

Το Σύμπαν στην τσέπη μου

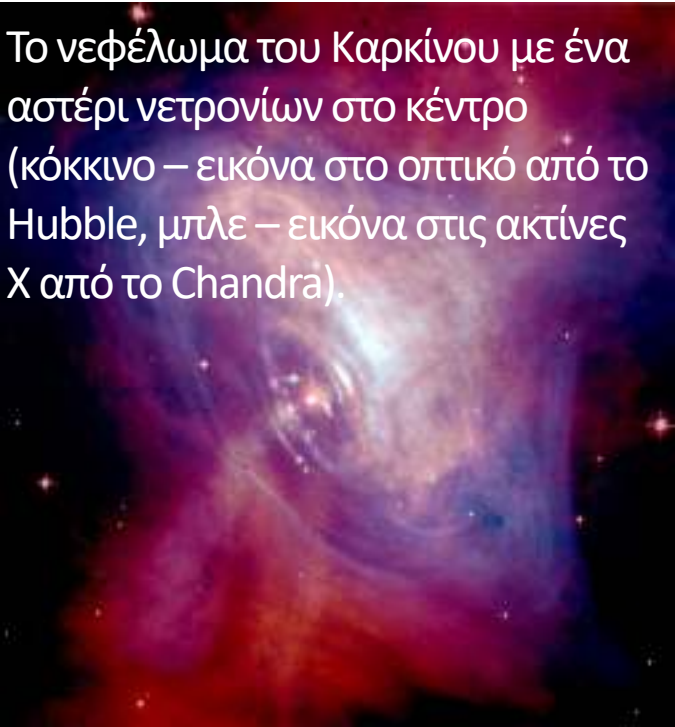


Αστέρια νετρονίων



Paweł Haensel
Leszek J. Zdunik
Michał Bejger
CAMK, Πολωνία

Το νεφέλωμα του Καρκίνου με ένα αστέρι νετρονίων στο κέντρο (κόκκινο – εικόνα στο οπτικό από το Hubble, μπλε – εικόνα στις ακτίνες Χ από το Chandra).



Εικόνες από υπολείμματα υπερκαινοφανών εκρήξεων με αστέρι νετρονίων στα κέντρα τους. Το νεφέλωμα του Καρκίνου είναι περίπου εκατό τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα σε μέγεθος. Το αστέρι νετρονίων έχει διάμετρο 20

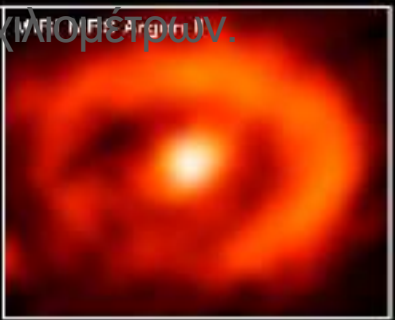
χιλιόμετρα.

NIRCam

SN 1987A



Υπόλειμμα υπερκαινοφανούς από παρατηρήσεις του τηλεσκοπίου James Webb.

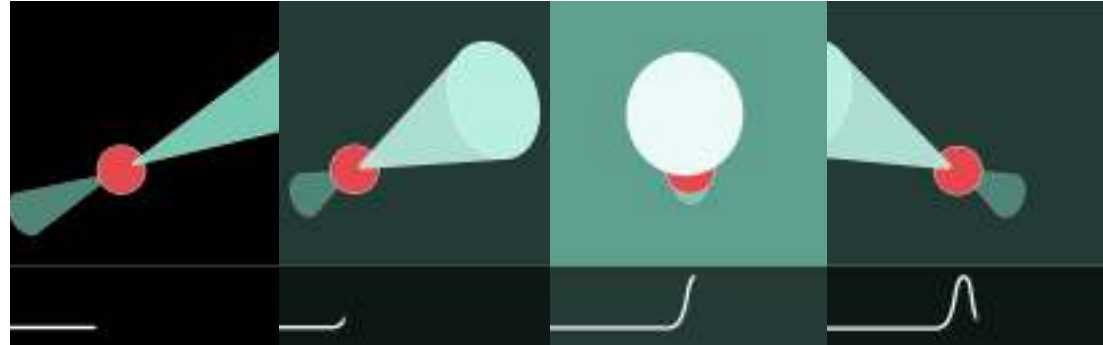


NIRSpec IFU Argon VI



Τι είναι τα αστέρια νετρονίων;

Ο αστέρας νετρονίων είναι ένα αστρικό κατάλοιπο: το τέλος ενός αστέρα μεγάλης μάζας, ο οποίος - στην αρχή της ζωής του - είχε μάζα μεγαλύτερη από περίπου 8 ηλιακές μάζες και μικρότερη από 25 ηλιακές μάζες. Στο τέλος της ζωής του, ένα ογκώδες άστρο εκρήγνυται ως υπερκαινοφανής αστέρας και το υλικό που απομένει στη συνέχεια καταρρέει λόγω της απώλειας παραγωγής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, ο πυρήνας του άστρου συμπιέζεται σε πυκνότητες μεγαλύτερες από αυτές των ατομικών πυρήνων. Οι αστέρες νετρονίων είναι τα δεύτερα πιο πυκνά αντικείμενα που είναι σήμερα γνωστά στην επιστήμη. Η πυκνότητά τους (ο λόγος μεταξύ μάζας M και ακτίνας R) είναι η δεύτερη μετά τις μαύρες τρύπες. Οι αστέρες νετρονίων έχουν ακτίνα περίπου 10 χιλιομέτρων και μάζα μεταξύ 1 και 2 ηλιακών μαζών. Για σύγκριση, μια μαύρη τρύπα 1 ηλιακής μάζας έχει ακτίνα περίπου 3 km. Ήταν μόνο μια θεωρητική ιδέα μέχρι την ανακάλυψή τους το 1967.



Η πλειονότητα των γνωστών αστέρων νετρονίων είναι ραδιοπάλσαρ που περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους. Η δέσμη που εκπέμπουν ανιχνεύεται από ραδιοκεραίες όταν η δέσμη κατευθύνεται προς τη Γη.



Jocelyn Bell το 1968

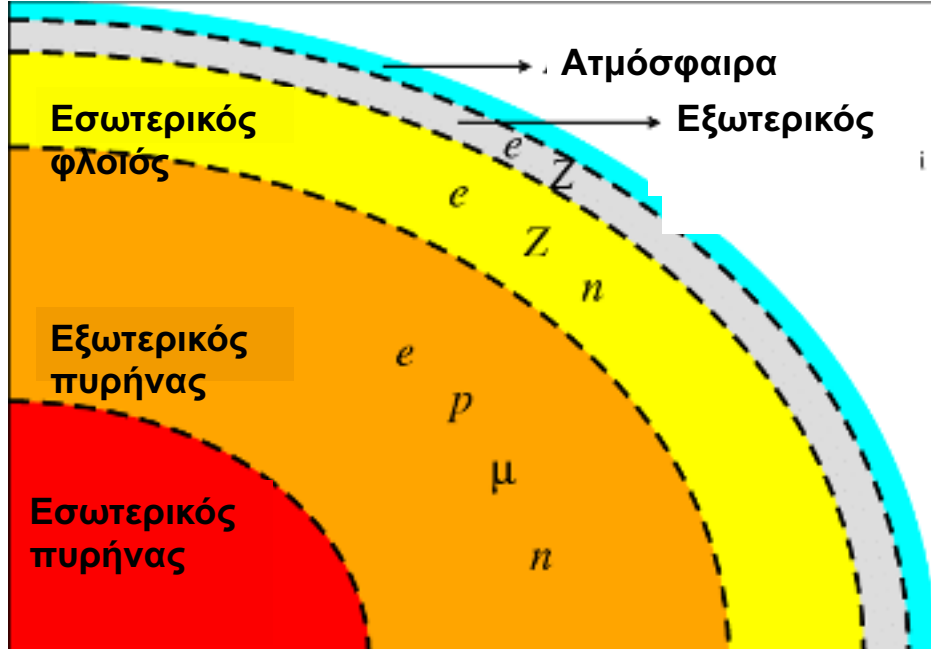
Η Jocelyn Bell, μαθήτρια του Antony Hewish στο Cambridge (Αγγλία), ανακάλυψε αυτά τα αντικείμενα το 1967. Η ανακάλυψη αυτή έγινε αρχικά κατανοητή ως οφειλόμενη σε παλμούς συμπαγών αστέρων. Το 1974 το βραβείο Νόμπελ απονεμήθηκε στον Hewish για την ανακάλυψη αυτή.

Πώς μπορούν να παρατηρηθούν;

Λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των άστρων που εκρήγνυνται ως σουπερνόβα, θα πρέπει να υπάρχουν περίπου ένα δισεκατομμύριο αστέρια νετρονίων στον Γαλαξία μας. Ωστόσο, οι αστρονόμοι παρατηρούν άμεσα μόνο περίπου 3000 από αυτά στον Γαλαξία μας.

Στους περισσότερους αστέρες νετρονίων μια δέσμη ραδιοεκπομπής δημιουργείται από το μαγνητικό πεδίο στους πόλους τους. Αυτό το μαγνητικό πεδίο είναι ακραίο - 10^{15} φορές ισχυρότερο από το μαγνητικό πεδίο της Γης. Καθώς ο αστέρας νετρονίων περιστρέφεται, ένα ραδιοσήμα μπορεί να ανιχνευθεί όταν η δέσμη κατευθύνεται προς εμάς, μιμούμενη παλμούς.

Λίγο μετά την ανακάλυψή τους, οι ιδιότητες αυτών των αντικειμένων (που ονομάστηκαν πάλσαρ) εξηγήθηκαν από αυτό το φαινόμενο του φάρου. Μόνο οι αστέρες νετρονίων - τότε απλώς μια θεωρητική έννοια - είχαν ιδιότητες που μπορούσαν να εξηγήσουν τις παρατηρήσεις.



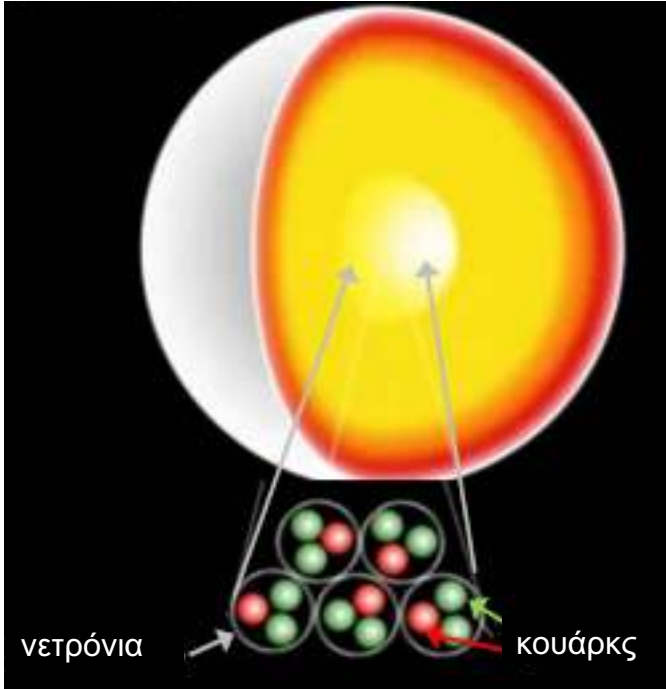
Η εικαζόμενη δομή ενός αστέρα νετρονίων 1,4 ηλιακών μαζών, προσαρμοσμένη από τον Jorge Piekarewicz. Τα διάφορα συστατικά είναι:

- Η αέρια **ατμόσφαιρα** (πάχος μερικών εκατοστών).
- Ο **υγρός "ωκεανός"** (βάθος 10 m).
- Ο **στερεός φλοιός** (πάχους 1 km) αποτελείται από έναν εξωτερικό φλοιό (πυρήνες που σχηματίζουν έναν κρύσταλλο ενσωματωμένο σε αέριο ηλεκτρονίων) και έναν εσωτερικό φλοιό (πυρηνικός κρύσταλλος ενσωματωμένος σε αέριο ηλεκτρονίων και νετρονίων).
- Ο **υγρός πυρήνας**. Το **εξωτερικό** του **κέλυφος** (πάχους περίπου 7 χιλιομέτρων) αποτελείται από νετρόνια, πρωτόνια, ηλεκτρόνια και μίονια. Ο **εσωτερικός** πυρήνας **ακτίνας** περίπου 4 km είναι ένα μυστήριο και μπορεί να περιέχει εξωτικά σωματίδια.

Τι υπάρχει μέσα σε ένα αστέρι νετρονίων;

Η εσωτερική δομή ενός αστέρα νετρονίων είναι πολυεπίπεδη όπως ένα κρεμμύδι. Ο στερεός φλοιός περιέχει μόνο το 1% της μάζας του άστρου, ενώ περίπου το 99% της μάζας περιέχεται στον υγρό πυρήνα και στον πολύ μυστηριώδη εσωτερικό πυρήνα. Η πυκνότητα αυξάνεται με το βάθος, από 10 g/cm^3 στην αέρια ατμόσφαιρα (με τυπική θερμοκρασία 1-2 εκατομμύρια K) μέχρι πάνω από $100\,000\,000\,000\,000 \text{ χιλιόγραμμα/cm}^3$ στο κέντρο του, περίπου 4-6 φορές πυκνότερο από τους ατομικούς πυρήνες. Ένα κουταλάκι του γλυκού υλικό αστέρα νετρονίων στη Γη θα ζύγιζε όσο ολόκληρος ο ανθρώπινος πληθυσμός!

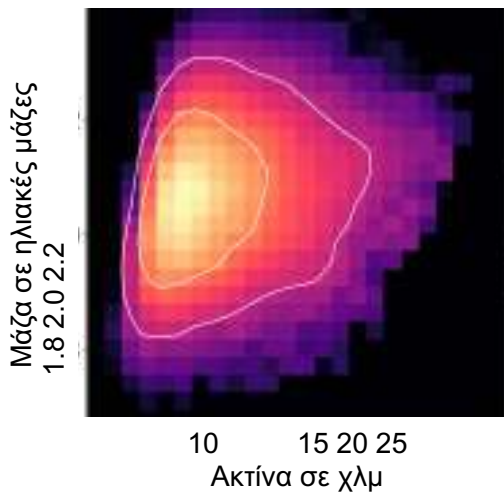
Το εσωτερικό τους δεν είναι μόνο θερμό και πυκνό, αλλά και πολύ μαγνητισμένο, υπερρευστό και υπεραγώγιμο. Παρατηρώντας τους μπορούμε να μάθουμε για τα εσωτερικά τους χαρακτηριστικά και να τους χρησιμοποιήσουμε ως ακραία κοσμικά εργαστήρια.



Οι ιδιότητες της πυκνής ύλης κωδικοποιούνται στην καταστατική εξίσωση, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί μελετώντας τη σχέση μάζας-ακτίνας των αστέρων νετρονίων. (Εικόνα μετά από CXC/M. Weiss).

Η μάζα και η ακτίνα των αστέρων νετρονίων μπορούν να εκτιμηθούν από παρατηρήσεις πάλσαρ σε δυαδικά συστήματα.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη σχέση μεταξύ της μάζας και της ακτίνας του αστέρα νετρονίων PSR J0740+6620



που λαμβάνονται από παρατηρήσεις. Η φωτεινότερη ζώνη του σχήματος αντιστοιχεί στις πιο πιθανές τιμές: 2,08 ηλιακές μάζες και 12,35 χλμ (Miller et al. 2021).

Η καταστατική εξίσωση

Μόνο το εξωτερικό τμήμα ενός αστέρα νετρονίων (που αντιστοιχεί στο 0,01% της μάζας του) μπορεί να περιγραφεί με πειράματα σε ατομικούς πυρήνες που γίνονται στη Γη. Οι περισσότεροι από τους πυρήνες που υπάρχουν στον φλοιό και τον πυρήνα του αστέρα νετρονίων μπορούν να μελετηθούν μόνο θεωρητικά.

Μέσα στους αστέρες νετρονίων, η πίεση πρέπει να αυξάνεται αρκετά γρήγορα με την πυκνότητα για να υποστηρίξει τη μάζα του αστέρα νετρονίων. Χρησιμοποιώντας αυτή τη συνθήκη, οι θεωρητικοί φυσικοί εκτιμούν τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της πίεσης. Από αυτή την καταστατική εξίσωση μπορούν να εξάγουν τη σχέση μεταξύ της μάζας και της ακτίνας ενός αστέρα νετρονίων και να τη συγκρίνουν με τις παρατηρήσεις. Με διαδοχικές προσεγγίσεις μπορούν να προσδιορίσουν την πραγματική καταστατική εξίσωση της πυκνής ύλης, αποκαλύπτοντας έτσι τις ιδιότητες της πιο ακραίας κατάστασης της ύλης που είναι γνωστή σήμερα.



Pulsar Time

12:34:58,985

Αυτή είναι η οθόνη του πρώτου παλμικού ρολογιού στον κόσμο, το οποίο εγκαταστάθηκε στο μουσείο Tower Clock στο Γκντανσκ της Πολωνίας το 2011.

Αυτό το μοναδικό ρολόι χρησιμοποιεί τους παλμούς των πάλσαρ ως βάση για την τήρηση του χρόνου.

Αποτελείται από ένα ραδιοτηλεσκόπιο με 16 κεραίες που λαμβάνουν σήματα από έξι πάλσαρ.



Αστέρια νετρονίων ως ρολόγια

Οι παλμοί από τους αστέρες νετρονίων εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα περιόδων: από 1,4 χιλιοστά του δευτερολέπτου έως περίπου 1 λεπτό.

Αυτό που προκαλεί έκπληξη είναι η αξιοσημείωτη κανονικότητα αυτών των παλμών: ένα τυπικό ρολόι πάλσαρ επιβραδύνει κατά ένα δευτερόλεπτο κάθε ένα εκατομμύριο χρόνια.

Δεδομένου ότι τα πάλσαρ είναι ρολόγια μεγάλης ακρίβειας, καθιστούν δυνατή τη μέτρηση ακόμη και πολύ μικρών αποκλίσεων από την αποδεκτή θεωρία που περιγράφει την κίνηση των αστερών σε βαρυτικό πεδίο. Αυτό μας επιτρέπει να ελέγχουμε τη θεωρία της βαρύτητας.

Αποδεικνύεται ότι η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, που διατυπώθηκε από τον Αϊνστάιν το 1915, περνάει τέλεια αυτό το τεστ!



Μια καλλιτεχνική απεικόνιση δύο αστέρων νετρονίων που συγχωνεύονται. Οι στενές ακτίνες είναι οι εκρήξεις ακτίνων γάμμα. Διακρίνονται επίσης στροβιλιζόμενα νέφη υλικού που εκτοξεύονται από τα συγχωνευόμενα αστέρια. Αυτά τα νέφη εκπέμπουν στο ορατό φως καθώς και σε άλλα μήκη κύματος.

Συντελεστές:

Εικόνα: Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet

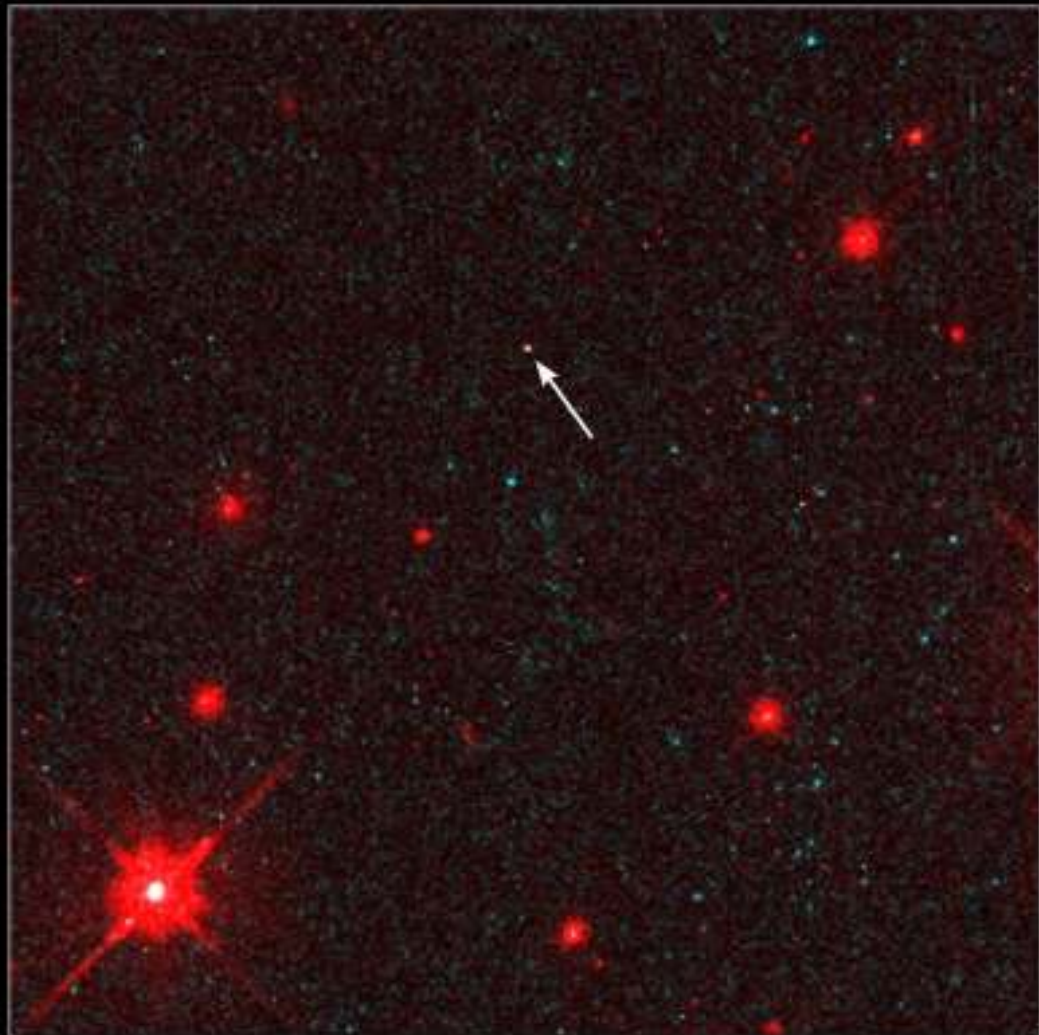
Βαρυτικά κύματα και εκρήξεις ακτίνων γάμμα

Οι αστέρες νετρονίων μπορεί επίσης να είναι πηγές βαρυτικών κυμάτων - παραμορφώσεις του χωροχρόνου που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός (βλέπε TUIMP 18).

Στις 17 Αυγούστου 2017, τα κύματα που εκπέμφθηκαν από δύο συγκρουόμενους αστέρες νετρονίων καταγράφηκαν από τους ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων LIGO και Virgo.

Επιπλέον, το έντονο φως που εκπέμφθηκε κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης παρατηρήθηκε από διάφορα τηλεσκόπια.

Οι επιστήμονες μπόρεσαν να προσδιορίσουν τις μάζες των δύο άστρων και να δείξουν ότι αυτού του είδους τα γεγονότα θα μπορούσαν να είναι η προέλευση ισχυρών σύντομων εκρήξεων ακτίνων γάμμα.



Isolated Neutron Star RX J185635-3754

Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC97-32 • ST ScI OPO • September 24, 1997

F. Walter (State University of New York at Stony Brook) and NASA

Αυτή η εικόνα δείχνει πώς
μοιάζει ένα κοντινό αστέρι νετρονίων
από τη Γη, στο ορατό φως.

Κουίζ

1. Τα αστέρια νετρονίων είναι:
 - a. καταρρεύσαντες πυρήνες αστέρων μεγάλης μάζας
 - b. ένα είδος μαύρων οπών
 - c. υπολείμματα γαλαξιών
2. Ποια είναι η τυπική μάζα ενός αστέρα νετρονίων;
 - a. μεταξύ 8 και 25 ηλιακών μαζών
 - b. πάνω από 100 εκατομμύρια ηλιακές μάζες
 - c. μεταξύ 1 και 3 ηλιακών μαζών
3. Παρατηρούνται αστέρια νετρονίων
 - a. σε όλα τα ηλεκτρομαγνητικά μήκη κύματος
 - b. μόνο στις ακτίνες Χ και στο ορατό φως
 - c. μόνο σε ακτίνες γάμμα
 - d. μόνο στο ραδιόφωνο
4. Η επιφανειακή θερμοκρασία των αστέρων νετρονίων είναι συνήθως
 - a. μεγαλύτερη από 100 εκατομμύρια βαθμούς
 - b. μερικά εκατομμύρια βαθμούς
 - c. παρόμοια με εκείνη του Ήλιου

Το σύμπαν στην τσέπη μου No 31

Αυτό το φυλλάδιο γράφτηκε το 2024 από τους Paweł Haensel, Leszek J. Zdunik από το Αστρονομικό Κέντρο Nicolaus Copernicus (Πολωνία) και Michał Bejger από το INFN Ferrara (Ιταλία) και το Αστρονομικό Κέντρο Nicolaus Copernicus (Πολωνία). Το κείμενο αναθεωρήθηκε από τον Stan Kurtz (UNAM, Μεξικό) και την Grażyna Stasińska (Αστεροσκοπείο του Παρισιού).

Εικόνα εξωφύλλου: Αστέρι νετρονίων. Πηγή: Casey Reed, Penn State University.



Για να μάθεις περισσότερα για τη συλλογή αυτή και τα θέματα που παρουσιάζονται στο βιβλιαράκι, επισκέψου τη διεύθυνση

Μετάφραση: Τζίνα Πανοοπούλου
TUIMP Creative Commons

