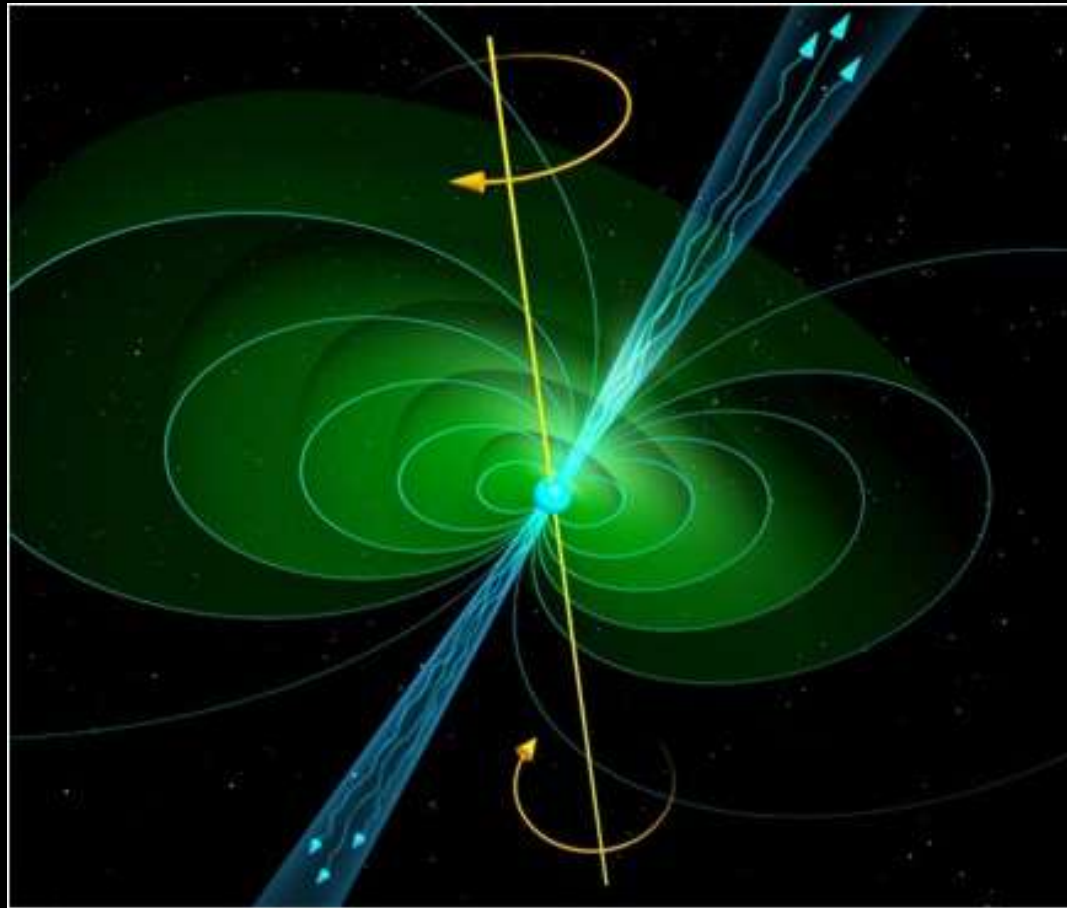


# Αστέρες Νετρονίων

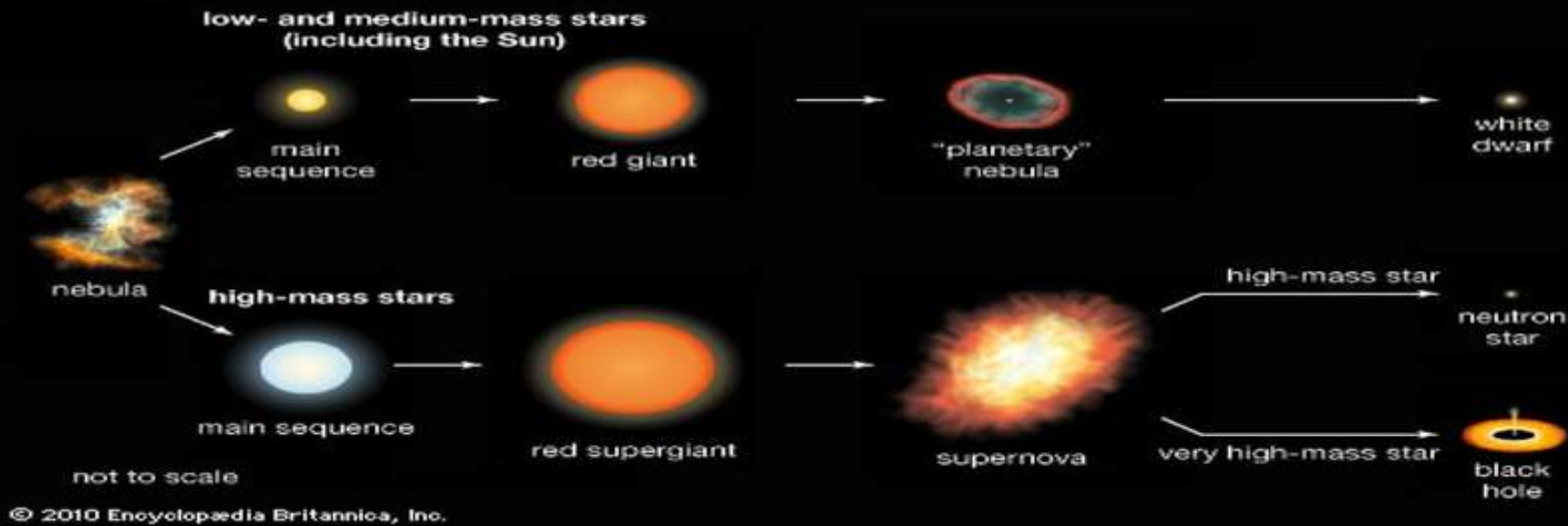


**Δρ Μάνος Δανέζης**

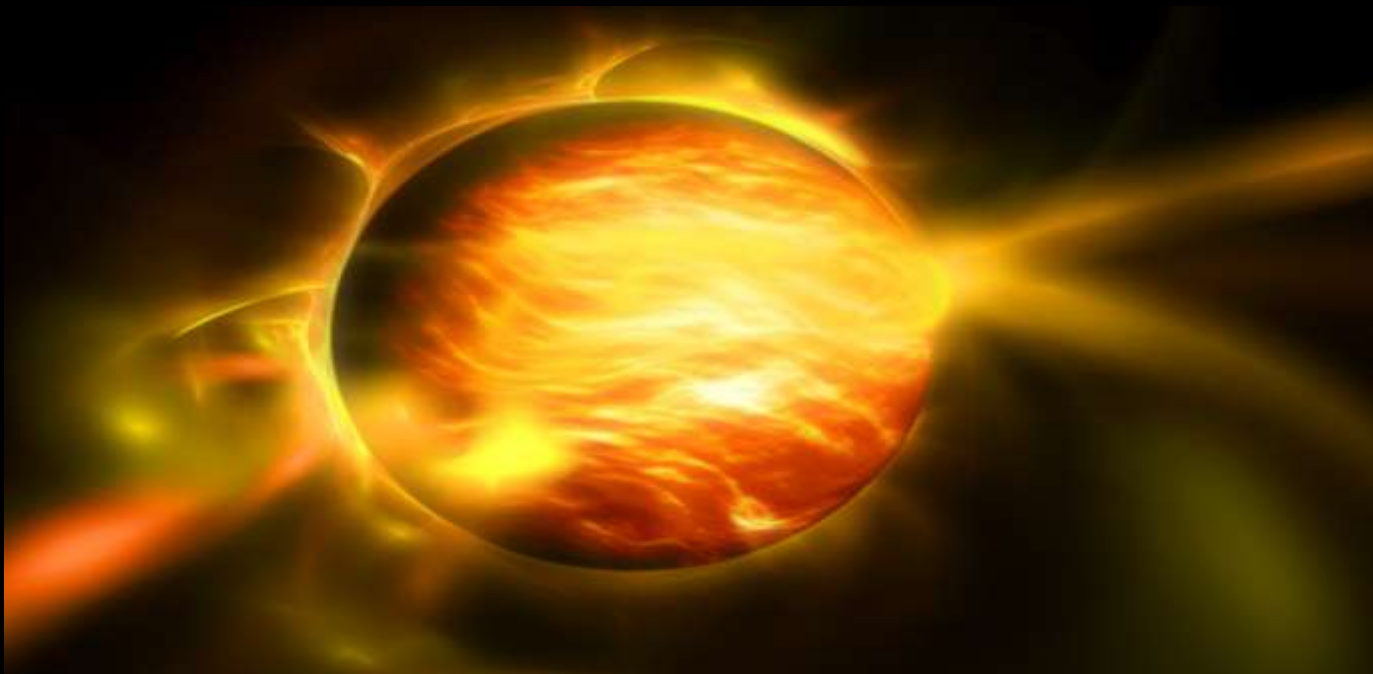
Επίκουρος Καθηγητής Αστροφυσικής

Τμήμα Φυσικής ΕΚΠΑ

## Stellar evolution



Το αστέρι έχει κάψει όλο το **Ήλιον** και ο πυρήνας είναι γεμάτος **Άνθρακα**. Αν τελικά έχει **μάζα  $3,2 M_{\odot} > M > 1,4 M_{\odot}$** , η θερμοκρασία στον πυρήνα του —λόγω της βαρυτικής συστολής— μπορεί να ανέβει στους  **$10^9$  K** και έτσι να αρχίσει η καύση του άνθρακα. Στη συνέχεια, μέσω μιας σειράς πυρηνικών αντιδράσεων θα σχηματιστεί ένας πυρήνας που θα περιέχει μια ποικιλία από βαρείς πυρήνες, ιδιαίτερα δε άφθονο **σίδηρο ( $^{56}\text{Fe}$ )**.

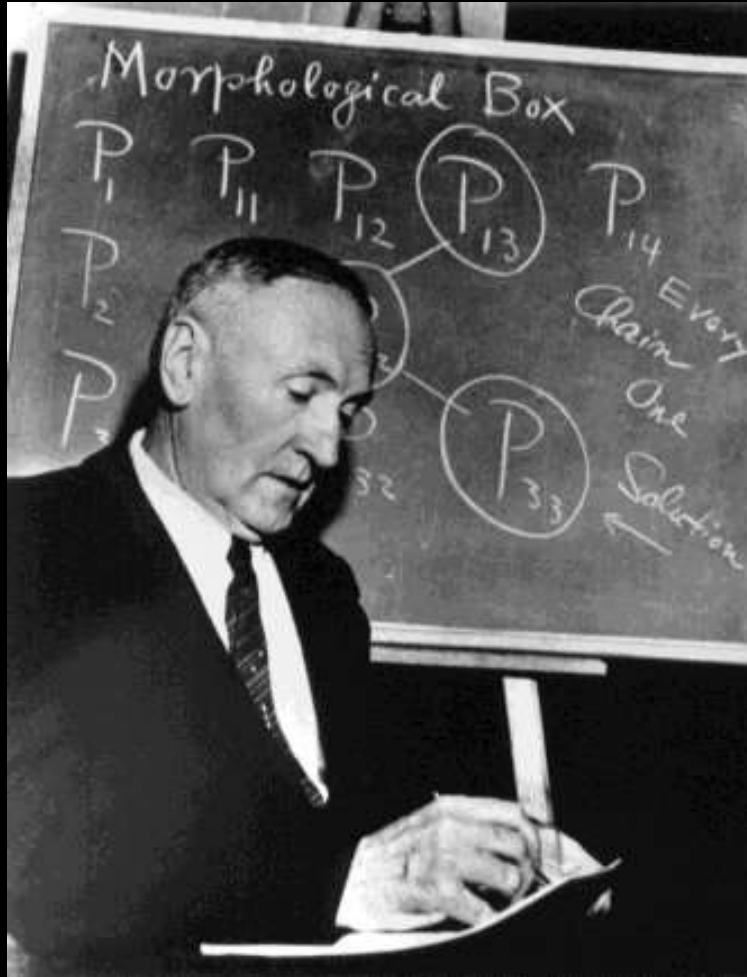


...Τότε αρχίζει μια **νέα διαδικασία βαρυτικής κατάρρευσης** η οποία παρασύρει τις επιφανειακές στιβάδες, με αποτέλεσμα **ελαφρά στοιχεία να φθάσουν στο υπέρθερμο κέντρο του άστρου** δημιουργώντας ένα πλήθος νέων πυρηνικών αντιδράσεων. Τις στιγμές της κατάρρευσης μπορούν να συμβούν πολλές αντιδράσεις που **παράγουν πολύ πιο βαρέα μέταλλα.**



Τότε γεννιέται και διαδίδεται προς τα έξω ένα **κρουστικό κύμα**, με τελικό αποτέλεσμα μια έκρηξη με απότομη εκτίναξη μεγάλης ποσότητας ύλης στον μεσοαστρικό χώρο που στην ουσία είναι μια έκρηξη υπερκαινοφανούς (**supernova**,)

# Έκρηξη Υπερκαινοφανών Θεωρία F. Zwicky (1898-1974)



Για την εξήγηση της έκρηξης των υπερκαινοφανών έχουν προταθεί δύο θεωρίες. Η πρώτη διατυπώθηκε από το **F. Zwicky (1898-1974)** και πρεσβεύει ότι ο υπερκαινοφανής οφείλεται στην απλή κατάρρευση ενός άστρου, που οδεύει για άστρο νετρονίων, οπότε σχεδόν όλη η δυναμική του ενέργεια ελευθερώνεται αιφνίδια.

# Έκρηξη Υπερκαινοφανών – Θεωρία R.H. Fowler



Η δεύτερη οφείλεται στον **R.H. Fowler** και τους συνεργάτες του. Σύμφωνα μ' αυτούς μετά την εξάντληση των πηγών πυρηνικής ενέργειας, που ήδη αναφέραμε, **ο αστέρας καταρρέει ταχύτατα** και η θερμοκρασία του ξεπερνά τους  **$8 \times 10^9$  K**, οπότε ο «στείρος» **πυρήνας από σίδηρο παράγει ήλιον**, σύμφωνα με την εξίσωση:



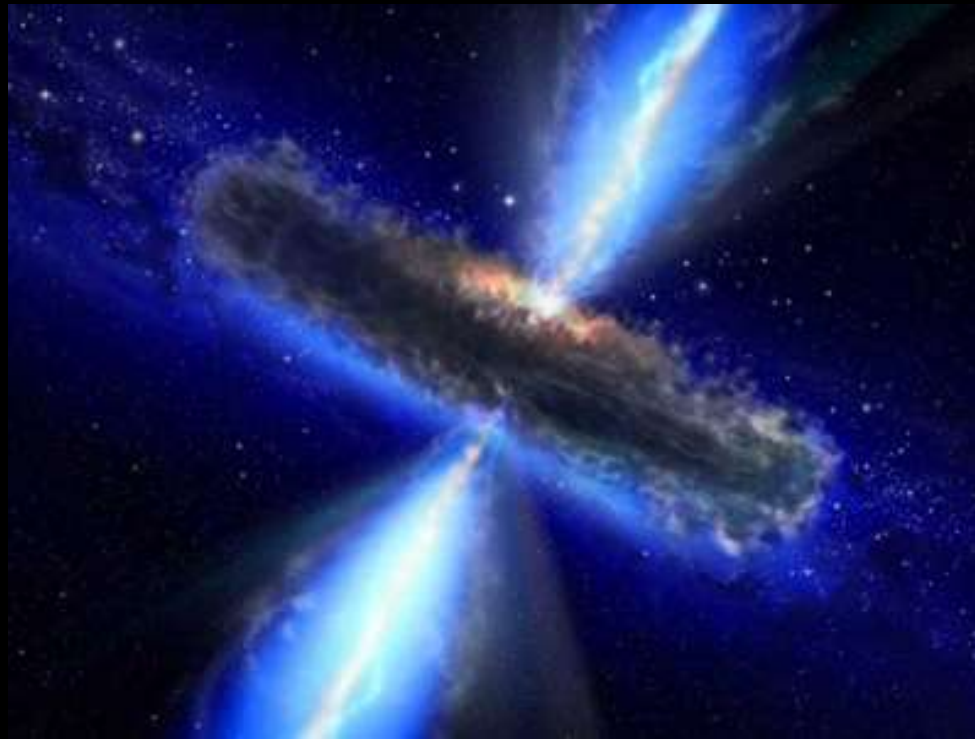
Δηλαδή στις τεράστιες αυτές θερμοκρασίες **ο σίδηρος φωτοδιασπάται σε σωματίδια άλφα και νετρόνια** και αυτή είναι η αντίδραση που προκαλεί την έκρηξη.



Αν η μάζα του άστρου που απομένει μετά την έκρηξη είναι μεταξύ 1,4 και 3,2 ηλιακών μαζών ( $1,4M_{\odot} < M < 3,2M_{\odot}$ ) τότε:

α) Παρά την έκρηξη του εξωτερικού περιβλήματος του αστεριού, λόγω αντίδρασης, το κεντρικό του τμήμα **συνεχίζει να συστέλλεται**.

β) Η βιαιότητα της έκρηξης συμπιέζει την εναπομείνασα ύλη του αστέρα τόσο πολύ, που τελικά η **ύλη συνθλίβεται** και καταλήγει σε μια τελική **πυκνότητα** πολύ μεγαλύτερη από την πυκνότητα των λευκών νάνων, δηλαδή της τάξεως των  $10^{12}$ - $10^{14}$  gr/cm<sup>3</sup>



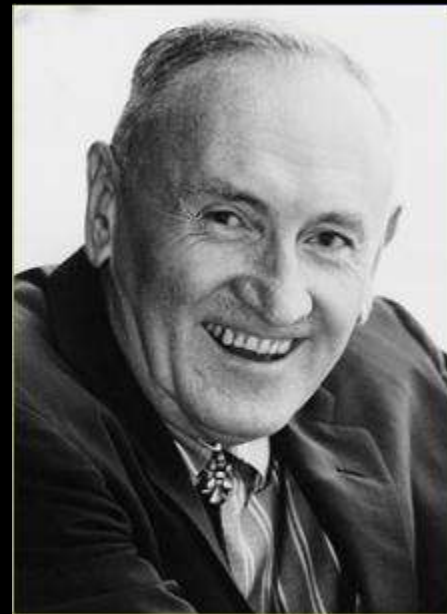
Στη φάση αυτή τα ελεύθερα ηλεκτρόνια επιταχύνονται σε σχετικιστικές ταχύτητες και εξαναγκάζονται να ενωθούν με τα πρωτόνια, οπότε στους πυρήνες σχηματίζονται νετρόνια. Στην κατάσταση αυτή, η ύλη δεν μπορεί να συμπιεστεί άλλο και αποτελείται από ένα εκφυλισμένο αέριο νετρονίων, η πίεση του οποίου ισορροπεί τις δυνάμεις βαρύτητας. Το άστρο είναι πια ένα

**αστέρι νετρονίων** με διάμετρο 10 - 30 Km και μάζα ίση με 1-3 ηλιακές μάζες.





*Walter Baade, 1893-1960*

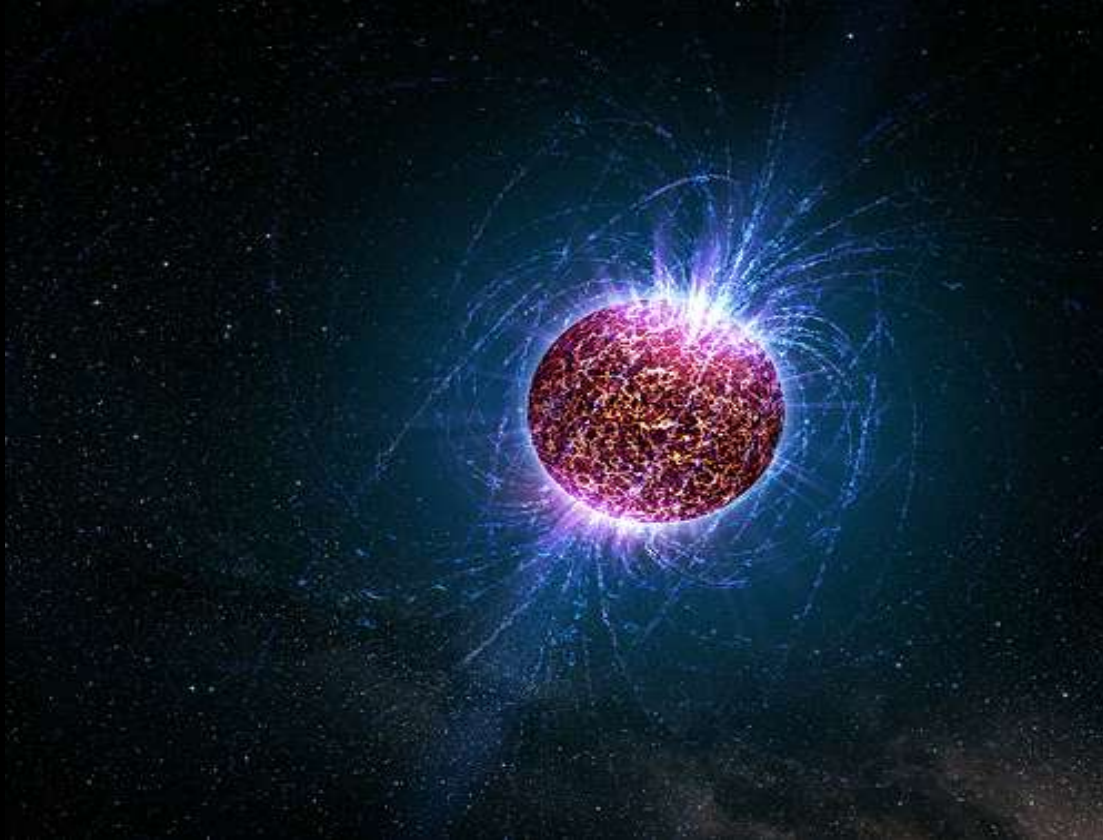


*Fritz Zwicky, 1898-1974*

Για την **ύπαρξη αστέρων νετρονίων** έκαναν λόγο πρώτοι στη δεκαετία του '30, δύο νεαροί Αμερικανοί αστρονόμοι, ο γερμανικής καταγωγής **Βάλτερ Μπάαντε (Walter Baade, 1893-1960)** και ο ελβετικής καταγωγής **Φριτς Ζβίκι (Fritz Zwicky, 1898-1974)** σε ένα άρθρο τους που δημοσίευσαν το 1934 —μόλις δύο χρόνια μετά τον πειραματικό εντοπισμό του νετρονίου από το Σερ Τζέημς Τσάντγουικ (Sir J. Chadwick).



Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των αστεριών είναι η **ταχύτατη περιστροφή** τους, που κάθε μια ολοκληρώνεται σε **χιλιοστά του δευτερολέπτου**. Ενδιαφέρον εξάλλου παρουσιάζει το **αυξημένο μαγνητικό πεδίο** τους, που συνήθως γίνεται **τρισεκατομμύρια φορές ισχυρότερο από το μαγνητικό πεδίο της Γης** και παράγει **περιοδικούς παλμούς ισχυρών ραδιοκυμάτων**.



Οι αστέρες αυτοί, εφ' όσον τα νετρόνια που τους αποτελούν δεν μπορούν να συμπιεστούν παραπάνω, ανθίστανται σε περαιτέρω βαρυτική κατάρρευση. **Συνεπώς οι αστέρες νετρονίων θεωρητικά θα παραμείνουν στη σταθερή τους ισορροπία για πάντα.**

**Ουσιαστικά όμως τα νεκρά αυτά άστρα, εφ' όσον δεν διαθέτουν άλλη πηγή ενέργειας εκτός από την περιστροφή τους, τελικά θα ψυχθούν και στη συνέχεια θα σβήσουν εντελώς.**

Το άστρο νετρονίων κινείται με μεγάλη ταχύτητα εξ αιτίας της εγγενούς ασυμμετρίας αυτών των εκρήξεων

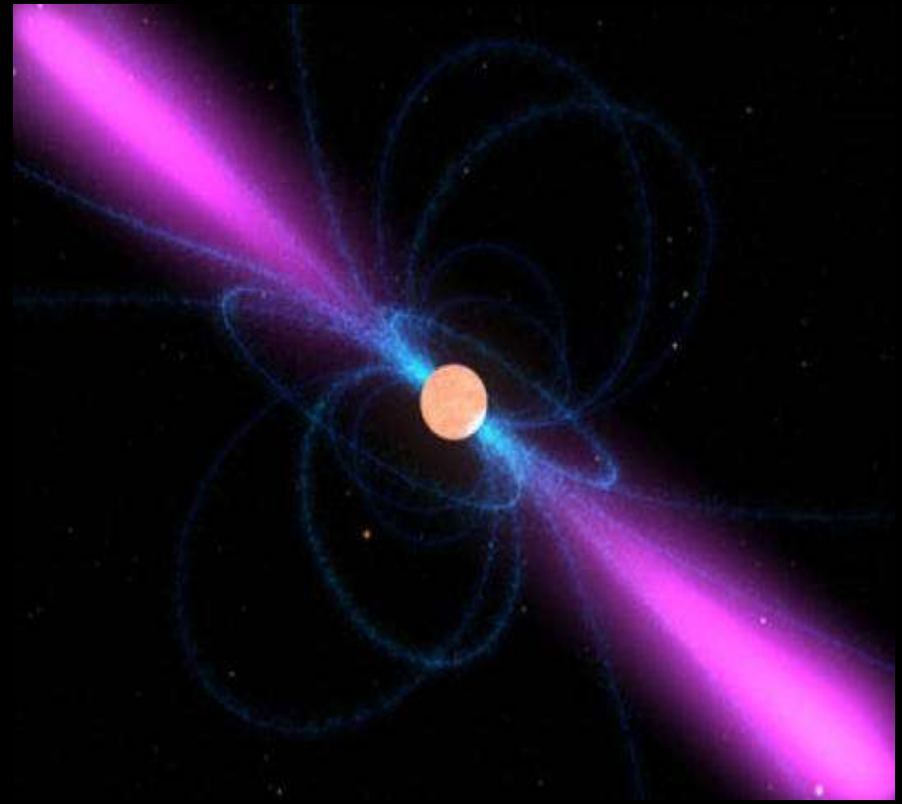
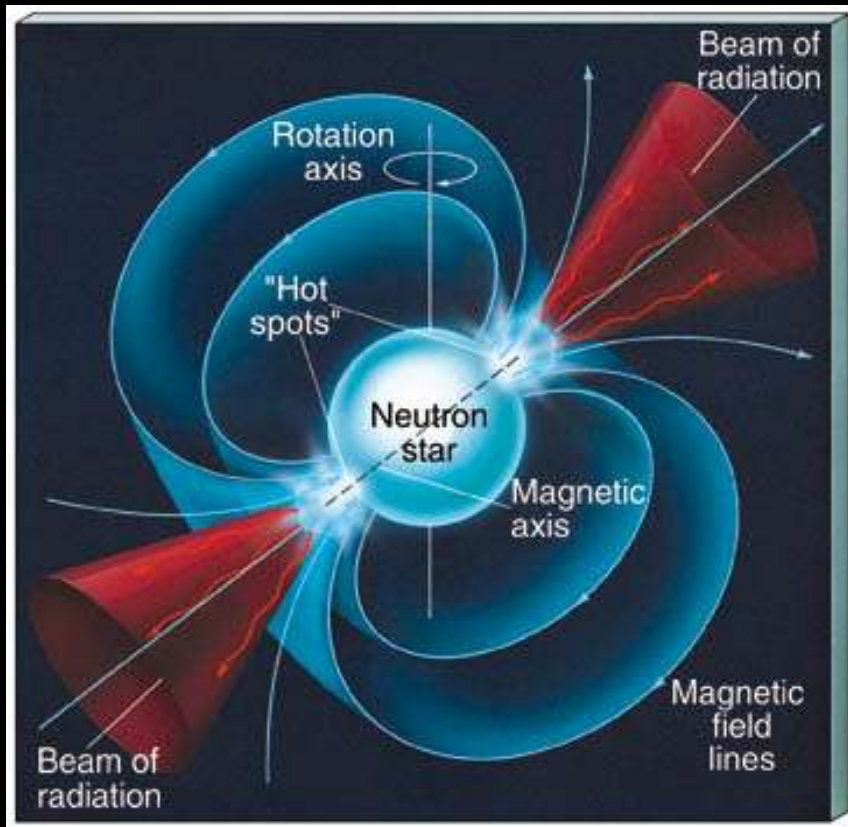
άστρο  
νετρονίων

συντρίμμια  
που πέφτουν

Το άστρο νετρονίων στο κέντρο  
της έκρηξης που αρχίζει, είναι  
σχεδόν ακίνητο

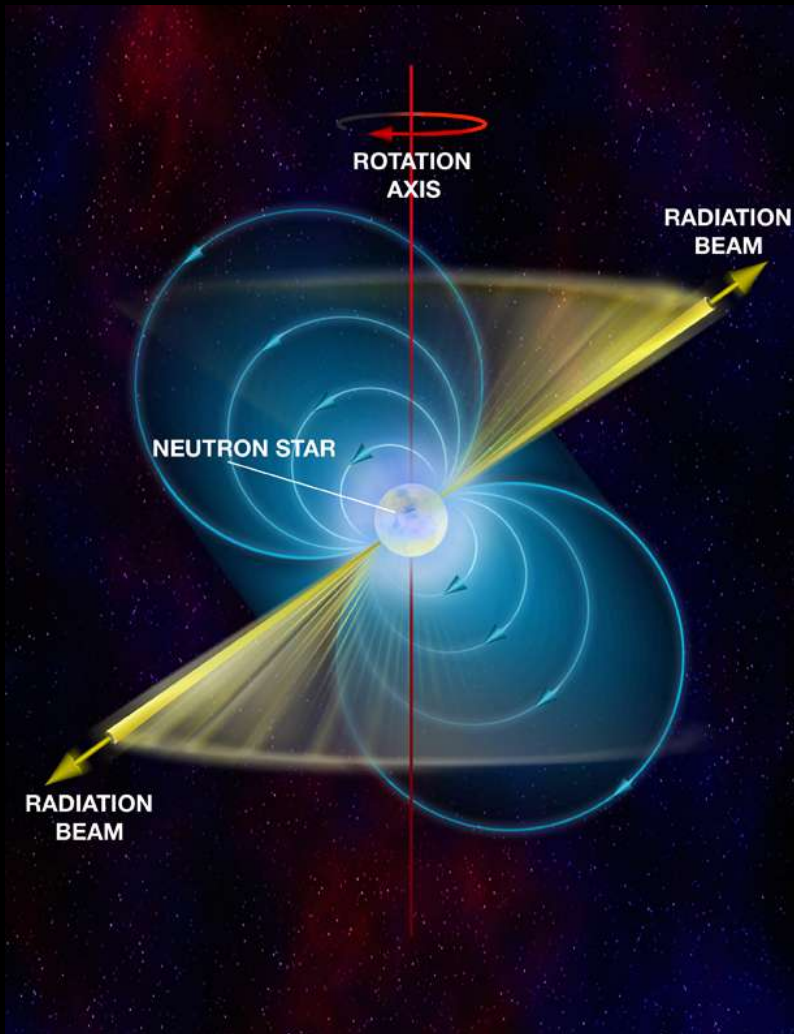
Η βαρύτητα από τα ασύμμετρα συντρίμμια  
σπρώχνουν το άστρο νετρονίων προς μια  
ορισμένη κατεύθυνση, και τα συντρίμμια  
πέφτουν πάνω στο άστρο δίνοντας του  
μια επιπρόσθετη κλωτσιά

Αυτές οι δυνάμεις εκτινάσσουν το άστρο  
νετρονίων, επειδή το ολικό άθροισμα των  
ροπών ωθεί το άστρο νετρονίων στην κα-  
τεύθυνση από την οποία προέρχονται τα  
συντρίμμια



Οι **αστέρες νετρονίων** είναι **μαγνητικοί αστέρες**, τεράστιας πυκνότητας ( $10^{12}$ - $10^{14}$  gr/cm<sup>3</sup>), με μάζες λίγο μεγαλύτερες από την ηλιακή, με διαμέτρους μεταξύ 10-20 Km, που περιστρέφονται ταχύτατα γύρω από τον άξονά τους εκπέμποντας μια στενή δέσμη ραδιοσημάτων.

# Pulsars



Η ύπαρξη των αστέρων νετρονίων είχε προβλεφθεί θεωρητικά το 1930. Για πολλά όμως χρόνια δεν είχαν παρατηρηθεί τέτοια ουράνια σώματα.

Τελικά η ανακάλυψη το 1967 των **pulsars** (pulsating radio sources) φαίνεται ότι δικαιώνει την υπόθεση ύπαρξής τους.



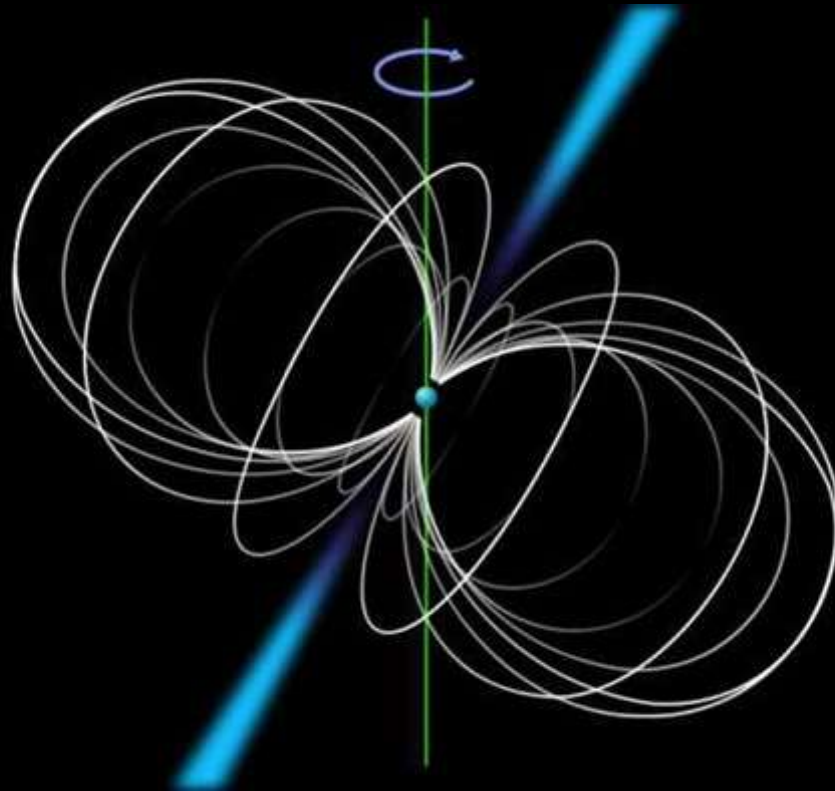
Η Αγγλίδα αστρονόμος ***Susan Jocelyn Bell (1943-***  
***)***, προκειμένου να ολοκληρώσει τη διδακτορική της διατριβή—, ανακάλυψε την πρώτη παλλόμενη ραδιοπηγή στον αστερισμό της Αλώπεκος αλλά όλοι συμφώνησαν (λανθασμένα) ότι οι περιοδικοί ραδιοπαλμοί των ανακαλυφθέντων άστρων ήταν αποτέλεσμα μιας επαναλαμβανόμενης διαστολής και συστολής τους. Για τον λόγο αυτόν μάλιστα ονομάστηκαν ***Pulsars***, δηλαδή ***παλλόμενες ραδιοπηγές (Pulsars= Pulsating radio sources)***.



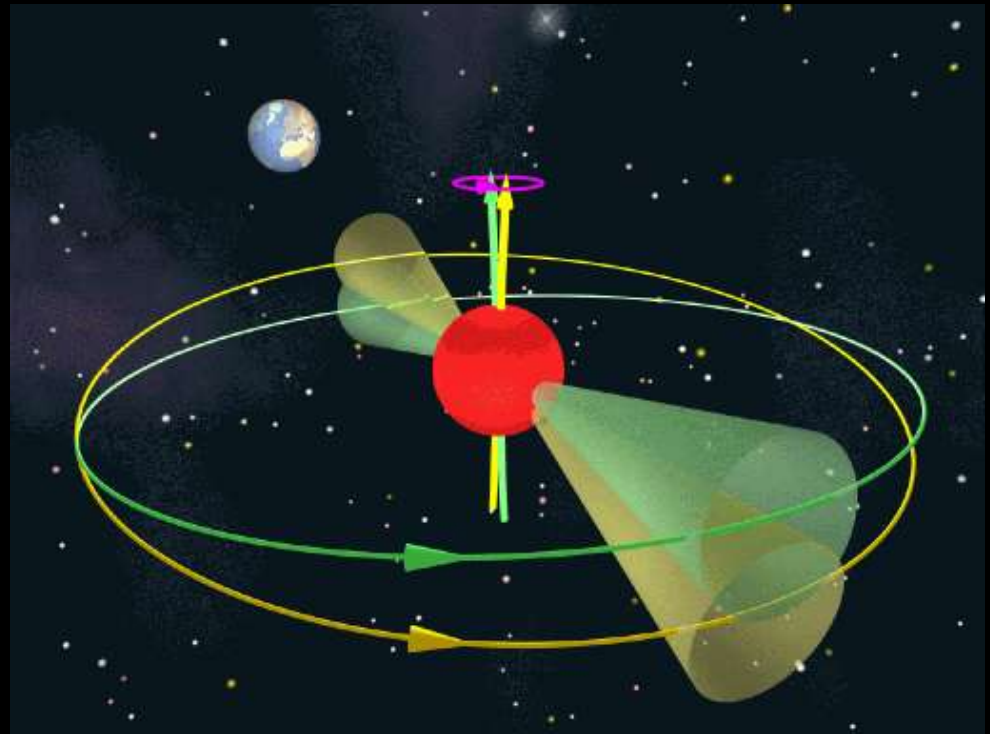
Για την ανακάλυψη των Pulsars τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ τον Οκτώβριο του 1974 ο υπεύθυνος του προγράμματος της S.J. Bell, **Antony Hewish** (1924- ) καθώς και ο διευθυντής του Ραδιοαστρονομικού σταθμού **Sir Martin Ryle (1918-1984)** για τις εν γένει σημαντικές έρευνές του και την αξιόλογη προσφορά του στην Ραδιοαστρονομία, **ενώ αποσιωπήθηκε η προσφορά της Susan Bell.**



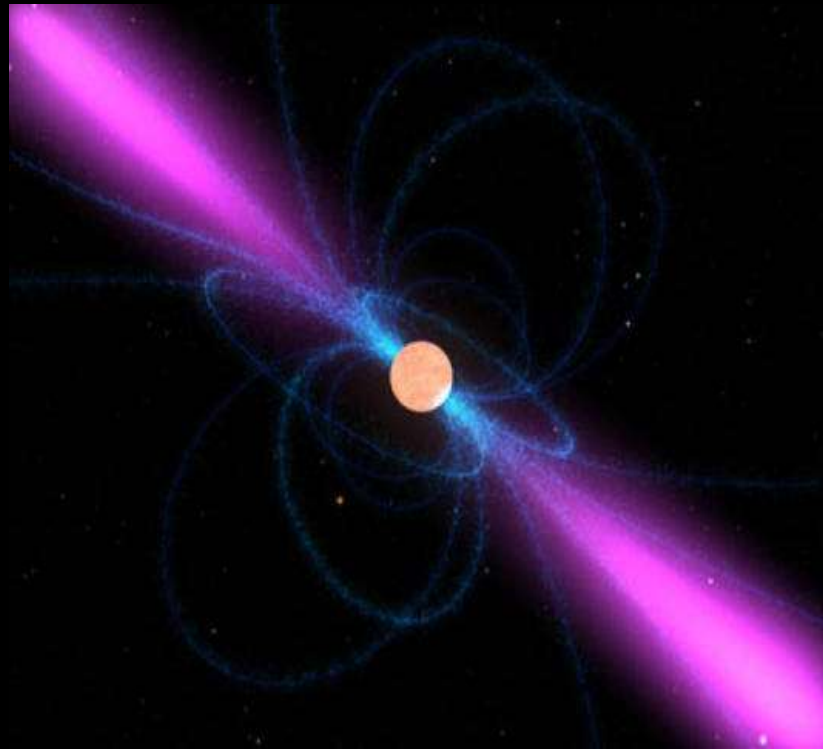
Τα λαμβανόμενα σήματα απ' αυτήν την ραδιοπηγή ήταν μια σειρά παλμών διάρκειας εκάστου 0,3 του δευτερολέπτου, που επαναλαμβάνονταν κάθε 1,337 δευτερόλεπτα. Η ραδιοπηγή αυτή κωδικοποιήθηκε ως **CP1919** με πιθανό σφάλμα ένα εκατοντάκις του εκατομμυριοστού του δευτερολέπτου

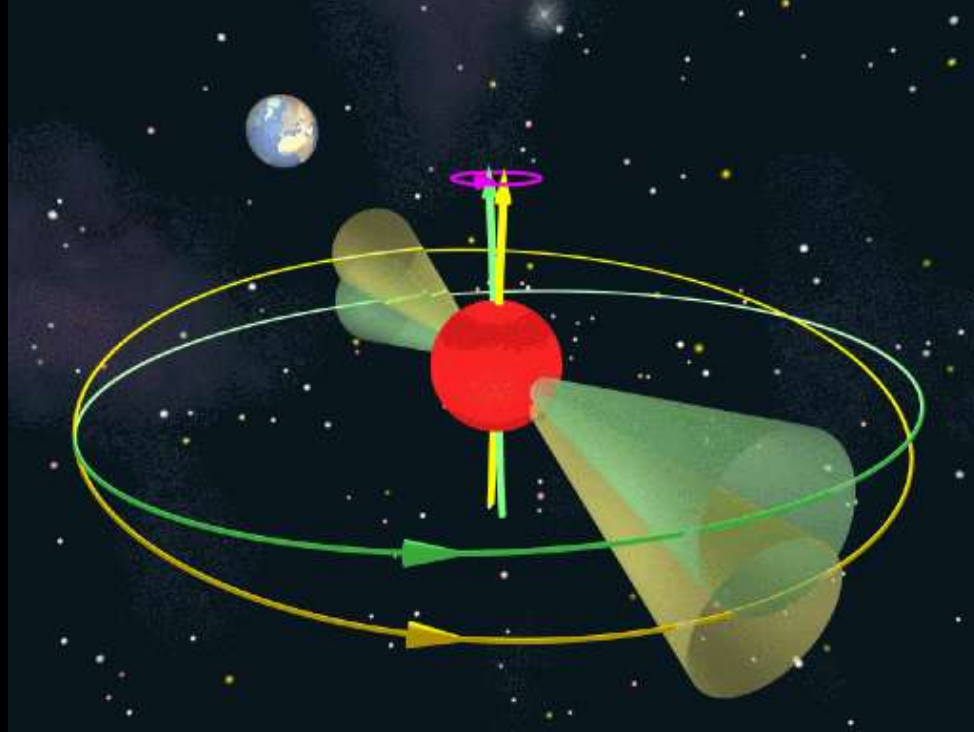


Η άποψη του Α. Χιούις (A. Hewish) για την παλλόμενη φύση των pulsars καταρρίφθηκε το 1968 από τον αστρονόμο του Πανεπιστημίου του Κορνέλ *Τόμας Γκολντ (Thomas Gold, 1920-2004)*. Ο T. Gold απέδειξε ότι *οι pulsars είναι μαγνητικοί αστέρες νετρονίων, που περιστρέφονται ταχύτατα γύρω από τον άξονά τους εκπέμποντας μια στενή δέσμη ραδιοσημάτων*, πράγμα που επιβεβαιώθηκε από τις παρατηρήσεις.



Σύμφωνα με την άποψη του **T. Gold (1968)**, αλλά και των **Goldreich και Julian (1969)**, λόγω των συνθηκών που επικρατούν στα άστρα αυτά, τα φορτισμένα σωματίδια τα οποία βρίσκονται στην επιφάνεια τους, επιταχύνονται φτάνοντας σε ταχύτητες που προσεγγίζουν την ταχύτητα του φωτός **συγκεντρώνονται** , με τη μορφή στενής δέσμης, στους μαγνητικούς πόλους του άστρου. **ταχύτατα και περιοδικά μάς στέλνει φωτεινές αναλαμπές.**

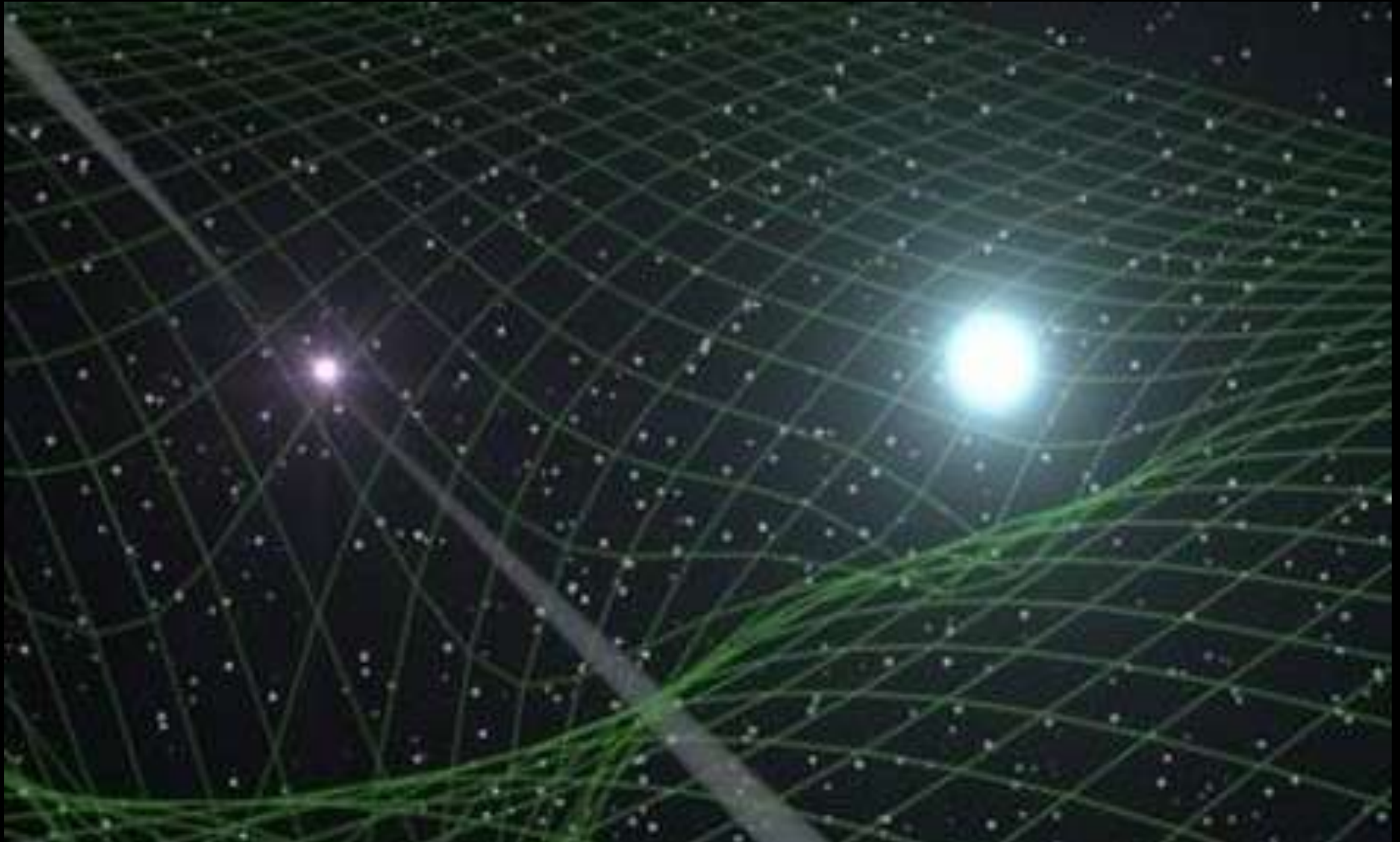




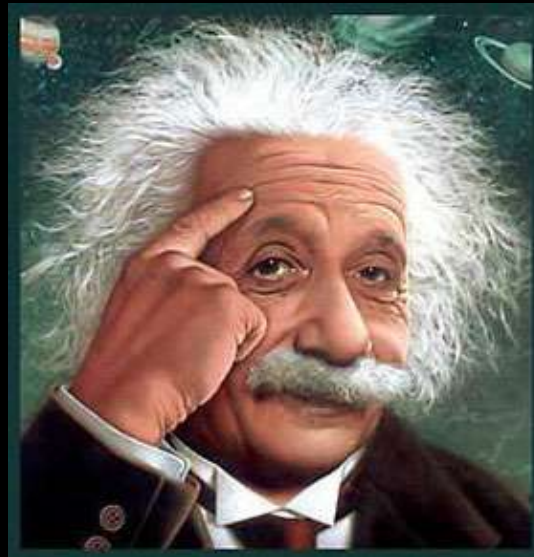
Η δέσμη αυτή **σαρώνει το διάστημα σαν φάρος**, αφού ένα τέτοιο ουράνιο σώμα, μπορεί γενικά να εκπέμψει μια περιστρεφόμενη δέσμη φωτονίων. Αν η Γη βρεθεί στον δρόμο τής μιας από τις δύο φωτεινές αυτές δέσμες, οι ραδιοαστρονόμοι θα παρατηρούν και θα συλλαμβάνουν μια σειρά φωτεινών παλμών —που θα εκπέμπονται σε κανονικά χρονικά διαστήματα— κάθε φορά που η δέσμη περνά από το μέτωπο που κατευθύνεται προς τη Γη.

**Συνεπώς, ο pulsar είναι ένα είδος φάρου, που περιστρέφεται**

Η εξέλιξη των αστερών ως  
συνάρτηση της καμπυλότητας του χώρου που κατέχουν

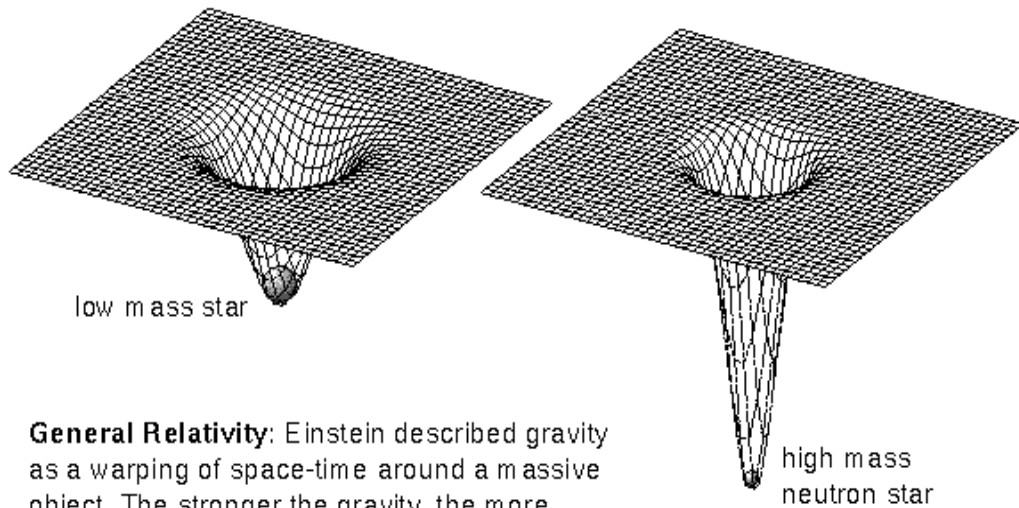


# Σχέση Πυκνότητας και Καμπυλότητας (Γενική Θεωρία της Σχετικότητας)



$$\epsilon = [\pi k R^2 / 3 (k \rho / 6H^2)]. [(k \rho / 6H^2) - 1/2]$$

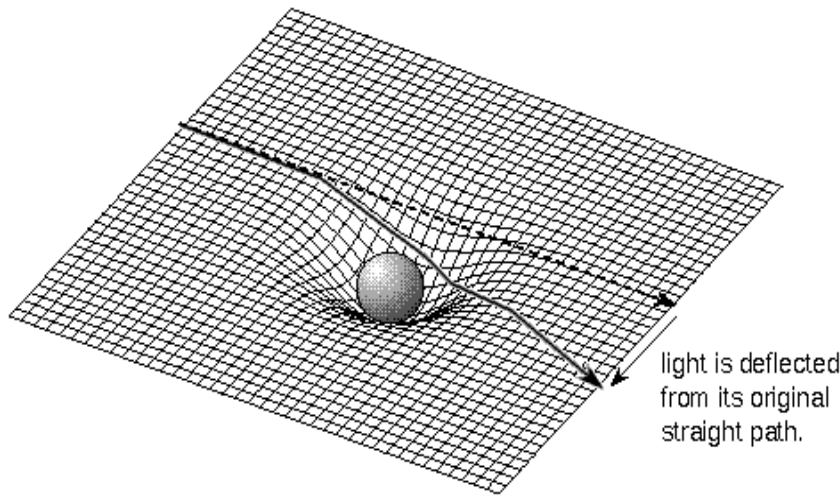
Όσο μεγαλώνει η πυκνότητα του υλικού τόσο περισσότερο μεγαλώνει η καμπυλότητα του χώρου που αυτό κατέχει



low mass star

high mass  
neutron star

**General Relativity:** Einstein described gravity as a warping of space-time around a massive object. The stronger the gravity, the more space-time is warped.



light is deflected  
from its original  
straight path.

**General Relativity:** Light travels along the curved space taking the shortest path between two points. Therefore, light is deflected toward a massive object! The stronger the local gravity is, the greater the light path is bent.

Η πυκνότητα των κεντρικών περιοχών ενός άστρου προσδιορίζει την εξέλιξή του. Αυξανόμενη της πυκνότητας δίνεται η δυνατότητα περαιτέρω εξέλιξης του αστέρα.

Η πυκνότητα όμως είναι ανάλογη της καμπυλότητας του χώρου που κατέχει ένα αστέρι. Ως εκ τούτου η εξέλιξη ενός άστρου είναι συνάρτηση της καμπυλότητας του χώρου που κατέχει

# Γενική Θεωρία της Σχετικότητας

## Μια Νέα Γεωμετρία

Τα πάντα μέσα στο Σύμπαν, οι γαλαξίες, τα αστέρια, οι πλανήτες, όλα τα ουράνια σώματα αλλά, και το μεταξύ τους μεσοαστρικό και μεσογαλαξιακό υλικό αποτελούν περιοχές μεταβλητής πυκνότητας άρα και καμπυλότητας.

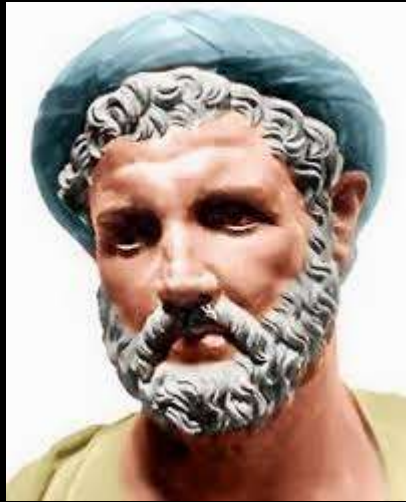
Δηλαδή ολόκληρο το Σύμπαν αποτελεί έναν χώρο καθαρών Πλατωνικών αριθμών χωρίς μονάδα μέτρησης

Με τον τρόπο αυτό η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, από μια θεωρία βαρύτητας μετατρέπεται σε μια νέα Γεωμετρία, που μπορεί από μόνη της να περιγράψει το Σύμπαν, και προσπαθεί, όπως και η Φυσική, να ερμηνεύσει τα φαινόμενα του Σύμπαντος.





Ο Jonathan Powers στο βιβλίο του «Φιλοσοφία και Νέα Φυσική» (Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1998 σ. 164) αναφέρει: «...Η θεωρία του Αϊνστάιν υιοθετεί μια (νέα) προσέγγιση για τη γεωμετρία του χώρου. Το αν θα θεωρήσει κανείς το αποτέλεσμα ως την κατάργηση της γεωμετρίας και την αντικατάστασή της από τη φυσική της βαρύτητας, ή αντιθέτως ως τη γεωμετροποίηση της βαρύτητας, φαίνεται να είναι κατά μεγάλο μέρος θέμα γούστου. Όμως η ιδέα ότι **τα υλικά αντικείμενα ενδέχεται αυτά τα ίδια να συνιστούν απλώς έντονα μη Ευκλείδειες περιοχές του χώρου** αναβίωσε τα τελευταία χρόνια. Ο Αϊνστάιν υπαινίχθηκε ότι ο χώρος μπορεί να είναι κάποιο είδος έκτασης της ύλης, ή αντιστρόφως ότι η ύλη ενδέχεται να είναι κάποιο είδος τοπικής ιδιομορφίας του χώρου. Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε στη **Γεωμετροδυναμική** από τον **Τζ. Γουίλερ**»



Ο Πυθαγόρας είχε δίκιο το Σύμπαν  
είναι Πλατωνικοί αριθμοί και  
περιγράφεται από αυτούς.