρου

Κατανομή  
ύλης-ενέργειας  
σε έναν χώρο  
(πηγή  
καμπυλότητας)

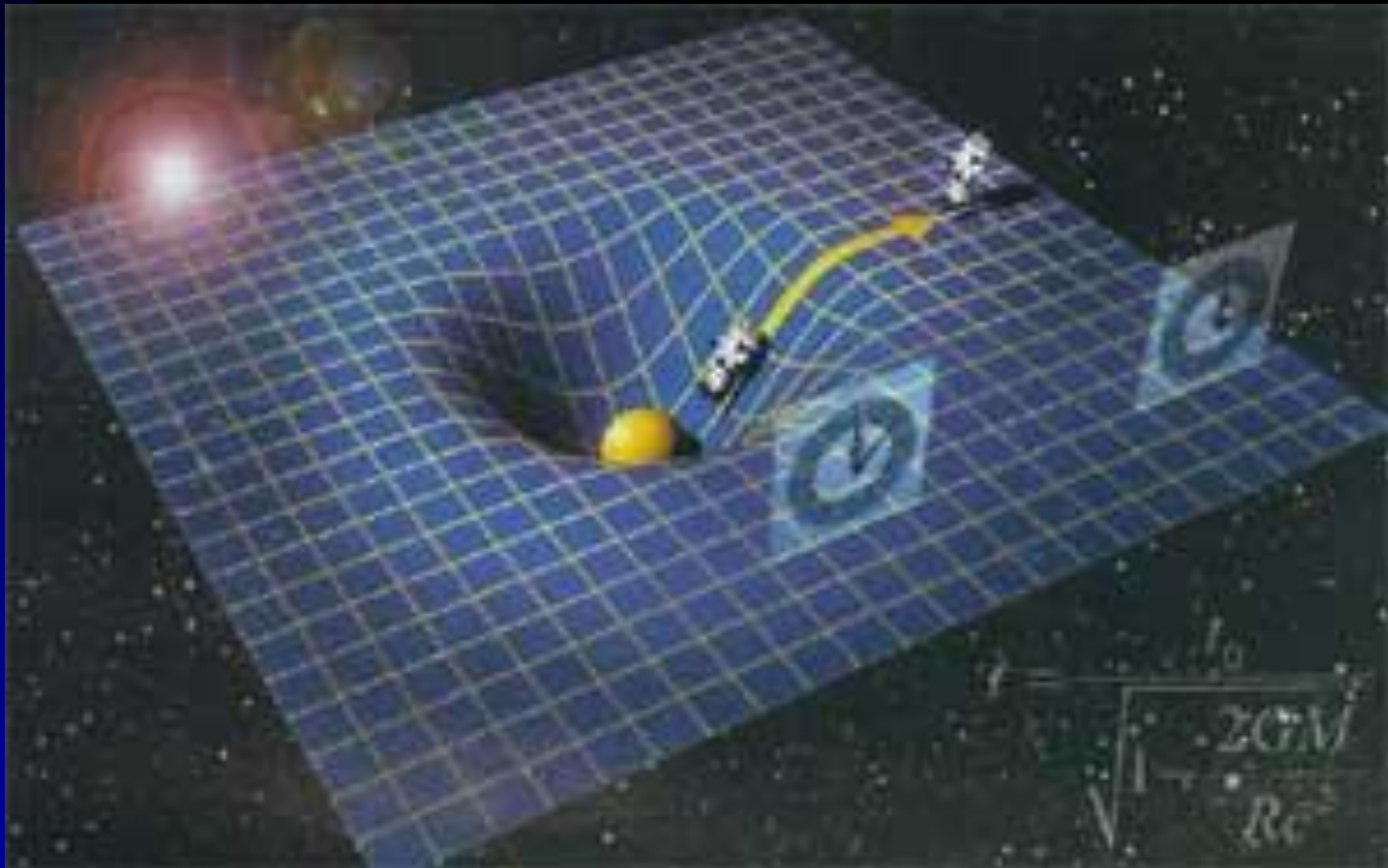
# Χωροχρονική παραμόρφωση 1



# Χωροχρονική παραμόρφωση 2



# Χωροχρονική παραμόρφωση 3



# Αποτέλεσμα της χωροχρονικής παραμόρφωσης είναι η λεγόμενη ερυθρή μετατόπιση (Redshift)

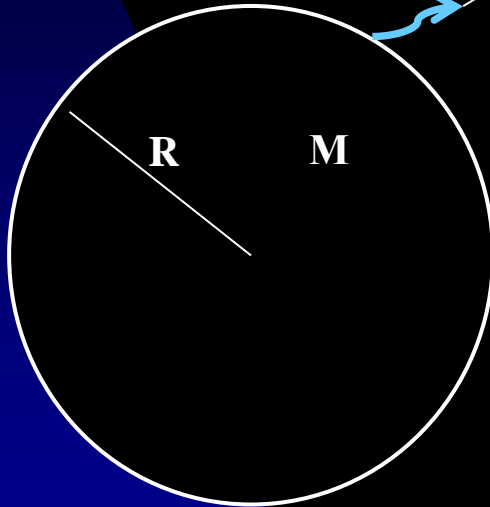
$$f_{\infty} = f \cdot \left(1 - \frac{2GM}{c^2 R}\right)$$

$$f_{\infty} < f \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad \lambda_{\infty} > \lambda$$



$f_{\infty}$

$f$



Έστω ότι από ένα άστρο μάζας  $M$  και ακτίνας  $R$  φεύγει φωτόνιο (ακτινοβολία) συχνότητας  $f$ . Παρατηρητής σε «άπειρη» απόσταση μετράει τη συχνότητα του φωτονίου (ακτινοβολίας) που έφτασε σε αυτόν και την βρίσκει  $f_{\infty} < f$ . Αυτό σημαίνει ότι σε «άπειρη» απόσταση η ενέργεια του φωτονίου έχει ελαττωθεί. Όταν το άστρο αρχίζει και συρρικνώνεται (δηλαδή μικραίνει η ακτίνα του  $R$ ) η συχνότητα της ακτινοβολίας που μετράει ο μακρινός παρατηρητής ελαττώνεται συνεχώς. Όταν η ακτίνα του άστρου γίνει ίση με την ακτίνα Schwarzschild  $R_{sch}$  (μελανή οπή) η συχνότητα της ακτινοβολίας που μετράει ο μακρινός παρατηρητής μηδενίζεται. Ισοδύναμα το μήκος κύματος της παρατηρούμενης ακτινοβολίας απειρίζεται (άπειρη ερυθρή μετατόπιση, infinity redshift). Πρέπει να σημειωθεί ότι το βαρυτικό πεδίο του άστρου δεν φρενάρει το φως, αλλά του αφαιρεί ενέργεια.

$$R_{sch} = \frac{2GM}{c^2}$$

$$f_{\infty} = 0$$

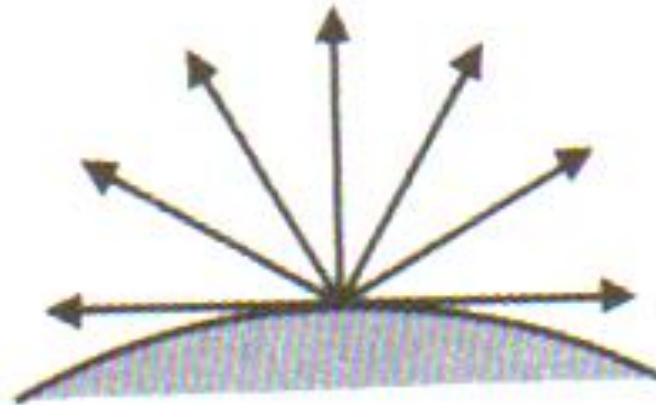
ή ισοδύναμα

$$\lambda_{\infty} = \infty$$



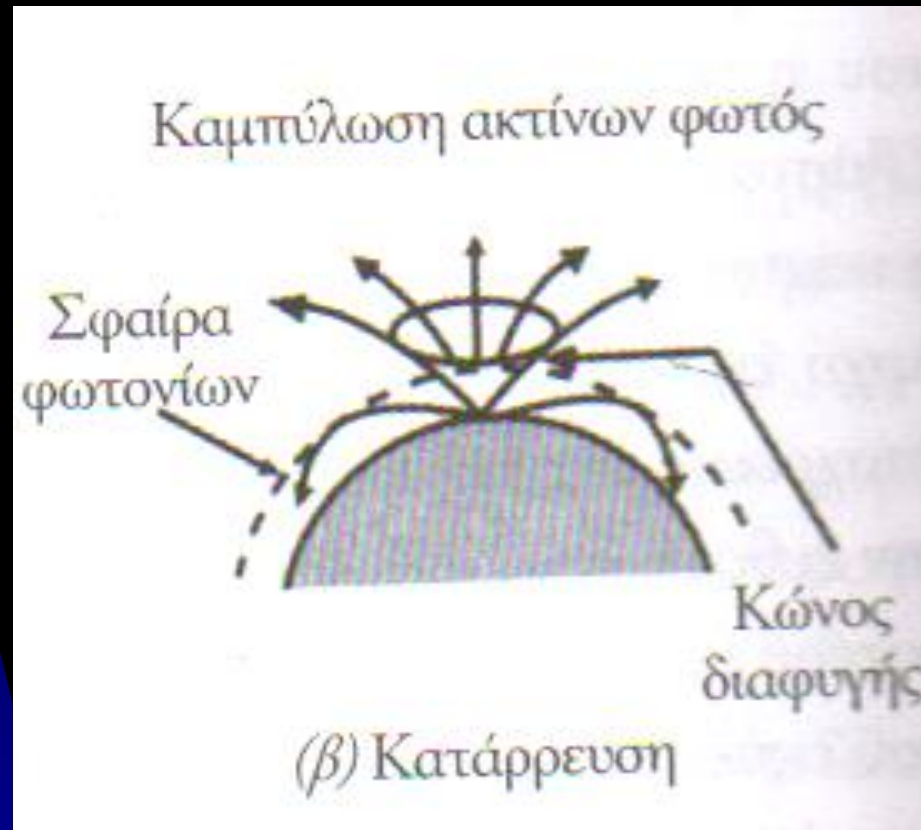
# Η «αιχμαλωσία» του φωτός σε 4 στάδια

Ακτίνες φωτός



(a) Αστέρας με πολύ μεγάλη μάζα  
πριν από την κατάρρευση

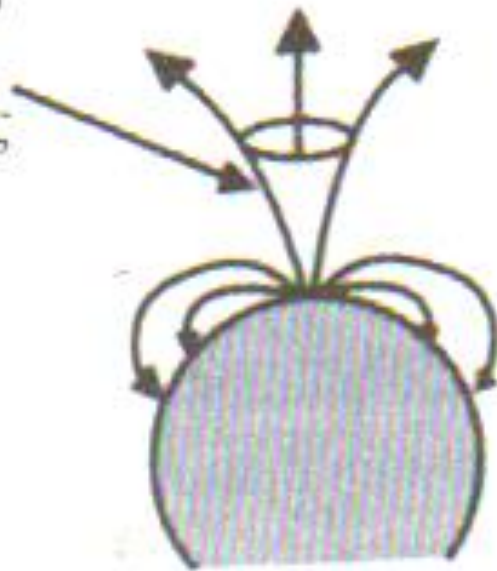
# Η «αιχμαλωσία» του φωτός σε 4 στάδια



Όταν το άστρο αρχίζει και συρρικνώνεται (δηλαδή μικραίνει η ακτίνα του  $R$ ) η **συχνότητα της ακτινοβολίας** που μετράει ένας μακρινός παρατηρητής **ελαττώνεται συνεχώς**. Οπότε στην περίπτωση αυτή **η σφαίρα φωτονίων** της φωτογραφίας αποτελείται από εκείνα τα φωτόνια **χαμηλής ενέργειας και συχνότητας** που ήδη δεν αντιλαμβάνεται ο μακρινός παρατηρητής

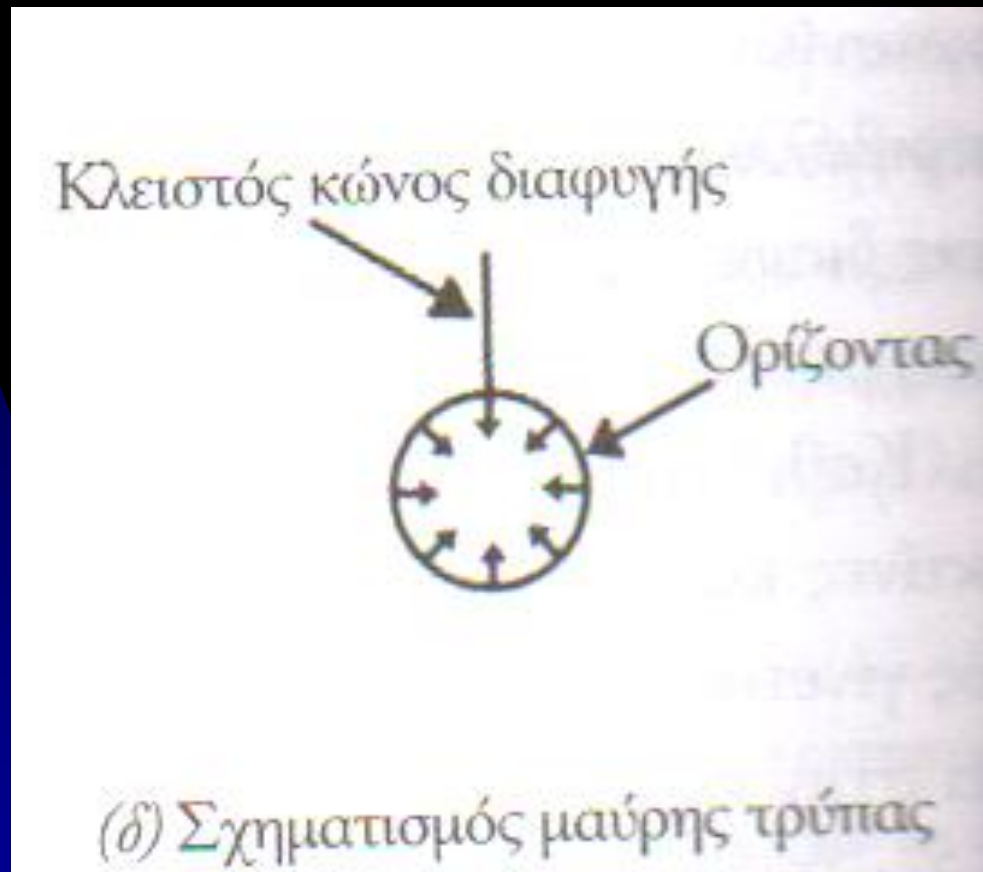
# Η «αιχμαλωσία» του φωτός σε 4 στάδια

Συστολή  
κώνου  
διαφυγής



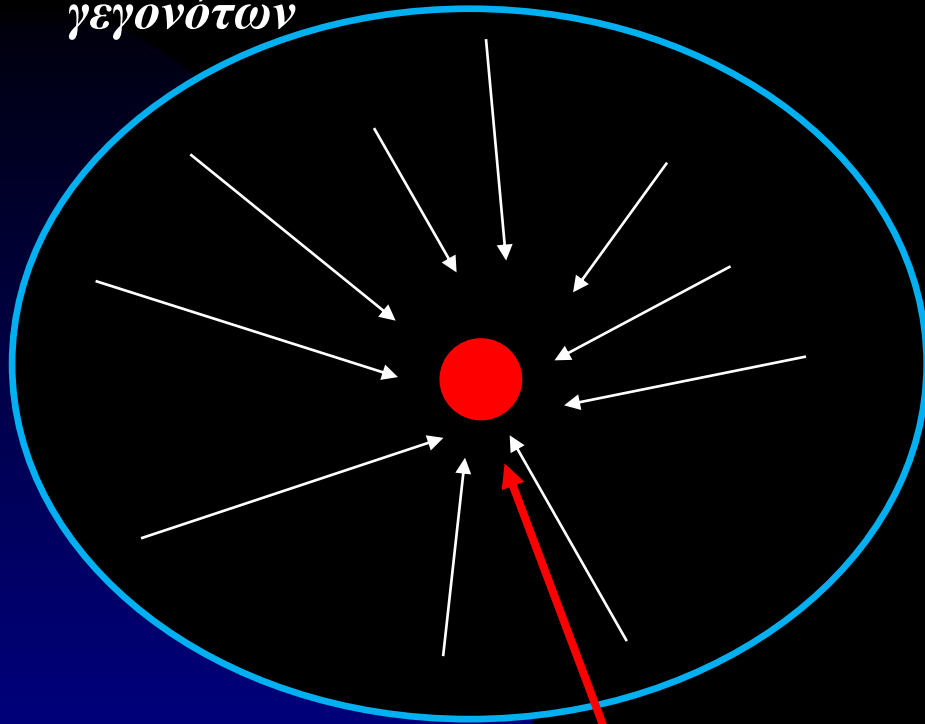
(γ) Συνέχιση της κατάρρευσης  
του αστέρα

# Η «αιχμαλωσία» του φωτός σε 4 στάδια



# Το εσωτερικό μιας μελανής οπής

Ορίζοντα  
γεγονότων

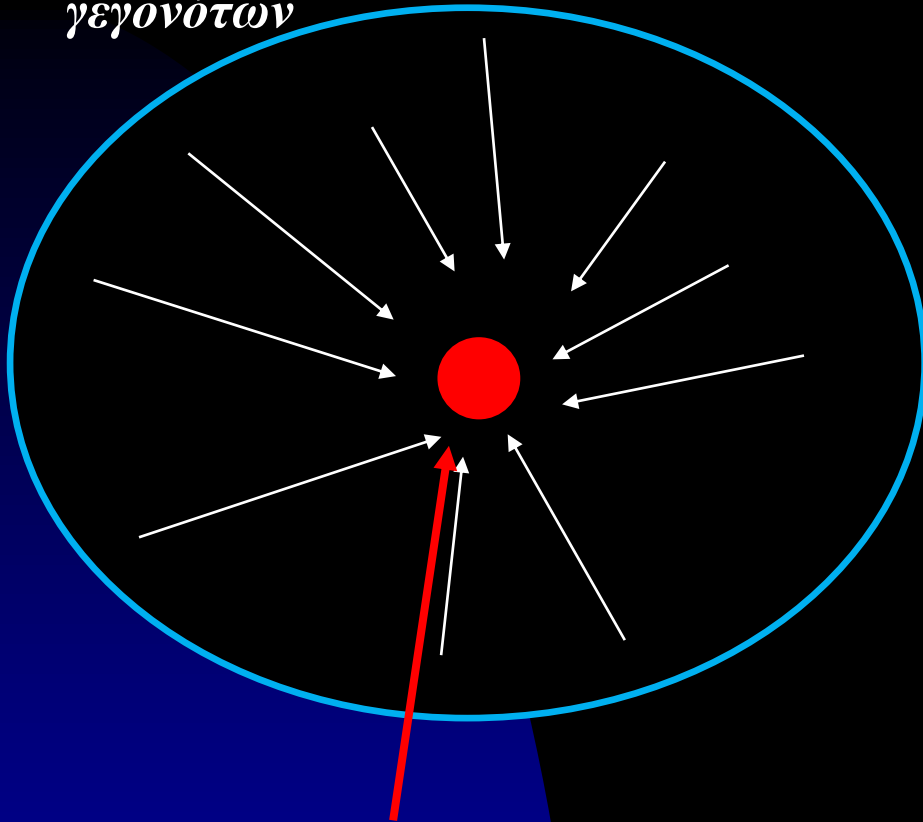


Μαθηματική  
(κεντρική)  
ιδιομορφία

Το εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας είναι **ένα κενό με μια ιδιομορφία στο κέντρο**. Θεωρητικά όλη η μάζα της μαύρης τρύπας είναι συγκεντρωμένη στο κέντρο της, σε μια μαθηματική ιδιομορφία με μηδενικό όγκο. **Η περιοχή αυτή είναι «κινούμενη» αφού η γεωμετρία της καταρρέει. Με αλλά λόγια είναι αδύνατο να μείνει άποικος ή κάτι ακίνητο στο εσωτερικό της γιατί θα πρέπει να έχει ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός.** Η απαγόρευση αυτή που επιβάλλει η θεωρία της Σχετικότητας, ισχύει τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό μιας μαύρης τρύπας. Στο εσωτερικό του ορίζοντα γεγονότων οι **μόνες επιτρεπτές τροχιές είναι εκείνες που κατευθύνονται αναπόφευκτα προς την κεντρική ιδιομορφία.**

# Το εσωτερικό μιας μελανής οπής

Ορίζοντας  
γεγονότων



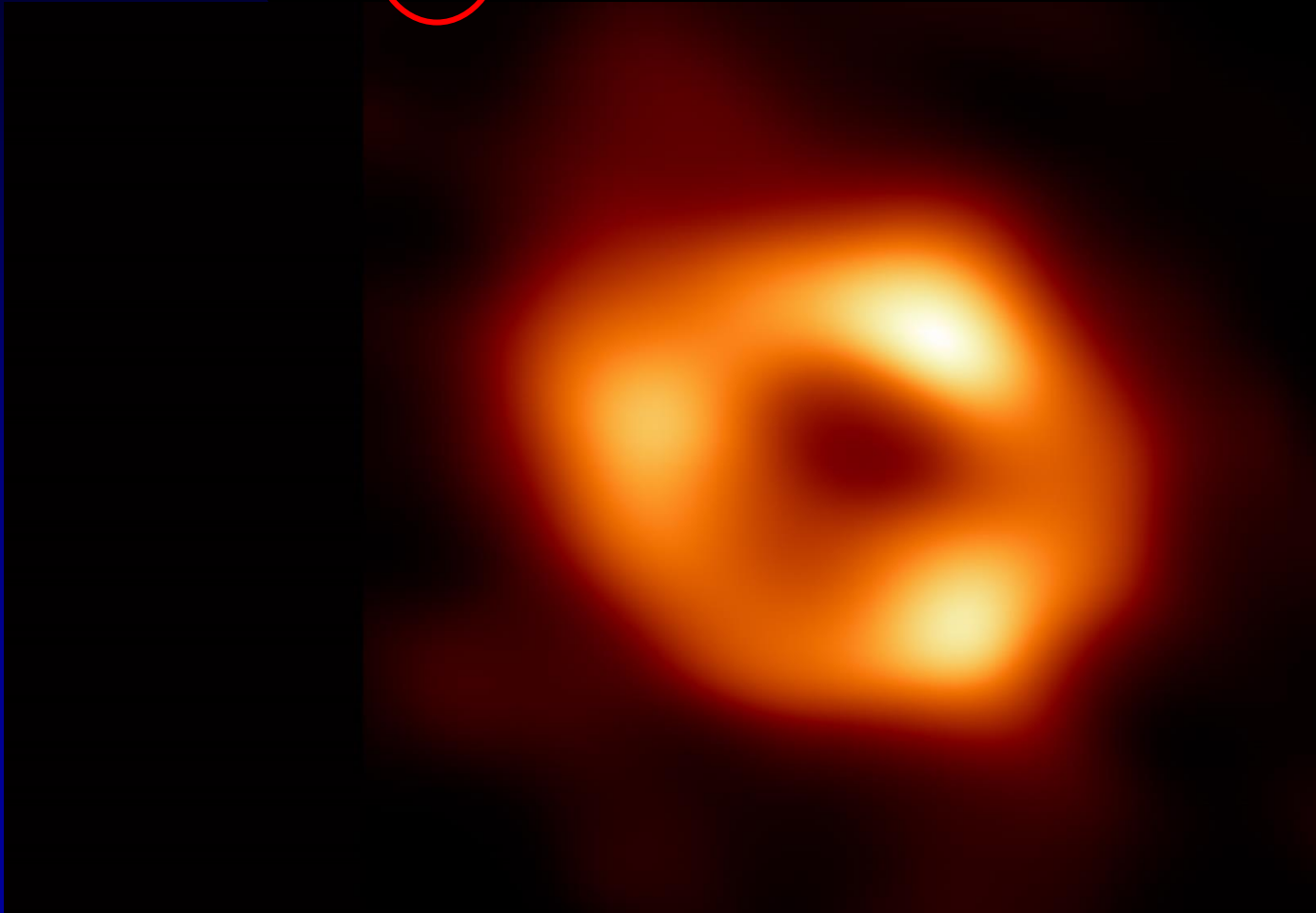
**Μαθηματική (κεντρική)  
ιδιομορφία, «φράγμα  
Planck» ( $10^{-33}$  cm,  $10^{-43}$  sec)**

Φθάνοντας στην κεντρική ιδιομορφία το ζεύγος του χωροχρόνου, έτσι όπως το γνωρίζαμε, παύει να υπάρχει. Ο χώρος γίνεται μικρότερος **από  $10^{-33}$  cm** και τα γεγονότα εξελίσσονται σε χρόνο μικρότερο **από  $10^{-43}$  sec**. Η ιδιομορφία αντιπροσωπεύει **ένα είδος «τοίχου»** στη γνώση που ονομάζεται **φράγμα Planck**. Για να προσπεράσει κανείς το φράγμα αυτό, να πρέπει να ενοποιήσει την **Γενική Σχετικότητα** που περιγράφει την βαρύτητα και την **Κβαντομηχανική** που περιγράφει τον απειροελάχιστα μικρό κόσμο (Κβαντική Βαρύτητα). Μια γνώση που βρίσκεται ακόμα στα σπάργαλα.

# Χαρακτηριστικά της Μελανής Οπής

Πυκνότητα: αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μάζας της.

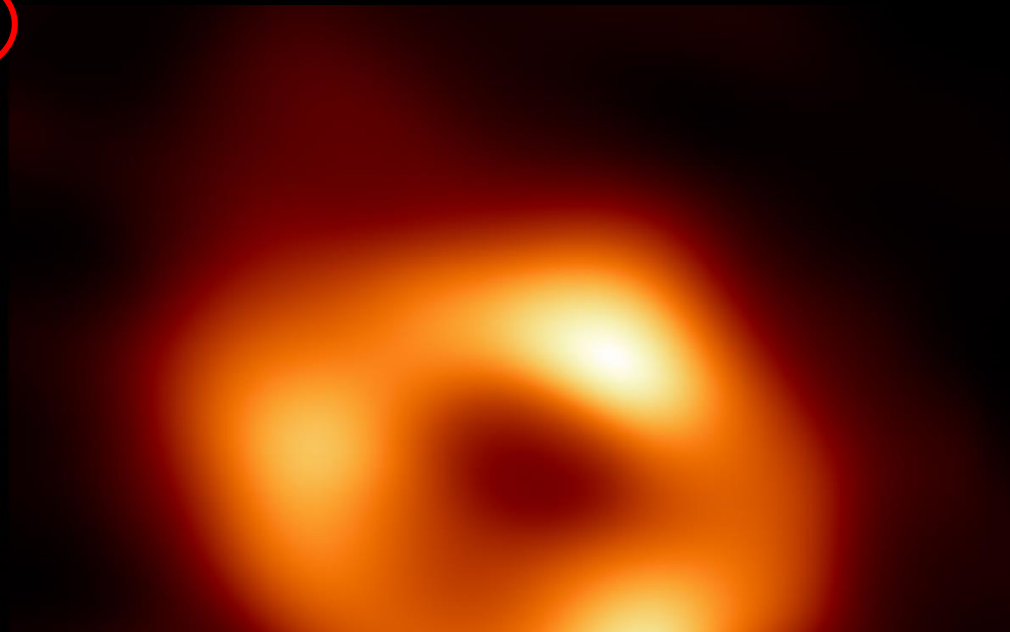
$$d = \frac{3c^6}{32\pi G^3} \cdot \frac{1}{M^2}$$



# Χαρακτηριστικά της Μελανής Οπής

Μέγεθος (ακτίνα Schwarzschild): ανάλογη της μάζας. Αυτό σημαίνει ότι υπερμαζικές μελανές οπές έχουν τεράστιο μέγεθος και μικρή πυκνότητα

$$R_{sch} = \frac{2GM}{c^2}$$



Μαύρη τρύπα 10 ηλιακών μαζών διαθέτει μια μέση «πυρηνική» πυκνότητα  $10^{14} \text{ gr/cm}^3$  ενώ μια μαύρη τρύπα ενός δισεκατομμυρίου ηλιακών μαζών έχει πυκνότητα 100 φορές μικρότερη από εκείνη του νερού



Ανάλογα με τη μάζα τους χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες

A central black hole surrounded by a glowing accretion disk and two jets of light extending outwards, set against a background of a star field.

(I) Αστρικές μαύρες τρύπες

Μάζα: 3 έως 10 ηλιακές μάζες

---

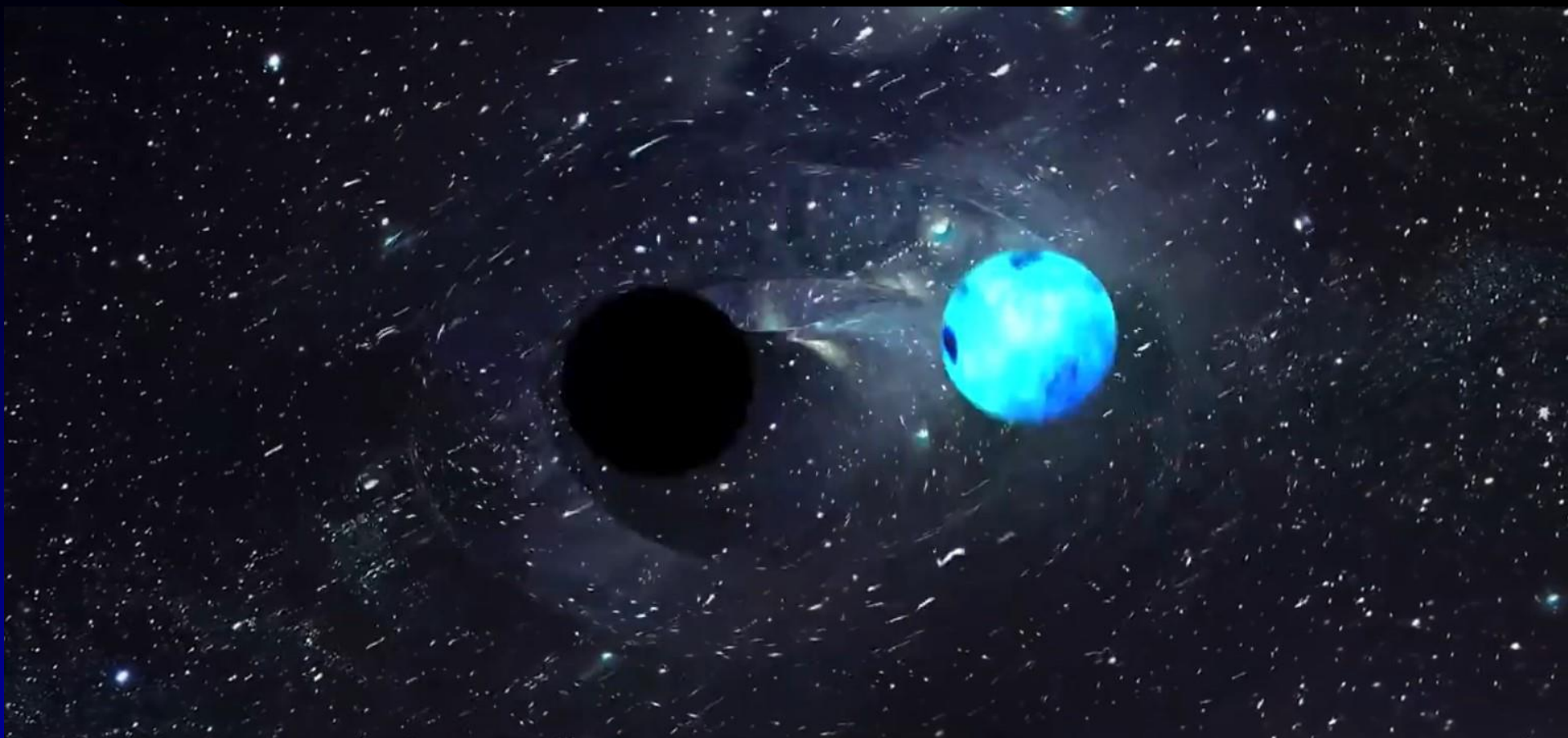
Κατάρευση ενός αστέρα. Οι πιο κοινές, αλλά αρκετά δύσκολο να ανιχνευθούν

A black hole with a glowing accretion disk and a field of stars in the background. The black hole is a dark, circular void in the center, surrounded by a bright, glowing ring of light. The background is a dark field of stars, some of which are blurred into streaks, suggesting motion or a long exposure. The overall scene is a dramatic representation of a supermassive black hole.

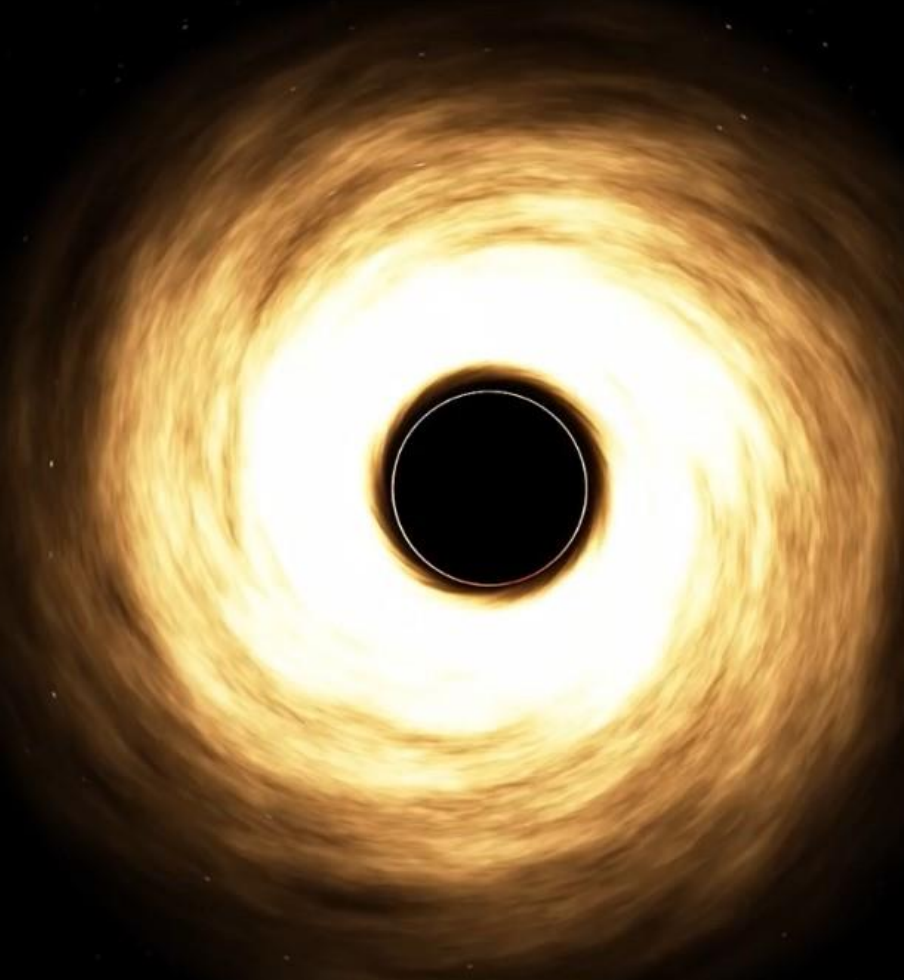
**(II) Μαύρες Τρύπες μεσαίου μεγέθους**  
**Μάζα: 100 έως 100.000 ηλιακές μάζες**



**Προέρχονται από συγχώνευση μελανών οπών**



**Συγχώνευση μύυρης τρύπας και αστέρα νετρονίων**  
(Προσομοίωση: Carl Knox, OzGrav, Swinburn Uiniversity)



*Βρίσκονται στα  
κέντρα των  
γαλαξιών και  
έχουν προκύψει  
από συσσώρευση  
τεράστιων  
ποσοτήτων ύλης*

**(III) Υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες**  
**Μάζα: άνω των 100.000 ηλιακών μαζών**

# Ανίχνευση μελανής οπής γενικά

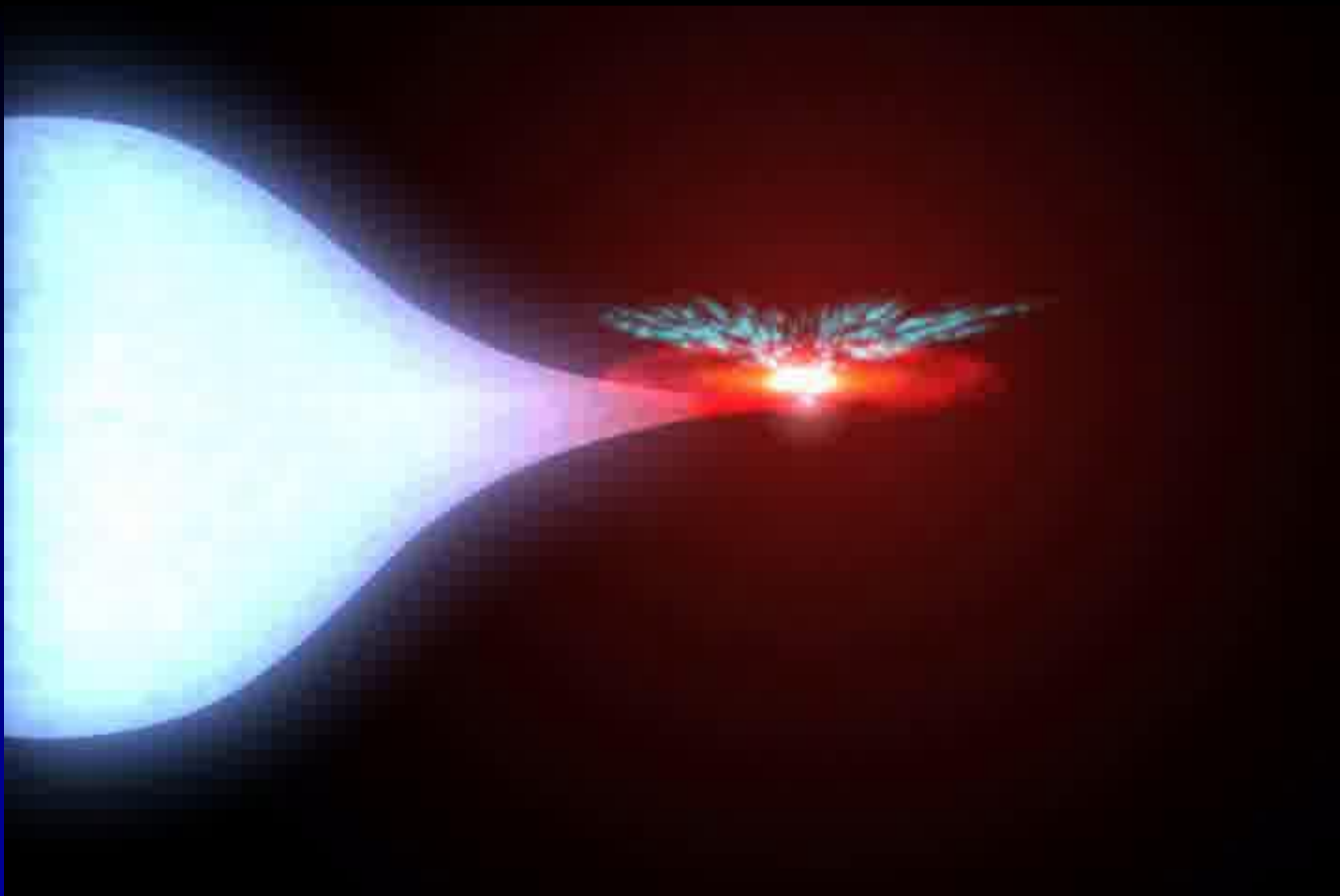
Πως όμ  
πράγμα

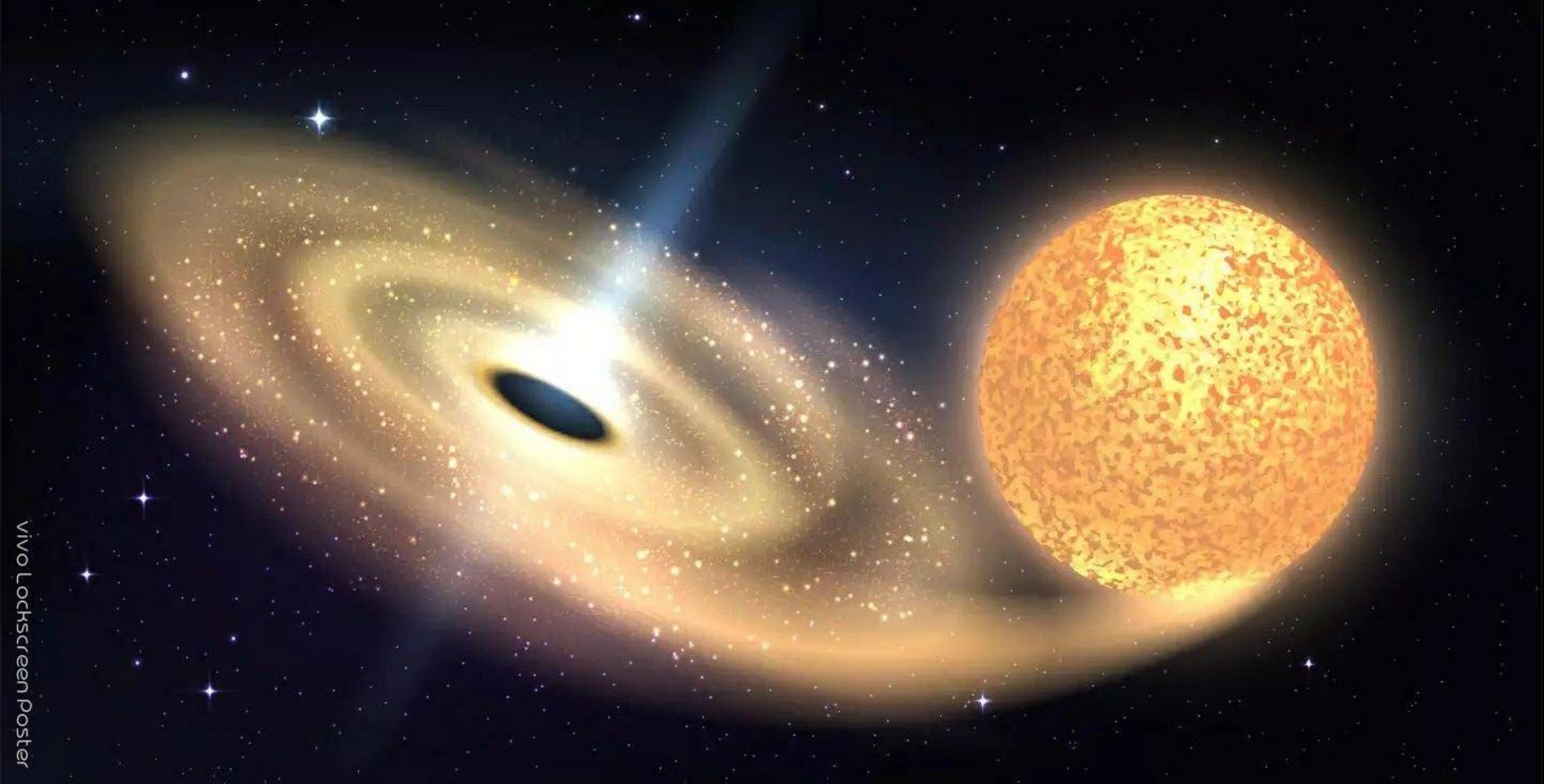


Cygnus X-1

ιρύπες

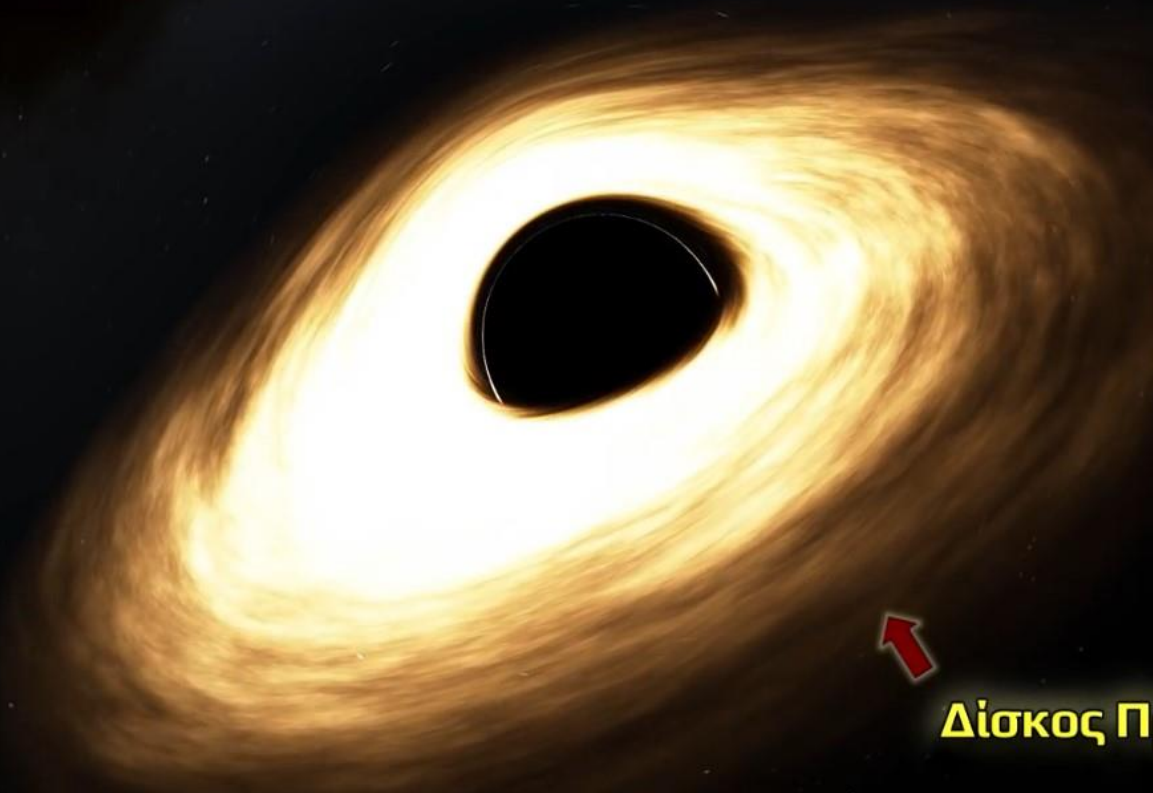
Μπλε  
υπεργίγαντας,  
8.000 ε.φ.





Vivo Lockscreen Poster





Δίσκος Προσαύξησης

*Ο δίσκος προσαύξησης αποτελείται από υλικά του γύρω χώρου που έχουν εγκλωβιστεί από το τεράστιο βαρυτικό πεδίο της*

*Η πρώτη μαύρη τρύπα που απεικονίσθηκε ποτέ άμεσα και όχι έμμεσα. Διακρίνεται ο δίσκος προσαύξησης και η κεντρική σκοτεινή σκιά της*

## **Υπερμεγέθης μαύρη τρύπα στον γαλαξία M87**

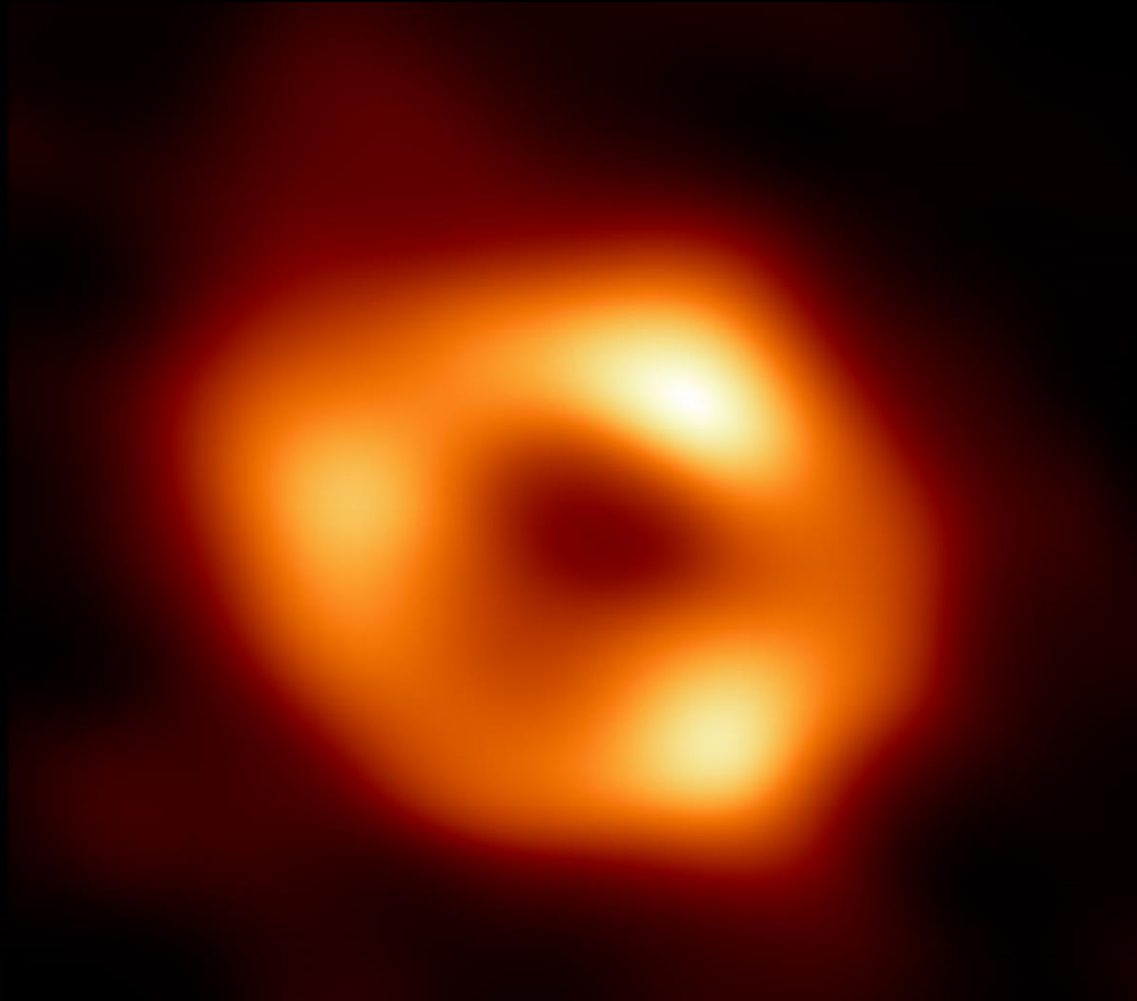
**Μάζα: 6,5 δισεκατομμύρια ηλιακές μάζες - Απόσταση: 53 εκατομμύρια έτη φωτός  
(Credit: Event Horizon Telescope, 2019)**

Δεν απεικονίζει το ορατό φως που προέρχεται από το περιβάλλον της. Αποτελεί, ουσιαστικά, ανακατασκευασμένη εικόνα από συντονισμένες παρατηρήσεις των ραδιοκυμάτων που εκπέμπει, χρησιμοποιώντας ραδιοτηλεσκόπια σε όλη σχεδόν την υφήλιο.



Μια περιοχή στο κέντρο του δικού μας γαλαξία. Οι μεταβολές στην ακτινοβολία αυτών των πηγών ακτίνων X, υποδεικνύουν ότι εκεί υπάρχουν όχι μόνο μία αλλά περισσότερες μαύρες τρύπες που αργά αλλά σταθερά καταβροχθίζουν τα γειτονικά τους άστρα, στέλνοντας κατά διαστήματα μεγάλες ποσότητες ακτίνων X. Κάθε φορά που μια μεγάλη ποσότητα ύλης πέφτει στον δίσκο που σχηματίζεται γύρω από την μαύρη τρύπα, τότε εκπέμπεται ακτινοβολία.

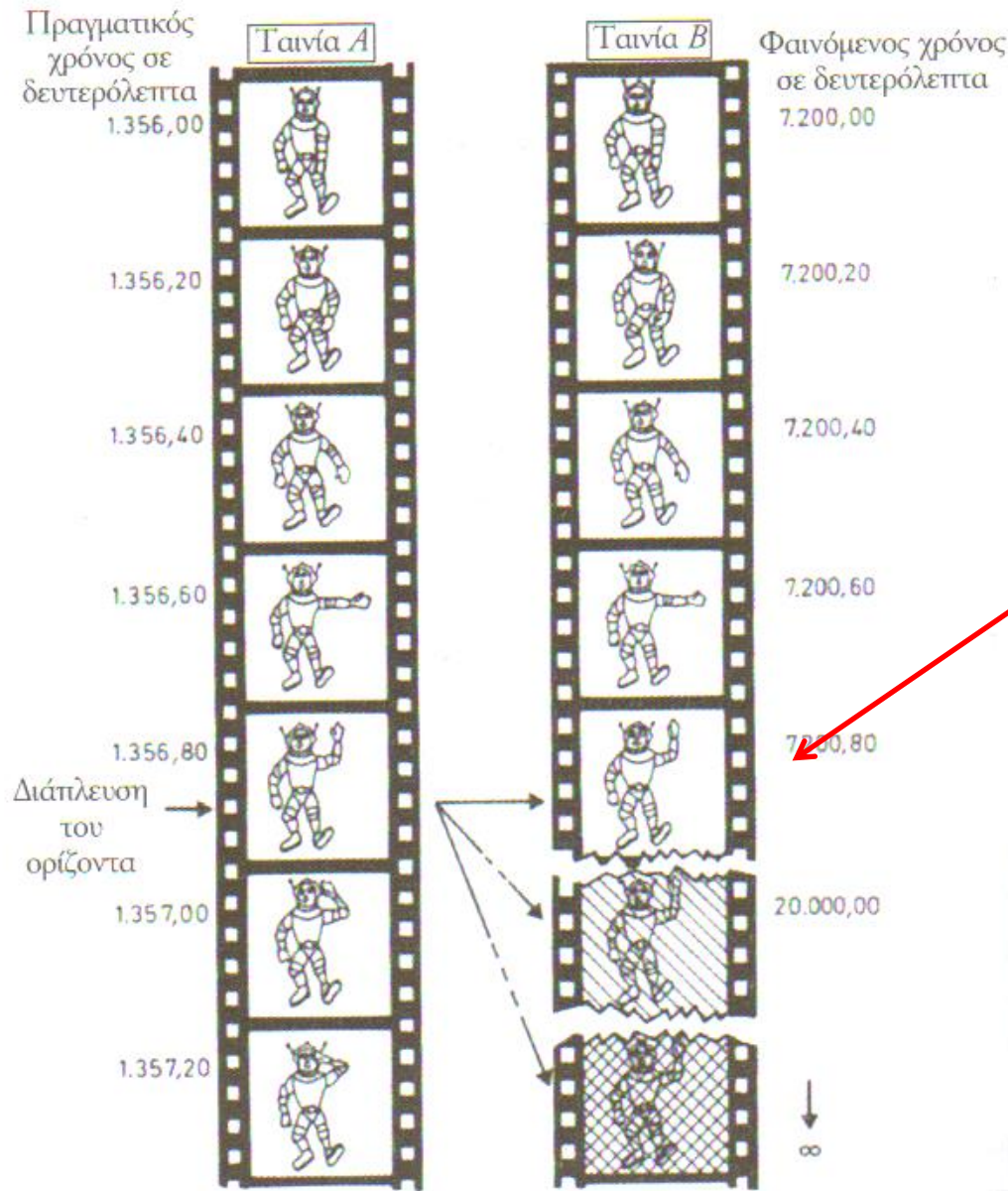
Η μελανή οπή στο κέντρο του Γαλαξία μας.  
Τοξότης α (Sagittarius a)



*5 εκατομμύρια ηλιακές μάζες, απόσταση 25.000 ε.φ.*

*12 Μαΐου 2022, Event Horizon Telescope*

# Το πάγωμα του χρόνου



Ο μακρινός παρατηρητής θεωρεί ότι ο χρόνος μέσα στο διαστημόπλοιο πάγωσε τη στιγμή της διάβασης του ορίζοντα γεγονότων, δηλ. εδώ.

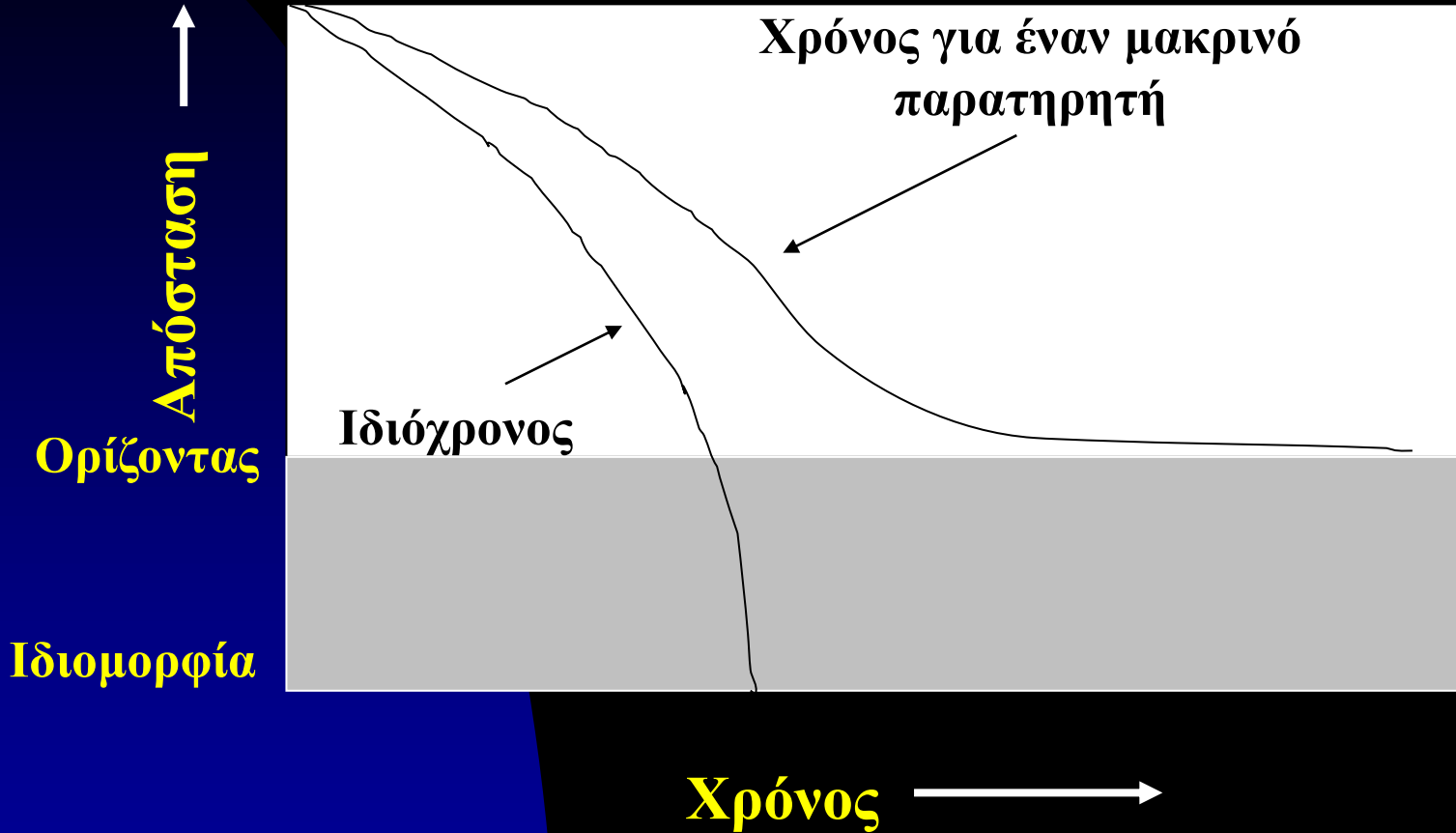
Με άλλα λόγια κάποιος μακρινός παρατηρητής θα βλέπει το διαστημόπλοιο να πλησιάζει, να πλησιάζει, να πλησιάζει συνεχώς τον ορίζοντα γεγονότων αλλά να μην τον φθάνει ποτέ .

# Το πάγωμα του χρόνου



Αν ένα διαστημόπλοιο πλησιάσει μια μαύρη τρύπα, για έναν μακρινό παρατηρητή θα φαίνεται ότι **εκτελεί μια συνεχώς επιβραδυνόμενη κίνηση, μέχρις ότου σταματήσει εντελώς στον ορίζοντα γεγονότων.** Ο μακρινός παρατηρητής θα βλέπει για πάντα το διαστημόπλοιο **ακίνητο στον ορίζοντα γεγονότων, αλλά ποτέ δεν θα το δει να χάνεται στην δίνη της μαύρης τρύπας.**

# Το πάγωμα του χρόνου



## Το πάγωμα του χρόνου

Δύο παρατηρητές βρίσκονται μακριά (σε «άπειρη» απόσταση) από μια μελανή οπή μάζας  $M$  και συγχρονίζουν τα ρολόγια τους. Ο ένας από αυτούς ξεκινάει ένα ταξίδι προς την μελανή οπή και ο άλλος παραμένει μακριά.

$\Delta t_\infty$  το χρονικό διάστημα που καταγράφεται από τον μακρινό παρατηρητή

Το ίδιο χρονικό διάστημα ο παρατηρητής που βρίσκεται σε απόσταση  $r$  από την μελανή οπή το μετρά και το βρίσκει  $\Delta t_0$

$$\Delta t_0 = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{1/2} \Delta t_\infty$$



# Το πάγωμα του χρόνου

$$\Delta t_0 = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{1/2} \Delta t_\infty \quad \Delta t_\infty = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1/2} \Delta t_0$$

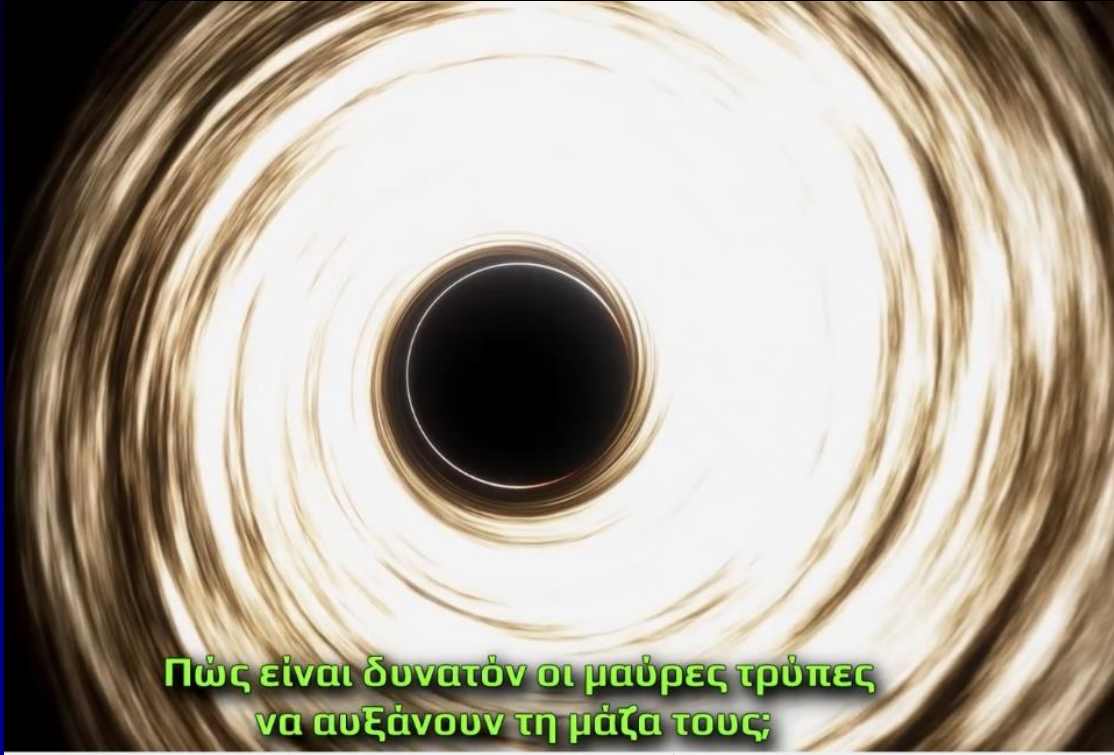
- Για «άπειρη» απόσταση από τη μελανή οπή ( $r \rightarrow \infty$ ) τα παραπάνω χρονικά διαστήματα συμπίπτουν.
- Για  $r = \frac{2GM}{c^2} = R_{sch}$  έχουμε  $\Delta t_\infty = \infty$  που σημαίνει ότι ο μακρινός παρατηρητής θεωρεί ότι ο χρόνος για τον παρατηρητή, που κινείται προς την μελανή οπή, **«πάγωσε»** στον ορίζοντα γεγονότων.
- Για  $r = \frac{2GM}{c^2} = R_{sch}$  έχουμε  $\Delta t_0 = 0$  που σημαίνει ότι αν ο παρατηρητής που κινείται προς τη μελανή οπή μπορούσε να παραμείνει στον ορίζοντα γεγονότων θα έβλεπε χρόνο μικρότερο από ένα μικροδευτερόλεπτο με το ρολόι του να περνά μπροστά από τα μάτια του **όλη η ...αιωνιότητα.**

# Αν το διαστημόπλοιο μπορούσε να παραμείνει στον ορίζοντα γεγονότων...



Αν το διαστημόπλοιο μπορούσε να παραμείνει στον ορίζοντα γεγονότων ο κυβερνήτης του θα έβλεπε μέσα σε ένα μικροδευτερόλεπτο, με το ρολόι του, τον Ήλιο να γίνεται κόκκινος γίγαντας, τον Ερμή και την Αφροδίτη να εξαϋλώνονται, την εξάτμιση των ωκεανών της Γης, τον Ήλιο να γίνεται λευκός νάνος και στη συνέχεια μαύρος νάνος, να σβήνουν όλοι οι αστέρες το Σύμπαντος, οι γαλαξίες να χάνουν την λαμπρότητά τους και να γεμίζουν αστρικά πτώματα (λευκούς-μαύρους νάνους, αστέρες νετρονίων, μελανές οπές), ένα Σύμπαν που θα παγώνει όλο και περισσότερο.

# Τίθεται το εξής ερώτημα:



Αν η ροή του χρόνου επιβραδύνεται και τελικά σταματάει για εμάς όταν ένα αντικείμενο φθάνει στο σύνορο μιας μαύρης τρύπας, **τότε πως είναι δυνατόν για εμάς τους μακρινούς παρατηρητές οι μαύρες τρύπες να αυξάνουν τη μάζα τους.** Θα περίμενε κανείς ότι κάθε αντικείμενο που θα έφθανε στον ορίζοντα γεγονότων θα έπρεπε να μένει για πάντα εκεί.



Έτσι το  
διαστημόπλοιό μας θα  
**έπρεπε να μείνει**  
**ακίνητοποιημένο**  
χωρίς να καταφέρει  
να περάσει ποτέ στο  
εσωτερικό μιας  
μαύρης τρύπας.



Με άλλα λόγια θα έπρεπε οι μύριες τρύπες να είναι **περικυκλωμένες από εκατομμύρια αντικείμενα κολλημένα στην περιφέρειά τους για πάντα**. Όμως ξέρουμε πολύ καλά ότι υπάρχουν μύριες τρύπες **διαφορετικών μαζών που τρέφονται από τα υλικά** που υπάρχουν γύρω τους. Πως μπορούμε να ξεπεράσουμε αυτό το παράδοξο.



30 km

5 ηλιακές μάζες

Ας φανταστούμε μια μαύρη τρύπα **5 ηλιακών μαζών**. Η διάμετρος αυτής **υπολογίζεται στα 30 χλμ.**



## Διάλυση αστέρα υπό την παρουσία μαύρης τρύπας (Προσομοίωση: DESY, Science Communication Lab)

Έστω ότι συναντά **στο δρόμο της τον Ήλιο μας**. Το βαρυτικό της πεδίο **θα διαλύσει τον ήλιο** και τα υλικά του θα μοιραστούν γύρω από τη μαύρη τρύπα πλησιάζοντας τον ορίζοντα γεγονότων.



**Διάλυση αστέρα υπό την παρουσία μαύρης τρύπας**  
(Προσομοίωση: DESY, Science Communication Lab)

Για τον απομακρυσμένο παρατηρητή όταν αυτά **φθάσουν στον ορίζοντα γεγονότων θα παραμείνουν ακίνητα.**





**5+1**  
**ηλιακές μάζες**

Αλλά το νέο σώμα που θα προκύψει έχει πλέον μάζα  **$5+1 = 6$  ηλιακές μάζες.**



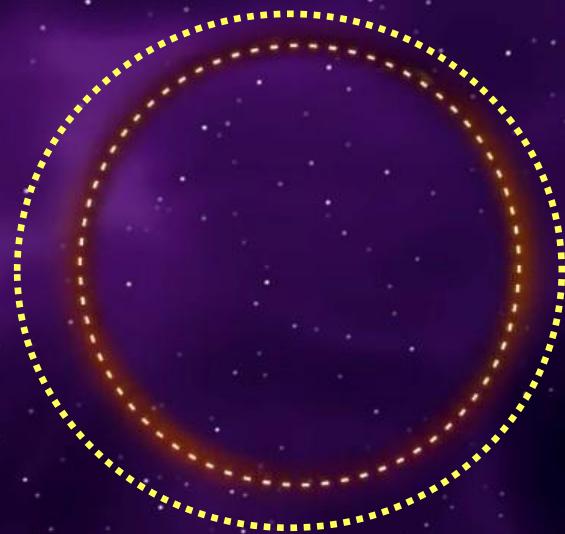
30 km

5 ηλιακές μάζες

35 km

6 ηλιακές μάζες

Μια μαύρη τρύπα **6 ηλιακών μαζών έχει διάμετρο 35 χλμ και όχι 30.**  
Αυτό σημαίνει ότι τα υλικά του ηλίου βρίσκονται μέσα σε μια **μεγαλύτερη μαύρη τρύπα.**



Έτσι ο ορίζοντας γεγονότων *κινήθηκε προς τα έξω και πλέον περικλείει και τα υλικά του Ήλιου.*



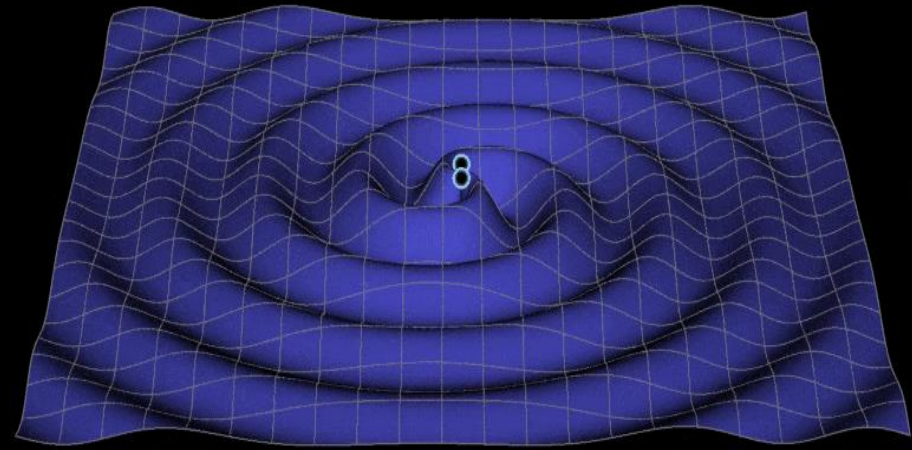
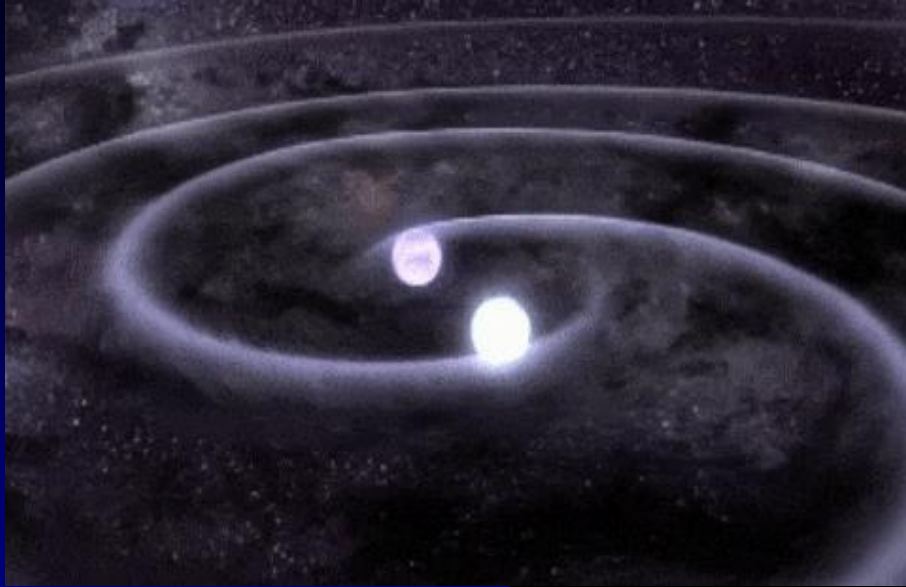
**Οι μάζες των αντικειμένων που πλησιάζουν  
σε μια μαύρη τρύπα συνεισφέρουν στο βαρυτικό της πεδίο**

Στο παράδειγμα λοιπόν που το διαστημόπλοιο πλησιάζει μια μαύρη τρύπα, *δεν είναι το διαστημόπλοιο που διαβαίνει τον ορίζοντα γεγονότων αλλά ο ορίζοντας γεγονότων μεγαλώνει και καταβροχθίζει το διαστημόπλοιο*. Συνεπώς οι μάζες των αντικειμένων που πλησιάζουν μια μαύρη τρύπα *συνεισφέρουν στο βαρυτικό τους πεδίο κάνοντας τα σύνορά της να κινηθούν προς τα έξω*.



Έτσι τα *σώματα δεν διαβαίνουν τον ορίζοντα γεγονότων αλλά εγκλωβίζονται στο εσωτερικό του νέου ορίζοντα γεγονότων που δημιουργείται λόγω της παρουσίας τους.* Με αυτόν τον τρόπο οι μαύρες τρύπες μπορούν να αυξάνουν τις μάζες τους και να έχουν τελικά *αυτήν την τεράστια γκάμα μεγεθών που παρατηρούμε στο Σύμπαν.*

# Αλληλοπεριστρεφόμενες μελανές οπές: καλές γεννήτριες βαρυτικών κυμάτων



*11 Φεβρουαρίου 2016*

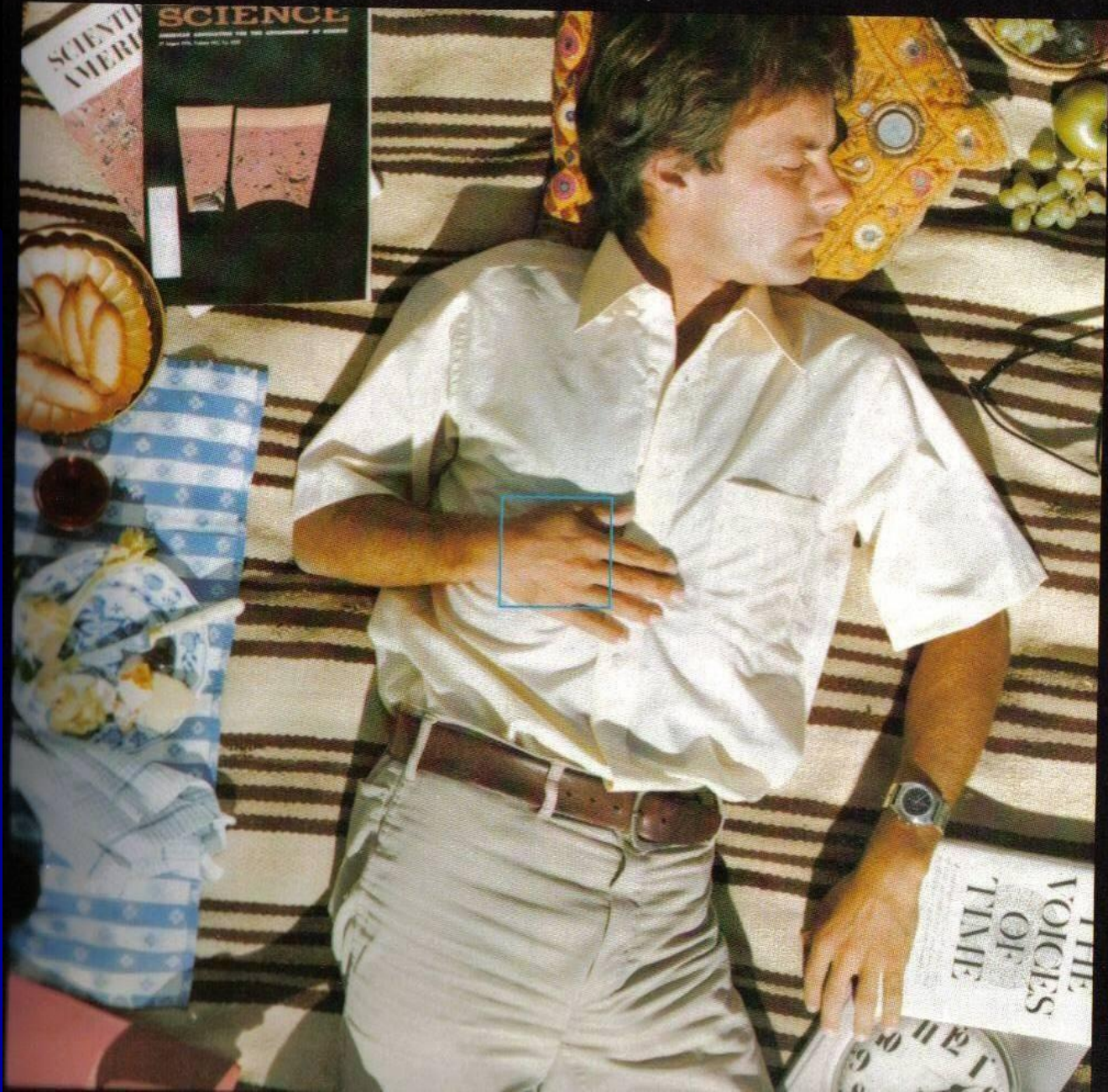
Το *Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των ΗΠΑ*, τα *Πανεπιστήμια Caltech, MIT* και η *ερευνητική κοινοπραξία LIGO* ανακοίνωσαν την ανακάλυψη *βαρυτικών κυμάτων*, τα οποία δημιουργήθηκαν από την σύγκρουση *δύο μελανών οπών*, περίπου *1 δισ. έτη φωτός μακριά.*

# Μια συμπαντική περιπλάνηση



10<sup>0</sup> Meter

1 Meter

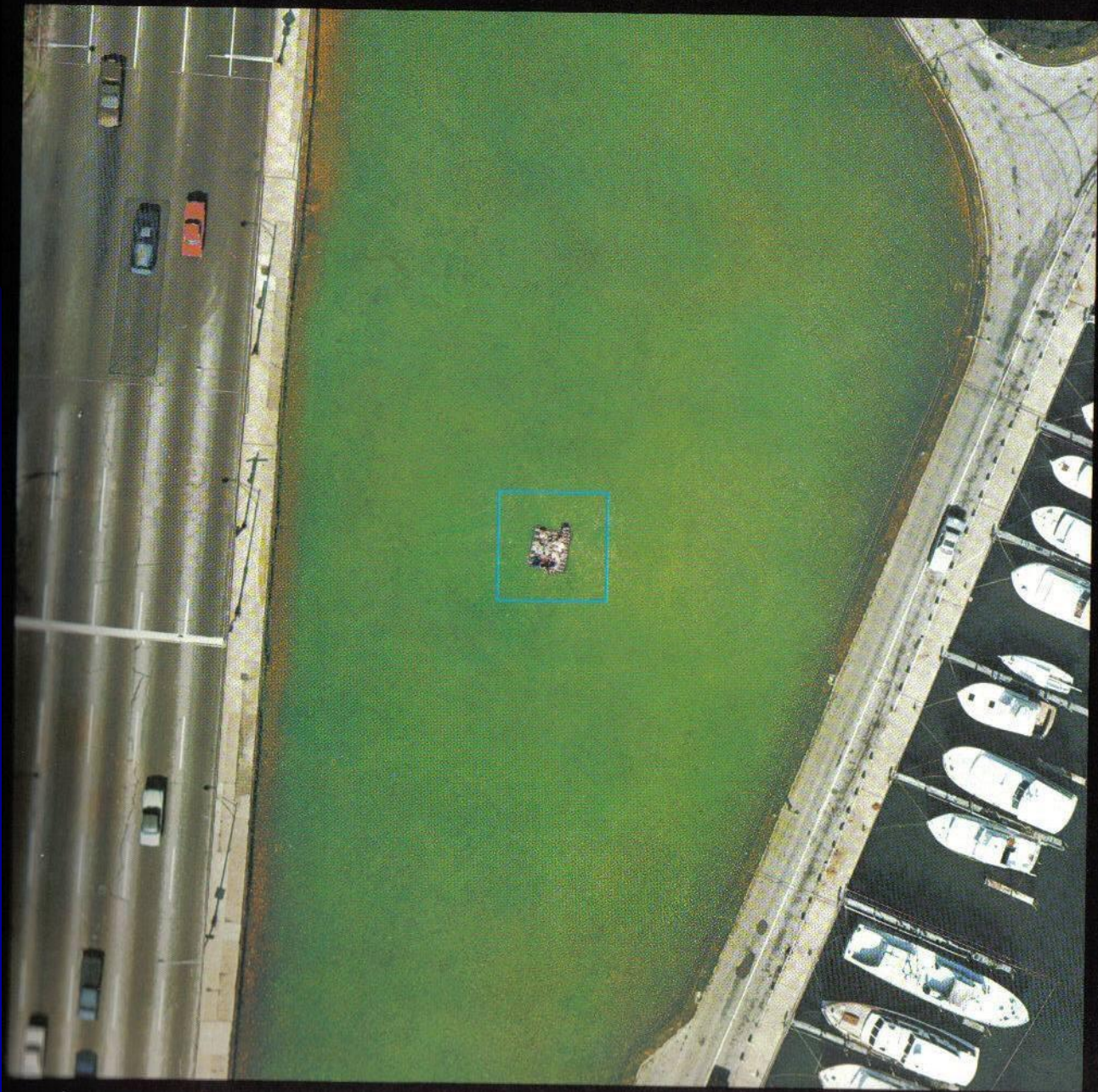






10<sup>2</sup> Meter

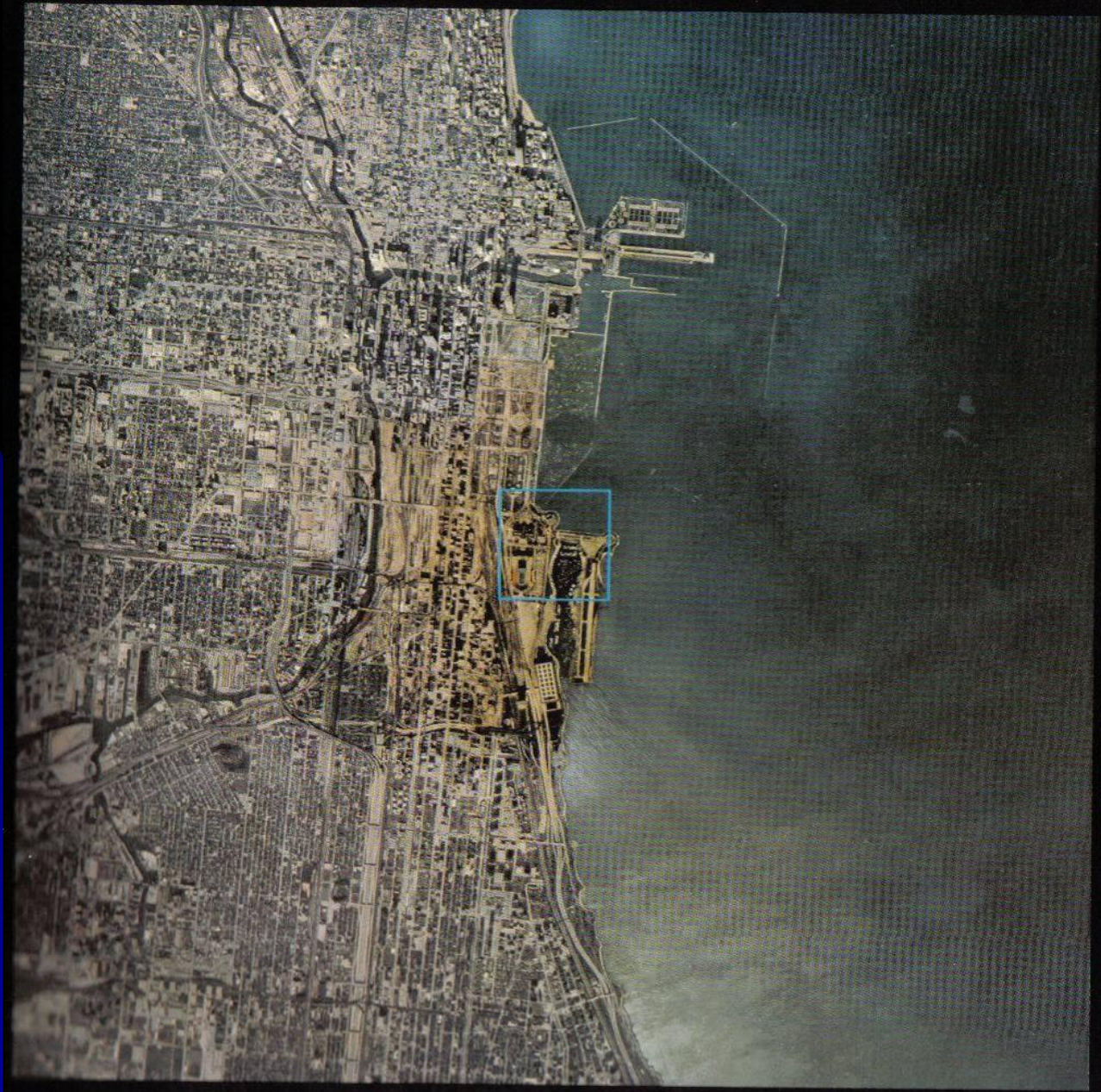
100 Meter



1 Kilometer 1000 Meter



10 Kilometer



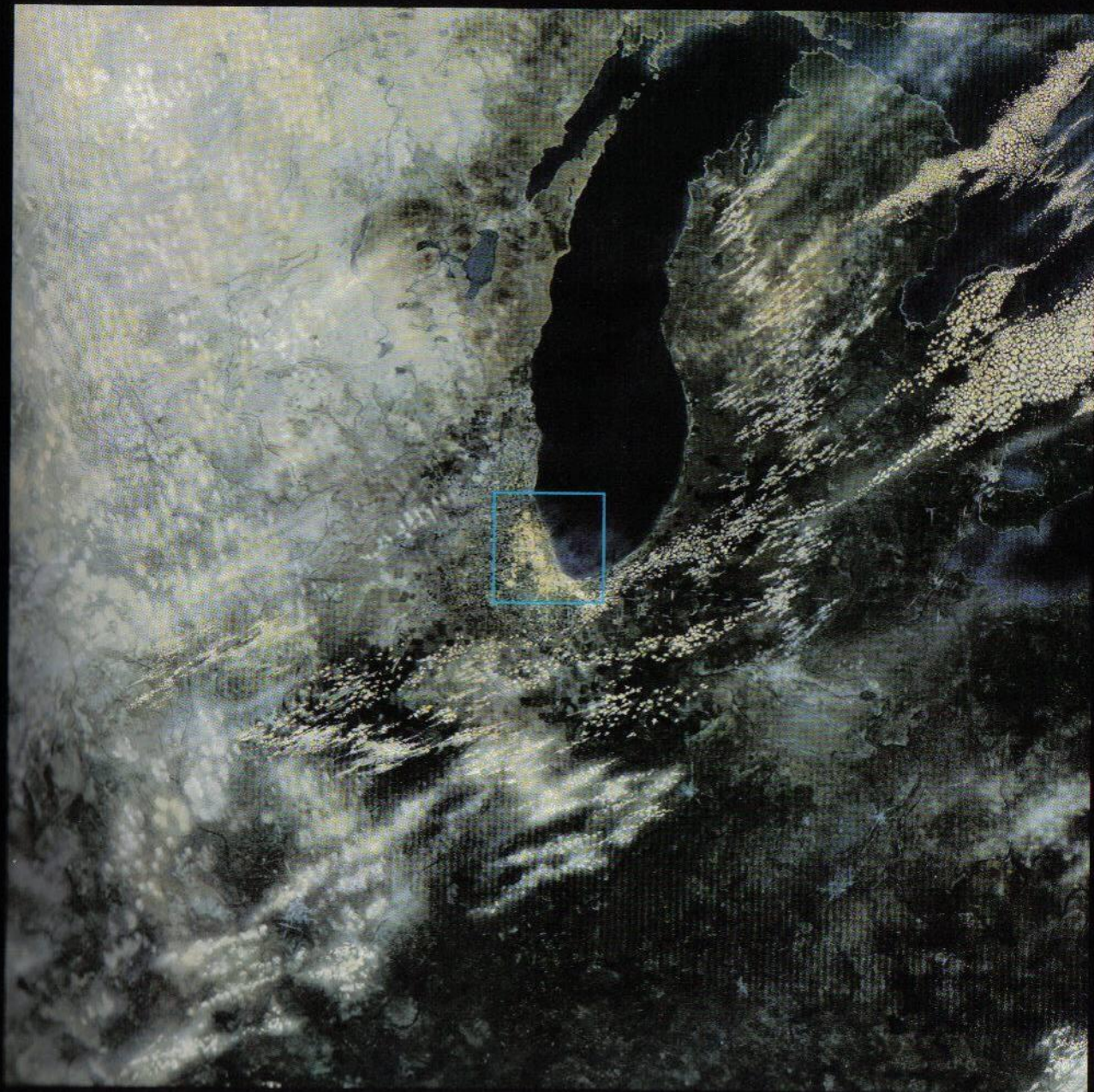
10<sup>5</sup> Meter

100 Kilometer



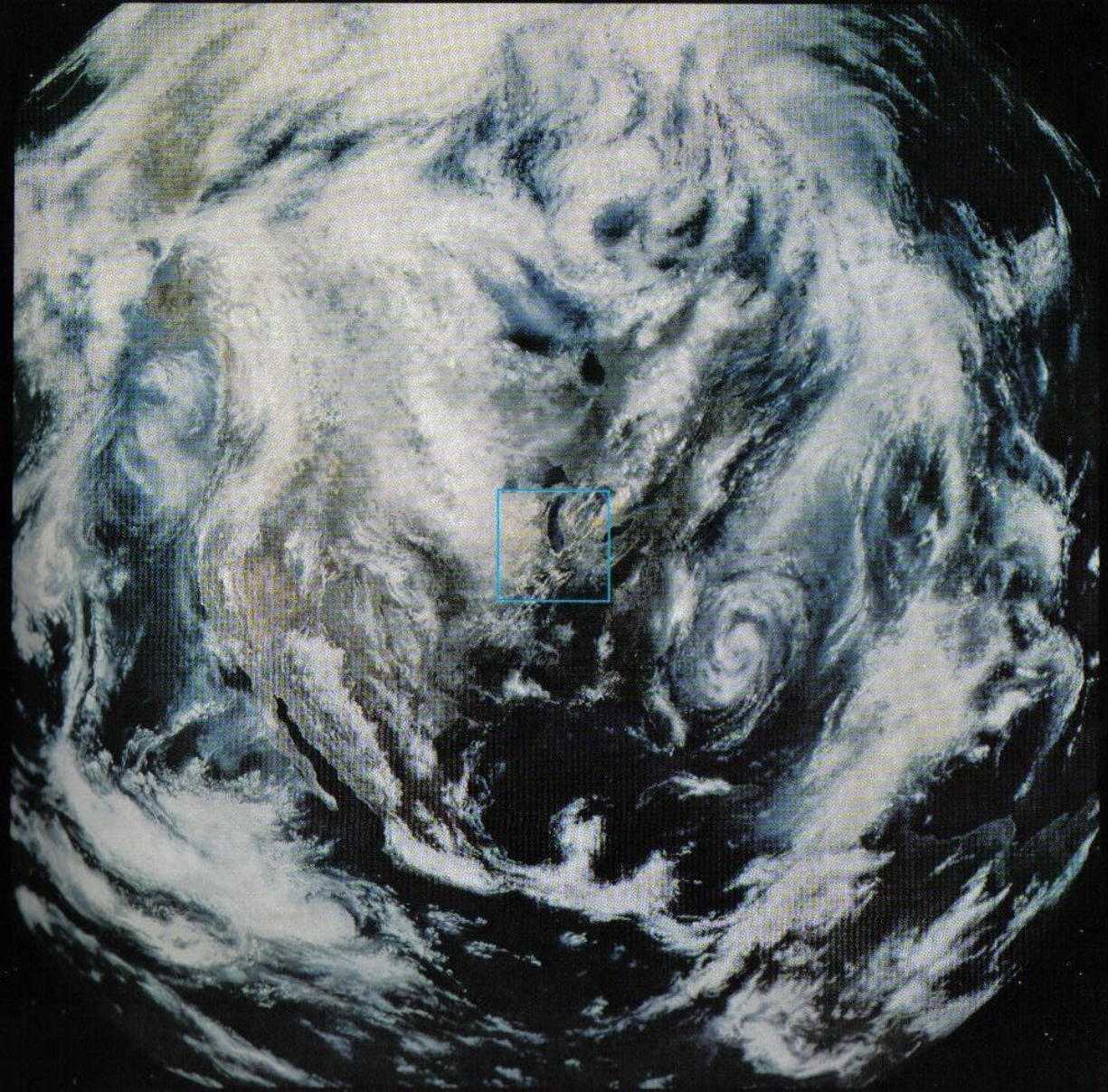
10<sup>6</sup> Meter

1000 Kilometer 1 Million Meter



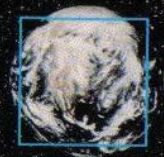
$10^7$  Meter

10 000 Kilometer



$10^8$  Meter

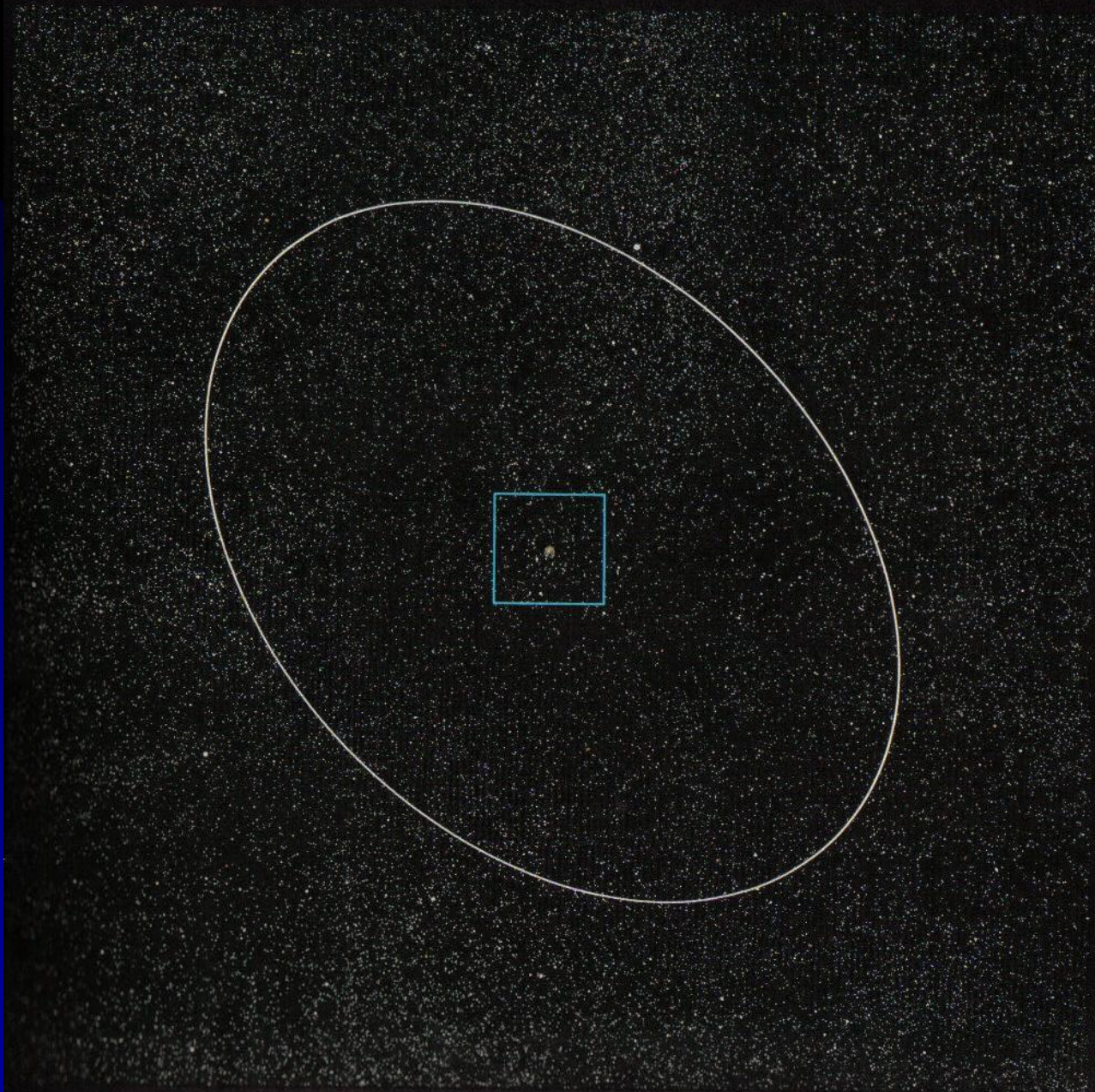
100 000 Kilometer





10<sup>9</sup> Meter

1 Million Kilometer



$10^{10}$  Meter

10 Millionen Kilometer



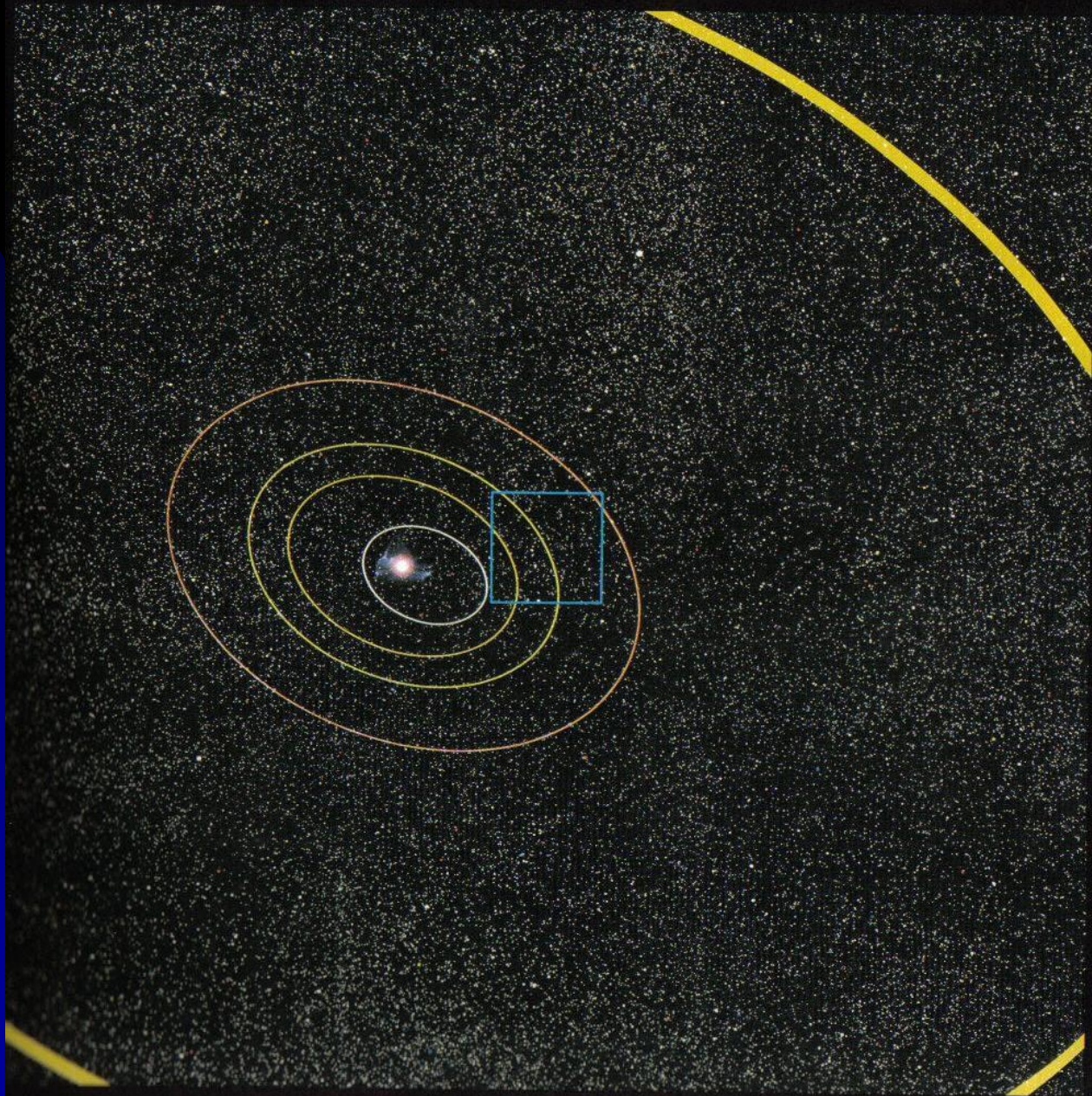
$10^{11}$  Meter

100 Millionen Kilometer



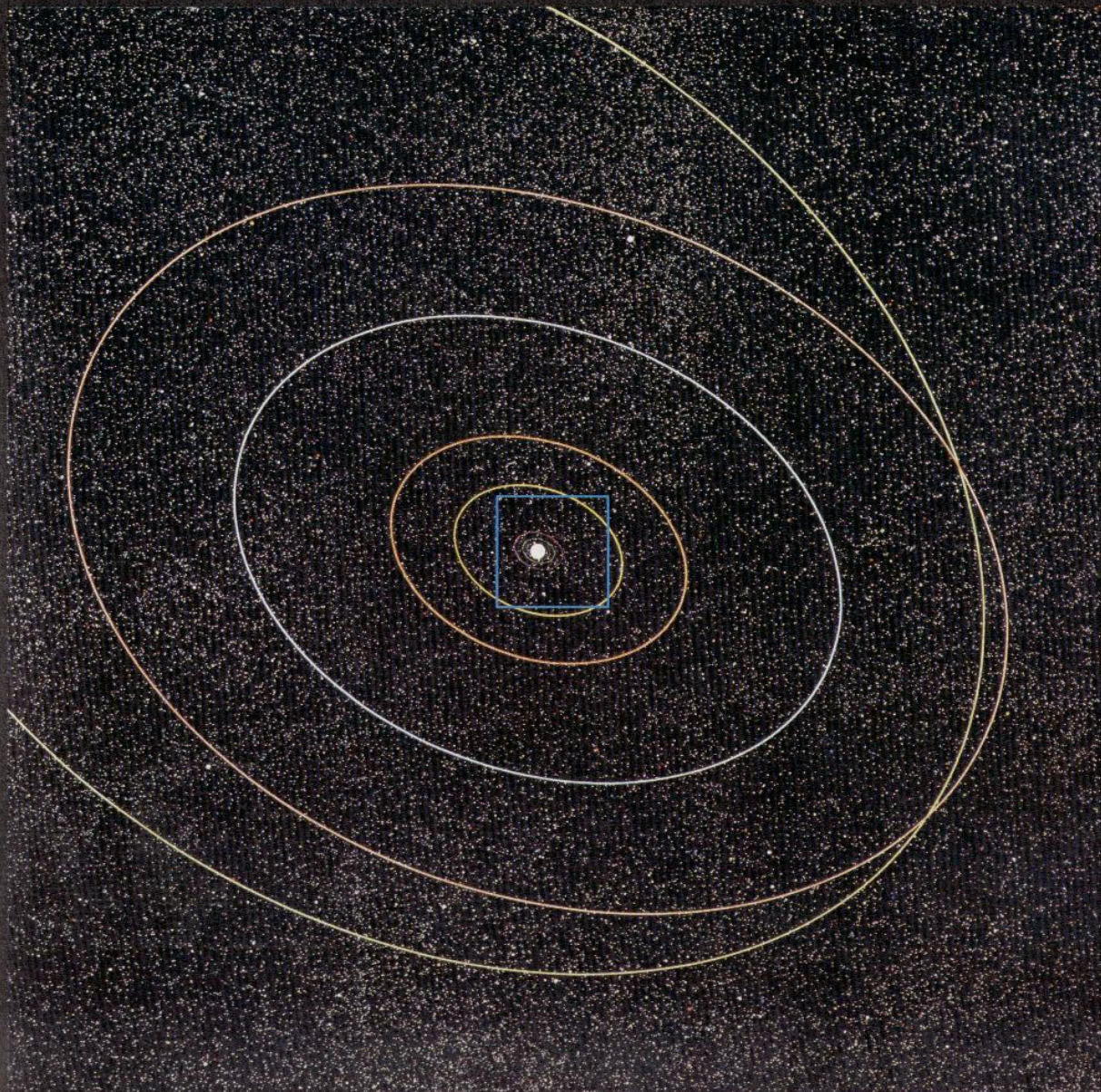
$10^{12}$  Meter

1 Milliarde Kilometer  $\sim 7$  Astronomische Einheiten



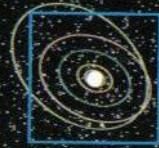
$10^{13}$  Meter

10 Milliarden Kilometer



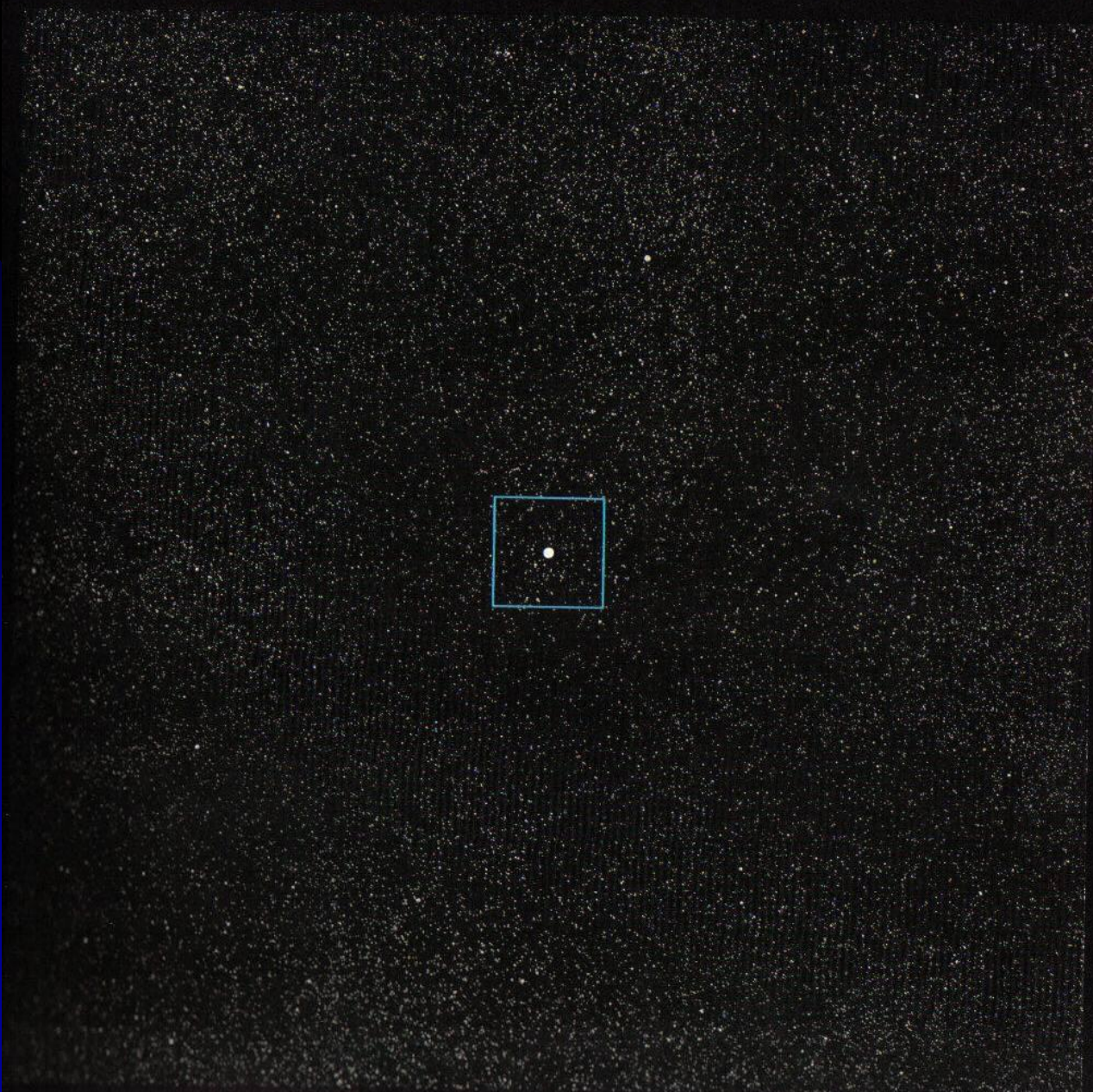
$10^{14}$  Meter

100 Milliarden Kilometer



$10^{15}$  Meter

1 Billion Kilometer



$10^{16}$  Meter

~1 Lichtjahr 10 Billionen Kilometer





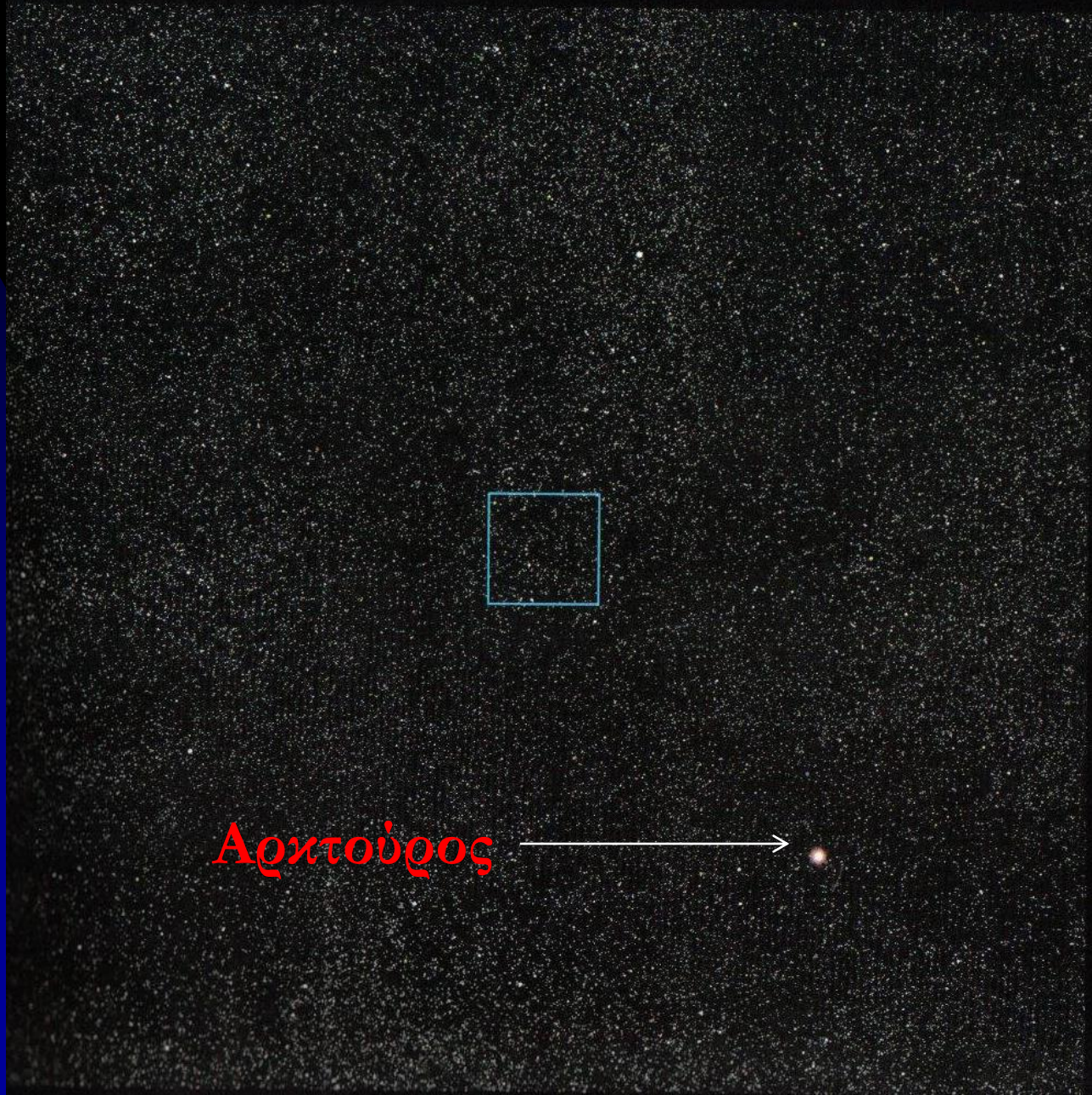
$10^{17}$  Meter

~10 Lichtjahre ~3 Parsek



$10^{18}$  Meter

~100 Lichtjahre



Αριτούρος



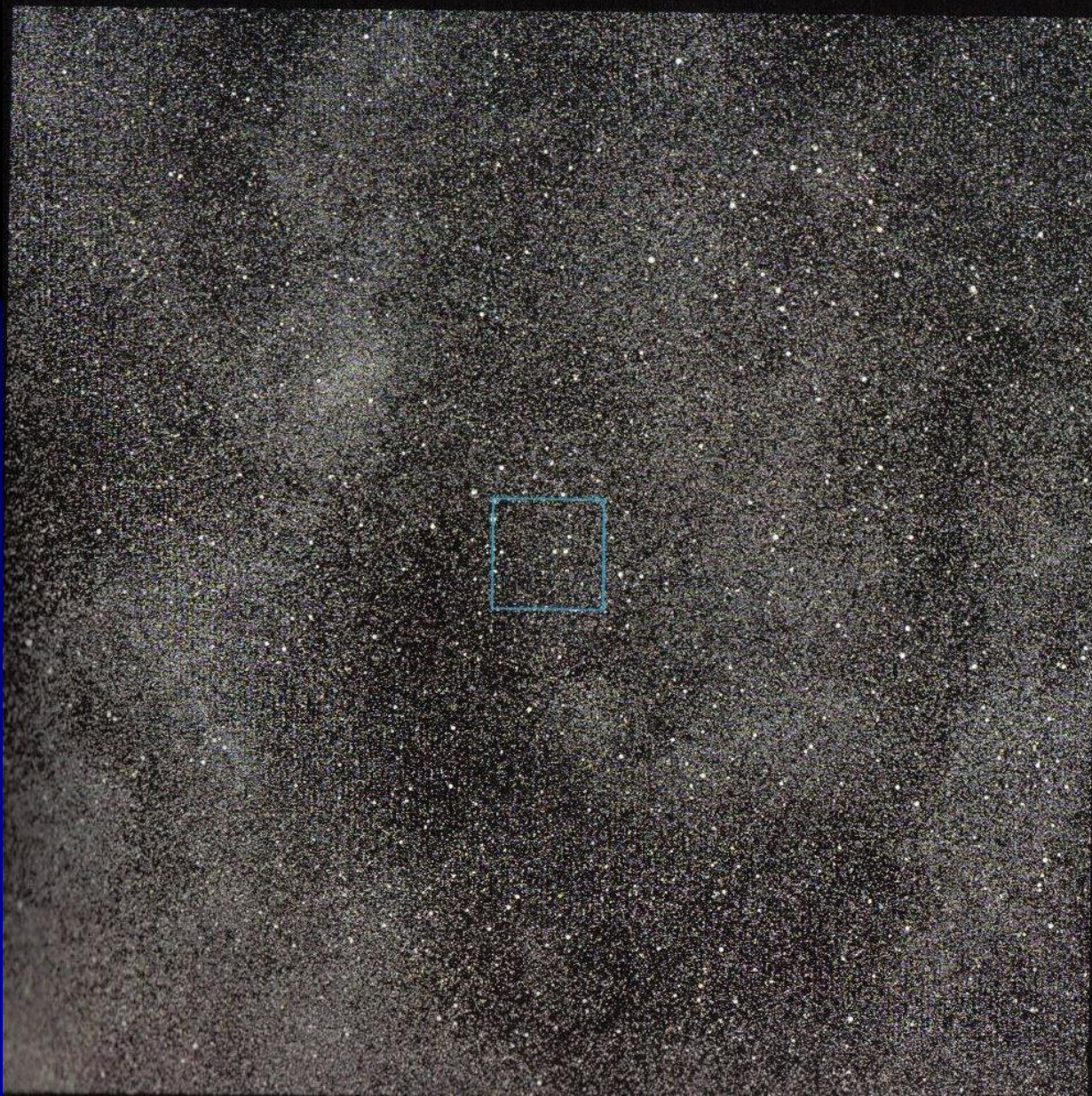
**Arcturus**

**Diameter: 36,000,000 Km**

**Temperature: 4290 K**

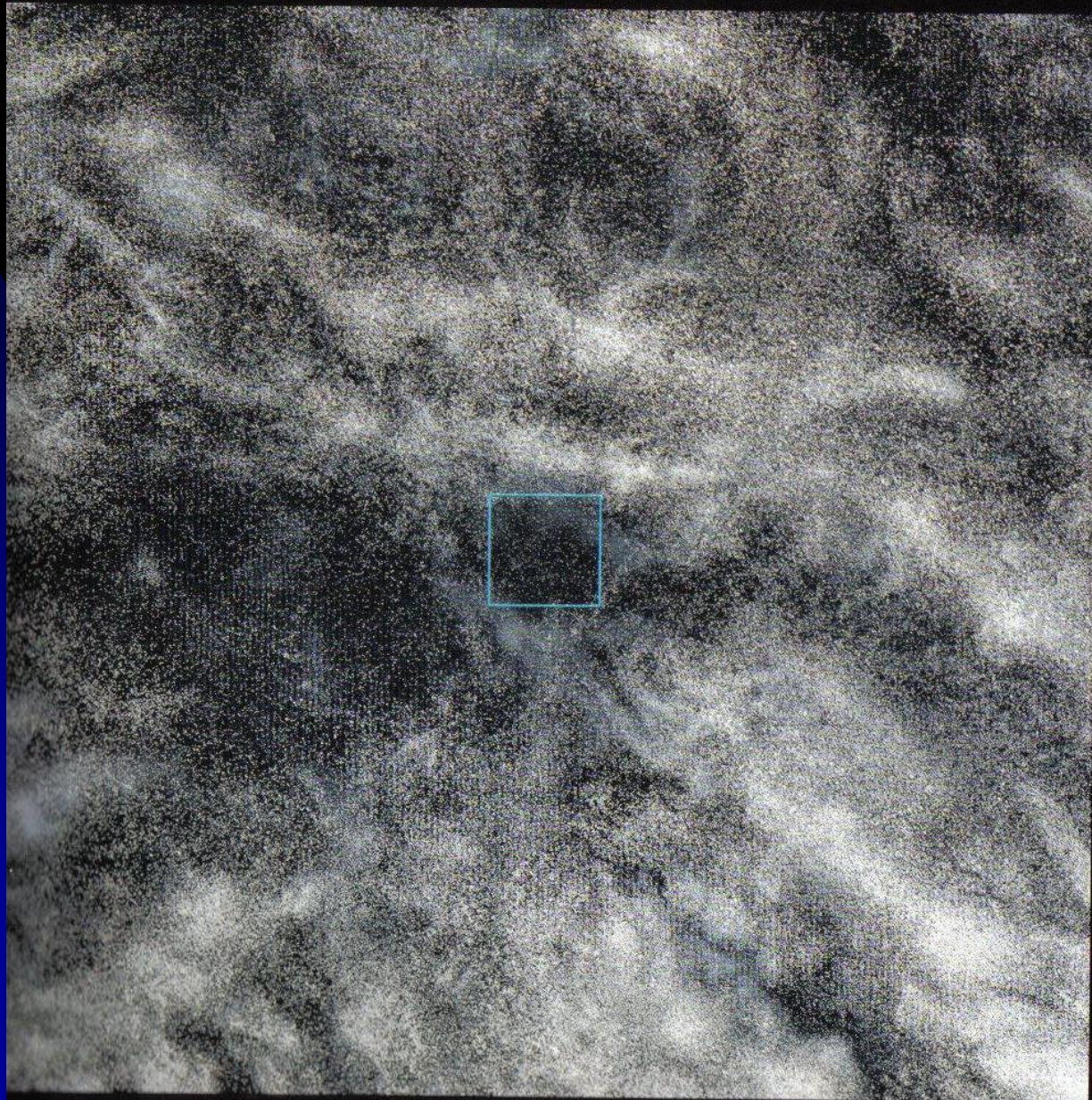
$10^{19}$  Meter

~1000 Lichtjahre



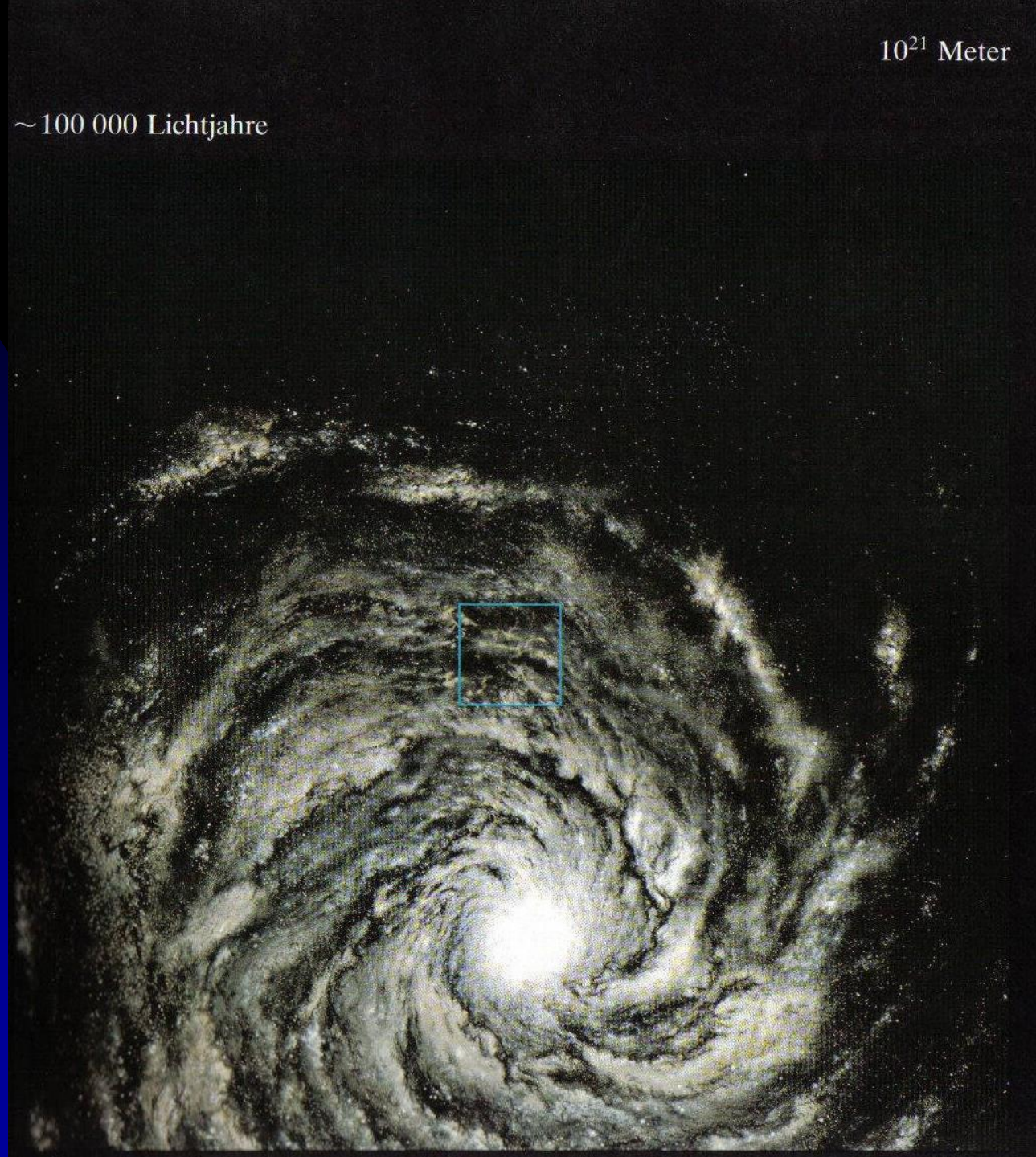
$10^{20}$  Meter

~10 000 Lichtjahre



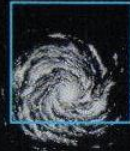
$10^{21}$  Meter

~100 000 Lichtjahre



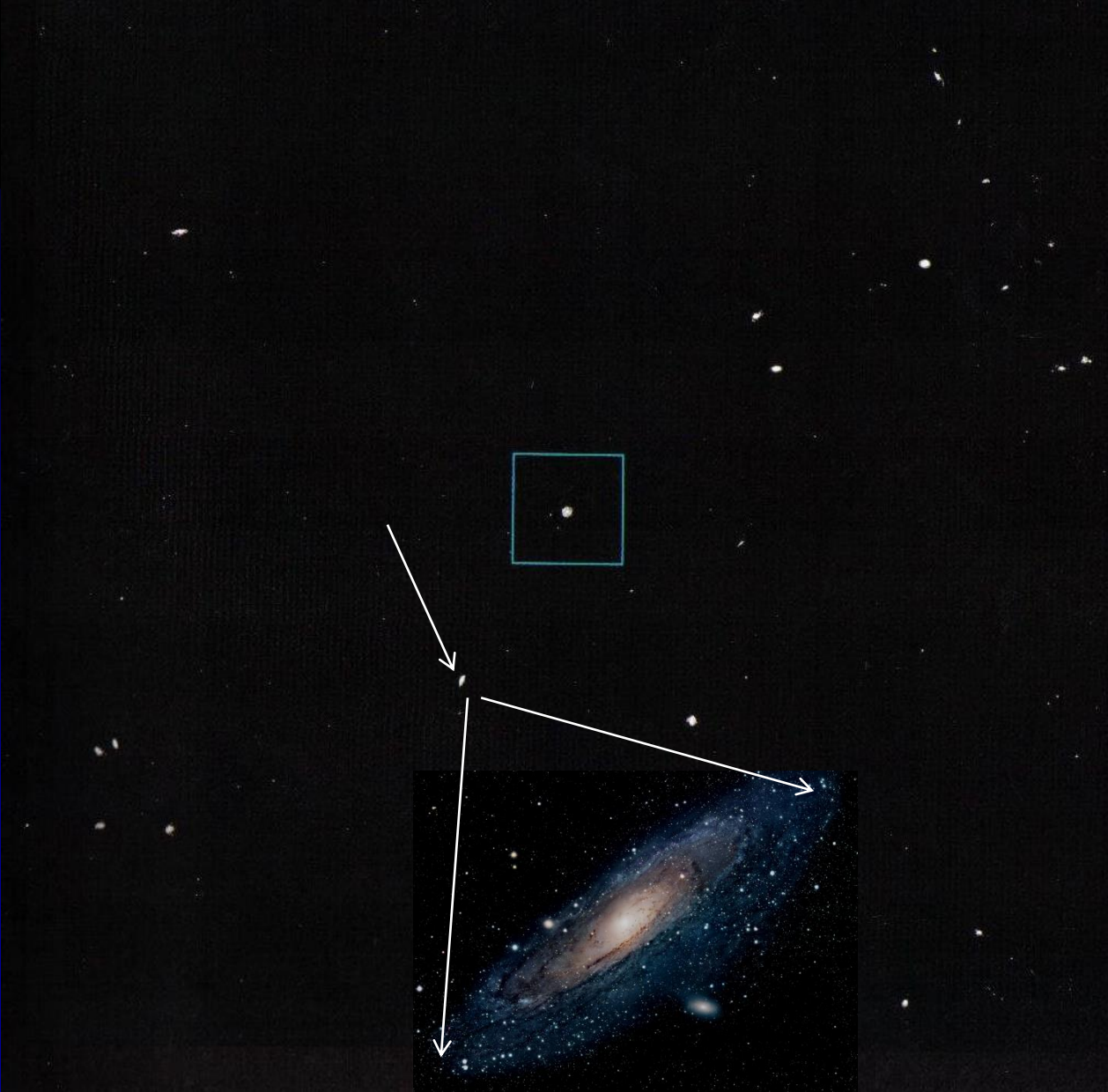
$10^{22}$  Meter

~1 Million Lichtjahre



$10^{23}$  Mete

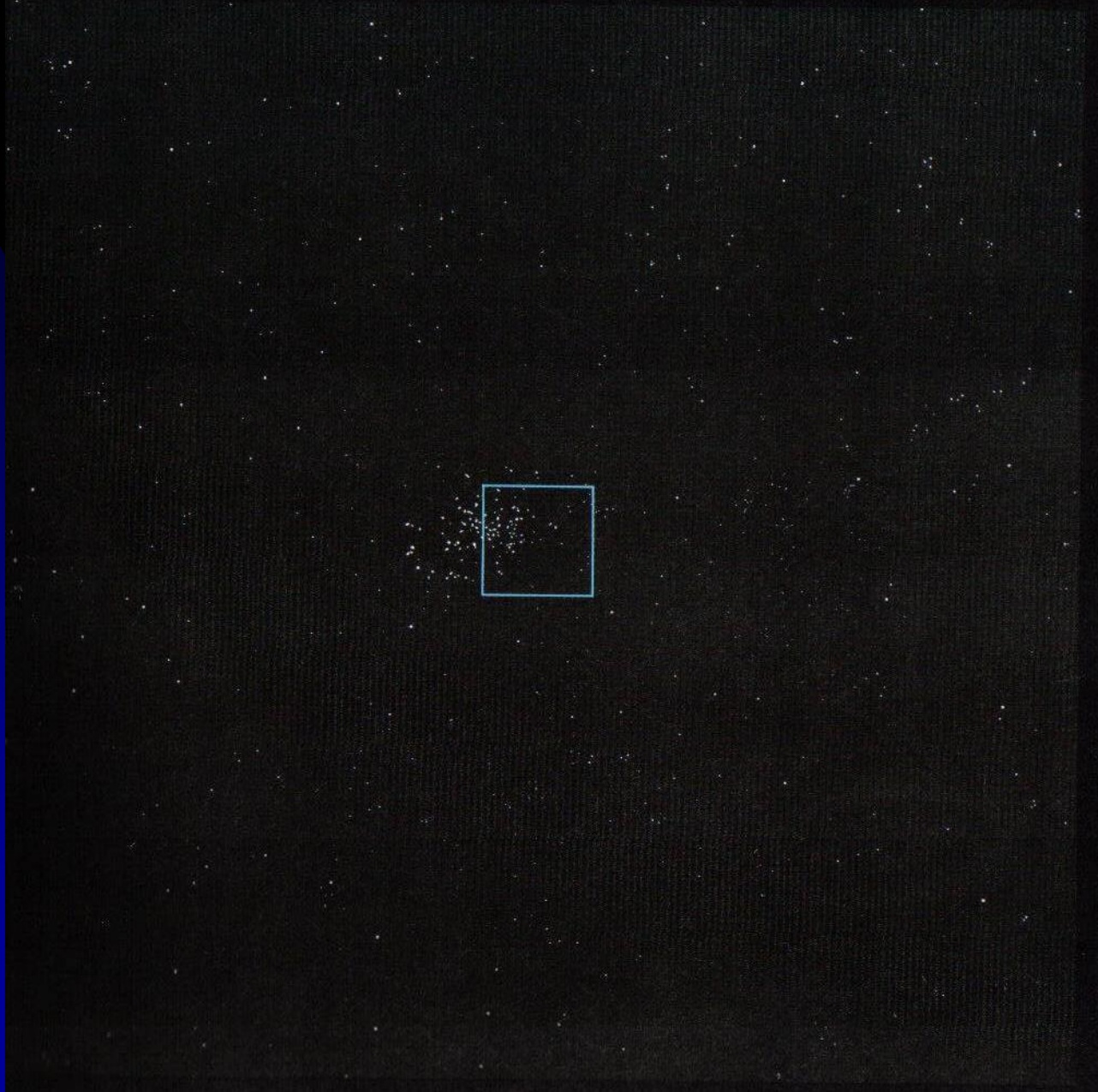
~10 Millionen Lichtjahre ~3 Megaparsek





$10^{24}$  Meter

~100 Millionen Lichtjahre



~1 Milliarde Lichtjahre

**«Τέλος» του ταξιδιού**





Earth Moon

# Φως... περισσότερο Φως!

## Γκαίτε



Ζούμε μέσα σε ένα Σύμπαν που πλημμυρίζει από άπειρο Φως. Όμως δεν μπορούμε να χαρούμε με τις αισθήσεις μας παρά μόνο μια απειροελάχιστη λάμψη του. Το Φως είναι παντού γύρω μας. Κυλάει ορμητικά και μας κατακλύζει από κάθε μεριά του Σύμπαντος.

# Φως... περισσότερο Φως!

## Γκαίτε



Εμείς όμως στεκόμαστε σαν τυφλοί. Δεν το αναγνωρίζουμε δεν το αισθανόμαστε. Κάνουμε και κάτι χειρότερο. Ο εγωισμός μας οδηγεί στο αλαζονικό συμπέρασμα ότι αφού δε νιώθουμε το Φως που μας αγκαλιάζει αυτό δεν υπάρχει.

# Φως... περισσότερο Φως!

## Γκαίτε



Με τον τρόπο αυτό κάνουμε την ψυχή μας πέτρα που ανακλάει και διώχνει το Φως και όχι σφουγγάρι που νιώθει την ανάγκη να ρουφήξει και να πλημμυρήσει από αυτό. Μέσα σε αυτό το συμπαντικό σκοτάδι της άγνοιας των αισθήσεών μας οι περιοδικές αναλαμπές των

# Φως... περισσότερο Φως!

## Γκαίτε



μακρινών αστέρων νετρονίων μοιάζουν σαν να υπενθυμίζουν ότι και στο πιο μαύρο σκοτάδι της ψυχής μας το Σύμπαν μας δείχνει το δρόμο του Φωτός.

**Φως... περισσότερο Φως!**

**Γκαίτε**

**Το δρόμο του μέλλοντός μας**

A silhouette of a person stands in the center of a vast, dark space filled with stars and galaxies. A bright, glowing light source is visible in the distance, casting a beam of light downwards towards the person. The overall scene is set against a dark blue background with a lighter blue arc on the left side.

**Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας  
και την υπομονή σας**